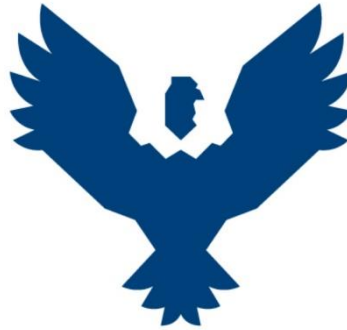




**UNIVERSIDAD ANDINA DEL  
CUSCO**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:

---

**“INCREMENTO DEL FACTOR DE SEGURIDAD EN TALUD DE SUELO EN  
LITIFICACIÓN CON SOLICITACIONES SISMICAS, RECINTO R-41, MEDIANTE  
EPÓXICO. SITIO ARQUEOLÓGICO DE RAQARAQAYNIYOQ, SAN JERÓNIMO-  
CUSCO, 2022”**

---

Presentado por:

Auria Gabriela Sullca Estrada

Kevin Alex Chávez Alegría

Para optar el Título Profesional de

Ingeniero Civil

Asesor: Ing. Ronald Vera Gallegos

Ing. Ronald Vera Gallegos

CUSCO-PERÚ

2022



## Dedicatoria

A mi papá, Leon Estrada Amao, mi guía en todos los sentidos de vida, quien me enseñó del amor incondicional, quien me cuida y protege desde siempre y hasta siempre.

A Leonarda, Dora y Miguel, mis abuelos que siempre me demuestran su amor, apoyo y lo orgullosos que están de mí.

A Medi, Richard, Briget, Roger y Jheykob, mi familia, mi todo, quienes son mi soporte y apoyo incondicional, mi mayor motivo para cumplir todos mis sueños y metas.

A mis padres Medi y Ricardo, por confiar y mostrarse orgullosos de mi crecimiento personal y profesional.

A mis hermanos, Briget, Miguel, Alessandro, Roger, Jheykob y Dorita, quienes me incentivan a cumplir mis metas.

A mis tías, Cleny, Viky, Rocio, Rosmery, Rina, Rosalia, Reyza, mis amigas, en quienes puedo confiar, quienes celebran mis logros y me apoyan incondicionalmente.

A mis primas y primos, por considerarme un ejemplo, por estar pendiente de mi crecimiento profesional y por celebrar cada meta cumplida.

A Roger Cáceres Valenzuela, mi tío, el mejor papá quien siempre está pendiente de mí, sigue mis pasos y cuida de mi en todo momento.

A Kevin, mi compañero de tesis, mi amigo, mi cómplice. Quién es parte importante en mi vida.

*Auria Gabriela Sullca Estrada*

A mi madre Lusbenia Alegría Calta, que es y siempre será el motor y motivo de mi vida, la persona que me apoyo y ayudo a llegar hasta donde estoy y la persona a la cual quiero hacer sentir siempre orgullosa, con mucho amor para ella.

A mi abuela Mónica Calta Rosell, quien desde siempre fue una guía de consejo y amor para mí.

A mis tíos, Searmeli, Wilfredo y Adilson quienes siempre estuvieron al pendiente y cuidado de mí.

A mis primos, Isharely, María Fernanda, Fabian y Adrián a quienes quiero servirles de guía y que logren cada uno de sus objetivos.

A Auria, mi compañera de tesis y pieza fundamental en mi vida, que juntos logramos con mucho sacrificio el objetivo tan anhelado.

*Kevin Alex Chávez Alegría*



## Agradecimientos

Agradezco a mi numerosa familia, amigos y compañeros de trabajo quienes siempre estuvieron pendientes durante la elaboración del trabajo de investigación, quienes celebran mis logros y se muestran orgullosos de mí.

*Auria Gabriela Sullca Estrada*

Agradezco a todos los familiares, amigos y compañeros de trabajo, que desde siempre apoyaron y motivaron en el proceso de elaboración de la tesis.

Al INC por permitirnos realizar el trabajo de investigación sin problema alguno, brindándonos todas las facilidades.

*Kevin Alex Chávez Alegría*



## Resumen

El Sitio Arqueológico de Raqaraqayniyoq es considerado patrimonio cultural de la nación, El sitio arqueológico se encuentra en un regular y mal estado de su conservación. Uno de sus motivos de deterioro de la zona arqueológica es el excesivo crecimiento de vegetación arbustiva sobre todo en el núcleo de los muros que al expandirse las raíces y penetrar en éstos, desplazan los muros iniciando el ciclo destructivo que posteriormente termina en el colapso de las estructuras.

En esta investigación se plantea incrementar el factor de seguridad del talud del recinto R-41 del Sitio Arqueológico de Raqaraqayniyoq, mediante el uso de epóxico de baja viscosidad para inyección, además se presentan los resultados de los ensayos de RMR, esclerómetro y compresión simple y también se presenta el procesamiento de los datos obtenidos, usando el programa ROC DATA para obtener la cohesión y el ángulo de fricción, también se usó el programa Slide V 6.0 para obtener el factor de seguridad del talud de estudio, teniendo los resultados que con el incremento del epóxico el factor de seguridad llego a más de 1.5, llegando a la conclusión que nuestro talud es estable y seguro, por lo que se logró lo deseado con el factor de seguridad.



### Abstract

The Raqaraqayniyoq Archaeological Site is considered the nation's cultural heritage. The archaeological site is in a regular and poor state of conservation. One of the reasons for the deterioration of the archaeological zone is the excessive growth of bushy vegetation, especially in the core of the walls, which, when the roots expand and penetrate them, displace the walls, initiating the destructive cycle that later ends in the collapse of the walls. structures.

In this investigation, it is proposed to increase the safety factor of the slope of the R-41 enclosure of the Raqaraqayniyoq Archaeological Site, through the use of low-viscosity epoxy for injection, in addition, the results of the RMR, sclerometer and simple compression tests are presented. The processing of the data obtained is also presented, using the ROC DATA program to obtain the cohesion and the friction angle, the Slide V 6.0 program was also used to obtain the safety factor of the study slope, having the results that with the Increasing the epoxy, the safety factor reached more than 1.5, reaching the conclusion that our slope is stable and safe, so the desired safety factor was achieved.

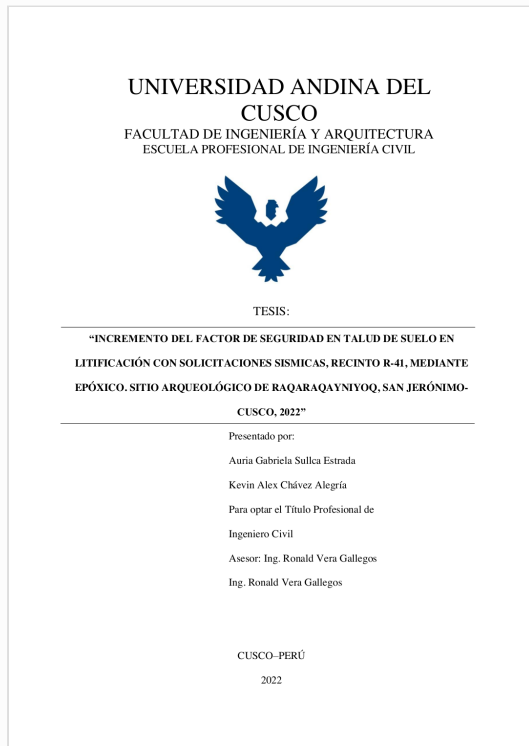


## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

|                              |   |
|------------------------------|---|
| Autor de la entrega:         | Gabriela Kevin Sullca Chávez                          |
| Título del ejercicio:        | ahorro MN MX  |
| Título de la entrega:        | INCREMENTO DEL FACTOR DE SEGURIDAD EN TALUD DE SUE... |
| Nombre del archivo:          | PASAR_POR_TURNITINN.pdf                               |
| Tamaño del archivo:          | 13.88M  |
| Total páginas:               | 261   |
| Total de palabras:           | 36,937  |
| Total de caracteres:         | 211,242   |
| Fecha de entrega:            | 03-abr.-2023 09:20a. m. (UTC-0500)                    |
| Identificador de la entre... | 2054639716  |





# INCREMENTO DEL FACTOR DE SEGURIDAD EN TALUD DE SUELO EN LITIFICACIÓN CON SOLICITACIONES SISMICAS, RECINTO R-41, MEDIANTE EPÓXICO. SITIO ARQUEOLÓGICO DE RAQARAQAYNIYOQ, SAN

Fecha de entrega: 03-abr-2023 09:20a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2054639716

Nombre del archivo: PASAR\_POR\_TURNITINN.pdf (13.88M)

Total de palabras: 36937 *por* Gabriela Kevin Sullca Chávez

Total de caracteres: 211242



<sup>1</sup>  
**UNIVERSIDAD ANDINA DEL  
CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS:**

---

**“INCREMENTO DEL FACTOR DE SEGURIDAD EN TALUD DE SUELO EN  
LITIFICACIÓN CON SOLICITACIONES SISMICAS, RECINTO R-41, MEDIANTE  
EPÓXICO. SITIO ARQUEOLÓGICO DE RAQARAQAYNIYOQ, SAN JERÓNIMO-  
CUSCO, 2022”**

---

Presentado por:

Auria Gabriela Sullca Estrada

Kevin Alex Chávez Alegría

<sup>1</sup>  
Para optar el Título Profesional de

**Ingeniero Civil**

**Asesor:** Ing. Ronald Vera Gallegos

Ing. Ronald Vera Gallegos

CUSCO-PERÚ

2022





# SUELO EN LITIFICACION CON SOLICITACIONES SISMICAS, RECINTO R-41, MEDIANTE EPÓXICO. SITIO ARQUEOLÓGICO DE RAQARAQAYNIYOQ, SAN JERÓNIMO-CUSCO, 2022

## INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

|   |  |    |
|---|--|----|
| 1 | <a href="http://1library.co">1library.co</a><br>Fuente de Internet                       | 2% |
| 2 | <a href="http://chodal18.com">chodal18.com</a><br>Fuente de Internet                     | 1% |
| 3 | <a href="http://repositorio.urp.edu.pe">repositorio.urp.edu.pe</a><br>Fuente de Internet | 1% |
| 4 | <a href="http://oa.upm.es">oa.upm.es</a><br>Fuente de Internet                           | 1% |
| 5 | <a href="http://nanopdf.com">nanopdf.com</a><br>Fuente de Internet                       | 1% |
| 6 | <a href="http://es.slideshare.net">es.slideshare.net</a><br>Fuente de Internet           | 1% |
| 7 | <a href="http://dspace.unitru.edu.pe">dspace.unitru.edu.pe</a><br>Fuente de Internet     | 1% |
| 8 | <a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a><br>Fuente de Internet                     | 1% |



## Introducción

El sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq tiene 55 recintos arqueológicos, muchos de los cuales están siendo afectados por procesos de degradación de taludes, encima de estos taludes se encuentra los recintos, de tal manera que estos recintos son vulnerables y podrían colapsar. Esta investigación se realizó con el talud que colinda con el recinto arqueológico R-41, que muestra un talud estable pero inseguro.

Como primer punto, se procederá a realizar el levantamiento topográfico de la zona arqueológica de Raqaraqayniyoq, precisamente en la zona sur-oeste de la zona arqueológica de Raqaraqayniyoq; que es el lugar donde se aprecia mayores deslizamientos de taludes, se usara el método de fotogrametría, ya que, al ser un sitio arqueológico, resulta ser la mejor opción para un levantamiento topográfico.

También se realizará el estudio del talud correspondiente, ya que la zona de estudio es una zona arqueológica resguardada por el INC, las limitaciones para su estudio se presentarán, por ello se realizará el ensayo de compresión simple, por ser un ensayo superficial, está permitido su uso en zonas arqueológicas.

Seguidamente se procederá a sacar pequeñas muestras de rocas para someterlas a compresión simple para determinar sus características, también se procederá a realizar un modelamiento en el software Slide, con los datos obtenidos; para obtener el factor de seguridad del talud en la zona sur-oeste de la zona arqueológica de Raqaraqayniyoq.

Seguidamente se procederá a realizar el modelamiento con los datos obtenidos de compresión simple de especímenes, pero esta vez con el uso del epóxico, para comprobar que el factor de seguridad se incrementó, una vez que se tenga los datos del factor de seguridad incrementados, terminaremos concluyendo que el uso del epóxico para dicho talud tubo buenos resultados y se logró el incremento del factor de seguridad.



El proyecto de investigación se realizará en cinco capítulos los cuales son: capítulo 1: Planteamiento del problema, capítulo 2: marco teórico, capítulo 3: metodología, capítulo 4: resultados y capítulo 5: discusión.



## Índice General

|  |          |
|--|----------|
| Dedicatoria.....   | i        |
| Agradecimientos .....                                    | ii       |
| Resumen.....   | iii      |
| Abstract .....   | iv       |
| Introducción .....                                       | v        |
| Índice General.....                                      | vii      |
| Índice de Figuras.....                                   | xii      |
| Índice de Tablas .....                                   | xx       |
| <b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>      | <b>1</b> |
| 1.1 Identificación del Problema.....                     | 1        |
| 1.1.1 Descripción del Problema.....                      | 1        |
| 1.1.2 Formulación Interrogativa del Problema .....       | 4        |
| 1.2 Justificación e Importancia de la Investigación..... | 5        |
| 1.2.1 Justificación Técnica.....                         | 5        |
| 1.2.2 Justificación social .....                         | 5        |
| 1.2.3 Justificación por Viabilidad .....                 | 5        |
| 1.2.4 Justificación por Relevancia .....                 | 6        |
| 1.3 Limitaciones de la Investigación .....               | 6        |
| 1.4 Objetivos de la Investigación.....                   | 6        |
| 1.4.1 Objetivo General.....                              | 6        |
| 1.4.2 Objetivos Específicos.....                         | 6        |
| <b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>                  | <b>8</b> |
| 2.1 Antecedentes de estudio .....                        | 8        |
| 2.1.1 Antecedentes a Nivel Nacional.....                 | 8        |



|        |   |    |
|--------|---|----|
| 2.1.2  | Antecedentes a Nivel Internacional .....                            | 9  |
| 2.2    | Aspectos Teóricos Pertinentes .....                                 | 10 |
| 2.2.1  | Definición de los suelos .....                                      | 13 |
| 2.2.2  | Definición Horizontes de transición .....                           | 14 |
| 2.2.3  | Litificación.....   | 16 |
| 2.2.4  | Límites de Atterberg .....  | 18 |
| 2.2.5  | Deslizamientos.....   | 20 |
| 2.2.6  | Causas de los deslizamientos .....                                  | 21 |
| 2.2.7  | Tipos de deslizamientos .....                                       | 21 |
| 2.2.8  | Factores que afectan la estabilidad del terreno .....               | 25 |
| 2.2.9  | Agua subterránea .....  | 26 |
| 2.2.10 | Porosidad y razón de vacío .....                                    | 28 |
| 2.2.11 | Erosión .....   | 29 |
| 2.2.12 | Métodos de estabilización de tratamiento de taludes y laderas. .... | 30 |
| 2.2.13 | Tipos de fallas en taludes .....                                    | 34 |
| 2.2.14 | Métodos de Análisis de Estabilidad de Taludes .....                 | 38 |
| 2.2.15 | Factores que determinan la estabilidad de los taludes. ....         | 38 |
| 2.2.16 | Tipos de roturas.....   | 45 |
| 2.2.17 | Factor de seguridad.....  | 50 |
| 2.2.18 | Metodología de los estudios de estabilidad de taludes .....         | 51 |
| 2.2.19 | Resistencia al esfuerzo cortante .....                              | 53 |
| 2.2.20 | Taludes en zonas arqueológicas.....                                 | 62 |
| 2.2.21 | El ensayo de compresión simple.....                                 | 65 |
| 2.2.22 | Esclerómetro o martillo de Schmidt .....                            | 67 |
| 2.2.23 | Ensayo Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) .....                        | 68 |



|                                |  |    |
|--------------------------------|--|----|
| 2.2.24                         | Capacidad Portante en Rocas.....   | 71 |
| 2.2.25                         | Clasificación Geomecánica RMR.....                                       | 71 |
| 2.2.26                         | Factor de seguridad en taludes.....                                      | 73 |
| 2.2.27                         | Software de Ingeniería.....  | 74 |
| 2.2.28                         | Epoxico.....   | 77 |
| 2.2.29                         | Resina de baja viscosidad.....   | 78 |
| 2.2.30                         | Solicitaciones Sísmicas.....   | 80 |
| 2.2.31                         | Parámetros del factor de seguridad en talud.....                         | 81 |
| 2.2.32                         | Clasificación de técnicas de protección y estabilización de taludes..... | 85 |
| 2.3                            | Hipótesis de Trabajo.....  | 86 |
| 2.3.1                          | Hipótesis general.....   | 86 |
| 2.3.2                          | Sub hipótesis.....   | 86 |
| 2.4                            | Definición de Variables.....   | 87 |
| 2.4.1                          | Variables de Estudio.....  | 87 |
| 2.4.2                          | Cuadro de Operacionalización de Variables.....                           | 88 |
| CAPÍTULO III: METODOLOGÍA..... |  | 91 |
| 3.1                            | Metodología de la Investigación.....                                     | 91 |
| 3.1.1                          | Enfoque de la Investigación.....   | 91 |
| 3.1.2                          | Nivel o Alcance de la Investigación.....                                 | 91 |
| 3.1.3                          | Método de Investigación.....   | 91 |
| 3.2                            | Diseño de Investigación.....   | 92 |
| 3.2.1                          | Diseño Metodológico.....   | 92 |
| 3.2.2                          | Diseño de Ingeniería.....  | 92 |
| 3.3                            | Población y Muestra.....   | 93 |
| 3.3.1                          | Población.....   | 93 |



|                               |   |     |
|-------------------------------|---|-----|
| 3.3.2                         | Muestra .....   | 106 |
| 3.3.3                         | Criterios de inclusión .....  | 109 |
| 3.4                           | Instrumentos .....  | 109 |
| 3.4.1                         | Instrumentos Metodológicos.....   | 109 |
| 3.4.2                         | Instrumentos de Ingeniería.....   | 112 |
| 3.5                           | Procedimientos de Recolección de Datos.....   | 113 |
| 3.5.1                         | Clasificación de RMR.....   | 113 |
| 3.5.2                         | Recolección de Datos de la resistencia a la compresión con Esclerómetro. 121  |     |
| 3.5.3                         | Levantamiento fotogramétrico del Talud para procesamiento .....   | 125 |
| 3.6                           | Procedimiento de Análisis de Datos .....  | 130 |
| 3.6.1                         | Análisis de Datos de los Ensayos Realizados .....   | 130 |
| 3.6.2                         | Determinación de la Estabilidad del Talud de Estudio en el Sitio<br>Arqueológico Raqaraqayniyoc .....   | 170 |
| 3.6.3                         | Análisis de Datos y Determinación de la Estabilidad del Talud de Estudio en<br>el Sitio Arqueológico Raqaraqayniyoc mejorado con Epóxico..... | 181 |
| CAPÍTULO IV: RESULTADOS ..... |   | 197 |
| 4.1                           | Resultados de la Resistencia a la Compresión Simple .....   | 197 |
| 4.2                           | Resultados de la Clasificación Geomecánica RMR .....  | 198 |
| 4.3                           | Resultados del Ensayo de Esclerómetro .....   | 198 |
| 4.4                           | Resultados del Ensayo de Sondeo Eléctrico Vertical .....  | 199 |
| 4.5                           | Resultados del Procesamiento SOFTWARE METASHAPE AGISOFT .....   | 200 |
| 4.6                           | Resultados del Procesamiento de Datos en ROC DATA .....   | 203 |
| 4.7                           | Resultados de la Simulación en el Software SLIDE .....  | 206 |
| CAPÍTULO V: DISCUSIÓN .....   |   | 208 |
| GLOSARIO .....                |   | 211 |



|   |     |
|---|-----|
| CONCLUSIONES .....                                  | 213 |
| RECOMENDACIONES .....                               | 215 |
| REFERENCIAS.....                                    | 217 |
| ANEXOS .....  | 224 |
| Permiso del Ministerio de Cultura .....             | 229 |
| Certificado de Calibración – Prensa Hidráulica..... | 231 |
| Matriz de Consistencia.....                         | 234 |





## Índice de Figuras

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1</b> Talud de estudio, se muestra el recinto al borde del talud. ....   | 2  |
| <b>Figura 2</b> Ubicación Sitio Arqueológico Raqaraqayniyoq.....   | 3  |
| <b>Figura 3</b> Etapa y procesos de la formación del suelo. ....   | 14 |
| <b>Figura 4</b> Horizontes formados por procesos. ....   | 16 |
| <b>Figura 5</b> Proceso de Litificación de suelos. ....  | 17 |
| <b>Figura 6</b> Proceso de compactación de suelos.....   | 18 |
| <b>Figura 7</b> Proceso de cementación. ....   | 18 |
| <b>Figura 8</b> Deslizamiento.....   | 22 |
| <b>Figura 9</b> Deslizamiento Rotacional.....  | 24 |
| <b>Figura 10</b> Deslizamiento de translación en la vía Tijuana - Ensenada en México. ....   | 25 |
| <b>Figura 11</b> Relación entre textura y porosidad. (a)-(d) Depósitos sedimentarios de distinta granulometría y porosidad: (a) uniforme y alta porosidad; (b) no uniforme y baja porosidad; (c) uniforme con piedras porosas y alta porosidad; (d) uniforme con porosidad red. Nota. El gráfico representa la relación entre textura y porosidad, tomada de ESRI, 2012..... | 29 |
| <b>Figura 12</b> Ejemplo de abancalamientos típico (Comuna 2 – Manizales y Municipio de La Merced).....  | 31 |
| <b>Figura 13</b> Ejemplo trinchos en guadua (Municipio de Chinchiná y Pácora).....   | 32 |
| <b>Figura 14</b> Falla por deslizamiento. ....   | 36 |
| <b>Figura 15</b> Falla preexistente.....   | 36 |
| <b>Figura 16</b> Falla de rotación y traslación.....   | 37 |
| <b>Figura 17</b> Esquemas del nivel freático en un talud según la distribución de los materiales...43  |    |
| <b>Figura 18</b> Esquemas del nivel freático en un talud según la distribución de los materiales...45  |    |
| <b>Figura 19</b> Tipos de superficies de rotura en suelos.....   | 47 |
| <b>Figura 20</b> Rotura plana. ....  | 48 |



|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 21</b> Rotura en cuña.....  | 48  |
| <b>Figura 22</b> Rotura por vuelco.....   | 49  |
| <b>Figura 23</b> Rotura circular.....   | 49  |
| <b>Figura 24</b> Rotura por discontinuidades paralelas al talud.....  | 50  |
| <b>Figura 25</b> Círculo de Mohr.....   | 54  |
| <b>Figura 26</b> Curvas esfuerzo de corte – desplazamiento en ensayo de corte directo.....                          | 58  |
| <b>Figura 27</b> Envoltentes de falla de las Resistencias Pico y Residual.....                                      | 58  |
| <b>Figura 28</b> Acción de la presión de poros en los suelos. Disminuye la resistencia a la fricción.<br>.....      | 59  |
| <b>Figura 29</b> Esfuerzos totales y efectivos. $\sigma'$ (efectivo) = $\sigma$ (total) - $\mu$ .....               | 61  |
| <b>Figura 30</b> Quebrada de Saphy con sus deslizamientos y la ocupación del cauce.....                             | 64  |
| <b>Figura 31</b> Ladera estabilizada de El Bosque terminada el año 1997, Fotos: Centro Huaman<br>Poma de Ayala..... | 65  |
| <b>Figura 32</b> Ensayo de Compresión Simple.....   | 67  |
| <b>Figura 33</b> Esclerómetro.....  | 68  |
| <b>Figura 34</b> Geometría del SEV arreglo Schlumberger.....  | 69  |
| <b>Figura 35</b> Clasificación De Técnicas De Protección Y Estabilización De Taludes.....                           | 85  |
| <b>Figura 36</b> Esquema General para la Elaboración de la Investigación.....                                       | 93  |
| <b>Figura 37</b> Zona y Sitios Arqueologicos, Zonas Monumentales y Red de Caminos<br>Prehispanicos-Qhapaq Ñam.....  | 96  |
| <b>Figura 38</b> Evaluación Ingeniero-Geológica del Cerro Picol.....  | 98  |
| <b>Figura 39</b> Peligros Geológicos en Zona y Sitios Arqueológicos.....  | 103 |
| <b>Figura 40</b> Zonificación sísmica.....  | 104 |
| <b>Figura 41</b> Talud de Estudio (05 puntos de estudio).....   | 107 |
| <b>Figura 42</b> Formato para la recopilación y análisis del Ensayo de Esclerómetro.....                            | 110 |



|                  |   |     |
|------------------|---|-----|
| <b>Figura 43</b> | Formato para la recopilación y análisis de la Clasificación Geomecánica RMR.                        | 111 |
| <b>Figura 44</b> | Formato para la recopilación y análisis del Ensayo de Compresión Simple.....                        | 112 |
| <b>Figura 45</b> | Muestras de forma cilíndrica para realizar el ensayo a compresión simple. ....                      | 114 |
| <b>Figura 46</b> | Obtención del peso de cada muestra. ....  | 114 |
| <b>Figura 47</b> | Obtención de las medidas del diámetro y altura de cada cilindro muestra utilizando el vernier. .... | 115 |
| <b>Figura 48</b> | Resultado del ensayo a la compresión simple del punto 1, muestra 1-1 y 1-2.....                     | 115 |
| <b>Figura 49</b> | resultado del ensayo a la compresión simple del punto 2, muestra 2-1 y 2-2.....                     | 116 |
| <b>Figura 50</b> | Resultado del ensayo a la compresión simple del punto 3, muestra 3-1 y 2-2.....                     | 116 |
| <b>Figura 51</b> | Resultado del ensayo a la compresión simple del punto 4, muestra 4-1 y 4-2.....                     | 117 |
| <b>Figura 52</b> | Resultado del ensayo a la compresión simple del punto 5, muestra 5-1 y 5-2.....                     | 117 |
| <b>Figura 53</b> | Factura de los cilindros de las 10 muestras. ....   | 118 |
| <b>Figura 54</b> | Resultados del ensayo de resistencia a la compresión simple.....                                    | 119 |
| <b>Figura 55</b> | Clasificación geomecánica GSI.....  | 120 |
| <b>Figura 56</b> | Toma de datos in situ con Esclerómetro en el punto 01.....  | 122 |
| <b>Figura 57</b> | Toma de datos in situ con Esclerómetro en el punto 02.....  | 122 |
| <b>Figura 58</b> | Toma de datos in situ con Esclerómetro en el punto 03.....  | 123 |
| <b>Figura 59</b> | Toma de datos in situ con Esclerómetro en el punto 04.....  | 123 |
| <b>Figura 60</b> | Toma de datos in situ con Esclerómetro en el punto 05.....  | 124 |
| <b>Figura 61</b> | Ensayos Insitu con Esclerómetro. ....   | 124 |
| <b>Figura 62</b> | Toma de vistas fotográficas del talud de estudio. ....  | 126 |
| <b>Figura 63</b> | Toma de vistas fotográficas del talud de estudio. ....  | 127 |
| <b>Figura 64</b> | Referencia de la distribución de las fotografías para el levantamiento fotogramétrico.<br>.....     | 127 |
| <b>Figura 65</b> | Obtención de datos del ensayo Sondeo Eléctrico Vertical.....  | 128 |



|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 66</b> Procesamiento de datos para RMR del Punto 01. ....   | 130 |
| <b>Figura 67</b> Procesamiento de datos para RMR del Punto 02. ....   | 131 |
| <b>Figura 68</b> Procesamiento de datos para RMR del Punto 03. ....   | 132 |
| <b>Figura 69</b> Procesamiento de datos para RMR del Punto 04. ....   | 133 |
| <b>Figura 70</b> Procesamiento de datos para RMR del Punto 05. ....   | 134 |
| <b>Figura 71</b> Resultados de la prueba realizada con Esclerómetro en el punto 01.....                       | 135 |
| <b>Figura 72</b> Resultados de la prueba realizada con Esclerómetro en el punto 02.....                       | 136 |
| <b>Figura 73</b> Resultados de la prueba realizada con Esclerómetro en el punto 03.....                       | 137 |
| <b>Figura 74</b> Resultados de la prueba realizada con Esclerómetro en el punto 04.....                       | 138 |
| <b>Figura 75</b> Resultados de la prueba realizada con Esclerómetro en el punto 05.....                       | 139 |
| <b>Figura 76</b> Ingreso de Datos a software Metashape para el alineamiento de fotos.....                     | 140 |
| <b>Figura 77</b> Ingreso de Datos a software Metashape con build dense cloud. ....                            | 141 |
| <b>Figura 78</b> Ingreso de Datos a software Metashape build mesh. ....                                       | 142 |
| <b>Figura 79</b> Ingreso de Datos a software Metashape con build textura.....                                 | 143 |
| <b>Figura 80</b> Ingreso de Datos a software Metashape con build tiled model.....                             | 144 |
| <b>Figura 81</b> Ingreso de Datos a software Metashape con build dem. ....                                    | 145 |
| <b>Figura 82</b> Procesamiento con la herramienta Build Ortomosaico. ....                                     | 146 |
| <b>Figura 83</b> Resultados de orto fotogrametría. ....   | 147 |
| <b>Figura 84</b> Elaboración de las secciones de corte para la obtención los perfiles de cada punto.<br>..... | 148 |
| <b>Figura 85</b> Obtención de las secciones de corte para la obtención los perfiles de cada punto.<br>.....   | 149 |
| <b>Figura 86</b> Ingreso de datos para procesamiento de datos. ....   | 151 |
| <b>Figura 87</b> Procesamiento de datos del ensayo a la compresión simple en el software ROC<br>DATA. ....    | 152 |



|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 88</b> Procesamiento de datos de la evaluación del talud en el software ROC.....                          | 153 |
| <b>Figura 89</b> Procesamiento según el tipo de roca en el software ROC DATA.....                                   | 154 |
| <b>Figura 90</b> Procesamiento según el tipo de talud en el software ROC DATA. ....                                 | 154 |
| Figura 91 Resultados de cohesión y ángulo de fricción en el software ROC DATA.....                                  | 155 |
| <b>Figura 92</b> Procesamiento ROC DATA para el punto 01. ....  | 157 |
| <b>Figura 93</b> Procesamiento ROC DATA para el punto 02. ....  | 158 |
| <b>Figura 94</b> Procesamiento ROC DATA para el punto 03. ....  | 159 |
| <b>Figura 95</b> Procesamiento ROC DATA para el punto 04. ....  | 160 |
| <b>Figura 96</b> Procesamiento ROC DATA para el punto 05. ....  | 161 |
| <b>Figura 97</b> Definición de Propiedades para el punto 01.....  | 162 |
| <b>Figura 98</b> Simulación en el Software Slide para el Comportamiento del Talud en el punto 01<br>.....           | 162 |
| <b>Figura 99</b> Simulación en el Software Slide para el Comportamiento del Talud con sismo en el<br>punto 01. .... | 163 |
| <b>Figura 100</b> Definición de Propiedades para el punto 02.....   | 164 |
| <b>Figura 101</b> Simulación en el Software Slide para el Comportamiento del Talud en el punto 02.<br>.....         | 164 |
| <b>Figura 102</b> Simulación en el Software Slide para el Comportamiento del Talud con sismo en<br>el punto 02..... | 165 |
| <b>Figura 103</b> Definición de Propiedades para el punto 03.....   | 165 |
| <b>Figura 104</b> Simulación en el Software Slide para el Comportamiento del Talud en el punto 03.<br>.....         | 166 |
| <b>Figura 105</b> Simulación en el Software Slide para el Comportamiento del Talud con sismo en<br>el punto 03..... | 166 |
| <b>Figura 106</b> Definición de Propiedades para el punto 04.....   | 167 |



|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 107</b> Simulación en el Software Slide para el Comportamiento del Talud en el punto 04.<br>.....                                      | 167 |
| <b>Figura 108</b> Simulación en el Software Slide para el Comportamiento del Talud con sismo en el punto 04.....                                 | 168 |
| <b>Figura 109</b> Definición de Propiedades para el punto 05.....  | 168 |
| <b>Figura 110</b> Simulación en el Software Slide para el Comportamiento del Talud en el punto 05.<br>.....                                      | 169 |
| <b>Figura 111</b> Simulación en el Software Slide para el Comportamiento del Talud con sismo en el punto 05.....                                 | 169 |
| <b>Figura 112</b> Perfil de la sección 1 del talud de estudio. ....  | 177 |
| <b>Figura 113</b> Perfil de la sección 2 del talud de estudio. ....  | 177 |
| <b>Figura 114</b> Perfil de la sección 3 del talud de estudio. ....  | 178 |
| <b>Figura 115</b> Perfil de la sección 4 del talud de estudio. ....  | 178 |
| <b>Figura 116</b> Perfil de la sección 5 del talud de estudio. ....  | 179 |
| <b>Figura 117</b> Resultado del ensayo a la compresión simple, muestra 1 y 2. ....   | 181 |
| <b>Figura 118</b> Muestra cubierta de cinta. ....  | 183 |
| <b>Figura 119</b> Uso del epoxico (Resina de baja viscosidad para inyección) en la muestra fractura.<br>.....                                    | 184 |
| <b>Figura 120</b> Muestras fracturadas con epoxico (Resina de baja viscosidad para inyección) (secando durante 72 horas). ....                   | 184 |
| <b>Figura 121</b> Resultado del ensayo a la compresión simple, muestra 1 y 2 mejorada con epoxico (Resina de baja viscosidad para inyección..... | 185 |
| <b>Figura 122</b> Datos de entrada introducidos en software RES2DMOD. ....   | 189 |
| <b>Figura 123</b> Datos de salida por inversión mediante método Schlumberger en software RES2DINV. ....  | 190 |



|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 124</b> Simulación en el Software Slide para el Comportamiento del Talud y su mejoramiento en el punto 0.....  | 193 |
| <b>Figura 125</b> Simulación en el Software Slide para el Comportamiento del Talud y su mejoramiento en el punto 02.....   | 194 |
| <b>Figura 126</b> Simulación en el Software Slide para el Comportamiento del Talud y su mejoramiento en el punto 03.....   | 194 |
| <b>Figura 127</b> Simulación en el Software Slide para el Comportamiento del Talud y su mejoramiento en el punto 04.....   | 195 |
| <b>Figura 128</b> Simulación en el Software Slide para el Comportamiento del Talud y su mejoramiento en el punto 05.....   | 195 |
| <b>Figura 129</b> Perfil de la sección 1 del talud de estudio. ....  | 201 |
| <b>Figura 130</b> Perfil de la sección 2 del talud de estudio. ....  | 201 |
| <b>Figura 131</b> Perfil de la sección 3 del talud de estudio. ....  | 202 |
| <b>Figura 132</b> Perfil de la sección 4 del talud de estudio. ....  | 202 |
| <b>Figura 133</b> Perfil de la sección 5 del talud de estudio. ....  | 203 |
| <b>Figura 134</b> Fotografía de los tesisistas en la entrada del Sitio Arqueológico de Raqaraqayniyoq.<br>.....  | 224 |
| <b>Figura 135</b> Fotografía donde se verifica el sitio donde se realizó el trabajo de investigación.<br>.....   | 224 |
| <b>Figura 136</b> Fotografía donde se verifica el levantamiento fotogramétrico mediante un dispositivo celular, que serán posteriormente procesados en el software Agisoft Metashape.<br>.....   | 225 |
| <b>Figura 137</b> Fotografías donde se verifica los 10 especímenes, de cada uno de los 5 puntos que se consideró en el talud de estudio, muestras que fueron sometidas al ensayo de compresión simple, seguida de la fotografía de su rotura de cada una. .... | 225 |



|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 138</b> Fotografías donde se verifica el trabajo en laboratorio de los tesisistas. ....  | 226 |
| <b>Figura 139</b> Fotografía donde se verifica el ensayo a compresión simple que se realizó a los 10 especímenes, con la guía y compañía del ingeniero asesor de tesis. .... | 226 |
| <b>Figura 140</b> Fotografía donde se verifica el análisis de datos con la compañía y asesoría del ingeniero asesor de tesis.....  | 227 |
| <b>Figura 141</b> Fotografía donde se verifica la verificación por parte del ingeniero asesor ante la prueba de compresión simple.....                                       | 227 |
| <b>Figura 142</b> Fotografía donde se verifica la máquina para realizar el sondeo eléctrico vertical (SEV). ....   | 228 |
| <b>Figura 143</b> Fotografías donde se verifica el trabajo en campo de los tesisistas. ....  | 228 |





## Índice de Tablas

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 1</b> Causas de Inestabilidad en Taludes. ....  | 35  |
| <b>Tabla 2</b> Factores influyentes en la inestabilidad del talud. ....  | 40  |
| <b>Tabla 3</b> Coeficientes de seguridad a emplear en el análisis de estabilidad de taludes.....                                     | 74  |
| <b>Tabla 4</b> Hoek, E. (2006). Practical Rock Engineering.....  | 81  |
| <b>Tabla 5</b> Zonificación sísmica. ....  | 106 |
| <b>Tabla 6</b> Resultados de la toma de datos con Esclerómetro. ....   | 125 |
| <b>Tabla 7</b> Datos ensayo Sondeo Eléctrico Vertical SEV. ....  | 129 |
| <b>Tabla 8</b> Datos obtenidos del procesamiento en el software Roc Data. ....   | 156 |
| <b>Tabla 9</b> Resultado de la Clasificación del macizo rocoso según el RMR del punto 01.....  | 171 |
| <b>Tabla 10</b> Resultado de la Clasificación del macizo rocoso según el RMR del punto 02.....                                       | 172 |
| <b>Tabla 11</b> Resultado de la Clasificación del macizo rocoso según el RMR del punto 03.....                                       | 173 |
| <b>Tabla 12</b> Resultado de la Clasificación del macizo rocoso según el RMR del punto 04.....                                       | 174 |
| <b>Tabla 13</b> Resultado de la Clasificación del macizo rocoso según el RMR del punto 05.....                                       | 175 |
| <b>Tabla 14</b> Datos de los Resultado del ensayo del Esclerómetro.....  | 176 |
| <b>Tabla 15</b> Valores de la Cohesión y Ángulo de Fricción. ....  | 180 |
| <b>Tabla 16</b> Factor de Seguridad en el talud de estudio. ....   | 180 |
| <b>Tabla 17</b> Resistencia a la Compresión de las 02 muestras.....  | 182 |
| <b>Tabla 18</b> Resistencia a la Compresión de las 02 muestras mejorado con epoxico (Resina de baja viscosidad para inyección). .... | 185 |
| <b>Tabla 19</b> Diferencia de la Resistencia a la Compresión de las 02 muestras. ....  | 186 |
| <b>Tabla 20</b> Estadísticos descriptivos, a partir de los datos obtenidos de la resistencia a la compresión.....                    | 187 |
| <b>Tabla 21</b> Prueba de Mann-Whitney. ....   | 187 |
| <b>Tabla 22</b> Interpretación de la prueba.....   | 188 |



|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 23</b> Resultados del incremento de 43.5% en los 5 puntos de estudio.....   | 191 |
| <b>Tabla 24</b> Datos obtenidos del procesamiento en el software Roc Data con los nuevos valores obtenidos. ....   | 192 |
| <b>Tabla 25</b> Valores de la Cohesión y Ángulo de Fricción. ....  | 193 |
| <b>Tabla 26</b> Factor de Seguridad en el talud de estudio mejorado con el epoxico (Resina de baja viscosidad para inyección).....   | 196 |
| <b>Tabla 27</b> Resultados de la Resistencia a la Compresión Simple.....   | 197 |
| <b>Tabla 28</b> Resultados de la Clasificación Geomecánica RMR.....  | 198 |
| <b>Tabla 29</b> Resultados del ensayo del Esclerómetro.....  | 199 |
| <b>Tabla 30</b> Resultados del procesamiento de Datos en el Software Roc Date de los 5 puntos del talud de estudio. ....   | 204 |
| <b>Tabla 31</b> Resultados del procesamiento de Datos en el Software Roc Date de los 5 puntos mejorado con epoxico (Resina de baja viscosidad para inyección) del talud de estudio. .... | 205 |
| <b>Tabla 32</b> Resultados de la Simulación en el Software SLIDE de los 5 puntos del talud de estudio. ....  | 206 |
| <b>Tabla 33</b> Resultados de la Simulación en el Software SLIDE de los 5 puntos mejorado con epoxico (Resina de baja viscosidad para inyección).....                                    | 207 |



## CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Identificación del Problema

#### 1.1.1 Descripción del Problema

En el Perú existen numerosos Sitios y Zonas Arqueológicas de época inka y preinka, gran parte de estos están situados en la región Cusco, la mayoría de estas han sido declarados por la Dirección Desconcentrada de Cultura-Cusco como Patrimonio Cultural de la Nación, dentro de estas existen varias que están en mal estado y es necesario usar la ingeniería para su recuperación y mantenimiento.

El Sitio Arqueológico Raqaraqayniyoq corresponde a una ocupación del Horizonte Tardío (Inka, inicia en el año 1438 y termina en 1532), se encuentra en la parte izquierda del valle de Cusco, en las faldas del cerro Picol. Está constituido por 26 recintos, la mayoría de estos se encuentran en mal estado, gran parte de estas estructuras han colapsado, ante esta situación el proyecto de investigación busca realizar estudios para analizar la estabilidad de los taludes y plantear una solución que pueda mejorar su conservación.

El talud de estudio se encuentra en el recinto R-41 en el sitio arqueológico, el talud de estudio se encuentra en malas condiciones que se pueden observar a la vista, causada por efectos naturales y actividades humanas. El talud se encuentra en una zona donde el periodo de lluvias es intenso, además se encuentra en una zona sísmica activa.

En el talud de estudio se encuentra el Recinto R-41, que actualmente se encuentra en peligro debido a que el talud podría deslizarse, por lo que en la presente investigación se busca mejorar el factor de seguridad del talud para conservar dicho recinto, mediante ensayos y métodos no intrusivos.

Los ensayos destructivos o intrusivos no se pueden realizar porque el talud se encuentra en un sitio arqueológico y la normatividad del Ministerio de Cultura, no se puede



dar un tratamiento óptimo debido a la poca posibilidad de obtener valores geotécnicos como se hace convencionalmente.

### **Figura 1**

*Talud de estudio, se muestra el recinto al borde del talud.*



*Nota.* El gráfico representa el talud objeto de nuestro estudio, cuyo recinto ubicado en la parte superior del talud representa un peligro, elaboración propia.

### **Ubicación de la zona de estudio**

El Sitio Arqueológico de Raqaraqayniyoq se encuentra en la jurisdicción de la comunidad campesina de Pícol que pertenece políticamente al distrito de San Jerónimo, Provincia y Departamento del Cusco, se halla seccionada por quebradas relativamente profundas. Geológicamente está conformado por sedimentación aluvial que precisa cursos antiguos del río Waqoto y de otros riachuelos que descienden de la parte norte del valle del Cusco, formando estratos de arenas, gravas y cantos rodados.

### LIMITES:

#### Sus límites son:

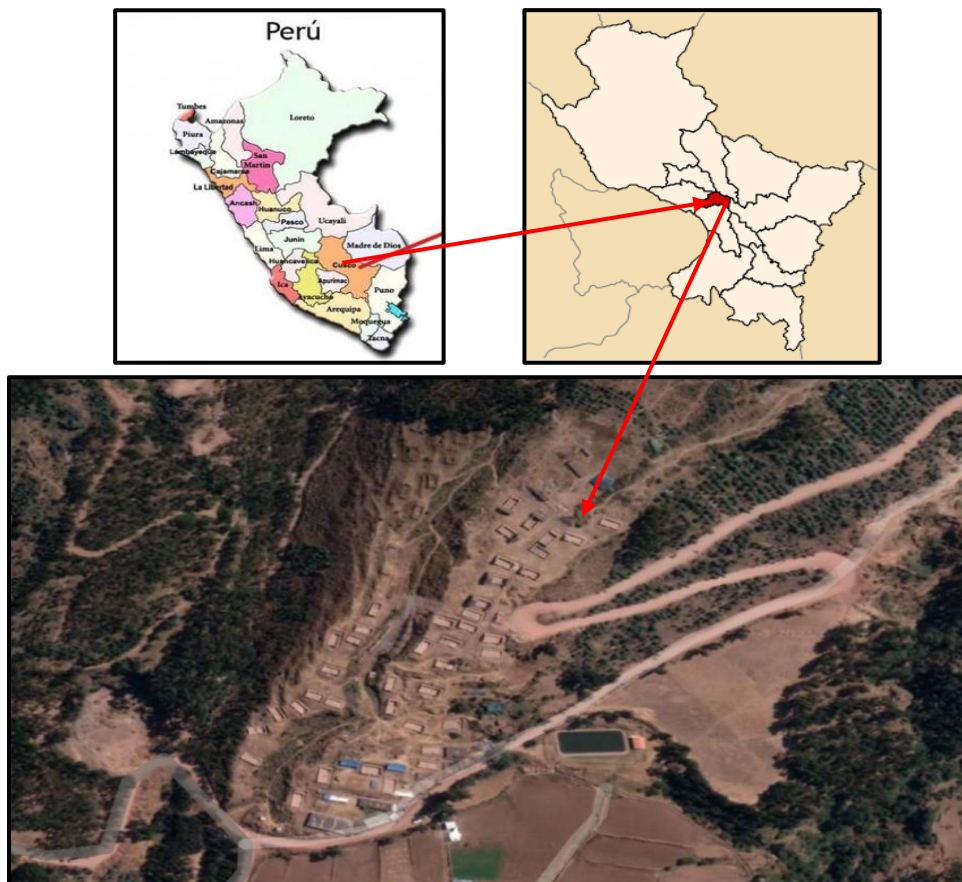
- Por el Norte: ChimaraqayCheqollo
- Por el Sur: Cerro Picol
- Por el Este: Poblado de San Jerónimo
- Por el Oeste: Comunidad Campesina de Waqoto

Las coordenadas UTM son: -13.53011958605352, -71.87835976202771

El sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq se halla comprendido en un área de 600 m<sup>2</sup> aproximadamente.

### Figura 2

*Ubicación Sitio Arqueológico Raqaraqayniyoq.*



*Nota.* El gráfico representa una vista en general del lugar de estudio de la tesis, elaboración propia (imagen satelital tomada de Google Earth 2021).



## 1.1.2 *Formulación Interrogativa del Problema*

### 1.1.2.1 **Formulación interrogativa del problema general**

¿Cuál será el incremento del factor de seguridad al agregar epóxico en el talud de suelo en litificación con solicitaciones sísmicas del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq?

### 1.1.2.2 **Formulación interrogativa de los problemas específicos**

#### **Problema Especifico N° 01:**

¿Cuáles son las características morfométricas del talud de suelo en litificación del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq?

#### **Problema Especifico N° 02:**

¿Cuáles son las características geofísicas y geomecánicas del talud de estudio del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq?

#### **Problema Especifico N° 03:**

¿Cuál es el factor de seguridad en condición estática en el talud de suelo en litificación del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq?

#### **Problema Especifico N° 04:**

¿Cuál es el efecto de las solicitaciones sísmicas en el factor de seguridad en el talud de suelo en litificación del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq?

#### **Problema Especifico N° 05:**

¿Cuál es el efecto de las solicitaciones sísmicas en el factor de seguridad con epóxico en el talud de suelo en litificación del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq?



## **1.2 Justificación e Importancia de la Investigación**

### **1.2.1 Justificación Técnica**

Esta investigación que se realizará cumplirá con la adecuada ejecución de ensayos para tener los resultados de acuerdo a la norma de igual forma con el levantamiento topográfico, modelamiento en el software SLIDE y el correcto armado del expediente técnico para que podamos culminar con cada uno de los procesos de la tesis de una forma íntegramente correcta.

La obtención de resultados en la investigación permite tener una mejor visión de los parámetros más influyentes en el talud de estudio, al tener estos datos se puede verificar si lo propuesto como solución es la más adecuada.

Al tener los resultados de la investigación estos se pueden consensuar con las entidades pertinentes para ponerlos en práctica y ejecutar un proyecto cuyo fin principal es mitigar los riesgos que en la actualidad incrementan día a día.

### **1.2.2 Justificación social**

En primera instancia con la presente investigación se incrementa a los conocimientos de los estudios de la escuela profesional de ingeniería civil de la universidad andina del cusco.

Esta investigación ayudara a las personas que habitan por la zona, ya que si habría deslizamiento de talud podría ocasionar pérdidas materiales hasta vitales por ello es un factor fundamental la sociedad que vive cerca, también la conservación de Sitio Arqueológico para que este pueda ser visitado por los turistas y con esto mejorar la economía de los pobladores de la zona.

### **1.2.3 Justificación por Viabilidad**

Esta investigación es viable, ya que, al margen de ser una zona arqueológica, podemos cumplir con algunos requerimientos del INC para poder realizar los estudios



correspondientes, también la ubicación no presenta problema alguno, ya que tiene entrada vehicular normal, por ende, económicamente, técnicamente y cumpliendo algunas normas es viable.

#### **1.2.4 Justificación por Relevancia**

Esta investigación es muy relevante ya que es un trabajo que contribuirá a la arqueología y como sabemos el Cusco es una zona arqueológica.

El proyecto se realiza con la finalidad de aportar al conocimiento existente sobre la estabilidad de taludes, como instrumento para la conservación del Sitio Arqueológico Raqaraqayniyoq, cuyos resultados darán una propuesta, para ser utilizado por las autoridades pertinentes, además de dejar un precedente para futuras investigaciones que ayuden en la conservación de Zonas y Sitos Arqueológicos en nuestro país.

### **1.3 Limitaciones de la Investigación**

La limitación que el proyecto de tesis nos da, es la limitación arqueológica, ya que, al ser una zona con recintos arqueológicos, es imposible realizar los estudios de suelos a través de calicatas, SPT, etc. porque estaríamos cometiendo un delito por la zona arqueológica, adema la limitación en el factor económico y la falta de instrumentación en campo.

### **1.4 Objetivos de la Investigación**

#### **1.4.1 Objetivo General**

Determinar el incremento del factor de seguridad al agregar epóxico en el talud de suelo en litificación con solicitaciones sísmicas del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq.

#### **1.4.2 Objetivos Específicos**

##### **Objetivo Especifico N° 01:**

Determinar las características morfométricas del talud de suelo en litificación del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq.





**Objetivo Especifico N° 02:**

Determinar las características geofísicas y geomecánicas del talud de estudio del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq.

**Objetivo Especifico N° 03:**

Determinar el factor de seguridad en condición estática en el talud de suelo en litificación del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq

**Objetivo Especifico N° 04:**

Determinar el efecto de las solicitaciones sísmicas en el factor de seguridad en el talud de suelo en litificación del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq.

**Objetivo Especifico N° 05:**

Determinar el efecto de las solicitaciones sísmicas en el factor de seguridad con epóxico en el talud de suelo en litificación del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq.



## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes de estudio

#### 2.1.1 *Antecedentes a Nivel Nacional*

Título: “ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA TERCERA TERRAZA – ZONA LOS BALUARTES EN EL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE SACSAYHUAMÁN”

Autor: Bach. Diana Carmeli Ttito Ortiz

Fecha y lugar: Cusco 2018

Institución: Universidad Andina del Cusco

Resumen:

Según estudios realizados por Ttito Ortiz (2018) realizo una investigación denominada: en donde el objeto de estudio fue el Parque Arqueológico de Sacsayhuamán es considerado patrimonio cultural de la humanidad por poseer características estructurales y arquitectónicas extraordinarias, por eso es de vital importancia su estudio desde un enfoque ingenieril para asegurar su conservación.

En esta investigación el objetivo es analizar la estabilidad del talud de la zona Los Baluartes, mediante el cálculo de factores de seguridad, obtención de parámetros de resistencia al corte del suelo y la determinación de otros factores influyentes en su estabilidad (fuerzas sísmicas, cargas vivas, peso de los muros reforzados incas, etc.).

La metodología que se utilizara es la descriptiva cuantitativa, además, la tesis presenta los resultados de ensayos geotécnicos, ensayos geofísicos, y el procesamiento de los datos obtenidos, usando el programa Slide V 6.0 para el análisis pseudoestático y estático del talud.

Cabe resaltar que el presente estudio se desarrolló con el aporte de información y el trabajo en campo realizado anteriormente con la Universidad Nacional de Ingeniería en el Parque Arqueológico de Sacsayhuamán durante los años 2015, 2016 y 2017.



Conclusión:

Se logró comprobar parcialmente la hipótesis general que dice: “El talud de la tercera terraza – zona Los Baluartes en el Parque Arqueológico de Sacsayhuamán es inestable”. De acuerdo al capítulo IV Resultados, el factor de seguridad calculado en el escenario más crítico para la tercera terraza en la sección 01, sección 02 y sección 05 es mayor a 1.25 (FS = 4.40, 2.89 y 3.42 respectivamente) por tanto la tercera terraza en las secciones mencionadas es estable.

Mientras que el factor de seguridad de la tercera terraza calculado para las secciones 03 y 04 del talud son menores a 1.25 (FS = 0.99 y 0.93, respectivamente). Según a esta característica se indica que el talud de la tercera terraza en las secciones 03 y 04 es inestable.

### **2.1.2 Antecedentes a Nivel Internacional**

Título: “ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN ROCAS.

SIMULACION Y COMPARACION CON LS-DYNA Y COMPARACION CON SLIDE”

Autor: Abel Antonio Ramos Vásquez

Fecha y lugar: Madrid, julio 2017.

Institución: Universidad Politécnica de Madrid

Resumen:

A partir del análisis estructural de los taludes en una mina a cielo abierto. se ha investigado la estabilidad de estos a través de una potente herramienta de simulación con elementos finitos. como es el LS-DYNA.

Para ello se modelizaron los taludes, intentando siempre una representación lo más acertada a la realidad, haciendo pruebas con diferentes materiales, formulaciones numéricas, y conservando como solución, aquella simulación con el mejor comportamiento teórico.

Palabras clave: Estabilidad de taludes en rocas, LS-DYNA, elementos finitos, Slide, simulación 2D y 3D.



### Objetivos:

El objetivo principal de este proyecto es determinar la estabilidad de los taludes de una mina a cielo abierto utilizando el programa LS-DYNA. Como objetivo secundario, se plantea comparar los resultados obtenidos con un programa comercial utilizado para estos fines.

Con el fin del alcanzar dicho objetivo. se han realizado modelizaciones en 2D y 3D en el programa LS-DYNA, teniendo especial atención en cómo afecta el incremento de presiones la deformación plástica efectiva del talud, además de los esfuerzos cortantes y los desplazamientos.

A partir de la relación entre la resistencia a cortante de los macizos rocosos, obtenida a partir de un análisis estructural, y los resultados de simulación, que representan el estado de esfuerzos de los macizos, se obtuvieron los factores de seguridad. Finalmente, estos se comparan con los resultados obtenidos de una simulación paralela, en el programa Slide de Rocscience. un programa comercial utilizado comúnmente en la industria para con este fin, y con lo cual se pudieron apreciar los beneficios de la utilización del programa LS-DYNA.

## 2.2 Aspectos Teóricos Pertinentes

### Talud

“Se podría entender por pendiente toda superficie inclinada con respecto a la horizontal a la que deban aplicarse estructuras de tierra de manera permanente. No cabe duda de que el talud forma una estructura compleja de analizar porque en su estudio coinciden los problemas de mecánica de suelos y mecánica de rocas, sin olvidar el papel fundamental de la geología aplicada en el desarrollo de cualquier criterio de aceptación. (De Matteis, 2003, pág. 3)



### **Altura**

Concerniente a la distancia vertical entre el pie y la cabeza, claramente definida en una pendiente artificial, pero difícil de cuantificar en la pendiente porque el pie y la cabeza no están claramente marcados en el terreno. (De Matteis, 2003, pág. 3)

### **Pie**

Corresponde al lugar donde la pendiente cambia repentinamente en la parte inferior. (De Matteis, 2003, pág. 3)

### **Cabeza o escarpe**

Se refiere a la ubicación del cambio repentino de pendiente en la parte superior. Altura del agua subterránea: La distancia vertical entre el pie del terraplén o la pendiente y el nivel del agua medido por debajo de la parte superior de la estructura. (De Matteis, 2003, pág. 3)

Pendiente: Esta es una medida de la inclinación de la pendiente. Se puede medir en grados, como porcentaje o relativo a  $m/1$ , donde  $m$  es la distancia horizontal que es una unidad de la distancia vertical. Ejemplo: Pendiente:  $45^\circ$ , 100%, o PH: 1V.

### **Tipos de taludes**

Naturales: Son aquellos conformados en la naturaleza a lo largo de las etapas geológicas.

Artificiales: Requieren modificaciones humanas y se realizan para construir: carreteras, vías férreas. “Los desniveles, los cortes, los terraplenes. Identificados convencionalmente en procedimientos a construir un terraplén de piedra o presa de tierra, el diseño del talud debe ser muy cuidadoso, ya que si la presa falla, la población quedará aguas abajo. (Das, 2003, pág. 6)



### **Procesos en movimiento (Nomenclatura)**

Las etapas geotécnicas activos de taludes y cubiertas inclinadas a menudo corresponden al movimiento hacia abajo y hacia afuera de los materiales que componen el talud, suelo natural o relleno, o una combinación de estos. (Das, 2003, pág. 6)

### **Etapas de los procesos de falla**

Su objetivo identificar y desarrollar el comportamiento de cuerpos celestes en movimiento relativo. Las clasificaciones son en gran parte geomórficas, y solo algunas de ellas proporcionan consideraciones mecánicas o geológicas adecuadas. En la clasificación de los deportes se consideran cuatro fases distintas:

La etapa de deterioro o antes de romperse cuando el suelo está intacto.

- ✓ La etapa de falla se caracteriza por la formación de una superficie dañada o el desplazamiento de un gran volumen de material.
- ✓ La fase post-rotura consiste en movimientos en masa que implican deslizamiento desde el momento de la ruptura hasta el momento exacto en que se detiene por completo.
- ✓ Posible paso de reactivación donde los posibles movimientos pueden ser considerados como nuevos errores e incluir los tres pasos anteriores.

(Suarez Diaz, 1998)

### **Clases de movimientos en el talud**

Deslizamiento: En los deslizamientos de cualquier masa, se desprende de una pendiente pronunciada, a lo largo de una superficie, en la que no hay o es muy pequeño el desplazamiento por deslizamiento y principalmente caídas, en el aire, caída libre, salto o rodadura. (Suarez Diaz, 1998)



## **Vuelcos**

Se define como la rotación positiva de una o más unidades terrestres cuyo centro de rotación se encuentra por debajo del centro de gravedad de la unidad, comúnmente encontrada en formaciones rocosas.

Son fuerzas provocadas por el agua, la expansión y el movimiento sísmico en partes adyacentes, fallas o juntas. Los techos inclinados pueden cubrir áreas muy pequeñas o tener un volumen de varios millones de metros cúbicos. (Suarez Diaz, 1998)

Reptación: Típicamente, el desplazamiento es de unos pocos centímetros por año y afecta grandes áreas de tierra (Figura 8). Se atribuyen al cambio climático relacionado con la humectación y desecación de los suelos, generalmente muy blandos o alterados. Los senderos para escalar pueden anunciar movimientos más rápidos, como corrientes de agua o deslizamientos de tierra. (Suarez Diaz, 1998)

## **Deslizamientos**

Estos deslizamientos que ocurren cuando se excede la resistencia al corte del material y ocurren a lo largo de una o más superficies o sobre una banda relativamente estrecha del material. La superficie deslizante suele ser visible o puede inferirse razonablemente. El movimiento puede ser gradual, es decir, no se inicia simultáneamente a lo largo de lo que sería la superficie de falla. (Suarez Diaz, 1998)

### **2.2.1 Definición de los suelos**

Desde el punto de vista de la ingeniería geológica el suelo se define como agregados de minerales unidos por fuerzas débiles de contacto, separables por medios mecánicos de poca energía o por agitación en aguas. González de Vallejo (2004) y la otra definición de suelo es, agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto con el líquido y gas que ocupan los espacios vacíos entre las





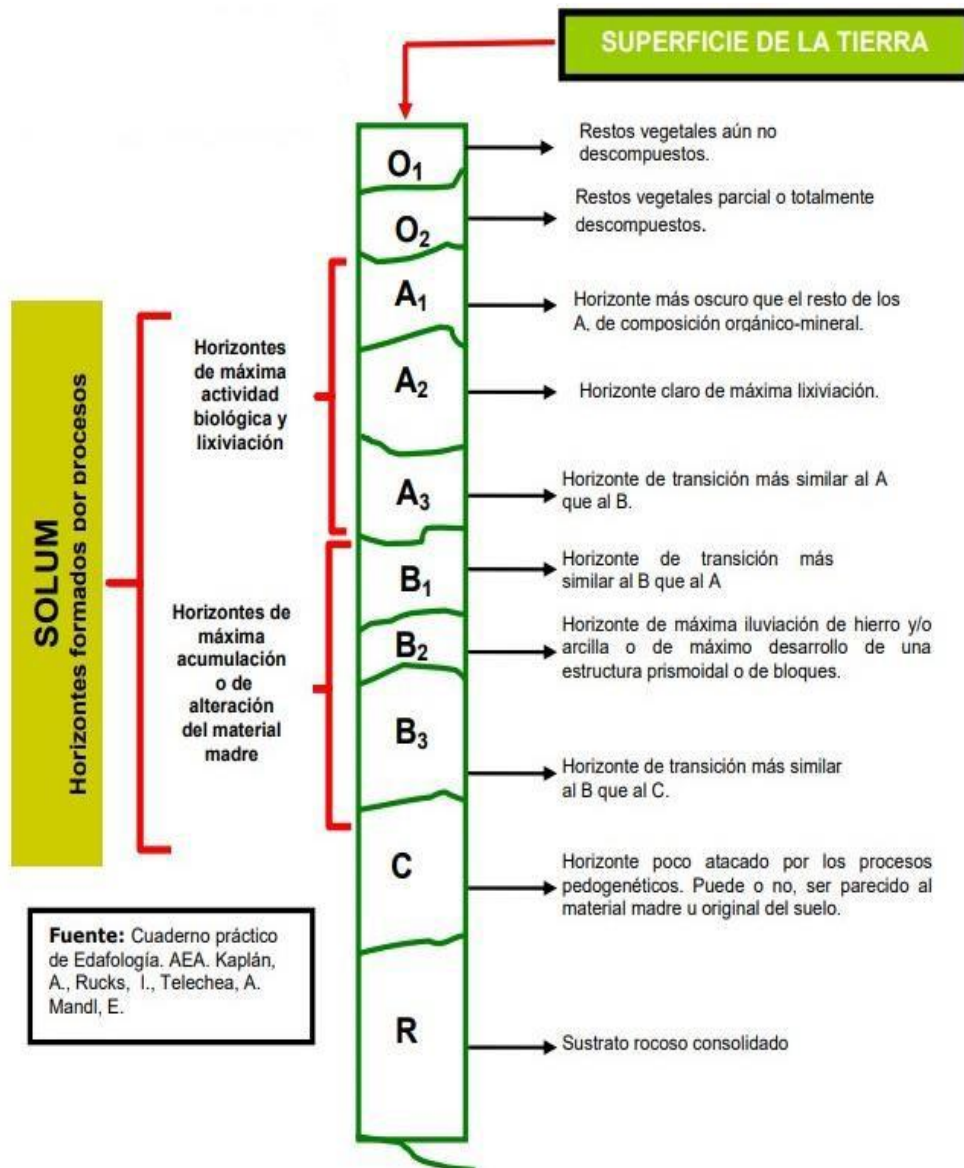


sin embargo presenta materia orgánica unificada asociada íntimamente a la fracción mineral propio de un horizonte A. En algunos casos se pueden indicar horizontes de transición aun cuando uno de los horizontes principales al cual es aparentemente transicional no se encuentre presente. (Baridón, 2019, p. 9)

- b) Horizontes mezclados: Como su nombre lo indica aparecen sectores con propiedades reconocibles de dos horizontes principales. Se indican mediante las letras mayúsculas de los horizontes principales separadas por una barra inclinada. Se coloca en primer lugar el símbolo del horizonte principal que ocupa mayor volumen. Las combinaciones utilizadas son: A/B; B/A; E/B; B/E; B/C. (Baridón, 2019, p. 9)

Figura 4

Horizontes formados por procesos.



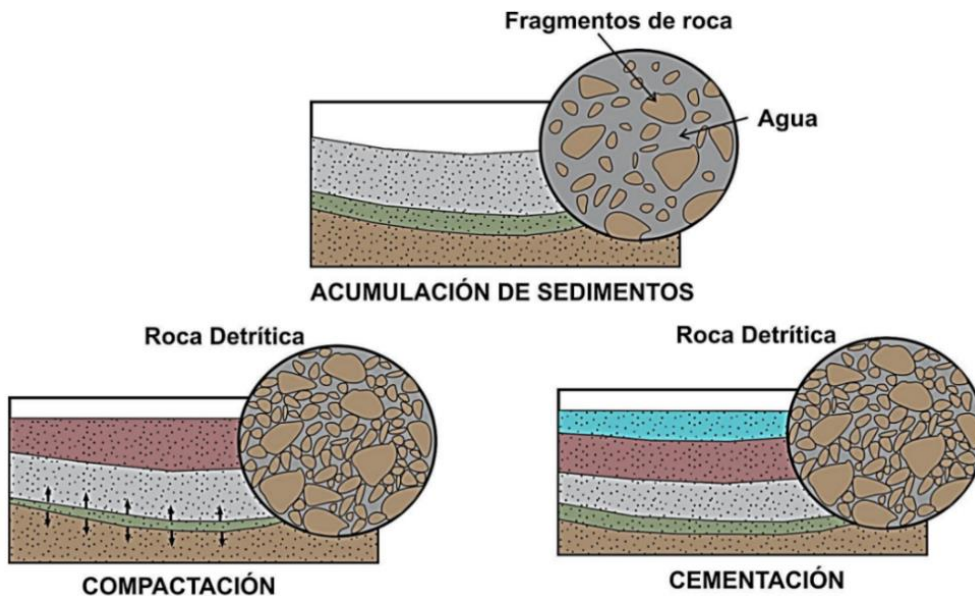
Nota. Baridón, 2019.

### 2.2.3 Litificación

Proceso mediante el cual los sedimentos son consolidados para formar una roca sedimentaria.

## Figura 5

*Proceso de Litificación de suelos.*



*Nota.* El gráfico representa el proceso de litificación de un suelo, tomada de sivea.uson.mx 2021.

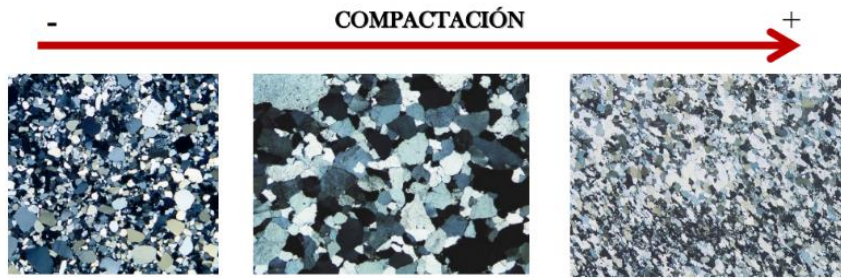
### **Compactación de sedimentos:**

Este proceso consiste en la pérdida de volumen de sedimento y la reducción de la porosidad, producidos por una sobrecarga y/o esfuerzos tectónicos.

La compactación es producida por la presión litostática o de sobrecarga y se representa como: a) el reordenamiento mecánico de los granos hacia un empaque más apretado, b) el recurva miento de granos flexibles como las micas, c) La deformación rígida y la deformación dúctil y plástica de clastos “blandos”. En este último caso muchos litoclastos pueden ser aplastados y deformados, presentándose como pseudomatriz.

### Figura 6

Proceso de compactación de suelos.



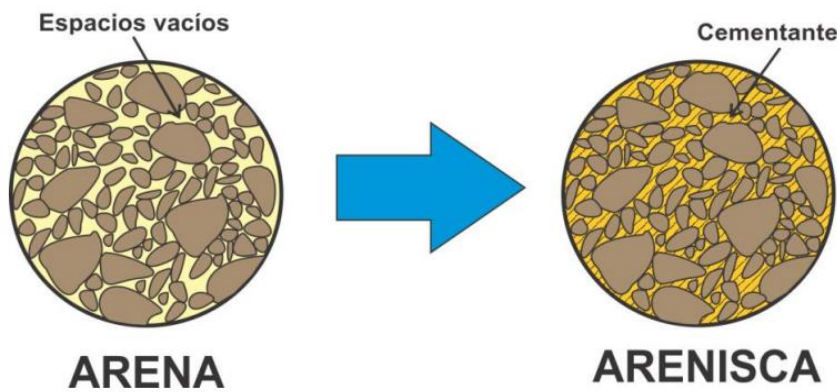
Nota: El gráfico representa el proceso de compactación de un suelo, tomada de [sivea.uson.mx](http://sivea.uson.mx).

Cementación:

El proceso de cementación consiste en la precipitación masiva de sustancias en los poros de los granos para mantenerlos unidos.

### Figura 7

Proceso de cementación.



#### Cementantes

- Óxidos de Hierro
- Carbonatos
- Arcillas
- Sílica

Nota. El gráfico representa el proceso de cementación de un suelo, tomada de [sivea.uson.mx](http://sivea.uson.mx).

#### 2.2.4 Límites de Atterberg

A principios de 1900, un científico sueco, Albert Mauritz Atterberg, desarrolló un método para describir la consistencia de los suelos de grano fino con contenidos de aguas



variables. Dependiendo del contenido de agua, la naturaleza del comportamiento del suelo se clasifica arbitrariamente en cuatro estados básicos, denominados sólido, semisólido, plástico y líquido” (Braja, 2008), por tal, las fronteras entre estos estados se denominan límites de Atterberg o también llamados límites de consistencia. Así, un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico y líquido o viscoso. La arcilla, por ejemplo, si está seca se encuentra muy suelta o en terrones, añadiendo agua adquiere una consistencia similar a una pasta, y añadiendo más agua adquiere una consistencia fluida. El contenido de agua con que se produce el cambio entre estados varía de un suelo a otro y en mecánica de suelos interesa fundamentalmente conocer el rango de humedades para el cual el suelo presenta un comportamiento plástico, es decir, aceptan deformaciones sin romperse (plasticidad). Se trata de la propiedad que presentan los suelos hasta cierto límite.

Los límites de Atterberg pertenecen, junto al análisis granulométrico, al tipo de ensayos de identificación. Pero, si el análisis granulométrico nos permite conocer la magnitud cuantitativa de la fracción fina, los límites de Atterberg nos indican su calidad, completando así el conocimiento del suelo. (Braja, 2008)

Límites de Atterberg. Contenidos de agua de un suelo fino que indican los límites entre los estados de consistencia mecánica en que se puede encontrar el suelo.

Índice de liquidez IL. Parámetro que indica el estado de consistencia de un suelo fino (limo, arcilla) por medio de la relación entre la humedad natural ( $w_n$ ) y los límites líquido (LL o  $w_L$ ) y plástico (LP o  $w_P$ ), de manera que  $IL = (w_n - LP) / (LL - LP)$ .

Índice de plasticidad IP. Parámetro que indica el rango de humedad para el cual un suelo se comporta como un material plástico, es decir que se puede deformar sin cambiar de volumen ( $IP = LL - LP$ ).

Límite líquido LL Contenido de agua por encima del cual un suelo se comporta como un líquido.



Límite plástico LP. Contenido de agua por encima del cual un suelo tiene un comportamiento plástico.

Límite de contracción LC. Contenido de agua por debajo del cual un suelo no cambia de volumen al perder más agua. (Varnes, 1978).

### **2.2.5 Deslizamientos**

Un deslizamiento es el movimiento de una porción de terreno de materiales inconsolidados de roca y suelo de una ladera, a través de una superficie de falla, con la preservación general de la estructura interna original donde se puede diferenciar dos tipos de deslizamientos rotacionales y traslacionales en donde en la primera la superficie de falla es cóncava, a modo de cuchara, y la segunda presenta una superficie de falla plana, Varnes (1978), sin embargo, las superficies de rotura de movimientos en masa son generalmente más complejas que las de los dos tipos anteriores, pues pueden consistir de varios segmentos planares y curvos, caso en el cual se hablara de deslizamientos compuestos según Hutchinson, (1988).

Las causas de los deslizamientos son atribuidas a las propiedades físicas-mecánicas de los materiales y la influencia de los factores desencadenantes como los pluviales, donde estos tipos de eventos han sido clasificados según el tipo material y la geometría del desplazamiento, como rotacionales (suelo-suelo) y traslacionales (roca-suelo). Los substratos rocosos donde se producen los movimientos no son estudiados ni descritos en las clasificaciones de deslizamientos como los de Varnes y Cruden (1978), Suárez (2009) etc. y es por ello que se les ha atribuye escasa importancia como generador de este tipo de eventos por estar asociados con su alta cohesión, a diferencia de los suelos superpuestos a estos substratos que son los que se desplazan pendiente abajo.



### 2.2.6 *Causas de los deslizamientos*

Causas naturales:

- Por actividad sísmica.
- Por composición del suelo y subsuelo.
- Por la orientación de las fracturas o grietas en la tierra.
- Por la cantidad de lluvia en el área
- Erosión del suelo.

Causas humanas:

- Deforestación de laderas y barrancos.
- Banqueros (cortes para abrir canteras, construcción de carreteras, edificios o casas)
- Construcción de edificaciones con materiales pesados sobre terrenos débiles.
- Falta de canalización de aguas negras y de lluvia (drenajes).
- Algo que llama la atención y a la reflexión es que estas causas humanas representan el 70% del origen de los deslizamientos. Hutchinson, (1988).

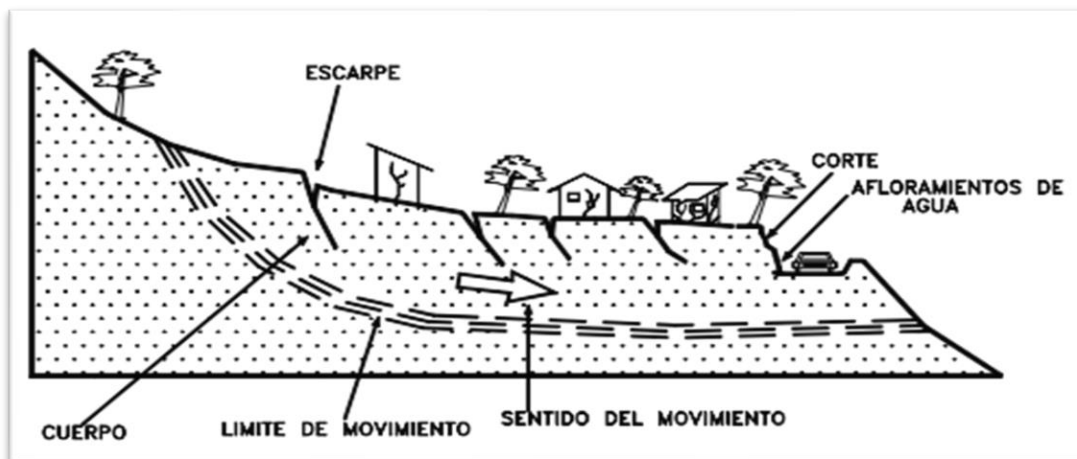
### 2.2.7 *Tipos de deslizamientos*

Según la geometría de la superficie de ruptura se describe 2 tipos de deslizamientos, traslacionales y rotacionales. Los del tipo traslacional la masa se desplaza a lo largo de una superficie de falla plana, suelen ser más superficiales que los del tipo rotacional (cóncavo) y el desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o plano contacto entre la roca y el suelo residual. Los deslizamientos rotacionales se caracterizan porque la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava, la cabeza del movimiento puede moverse hacia abajo dentro de un escarpe casi vertical, mientras que la superficie superior puede inclinarse hacia atrás en dirección al escarpe.

Según la profundidad pueden ser deslizamientos superficiales o profundos. Nos referimos a deslizamientos superficiales, también llamados “soil slip” (Cruden & Varnes, 1996), cuando el material desplazado normalmente se mueve sobre una zona estrecha de cizallamiento a una zona de roca fresca o ligeramente meteorizada, una superficie estructural en correspondencia a una unión permeable/impermeable, la superficie de falla generalmente se desarrolla en el contacto entre el saprolito y el substrato rocoso y es aproximadamente paralelo a la superficie del suelo. La superficie de ruptura se encuentra por debajo de 1 m de profundidad (Mouri et al, 2010), y son usualmente desencadenados por lluvias cortas de intensa duración o en algunos casos por lluvia prolongadas, pero menos intensas (Montrasio et al, 2011). Por tanto, los deslizamientos profundos son aquellos en el cual la superficie de ruptura es mayor a 1 m de profundidad.

### Figura 8

*Deslizamiento.*



*Nota.* El gráfico representa el proceso de deslizamiento de un suelo, tomada de Corominas y García Yagüe, 1997.

### **Deslizamientos rotacionales (rotational slides, slumps)**

La rotura se produce a lo largo de una superficie curvilínea y cóncava. El terreno experimenta un giro según un eje situado por encima del centro de gravedad de la masa deslizada. El material de cabecera efectúa una inclinación contra ladera,



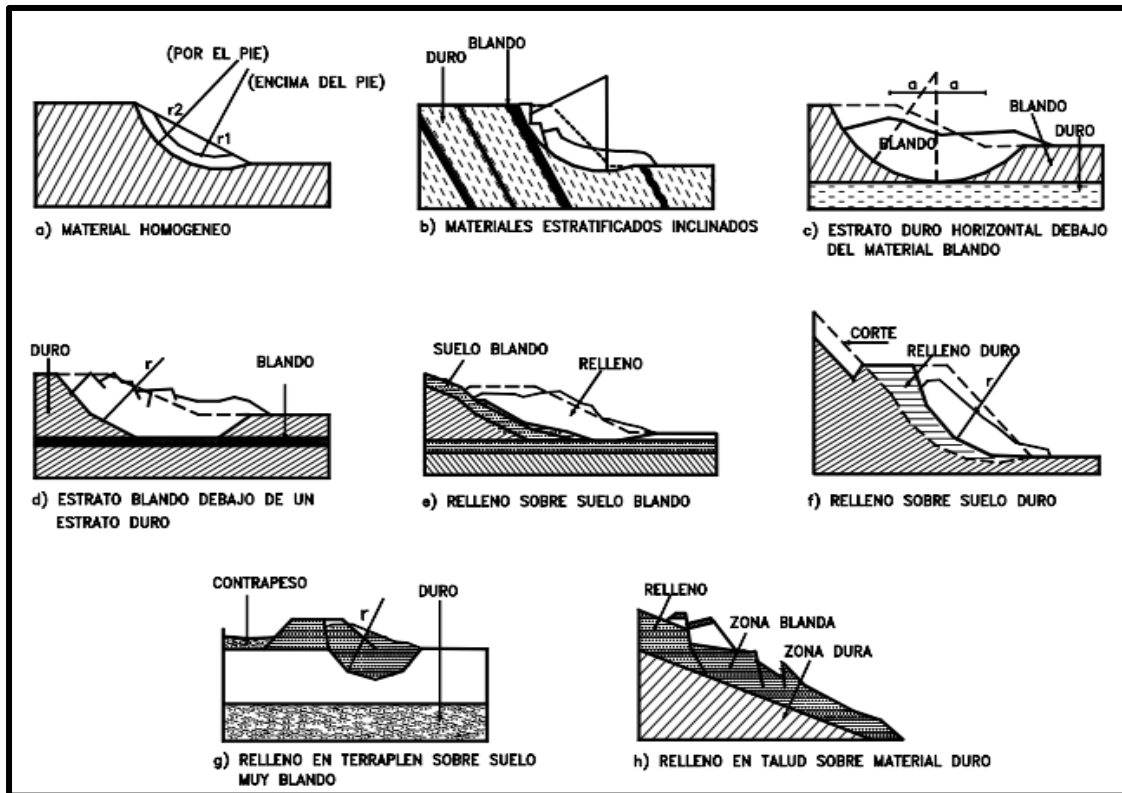


generando depresiones donde se acumula el agua e induce nuevas reactivaciones. Este tipo de mecanismo es característico de suelos cohesivos homogéneos y de macizos rocosos intensamente fracturados. En materiales arcillosos, especialmente si hay presencia de agua, el pie puede evolucionar hacia un deslizamiento de tierras o colada de tierras.

Los deslizamientos rotacionales, una vez producidos, son susceptibles de activación. El movimiento tiende a estabilizarse por disminución del momento de giro y aumento del momento estabilizador, no obstante, cualquier cambio en las condiciones piezométricas o la remoción del pie pueden dar lugar a una nueva inestabilidad. Un diagnóstico equivocado de la geometría puede llevar a la adopción de medidas de estabilización ineficaces e incluso contraproducentes. (Suárez D, 2009).

Figura 9

Deslizamiento Rotacional.



Nota. El gráfico representa el deslizamiento rotacional junto con sus tipos, tomada de Corominas y García Yagüe, 1997.

### Deslizamientos traslacionales (traslacional slides)

Según DIAZ Esto ocurre a lo largo de la superficie plana u ondulada de la grieta. El volumen deslizado aún puede deslizarse cuesta abajo. Los componentes de la masa desplazada se mueven a la misma velocidad y en líneas paralelas. A medida que se produce el deslizamiento hacia adelante, puede dañarse, especialmente si se aumenta la velocidad. La masa de migajas se convierte entonces en un arroyo.

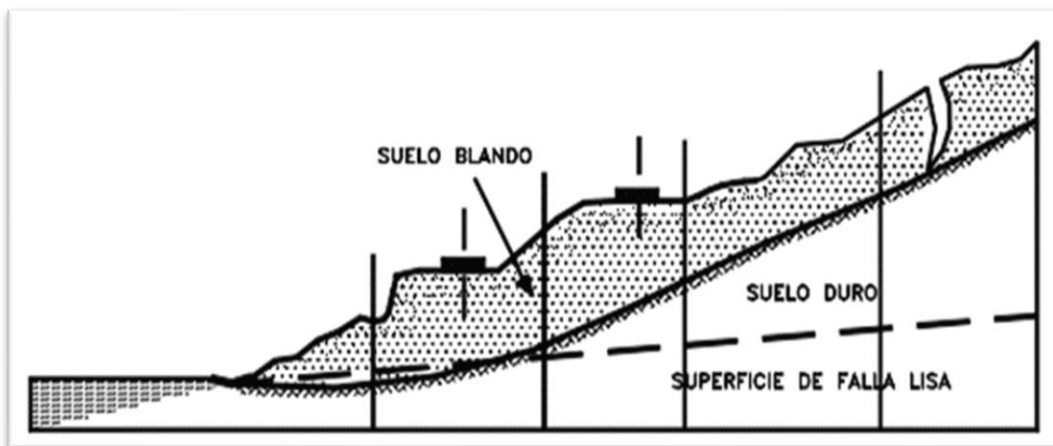
(Suarez Diaz, 1998)

Los deslizamientos continuos de masas de tierra o roca, que apenas colapsan sobre superficies individuales dentro del macizo rocoso, se denominan deslizamientos (García Yagüe, 1966) o deslizamientos planos.

Según García Yague indican que, “Cuando la superficie de falla formada por dos planos hace que la roca contenida se mueva a lo largo de la unión, se crea un deslizamiento en forma de cuña. Las grietas en forma de cuña generalmente no se vuelven grandes, ya que los planos de penetración profunda en la masa rocosa rara vez se cruzan. Un deslizamiento de tierra en el que la masa desplazada es aplastada a medida que se mueve hacia abajo y conduce a una acumulación caótica de bloques en la base de la pendiente se conoce como deslizamiento de tierra.” (García Yagüe, 1966).

### Figura 10

*Deslizamiento de translación en la vía Tijuana - Ensenada en México.*



*Nota.* El gráfico representa el deslizamiento de translación en la vía de Tijuana, tomada de pymecon.com, 2005.

#### 2.2.8 Factores que afectan la estabilidad del terreno

La estabilidad de un talud se debe a la acción de fuerzas naturales o artificiales que tienden a hacer que su material, incluidos los taludes, se desplace cuesta abajo y las fuerzas opuestas intentan impedir este movimiento. El desequilibrio de estas fuerzas que actúan sobre el suelo, debido a la presencia de varios factores, provoca deslizamientos. Coronado (2006)

Según Coronado (2006), estos factores se dividen en dos grupos según su función:

Los factores sensibles (factores reguladores) son factores que provocan inestabilidad de



taludes, pero no inician ni desencadenan deslizamientos. Estos factores corresponden a las características internas y externas de la tierra, tales como topografía, geología, geomorfología, hidrología, clima y vegetación. Desencadenantes (triggers) son aquellos que provocan la dinámica de un derrumbe que, en mayor o menor medida, puede provocar un derrumbe. Entre ellos se encuentran la actividad volcánica, los eventos sísmicos, las precipitaciones y la actividad humana. Domínguez (2003) define los factores reguladores como aquellos relacionados con características geológicas que están relacionadas con la naturaleza y estructura de la tierra misma. Hay una serie de condiciones básicas relacionadas con el terreno, como la pendiente, la elevación y la orientación, que contribuyen a la inestabilidad. Las propiedades litológicas, como la resistencia de los materiales, sus estados tensionales, junto con las propiedades hidrogeológicas del terreno, determinan en gran medida el potencial de inestabilidad.

Habitualmente las inestabilidades de taludes o laderas ocurren por causa de una modificación del estado de esfuerzos en el interior del talud, las cuales corresponden generalmente según Delgado et al. (2006), a los efectos del agua, sismos, las erupciones volcánicas, la erosión por la dinámica fluvial o costera, los procesos de meteorización y/o la acción del hombre.

De manera similar, Domínguez (2003) define los desencadenantes como aquellos que desencadenan un evento ante la acción. Estos incluyen la precipitación y las cargas que cambian el estrés, como las que ocurren durante los terremotos. Durante la elaboración de este trabajo, los factores provocadores fueron la lluvia y el impacto de los sismos en las laderas de las montañas; y, si es favorable, pendiente, geología local y geomorfología.

### **2.2.9 Agua subterránea**

Los reservorios activos de agua subterránea se conocen como acuíferos. Tal reservorio saturado es manejable si puede proporcionar con relativa facilidad una cantidad



sustancial de agua a un costo razonable. Esta propiedad depende del tipo de suelo y del origen de la formación. Se dividen en presurizadas y no presurizadas (más tarde también conocidas como aguas subterráneas). En este sentido, también existen capas acuáticas, que se definen como una unidad geológica que no puede transportar una cantidad significativa de agua en condiciones de presión hidráulica reducida normal. La formación intermedia consiste en agua subterránea, cuya permeabilidad es suficiente para permitir el paso de una cantidad importante de agua con el fin de estudiar los flujos de agua subterránea en el área, pero no lo suficiente para perforar pozos de producción. Luego de perforar un pozo que penetra un acuífero no confinado (freático), el agua aparecerá en el nivel que define la superficie piezométrica donde la presión se iguala a la atmosférica. Estos acuíferos tienen una superficie libre. Esta superficie puede estar conectada directamente a una corriente superficial o a otras aguas. El agua en los acuíferos freáticos proviene de recargas de precipitación pluvial sobre el acuífero, de conexiones con aguas superficiales, y/o de otros acuíferos. (Suárez D, 2009).

Los acuíferos presurizados no tienen superficie libre. Los canales circundantes pueden ser completamente impermeables (contienen agua) o "lluvias" (contienen agua). Cuando perfora un pozo en un acuífero confinado, el agua sube a un cierto nivel llamado cabeza, que es igual a la altura de la parte superior del acuífero por encima del nivel de referencia más la presión en el acuífero. Si esta elevación se eleva sobre el nivel del suelo, tendrás un pozo artesiano del que el agua brota por sí sola. Estos acuíferos son recargados por afloramientos rocosos (el área donde el sistema del suelo sale a la superficie) o por acuíferos. Este tipo de depósito puede estar limitado. Muchos acuíferos cerrados contienen "agua petrificada" de períodos geológicos pasados.

Que la formación rocosa sea un acuífero o un acuífero depende en gran medida de su origen geológico e histórico. La información geológica nos dice mucho sobre importantes propiedades hidráulicas como la permeabilidad y la porosidad. Por regla general, los



acuíferos con muchas rocas no son rentables. Los mejores acuíferos potenciales suelen ser depósitos cohesivos (arenisca).

Estas y otras rocas sedimentarias estrechamente relacionadas son altamente susceptibles a fracturarse y fracturarse. También se pueden formar grietas y fracturas como resultado de la disolución del adhesivo. La capacidad de agua es principalmente proporcional al grado de destrucción. Las rocas sedimentarias como la dolomita y la piedra caliza pueden tener muy poca permeabilidad de los poros internos, pero son susceptibles de disolución y fractura, fisura o vacío. (Suárez D, 2009).

Otras rocas volcánicas o cristalinas tienen poca permeabilidad natural, pero pueden atrapar y permitir que el agua pase a través de sus grietas y fallas. Otra vía de transmisión posible son las uniones entre capas de distinto origen geológico. Las ondulaciones, las fallas y otras Notas de estrés geológico pueden ayudar a reducir o ampliar las fallas en una roca determinada. Los mejores acuíferos suelen ser depósitos sueltos. Estos sedimentos suelen ser de origen fluvial o glacial. Los sedimentos de los ríos se asientan en y alrededor de arroyos existentes o inexistentes. Dado que la capacidad de transporte de agua depende del tamaño de las partículas, las partículas de los ríos generalmente están bien clasificadas y estratificadas. Esto mejora la porosidad y la conductividad hidráulica, lo que convierte a estas formaciones en muy buenos acuíferos. (Suárez D, 2009).

#### **2.2.10 Porosidad y razón de vacío**

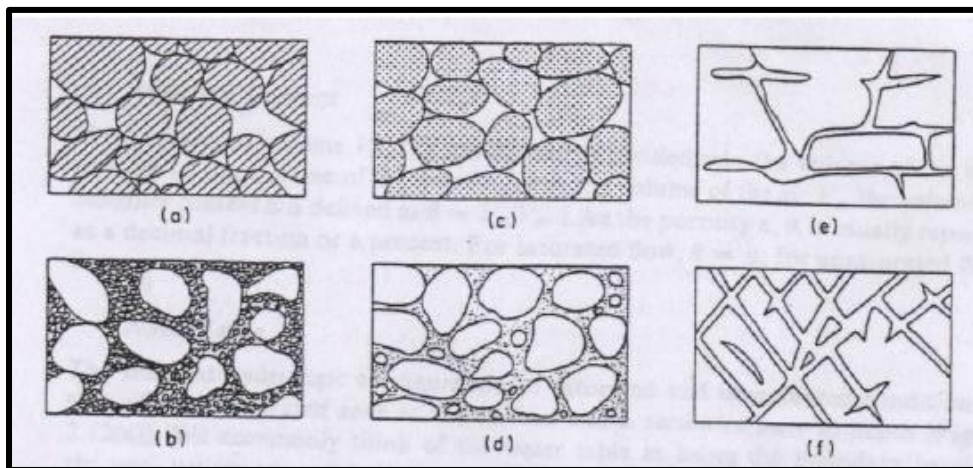
Según Suarez 2009 “Si el volumen total unitario  $V_T$  de un suelo o roca se divide en el volumen de la porción sólida  $V_s$  y el volumen de los espacios vacíos  $V_v$ , la porosidad  $n$  se define como  $n=V_v/V_T$ . La Fig. 2. muestra la relación entre varias texturas de roca y suelo con la porosidad. Es importante distinguir entre porosidad primaria, que se debe a la matriz de la roca o suelo (Fig. 2a, b, c y d), y la porosidad secundaria, que puede deberse a



fenómenos tales como soluciones secundarias o a fracturas locales dependientes de la estructura.” (Suárez D, 2009).

### Figura 11

*Relación entre textura y porosidad. (a)-(d) Depósitos sedimentarios de distinta granulometría y porosidad: (a) uniforme y alta porosidad; (b) no uniforme y baja porosidad; (c) uniforme con piedras porosas y alta porosidad; (d) uniforme con porosidad red.*



*Nota.* El gráfico representa la relación entre textura y porosidad, tomada de ESRI, 2012.

#### 2.2.11 Erosión

Es la eliminación de materia superficial por el viento o el agua. Este proceso ocurre por la presencia de agua en forma de: líquido (lluvia) o corriente (flujo de agua), en contacto con el suelo (primera vez con impacto, segunda vez con arrastre) fuerza de superación resistencia del grano (fricción o cohesión) del suelo, causando erosión. Muchos proyectos de ingeniería requieren la remoción de vegetación y la excavación, lo que crea problemas ambientales en las laderas y arroyos a medida que se forman sedimentos y se mezclan con flujos que alteran los ecosistemas naturales y crean muchos problemas debido a la sedimentación. La erosión del suelo es un proceso normal de desarrollo del paisaje, pero solo en ciertas partes del mundo domina otros procesos de inundación. (Suárez D, 2009).

Otros procesos importantes de eliminación de lodos son el transporte y transporte a granel, cada uno con sus propias condiciones únicas. Gran parte de nuestra comprensión



actual de los mecanismos de erosión y los indicadores relacionados se basa en el trabajo del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos. El enfoque SCS siempre es pragmático y predice las tasas de erosión en función de la evolución y expansión de la Ecuación Universal de Defectos del Suelo (USLE). Las fortalezas y debilidades de EUPS se pueden encontrar en la evaluación de la erosión debida a diferentes condiciones tales como lluvia, pendiente y longitud, así como a factores aluviales y agronómicos. Los principales factores de erosión son: la acción de las gotas de lluvia provocando salpicaduras, compactación del suelo, reducción de la infiltración y aumento de la escorrentía; capacidad hidráulica de escurrimiento a lo largo del talud estratificado para transferencia de sedimentos. La comprensión de este fenómeno, sin embargo, se basa en la separación de la hidrología y la hidráulica, y las propiedades del suelo importantes para ellos: las propiedades hidrológicas del suelo determinan la tasa de infiltración y, en consecuencia, la precipitación. contribuyen a la escorrentía superficial. Las propiedades hidráulicas del suelo determinan la resistencia del suelo a ser levantado por la escorrentía o las gotas de lluvia. La erosión del suelo, la pérdida de suelo y la acumulación de sedimentos son términos con diferentes significados en la tecnología de erosión del suelo: La erosión del suelo es la cantidad total de suelo removido por la acción de distracción de las gotas de lluvia y la escorrentía superficial. La descarga de suelo es el aflojamiento del suelo de una determinada pendiente. El rendimiento de lodos es la masa de suelo depositada en un punto de subestimación. Las propiedades básicas de la mampostería deben entenderse en relación con el producto terminado, es decir, la mampostería. En este contexto, las propiedades se relacionan con la resistencia de la estructura. Jiménez (2002)

### ***2.2.12 Métodos de estabilización de tratamiento de taludes y laderas.***

Su propósito es mejorar la forma de las pendientes y las condiciones de descarga al reducir la infiltración y el potencial de erosión. En esta área de actividad, se ocupa de la





conformación y pendiente de escaleras. El modelado alisa la superficie de la pendiente al reducir o eliminar surcos o barrancos causados por la erosión que reducen la estabilidad de la pendiente. Una terraza o terraza es un terraplén estanco construido de hormigón a lo largo del techo inclinado y separado por montículos verticales cubiertos de vegetación trepadora. La altura de estos taludes varía de 3 a 5 m, en el interior de cada terraplén se construye una zanja colectora encargada de recolectar y drenar el agua de lluvia. Arango (2006)

### Figura 12

*Ejemplo de abancalamientos típico (Comuna 2 – Manizales y Municipio de La Merced).*



*Nota.* El gráfico representa un ejemplo de abancamiento, tomada de [bdigital.unal.edu](http://bdigital.unal.edu), 2011.

### Trinchos

Son estructuras hechas de elementos naturales, construidas sobre taludes inestables y fondos de canales, responsables de retener las masas de suelo y reducir la velocidad del flujo del agua. Los tipos de horquillas más comunes:

- Guadua: constituido por piezas horizontales, que pueden ser de guadua o de troncos, sustentadas a su vez por piezas verticales preforjadas de



diámetro no menor de 80 cm de profundidad y 60 cm de altura, y la distancia entre ellas es 1,0 m. Los elementos horizontales están conectados por alambre galvanizado longitudinal con un diámetro de 3 mm, con soportes de torsión. Arango (2006)

- **Trinchos en esterilla:** Son estructuras bajas encargadas de almacenar temporalmente tierra y material vegetal para eventualmente establecer una cubierta vegetal en el área de cultivo. También se utilizaron para proteger las estructuras de drenaje empinadas y los acantilados de los antiguos deslizamientos de tierra que expusieron un suelo relativamente duro. Arango (2006)

### Figura 13

*Ejemplo trinchos en guadua (Municipio de Chinchiná y Pácora).*



*Nota.* El gráfico representa un ejemplo de trinchos, tomada de [bdigital.unal.edu](http://bdigital.unal.edu), 2011.

### **Barreras vivas**

Son hileras de plantas perennes de crecimiento denso plantadas a lo largo de la pendiente, casi siempre a lo largo del contorno. Su tarea principal es reducir la



velocidad de las aguas superficiales y retener las partículas del suelo, así como consolidar las orillas de los arroyos. Las plantas comúnmente utilizadas para crear setos vivos son el vetiver, la hierba de limón y las glicinias. También se han utilizado con éxito piña, iraca y pinuel. Ninguna de las leguminosas es adecuada como barrera viva. En cualquier caso, las plantas utilizadas para este fin deben plantarse en forma de tablero de ajedrez o triángulo, espaciadas entre sí 15-20 cm. La distancia entre los rieles depende de la pendiente del terreno.

### **El recubrimiento de taludes con costales, biomantos y agrotexiles de fique**

Se utiliza en la revegetalización de suelos duros o rocosos y pendientes pronunciadas asegurando bolsas porosas o fibras naturales biodegradables que cubren y retienen rastrojos, semillas y pelusas. Las semillas seleccionadas deben crecer rápidamente, adaptarse bien al medio y tener suficiente madurez fisiológica para garantizar la apariencia.

### **Construcción de obras de captación, conducción y entrega de aguas de escorrentía**

**Zanjas:** Son estructuras construidas en medio de un talud para recoger agua de lluvia y escorrentía cuesta abajo y/o terrazas cuando forman parte del sistema de entablado, evitando que el talud sea erosionado por el flujo de agua. laderas formando trincheras y barrancos. Por lo general, se construyen con hormigón común.

**Acequias:** Son pequeños canales semicirculares, muy económicos y fáciles de construir, utilizados para recolectar y redirigir las aguas residuales hacia estructuras más pequeñas o canales naturales sostenibles.

**Tubería con pantalla deflectora:** Tubería de sección transversal rectangular con fondo liso, que contiene pantallas deflectoras alternas posicionadas en un ángulo de 45° con respecto al eje del canal y bridas a lo largo de los bordes de ambas paredes de



la tubería, cerrada actúa como un rompeolas e impide el flujo de agua fuera del canal. Una estructura de escape aplicada para la ocasión del conductor a lo largo de las laderas claras (hasta el 50 %), lo que evita la velocidad de exageración y proporciona un hilo con energía dispersa, independientemente de la longitud de la tubería, un canal rápido con tapa: se pliega de un rectangular liso Piezas interrumpidas en la terraza de la pendiente procesada o en cada parte específica, por lo que en el proceso de viajar rápidamente desde una parte de la boquilla y el diseño es de las piezas existentes, que cubre la siguiente cabeza, creando en el MOSA, incluida la energía. La perturbación y la transmisión de la aireación, al ver un camino disperso con la tapa, una gran cantidad de energía, luego continuó llegando rápidamente. Este fenómeno se repite sucesivamente en cada recodo y umbral que conforma toda la estructura hasta que se baja al pie de talud o se fusiona con otra estructura más adecuada para pendientes suaves.

### **Obras de manejo de aguas subsuperficiales y subterráneas**

**Dren en zanja con tubería y material filtrante:** Estas son zanjas llenas de material filtrante con una tubería perforada en la base que ayuda a bloquear y dirigir el flujo de agua subterránea concentrada a una profundidad específica.

**Drenes sub horizontales:** Son pozos de muy baja pendiente, generalmente practicados en los ramales de taludes que forman baterías para drenar las aguas subterráneas y rebajar los niveles freáticos existentes.

#### ***2.2.13 Tipos de fallas en taludes***

En un talud, además de estar en declive la superficie del terreno, está expuesta y esto aumenta las variables para su estudio. En los diferentes tipos de deslizamientos o fallas que generan los agentes físicos, el plano inclinado aporta componentes vertical y horizontal (Chavez, 2006).



**Tabla 1**

*Causas de Inestabilidad en Taludes.*

| <b>Causas de Inestabilidad en Taludes (Sowers,1986).</b>   |  |
|--|--|
| <b>Causas que producen aumento de esfuerzos.</b>           | <b>Causas que producen disminución de resistencia</b>  |
| Cargas externas como edificios, agua o nieve.              | Expansión de las arcillas por absorción del agua.  |
| Aumento del peso de la tierra por aumento de la humedad.   | Presión de agua intersticial (esfuerzo neutro).  |
| Remoción por excavación de parte de la masa de tierra.     | Dstrucción de la estructura, suelta o de panal, del suelo por choque, vibración o actividad sísmica.   |
| Socavaciones producidas por perforaciones de filtraciones. | Fisuras capilares producidas por las alternativas de expansión y contracción o por grietas de tensión. |
| Choques producidos por terremotos o voladuras.             | Deformación y falla progresiva en suelos sensibles.  |
| Grietas de tensión.  | Deshielo de suelos congelados o de lentes de agua congelada entre el suelo.                            |
| Presión de agua en las grietas.                            | Deterioro del material cementante.<br>Pérdida de la tensión capilar por secado.                        |

*Nota.* Esta tabla muestra cuales son las causas de inestabilidad en taludes.

- **Falla por deslizamiento superficial:** cualquier talud está sujeto a fuerzas naturales que hacen que las partículas se deslicen en porciones más grandes de terreno; el fenómeno es más intenso cerca de la superficie inclinada del talud a causa de falta de presión normal confinante, como de este proceso, la zona puede quedar sujeta a flujos viscosos que se generan con lentitud (figura 12).

**Figura 14**

*Falla por deslizamiento.*



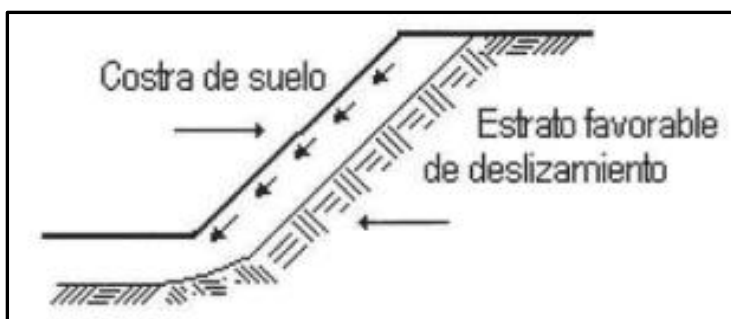
*Nota.* El gráfico representa una falla por deslizamiento, tomada de Chavez, 2006.

- **Falla por deslizamiento en laderas naturales sobre superficies de falla**

**preexistentes:** en muchas laderas naturales existe una costra importante de materiales que se encuentra en movimiento hacia abajo por un proceso de deformación bajo esfuerzo cortante en partes más profundas y que llega en muchas ocasiones a producir una verdadera superficie de falla. En general estos movimientos están asociados a ciertas estratigrafías favorables a ellos, al mismo tiempo que a flujos estacionales de agua en el interior del cuerpo del talud (fig. 13).

**Figura 15**

*Falla preexistente.*



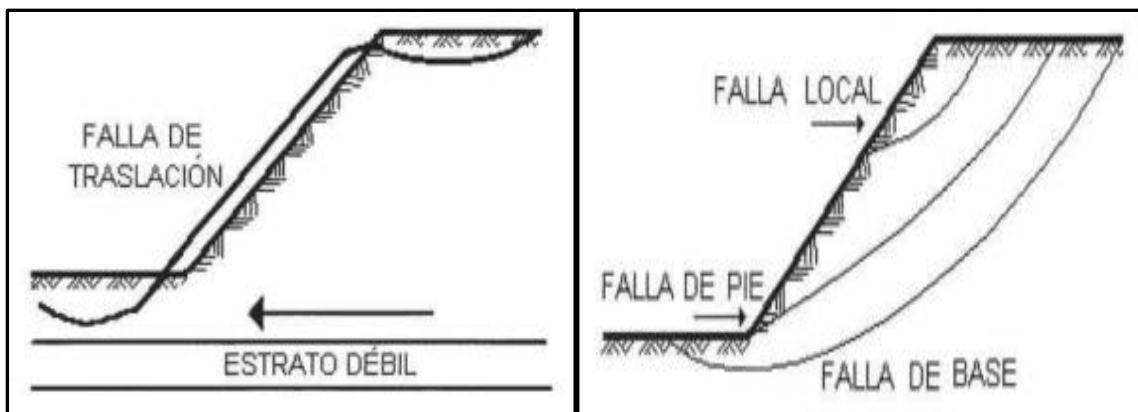
*Nota.* El gráfico representa una falla preexistente, tomada de Chavez, 2006.

- **Falla por movimiento del cuerpo del talud:** pueden ocurrir en los taludes movimientos bruscos que afectan a masas considerables de suelos, con superficies de falla que penetran profundamente en su cuerpo. Este fenómeno, que recibe comúnmente el nombre de deslizamiento de tierras, puede suceder de dos maneras. En

un primer caso, se define una superficie de falla curva o una superficie de deslizamiento, a lo largo de la cual ocurre el movimiento del talud. Son superficies que forman una traza con el plano del papel que puede simular una circunferencia. Estas son las fallas por rotación. En segundo lugar, se tienen las fallas que ocurren a lo largo de superficies débiles, asimilables a un plano en el cuerpo del talud o en su terreno de cimentación. Estos planos débiles suelen ser horizontales o muy pocos inclinados respecto a la horizontal. Son fallas por traslación (figura 14).

**Figura 16**

*Falla de rotación y traslación.*



*Nota.* El gráfico representa una falla de rotación y traslación, tomada de Chavez, 2006.

- **Falla de flujos:** consiste en movimientos moderadamente rápidos de zonas localizadas de una ladera natural, de manera que el movimiento en sí y la distribución aparente de velocidades y los desplazamientos semejan el fluir de un líquido viscoso. No existe una zona definida de falla o ésta se desarrolla en un lapso muy breve al inicio del fenómeno.
- **Fallas por erosión:** son de tipo superficial provocadas por arrastres de viento, agua o algún otro agente erosivo actuando en los taludes. El fenómeno es más notorio a medida que aumenta la pendiente en las laderas de los taludes (Chávez, 2006).



- **Fallas por licuación:** ocurren en la zona de deslizamiento, cuando el suelo pasa rápidamente de una condición firme a la correspondiente a una suspensión, con pérdida casi total de resistencia al esfuerzo cortante.

#### ***2.2.14 Métodos de Análisis de Estabilidad de Taludes***

La estabilidad de taludes ha sido un tema tratado en trabajos de excavaciones profundas y movimiento de tierras, tanto para vías terrestres como para presas. El análisis ha sido planteado de distintas maneras; una tendencia basta la fecha utilizada es la que involucra la teoría de Coulomb y considera la falla de manera plana, pero fue hasta la aparición de los trabajos de Alexandre Collin (1808-1890) que se tuvo una interpretación real del fenómeno, en que la falla en arcillas sigue una trayectoria circular.

A principios del siglo XX, en Suecia, el trabajo de Collin fue retomado por K.E. Pettersson en la solución de los problemas de deslizamiento de tierra en cortes abiertos para vías férreas, trabajos que prosiguieron y dieron origen al llamado método sueco, que tomaría relevancia mundial debido a las publicaciones de Wolmar Fellenius (Chavez, 2006).”

#### ***2.2.15 Factores que determinan la estabilidad de los taludes.***

La estabilidad de un talud está determinada por factores geométricos (altura e inclinación), factores geológicos (que condicionan la presencia de planos y zonas de debilidad y anisotropía en el talud), factores hidrogeológicos (presencia de agua) y factores geotécnicos o relacionados con el comportamiento mecánico del terreno (resistencia y deformabilidad) (Gonzáles de Vallejo, 2004).

La combinación de los factores citados puede determinar la condición de rotura a lo largo de una o varias superficies, y que sea cinemáticamente posible el movimiento de un cierto volumen de masa de suelo o roca. La posibilidad de rotura y los mecanismos y modelos de inestabilidad de los taludes están controlados principalmente por factores geológicos y geométricos (Gonzáles de Vallejo, 2004).





Los factores geológicos, hidrogeológicos y geotécnicos se consideran factores condicionantes, y son intrínsecos a los materiales naturales (Tabla 01). En los suelos, la litología, estratigrafía y las condiciones hidrogeológicas determinan las propiedades resistentes y el comportamiento del talud. En el caso de macizos rocosos competentes el principal factor condicionante es la estructura geológica: la disposición y frecuencia de las superficies de discontinuidad y el grado de fracturación; en materiales blandos, como los lutíticos o pizarrosos, la litología y el grado de alteración juegan también un papel predominante.

Junto a los factores condicionantes de la estabilidad de los taludes (también denominados «pasivos»), los factores desencadenantes o «activos» provocan la rotura una vez que se cumplen una serie de condiciones. Estos últimos son factores externos que actúan sobre los suelos o macizos rocosos, modificando sus características y propiedades y las condiciones de equilibrio del talud (Tabla 1). El conocimiento de todos ellos permitirá un correcto análisis del talud, la evaluación del estado de estabilidad del mismo y, en su caso, el diseño de las medidas que deberán ser adoptadas para evitar o estabilizar los movimientos (González de Vallejo, 2004).



**Tabla 2**

*Factores influyentes en la inestabilidad del talud.*

| <b>Factores condicionantes (resistentes)</b>                                     | <b>Factores desencadenantes (actuales)</b>    |
|--|---|
| – Estratigrafía y litología.   |   |
| – Estructura geológica.  | – Sobrecargas estáticas.                      |
| – Condiciones hidrogeológicas y comportamiento hidrogeológico de los materiales. | – Cargas dinámicas.                           |
| – Propiedades físicas, resistentes y deformaciones.                              | – Cambios en las condiciones hidrogeológicas. |
| – Tensiones naturales y estado tenso – deformaciones.                            | – Factores climáticos.                        |
|  | – Variaciones en la geometría.                |
|  | – Reducción de parámetros resistentes.        |

*Nota.* Esta tabla muestra los factores que influyen en la inestabilidad de un talud, tomada de González de Vallejo (2004).

### **2.2.15.1 Estratigrafía y litología**

La naturaleza del material que forma un talud está íntimamente relacionada con el tipo de inestabilidad que éste puede sufrir, presentando las diferentes litologías distinto grado de susceptibilidad potencial ante la ocurrencia de deslizamientos o roturas. Las propiedades físicas y resistentes de cada tipo de material, junto con la presencia de agua, gobiernan su comportamiento tenso - deformación y, por tanto, su estabilidad.

Aspectos como la alternancia de materiales de diferente litología, competencia y grado de alteración, o la presencia de capas de material blando o de estratos duros, controlan los tipos y la disposición de las superficies de rotura. En los suelos, que generalmente se pueden considerar homogéneos en comparación con los materiales rocosos, las diferencias en el grado de compactación, cementación o granulometría predisponen zonas de debilidad y de circulación de agua, que pueden generar inestabilidades. En los macizos rocosos, la existencia de capas o estratos de diferente



competencia implica también un diferente grado de fracturación en los materiales, lo que complica la caracterización y el análisis del comportamiento del talud (González de Vallejo, 2004).

### **2.2.15.2 Estructura geológica y discontinuidades**

La estructura geológica juega un papel definitivo en las condiciones de estabilidad de los taludes en macizos rocosos. La combinación de los elementos estructurales con los parámetros geométricos del talud, altura e inclinación, y su orientación, define los problemas de estabilidad que se pueden presentar (González de Vallejo, 2004).

### **2.2.15.3 Condiciones hidrogeológicas**

La mayor parte de las roturas se producen por los efectos del agua en el terreno, como la generación de presiones intersticiales, o los arrastres y erosión, superficial o interna, de los materiales que forman el talud. En general, puede decirse que el agua es el mayor enemigo de la estabilidad de los taludes (además de las acciones antrópicas, cuando se realizan excavaciones inadecuadas sin criterios geotécnico (González de Vallejo, 2004).

La presencia de agua en un talud reduce su estabilidad al disminuir la resistencia del terreno y aumentar las fuerzas tendentes a la inestabilidad. Sus efectos más importantes son:

- Reducción de la resistencia al corte de los planos de rotura al disminuir la tensión normal efectiva:

$$\tau = c + (\sigma_n - u)\tan\phi = c + \sigma'_n \tan\phi$$

- La presión ejercida sobre grietas de tracción aumenta las fuerzas que tienden al deslizamiento.
- Aumento del peso del material por saturación:



$$\gamma = (\gamma_d + Sn\gamma_w)$$

Donde:

$\gamma_d$  = peso específico aparente seco

S = grado de saturación

n = porosidad

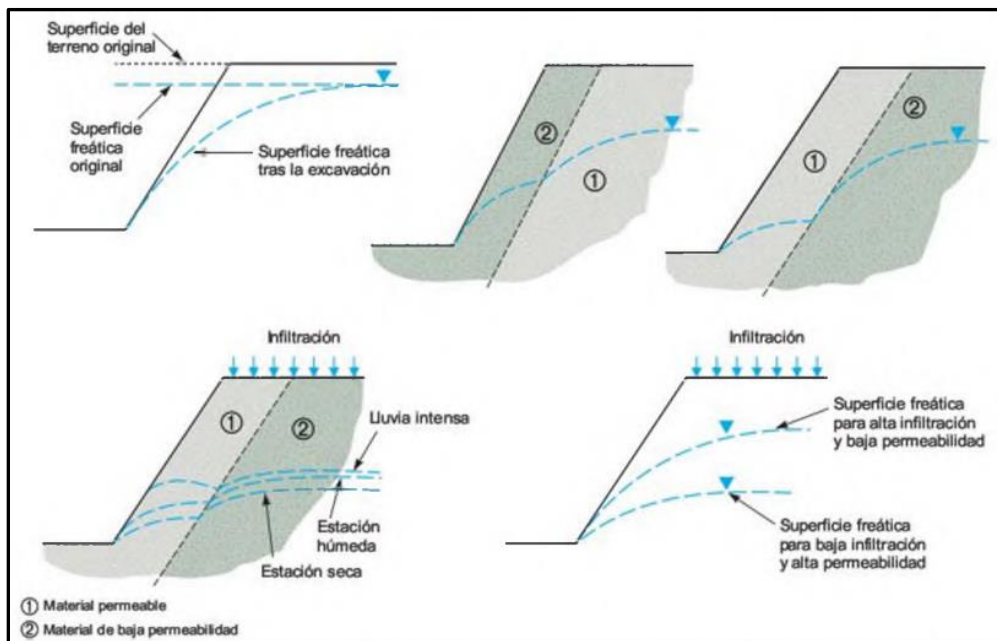
$\gamma_w$  = peso específico del agua

- Erosión interna por flujo subsuperficial o subterráneo.
- Meteorización y cambios en la composición mineralógica de los materiales.
- Apertura de discontinuidades por agua congelada.

La forma de la superficie freática en un talud depende de diferentes factores, entre los que se encuentran la permeabilidad de los materiales, la geometría o forma del talud y las condiciones de contorno. En macizos rocosos, la estructura geológica tiene una gran influencia en la disposición del nivel freático y, por tanto, en la distribución de las presiones intersticiales sobre cualquier superficie potencial de deslizamiento en un talud, así como la alternancia de materiales permeables e impermeables (Figura 15). El nivel freático puede sufrir cambios estacionales o como consecuencia de dilatados periodos lluviosos o de sequía (González de Vallejo, 2004).

**Figura 17**

*Esquemas del nivel freático en un talud según la distribución de los materiales.*



*Nota.* El gráfico representa los esquemas del nivel freático en un talud según la distribución de materiales, tomada de, González de Vallejo (2004).

La influencia del agua en las propiedades de los materiales depende de su comportamiento hidrogeológico. El efecto más importante es la presión ejercida, definida por la altura del nivel piezométrico.

Los aspectos más importantes que deben conocerse para evaluar la magnitud y la distribución de las presiones intersticiales en el talud y los efectos del agua son:

- Comportamiento hidrogeológico de los materiales.
- Presencia de niveles freáticos y piezométricos.
- Flujo de agua en el talud.
- Parámetros hidrogeológicos de interés: coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica, gradiente hidráulico, transmisividad y coeficiente de almacenamiento.



- En casos simples, un método para evaluar de forma aproximada la fuerza total ejercida por el agua sobre una superficie de discontinuidad o en una grieta de tracción, es asumir distribuciones triangulares de presiones hidrostáticas sobre estos planos (González de Vallejo, 2004).

#### **2.2.15.4 Propiedades geomecánicas de los suelos**

La posible rotura de un talud a favor de una determinada superficie depende de la resistencia al corte de la misma. En primera instancia, esta resistencia depende de los parámetros resistentes del material: cohesión y rozamiento interno.

La influencia de la naturaleza de los suelos en sus propiedades mecánicas, implica que la selección de los parámetros resistentes representativos de la resistencia al corte, debe ser realizada teniendo en cuenta la historia geológica del material (González de Vallejo, 2004).

#### **2.2.15.5 Tensiones naturales**

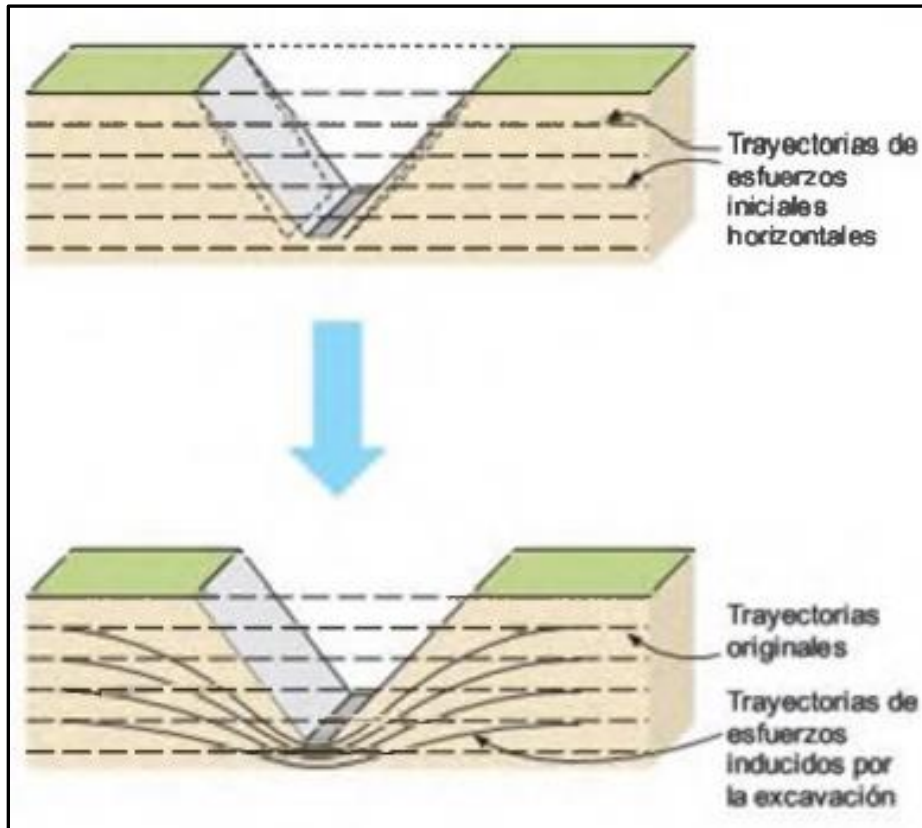
Las tensiones naturales pueden jugar un papel importante en la estabilidad de los taludes rocosos. La liberación de tensiones que puede suponer la excavación de un talud puede originar tal descompresión que el material se transforma y fragmenta por las zonas más débiles y pasa a comportarse como un suelo.

El estado tensional de un talud depende de su configuración geométrica y del estado de tensiones del macizo rocoso previo a la excavación. En la (Figura 16) se presenta un ejemplo de la distribución de los esfuerzos litostáticos después de realizar una excavación. En excavaciones profundas, las elevadas tensiones que se generan en zonas singulares como el pie del talud pueden dar lugar a condiciones de desequilibrio, llegando incluso a producirse deformaciones plásticas. También en la cabecera del talud se generan estados tensionales anisótropos con componentes

traccional que provocan la apertura de grietas verticales (González de Vallejo, 2004).

### Figura 18

*Esquemas del nivel freático en un talud según la distribución de los materiales.*



*Nota.* El gráfico representa esquemas de nivel freático, tomada de González de Vallejo (2004).

#### 2.2.16 Tipos de roturas

##### 2.2.16.1 Taludes en suelos

Los taludes en suelos rompen generalmente a favor de superficies curvas, con forma diversa condicionada por la morfología y estratigrafía del talud.

- Puede ser aproximadamente circular (la más frecuente), con su extremo inferior en el pie del talud, (deslizamiento de pie), cuando éste está formado por terreno homogéneo o por varios estratos de propiedades geotécnicas homogéneas (Figura 17b).



- Puede ser casi circular, pero pasando por debajo del pie del talud (deslizamiento profundo (Figura 17c).

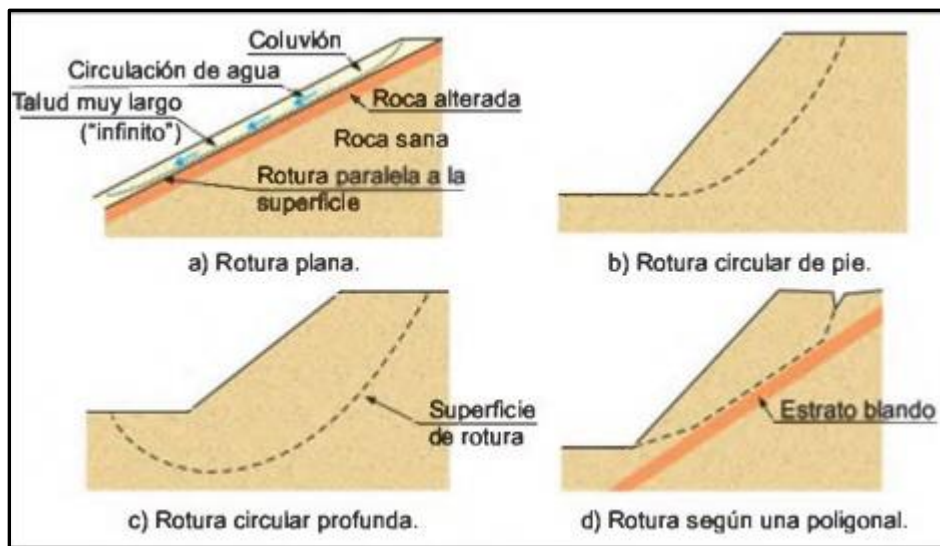
Si se dan determinadas condiciones en el talud, como la existencia de estratos o capas de diferente competencia, puede tener lugar una rotura a favor de una superficie plana o de una superficie poligonal formada por varios tramos planos (Figura 17d).

Las roturas de taludes en suelos a favor de un único plano paralelo al talud son prácticamente inexistentes, aunque este modelo puede ser válido en el caso de laderas naturales con recubrimientos de suelos sobre rocas (Figura 17a) o en el caso de taludes rocosos, donde la presencia de discontinuidades paralelas al talud puede definir superficies de roturas planas, aunque en general éstas no alcanzan la cabecera del talud. El modelo del talud «infinito», (su longitud puede considerarse infinita con respecto al espesor de la masa que rompe) puede adoptarse en muchas laderas naturales donde la superficie de rotura está definida por el contacto, prácticamente paralelo al talud, entre el terreno superficial (coluvial o suelo residual) y la roca subyacente (González de Vallejo, 2004).



**Figura 19**

*Tipos de superficies de rotura en suelos.*



*Nota.* El gráfico representa los tipos de superficies de rotura en suelos, tomada de González de Vallejo (2004).

#### 2.2.16.2 Taludes en rocas

Los diferentes tipos de roturas están condicionados por el grado de fracturación del macizo rocoso y por la orientación y distribución de las discontinuidades con respecto al talud, quedando la estabilidad definida por los parámetros resistentes de las discontinuidades y de la matriz rocosa. En macizos rocosos duros o resistentes, las discontinuidades determinan la situación de los planos de rotura. En macizos formados por rocas blandas poco competentes, la matriz rocosa también juega un papel importante en la generación de estos planos y en el mecanismo de rotura (González de Vallejo, 2004)..

Dentro de este encuadre general, los mecanismos de rotura que se producen de manera más frecuente en el ámbito de las ingenierías civil y minera son la rotura plana, la rotura en cuña, la rotura por vuelco, la rotura circular y la rotura siguiendo discontinuidades paralelas al talud. De acuerdo con las propuestas iniciales de Hoek y Bray (1974) con leves modificaciones, los esquemas tridimensionales de la geometría

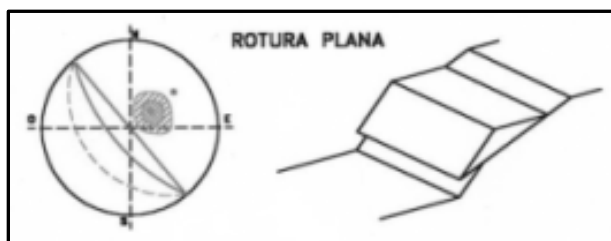
básica de estos tipos de deslizamientos, junto con las condiciones cinemáticas necesarias, pero no suficientes, para que estos mecanismos se puedan producir, y representadas mediante el uso de la proyección estereográfica (Ramírez y Alejano, 2004).

A continuación, se muestran en qué consisten estas roturas:

**La rotura plana:** se produce siguiendo una discontinuidad con dirección aproximadamente igual a la del talud pero que buza menos que éste, quedando descalzado por tanto un prisma de roca. Normalmente requiere superficies laterales de despegue. Se ilustra este mecanismo en la (Figura 18)

### Figura 20

*Rotura plana.*



*Nota.* El gráfico representa una rotura plana, tomada de, Ramírez y Alejano, 2004.

**La rotura en cuña:** se produce siguiendo dos planos de discontinuidad, de manera que el buzamiento de la línea de intersección de ambos planos tenga un buzamiento inferior al ángulo de talud, lo que descalza un tetraedro o cuña de roca que podrá eventualmente deslizar. Se ilustra este mecanismo en la (Figura 19).

### Figura 21

*Rotura en cuña*

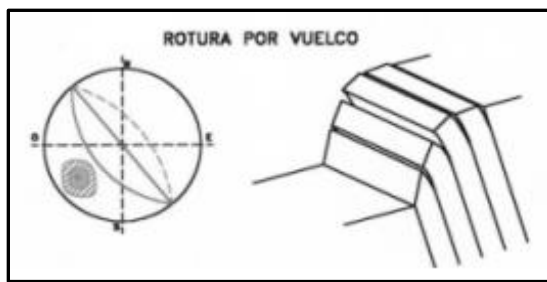


*Nota.* El gráfico representa una rotura en cuña, tomada de, Ramírez y Alejano, 2004.

**La rotura por vuelco:** se produce si se tiene una familia de discontinuidades muy persistentes y relativamente poco espaciadas que tengan un rumbo paralelo al del talud (típicamente estratificación o esquistosidad), pero que bucen contra éste con una inclinación más bien alta. A veces este fenómeno se ve catalizado por la presencia de otra familia de discontinuidades perpendicular a la anterior que permita la formación de una base escalonada sobre la que vuelquen los prismas de roca que se formen. Se ilustra este mecanismo en la (Figura 20)

### Figura 22

*Rotura por vuelco.*

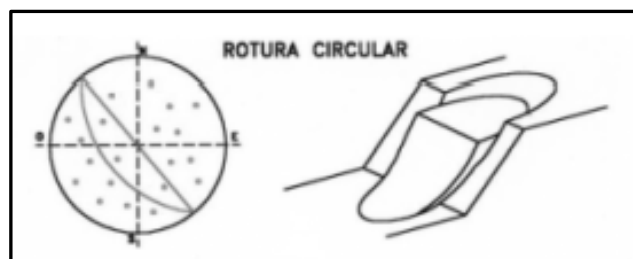


*Nota.* El gráfico representa una rotura por vuelco, tomada de, Ramírez y Alejano, 2004.

**La rotura circular:** suele tener lugar en macizos rocosos de mala calidad o meteorizados o en suelos. En este caso la rotura por deslizamiento se produce siguiendo una trayectoria circular. Se ilustra este mecanismo en la (Figura 21).

### Figura 23

*Rotura circular*

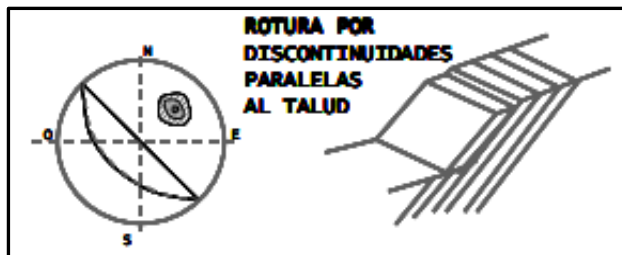


*Nota.* El gráfico representa una rotura circular, tomada de, Ramírez y Alejano, 2004.

**Roturas que siguen discontinuidades paralelas al talud:** incluyen diversos mecanismos (rotura por cortante en la base, roturas con expulsión de bloque, pandeos), que tienen en común el hecho de que la mayor parte de la inestabilidad va asociada al deslizamiento por las discontinuidades antedichas (Figura 13).

**Figura 24**

*Rotura por discontinuidades paralelas al talud.*



*Nota.* El gráfico representa una rotura por discontinuidades paralelas al talud, tomada de, Ramírez y Alejano, 2004.

### 2.2.17 Factor de seguridad

En el análisis de los esfuerzos efectivos se asume que la falla a lo largo de la superficie está determinada por la resistencia al esfuerzo cortante  $\tau = c' + (\sigma - \mu)\tan\theta$ . En el campo de la ingeniería siempre se manejan parámetros que nos garanticen un comportamiento correcto de los materiales, dentro de un cierto parámetro de seguridad, tanto para la estructura como para los usuarios, de allí que se tenga que introducir el término llamado factor de seguridad. Todos los factores de seguridad sólo involucran los posibles problemas que se determinen de manera estadística, pero en suelos esto no es posible debido a las distintas condiciones que presenta cada suelo en específico (Chávez, 2006)

Para suelos no saturados

$$\tau = \frac{c'}{F_c} + \frac{\sigma \tan \phi}{F_\phi} = \frac{f(w)}{F_c} + \frac{\sigma \tan \phi}{F_\phi} \quad (1)$$

Para suelos saturados

$$\tau = \frac{c'}{F_c} + \frac{(\sigma - \mu) \tan \phi}{F_\phi} = \frac{f(w)}{F_c} + \frac{\sigma' \tan \phi}{F_\phi} \quad (2)$$



Por simplicidad se asume un factor promedio ( $F_s$ ), tanto para la cohesión como para la fricción interna del suelo, por lo que las fórmulas quedan como se muestran adelante y es la manera común de representar el factor de seguridad.

Para suelos no saturados 
$$\tau = \frac{c' + \sigma \tan \phi}{F_s} \therefore F_s = \frac{c + \sigma \tan \phi}{\tau} \dots (3)$$

Para suelos saturados 
$$\tau = \frac{c' + (\sigma - \mu) \tan \phi}{F_s} \therefore F_s = \frac{c + \sigma' \tan \phi}{\tau} \dots (4)$$

En la aplicación de la estabilidad de taludes, el factor de seguridad se define como:

Donde:

$$F_s = \frac{\tau_s}{\tau_l} \quad (5)$$

$F_s$  = Factor de seguridad con respecto a la resistencia

$\tau_s$  = Resistencia al esfuerzo cortante del suelo

$\tau_l$  = Esfuerzo cortante promedio requerido para el equilibrio

Considerando condiciones extremas, es decir, en suelos saturados, las expresiones anteriores quedan como:

$$\tau_s = c' + \sigma' \tan \theta \quad (6)$$

$$\tau_l = c'l + \sigma' \tan \theta \quad (7)$$

De lo anterior el factor de seguridad se puede escribir como:

En suelos cohesivos – friccionantes 
$$F_s = \frac{c' + \sigma' \tan \theta}{c'l + \sigma' \tan \theta} \quad (8)$$

En suelos cohesivos 
$$F_c = \frac{c'}{c'l} \quad (9)$$

En suelos friccionantes 
$$F_\phi = \frac{\tan \theta}{\tan \theta l} \quad (10)$$

### 2.2.18 Metodología de los estudios de estabilidad de taludes

Como la mayoría de los estudios geotécnicos, los de estabilidad de taludes se suelen efectuar en varias fases, que se corresponden con las de los proyectos de ingeniería de que forman parte. La metodología que se debe seguir es la misma en todas las fases y se presenta



a continuación, pero la profundidad del estudio varía en proporción directa con lo avanzada que sea la fase; normalmente, la utilización de modelos numéricos para analizar la estabilidad de taludes se suele reservar para la fase de proyecto y no en todas las zonas, pero la campaña de investigación geológico-geotécnica suele acometerse ya en la fase de viabilidad (Ramírez y Alejano, 2004).

Para analizar la estabilidad de un talud hay que tener en cuenta las características del macizo rocosos donde se construye. Si se trata de un macizo rocoso con gran resistencia en conjunto, pero diaclasado o con fallas, son estas discontinuidades las que van a gobernar el tipo de rotura. Si, por el contrario, la resistencia del macizo es baja, la rotura viene condicionada por la resistencia al corte de éste. Además, existen otros factores que pueden condicionar la rotura, como la presencia de agua, los efectos vibratorios provocados por voladuras, los terremotos, etc.

Para estudiar la estabilidad de un talud, las líneas a seguir pueden ser las siguientes:

- a) Realización de una campaña de investigación geológica y geotécnica.
- b) Investigación de las características resistentes de las rocas y de las discontinuidades de los macizos rocosos, mediante: ensayos de laboratorio, análisis retrospectivos de roturas acaecidas en los taludes de la zona, ensayos de campo e instrumentación (piezómetros, presiómetros, medida de tensiones, etc.).
- c) Determinación de los criterios de rotura más acordes para explicar los comportamientos observados en los macizos rocosos.
- d) Análisis retrospectivos sistemáticos de roturas acaecidas.
- e) Análisis pormenorizado de la estabilidad de los taludes mediante la utilización de modelos de equilibrio límite o modelos numéricos.



- f) Una vez en las fases de construcción y operación se deberá, no obstante, controlar o vigilar el talud al objeto de constatar que se cumple razonablemente el resultado de los estudios.

### **2.2.19 Resistencia al esfuerzo cortante**

En la solución de problemas relacionados con suelos, se utiliza comúnmente la teoría de la elasticidad para analizar los fenómenos de asentamientos en estructuras construidas sobre ellos, pero en el caso de deslizamientos de tierra, el análisis se realiza aplicando la teoría de la plasticidad en la mayoría de las teorías vigentes), la cual supone que en el cuerpo del talud existe una sucesión de puntos o zona de falla potencial en equilibrio límite. La hipótesis principal que utiliza la teoría de la plasticidad es: la falla de un material es debida al esfuerzo cortante máximo aplicado sobre él y si este esfuerzo se convierte en crítico, se dice que el material está fallando plásticamente (Chavez, 2006).

De lo anterior se desprende la importancia de retomar la teoría de esfuerzo cortante, cuyo desarrollo más amplio es conocido como ley de Coulomb, pues es este esfuerzo el que define la superficie de falla.

El análisis y comportamiento del suelo que se está estudiando se ilustra con el círculo de Mohr (figura 14), el cual nos ayuda a determinar con un bajo índice de error las propiedades principales de resistencia como la cohesión ( $c$ ) y el ángulo de fricción interna del material ( $\phi$ ). En el caso de suelos saturados Terzaghi amplió la fórmula de Coulomb, quedando como sigue:

$$\tau = f(\omega) + (\sigma - \mu)\tan\phi = c' + \sigma'\tan\phi$$

Donde:

$c'$  = Cohesión función del contenido del agua  $f(\omega)$

$\sigma'$  = Esfuerzo efectivo

$\mu$  = Esfuerzo neutro.

$$\tau' = c' + \sigma' \tan \phi'$$

$\tau'$  = Esfuerzo cortante.

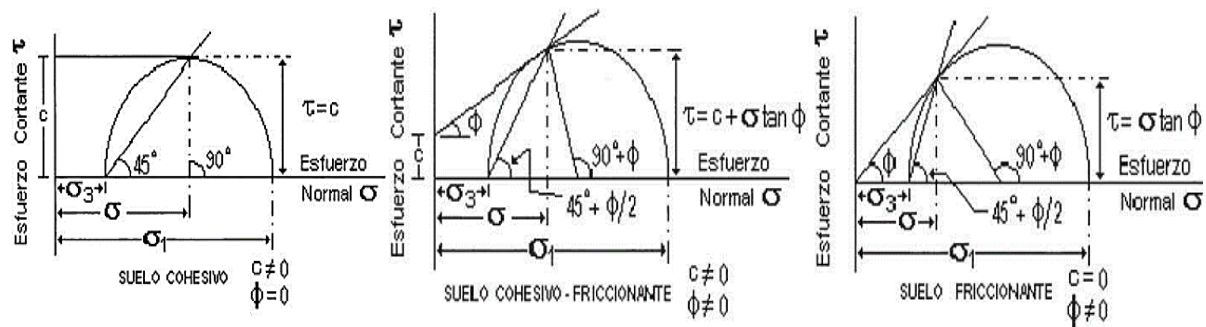
$c'$  = Cohesión

$\sigma'$  = Esfuerzo de compresión aplicado o esfuerzo normal

$\phi'$  = Ángulo de fricción interna

**Figura 25**

*Círculo de Mohr.*



*Nota.* El gráfico representa el círculo de Mohr, tomada de Chávez, 2004.

### 2.2.19.1 Parámetros fundamentales de la resistencia al corte

#### a) Ángulo de fricción

Es la representación matemática del coeficiente de rozamiento, el cual es un concepto básico de la física:

$$\text{Coeficiente de rozamiento} = \tan \phi$$

El ángulo de fricción en suelos granulares secos coincide con el ángulo de reposo. Todos los suelos poseen fricción. Sin embargo, a los suelos arcillosos con fricción muy baja o despreciable, se les denomina suelos cohesivos:  $\phi = 0$ .

El ángulo de fricción ( $\phi$ ) depende de una gran cantidad de factores; algunos de los más importantes son:

- Tipo de mineral constitutivo de las partículas.





- Tamaño de los granos o partículas. A mayor tamaño de partículas, mayor es  $\phi$ .
- Forma de los granos o partículas.  $\phi$  es mayor para partículas angulosas.
- Distribución de los tamaños de granos o partículas. En los suelos bien gradados,  $\phi$  es mayor que en los suelos uniformes.
- Fábrica o microestructura (organización de las partículas).
- Densidad.
- Permeabilidad (Facilidad de drenaje).
- Presión normal o de confinamiento.
- Presión de preconsolidación.

El ángulo de fricción es el resultado de la combinación de todos los factores. Por ejemplo, el ángulo de fricción es mayor al aumentar la densidad, pero si las presiones normales son muy altas, el ángulo de fricción tiende a disminuir.

#### **b) Cohesión**

Es una medida de la cementación o adherencia entre las partículas de suelo. La cohesión en la mecánica de suelos, es utilizada para representar la resistencia al cortante producida por la cementación entre las partículas, mientras que, en la física, este término se utiliza para representar la resistencia a la tensión.

En los suelos granulares en los cuales no existe ningún tipo de cementante o material que pueda producir adherencia, la cohesión se supone igual a cero y a estos suelos se les denomina suelos friccionantes o no cohesivos ( $C = 0$ ).



En los suelos no saturados, la tensión debida a la succión de agua en los poros, produce un fenómeno de adherencia entre partículas por presión negativa o fuerzas capilares. Esta cohesión aparente desaparece con la saturación.

### c) Resistencias Pico y Residual

Desde el punto de vista de la relación esfuerzo – deformación, en la estabilidad de taludes se debe tener en cuenta dos tipos de resistencia:

- **Resistencia máxima o resistencia pico.** Es la máxima resistencia al corte que posee el material, el cual no ha sido fallado previamente y corresponde al punto más alto en la curva esfuerzo - deformación.

La modelación de la resistencia pico en el análisis de la estabilidad, asume que la resistencia pico se obtiene simultáneamente a lo largo de toda la superficie de falla; sin embargo, algunos puntos en la superficie de falla han alcanzado deformaciones mayores que otros (en un fenómeno de falla progresiva) y asumir que la resistencia pico actúa simultáneamente en toda la superficie de falla puede producir errores en el análisis.

- **Resistencia residual.** Es la resistencia al corte que posee el material después de haber ocurrido la falla. Skempton (1964) observó que, en arcillas sobre consolidadas, la resistencia calculada en el análisis de deslizamientos después de ocurridos, correspondía al valor de la resistencia residual y recomendó utilizar para el cálculo de factores de seguridad, los valores de los parámetros obtenidos para la resistencia residual  $\phi_r$  y  $C_r$ .



La resistencia residual en los suelos cohesivos se debe tener en cuenta cuando existe una superficie previa de corte donde han ocurrido desplazamientos en el pasado y en suelos licuables, expuestos a sismos de gran magnitud. (Suárez, 2009).

En los suelos dúctiles, la resistencia pico tiende a ser muy similar a la resistencia residual. En los suelos frágiles al producirse la falla, la disminución de la resistencia pico a la residual, es significativa.

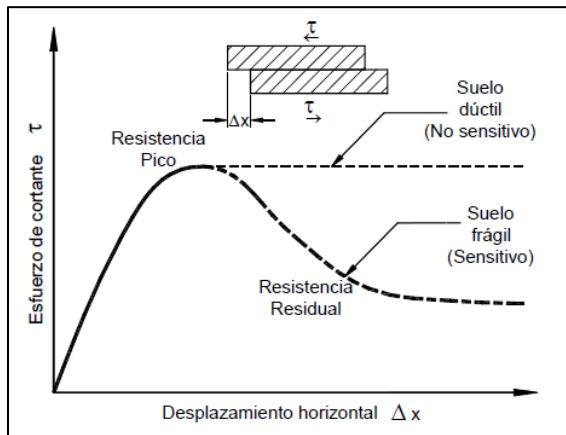
La diferencia entre la resistencia pico y la residual es un indicativo de la fragilidad de los materiales.

Otro factor que determina las diferencias entre la resistencia pico y la residual, es la “sensitividad”, la cual está relacionada con la pérdida de resistencia por el remoldeo o la reorientación de las partículas de arcilla.

La pérdida de resistencia en el momento de la falla al cortante, está relacionada principalmente con una disminución de la cohesión. El ángulo de fricción, aunque disminuye, no es afectado en forma substancial. Como se observa en la Figura 15, donde el ángulo de fricción pico ( $\phi_p$ ) es muy similar al ángulo de fricción residual ( $\phi_r$ ).

**Figura 26**

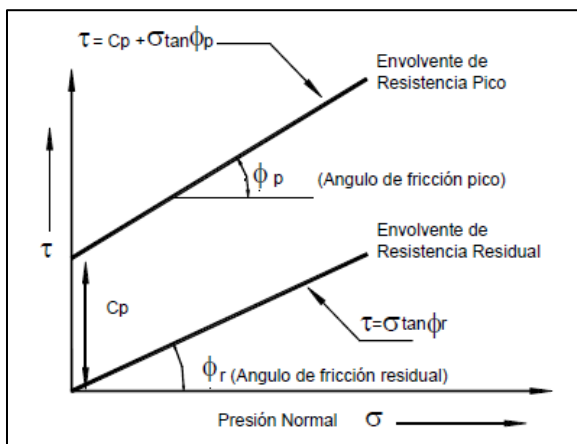
*Curvas esfuerzo de corte – desplazamiento en ensayo de corte directo.*



*Nota.* El gráfico representa curvas en esfuerzo de corte, tomada de, Suárez, 2009.

**Figura 27**

*Envolturas de falla de las Resistencias Pico y Residual.*



*Nota.* El gráfico representa falla de las resistencias pico y residual, tomada de, Suárez, 2009.

#### d) Presión de Poros

En general, la presión de poros consiste en la presión en el agua dentro de los poros del suelo y se identifica con la letra “ $\mu$ ”. La presión de poros disminuye los esfuerzos normales efectivos entre las partículas, trata de separarlas y disminuye la resistencia a la fricción (Figura 17). Al colocar una carga se puede producir un cambio en la presión de poros que se denomina

como  $\Delta\mu$  (exceso de presión de poros) o deficiencia de presión de poros inducidos por las condiciones de carga. (Suárez, 2009).

Si el agua en el suelo no está en movimiento, la altura del agua genera un fenómeno de presión hidrostática: “

$$\mu = \gamma_w \cdot Z_w$$

Donde:

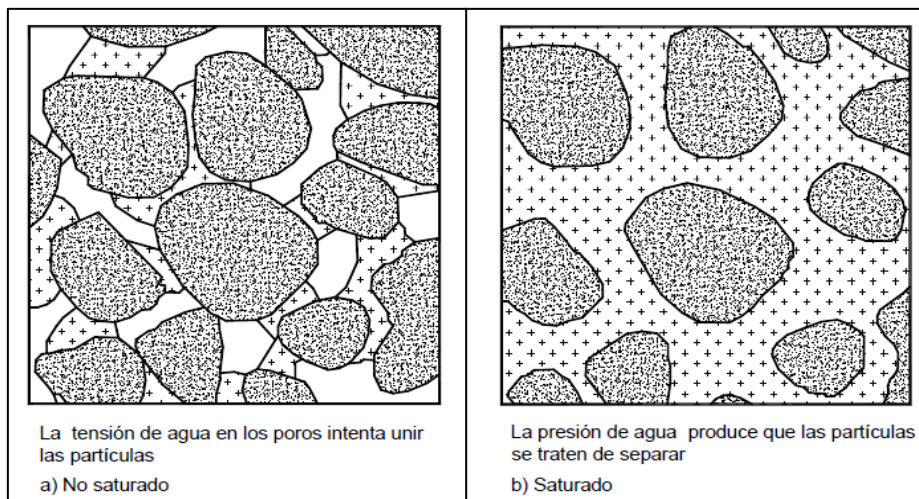
$\gamma_w$  = peso unitario del agua

$Z_w$  = profundidad vertical del punto por debajo del nivel de agua freática.

La presión de poros aumenta en los taludes en temporadas de lluvias y disminuye en temporadas de sequía. Es muy importante entender y cuantificar la variación temporal y espacial de la presión de poros en los taludes. La variabilidad es mayor en la cuesta que en el pie del talud. (Suárez, 2009).

### Figura 28

*Acción de la presión de poros en los suelos. Disminuye la resistencia a la fricción.*



*Nota.* El gráfico representa la acción de la presión de poros en los suelos, tomada de, Suárez, 2009.



### e) Esfuerzos Totales y Efectivos

Se define como esfuerzo a la fuerza por unidad de área. (Suárez, 2009).

- **Esfuerzo Efectivo**

Según Suárez (2009), una masa de suelo saturada está compuesta por dos fases distintas: el esqueleto de partículas y los poros entre partículas llenos de agua. Cualquier esfuerzo impuesto sobre el suelo, es soportado por el esqueleto de partículas y también, por la presión del agua.

Típicamente, el esqueleto puede transmitir esfuerzos normales y de corte por los puntos de contacto entre las partículas y el agua a su vez, puede ejercer una presión hidrostática igual en todas las direcciones.

Los esfuerzos ejercidos por el esqueleto solamente se conocen como esfuerzos efectivos y a los esfuerzos hidrostáticos del agua se les denomina “presión de poros”. Los esfuerzos efectivos son los que controlan el comportamiento del suelo al cortante y no los esfuerzos totales.

$$\text{Esfuerzo efectivo} = \text{esfuerzo total} - \text{presión de poros}$$

- **Esfuerzo Total**

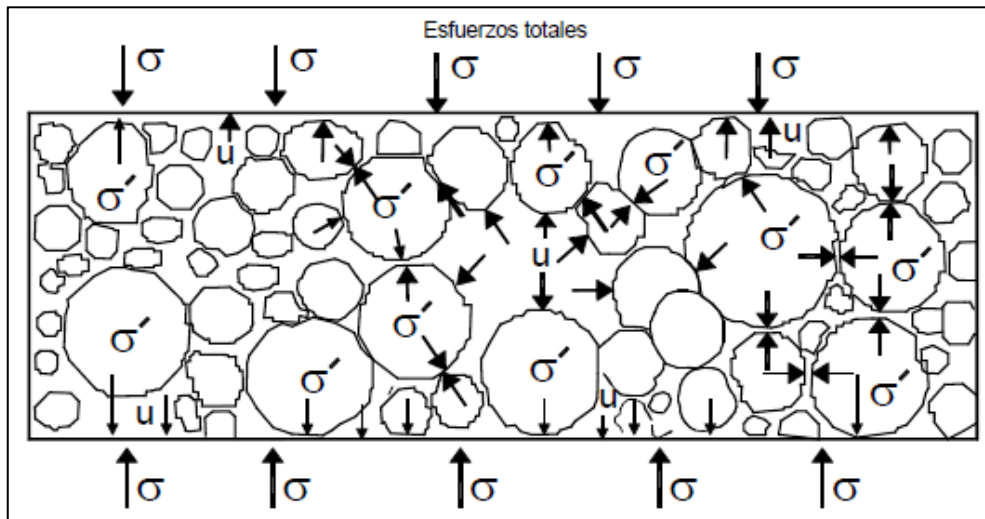
El esfuerzo total es la suma de todas las fuerzas, incluyendo aquellas transmitidas a través de contactos entre partículas, aquellas transmitidas a través de la presión de poros en el agua (divididas por el área total) e incluyendo el área de sólidos y el área de vacíos.

$$\text{Esfuerzo total} = \text{esfuerzo efectivo} + \text{presión de poros}$$

El análisis con esfuerzos totales puede utilizarse en problemas de estabilidad a corto plazo y las presiones efectivas, para analizar la estabilidad a largo plazo. (Suárez, 2009).

**Figura 29**

*Esfuerzos totales y efectivos.  $\sigma'$  (efectivo) =  $\sigma$  (total) -  $u$ .*



*Nota.* El gráfico representa los esfuerzos totales y efectivos, tomada de, Suárez, 2009.

#### f) Resistencia Drenada y No-drenada

Los dos tipos de resistencia al cortante utilizados en el análisis de estabilidad son: la resistencia no-drenada y la resistencia drenada.

La resistencia no-drenada se utiliza en análisis con esfuerzos totales mientras la resistencia drenada se utiliza en análisis con esfuerzos efectivos. (Suárez, 2009).

- **Resistencia no-drenada**

Es la resistencia del suelo cuando se carga hasta la falla en condiciones no-drenadas o sea cuando las cargas que producen la falla, se aplican sobre la masa de suelo a una velocidad superior a la del drenaje del suelo.



El caso más común de resistencia no-drenada, se presenta en los depósitos naturales de arcilla saturada cuando éstos son cargados o descargados en forma relativamente rápida, comparada con la rata en la cual puede ocurrir drenaje y/o consolidación.

Cuando se presenta esta condición se asume que hay un fenómeno de resistencia no-drenada; el contenido de agua y el volumen de la arcilla permanecen constantes durante la carga no drenada y se generan presiones de poros en exceso. (Suárez, 2009).

- **Resistencia drenada**

La resistencia drenada es la resistencia del suelo cuando se carga en forma lenta y no se producen presiones de poros en exceso, debidas a la aplicación de la carga. Igualmente, la resistencia drenada se presenta cuando la carga ha estado aplicada por un período suficiente de tiempo de tal forma, que el suelo ya ha sido drenado. Una condición no-drenada, con el tiempo puede convertirse en una condición drenada, en la medida en que el agua drene. (Suárez, 2009).

Basados en el principio de esfuerzos efectivos, la resistencia máxima drenada a la falla sobre cualquier plano en el suelo, no es una función de los esfuerzos totales normales que actúan sobre el plano, sino de la diferencia entre los esfuerzos totales normales y la presión de poros. (Suárez, 2009).

## ***2.2.20 Taludes en zonas arqueológicas***

### **2.2.20.1 Principales deslizamientos en el cuadrángulo de Cusco**

El cuadrángulo de Cusco (28-s) ubicado entre  $71^{\circ}30'$  a  $72^{\circ}00'$  W y  $13^{\circ}30'$  a  $14^{\circ}00'$  S incluye la ciudad del Cusco, capital arqueológica de América y Patrimonio





Cultural de la Humanidad. El área que abarca el cuadrángulo ocupa espacios correspondientes a la Cordillera Oriental, el Altiplano y el borde noreste de la Cordillera Occidental, cubriendo aproximadamente 3000 km<sup>2</sup>, todo en las provincias de Cusco, Quispicanchis, Paucartambo, Paruro y Acomayo de la Región Cusco.

### **Deslizamientos de la quebrada Saphy:**

El río Saphy nace de la confluencia de los ríos Chacán y Muyu Orcco, con un área de 20.90 km<sup>2</sup> y una longitud de cauce de 1.4 km. Este río pasa por debajo de la ciudad del Cusco utilizando una canalización inca en un tramo de 3 km y aporta sus aguas a la cuenca del río Huatanay. Mediante estudios de geología, geodinámica, estabilidad de taludes e hidrología, se han identificado más de 30 deslizamientos de los cuales 7 están activos y situados en ambos márgenes de la quebrada, entre la naciente del río y el inicio de la canalización. Estos deslizamientos pueden reactivarse por intensas lluvias o sismos, llegando a represar las aguas del río, cuyo desembalse violento originaría aluviones (huaycos) que afectarían el Centro Histórico de la ciudad. Estos problemas ya han ocurrido, pero han sido de menor magnitud. La microcuenca del río Saphy es una de las de mayor peligro, tanto por el área de la cuenca hidrográfica, como por la naturaleza litológica de las rocas (lutitas y yesos del Grupo Yuncaypata), las pendientes de las laderas y la erosión lateral del río que activa y reactiva los deslizamientos.



### Figura 30

*Quebrada de Saphy con sus deslizamientos y la ocupación del cauce.*



*Nota.* El gráfico representa la quebrada de Saphy en la ciudad de Cusco, tomada de geología del cuadrángulo del cusco, Perú 2011.

Sector Kusilluchayoq-Picchu-Ayahuayco (sector noroccidental de la Ciudad del Cusco:

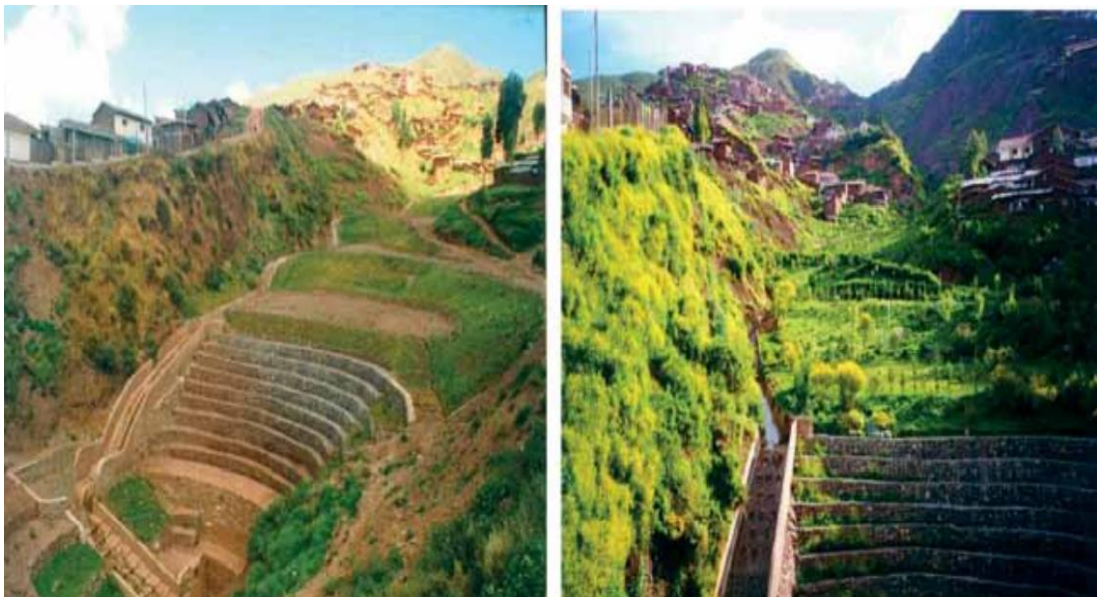
Se ubica en la parte occidental del Cusco, conformada por laderas de fuerte pendiente y las quebradas profundas de Kusilluchayoq-Picchu y Ayahuayco. Aquí existen deslizamientos antiguos y recientes, en rocas de mala calidad mecánica (lutitas y areniscas), que ponen en riesgo las construcciones (Foto 117). La ocurrencia histórica de varios huaycos por erosión y avance de deslizamientos en zonas geológicamente inestables y con fuertes taludes señala su actividad constante, que afectaría a las viviendas, instalaciones de agua, desagüe y electricidad que se disponen en las laderas y el piso de valle de las quebradas. El desarrollo de cárcavas pone en peligro varias viviendas y la pavimentación de las calles, haciendo vulnerables todas estas áreas. La expansión de las construcciones en áreas no aptas aumenta el peligro, al igual que la densificación de construcciones hace que aumente la escorrentía, con amenaza de inundaciones en la parte baja de las quebradas. Efectivamente, con el



aumento del caudal debido a las precipitaciones por encima de lo normal, como ocurrió en enero y febrero del 2010, se produjo erosión fluvial y erosión superficial en las laderas, así como la activación de pequeños deslizamientos que provocaron la formación principalmente de aluviones, como aquel de la quebrada Kusilluchayoq-Picchu.

### **Figura 31**

*Ladera estabilizada de El Bosque terminada el año 1997, Fotos: Centro Huaman Poma de Ayala.*



*Nota.* El gráfico representa una ladera estabilizada, tomada de geología del cuadrángulo del cusco, Perú 2011.

#### **2.2.21 El ensayo de compresión simple**

##### **Concepto:**

El ensayo de compresión simple se realiza con el fin de determinar la resistencia o esfuerzo último de un suelo cohesivo a la compresión no confinada, mediante la aplicación de una carga axial con control de deformación y utilizando una muestra de suelo inalterada tallada en forma de cilindro, generalmente con una relación alto/diámetro igual a 2. Esta prueba tiene la ventaja de ser de fácil realización



y de exigir equipo relativamente sencillo, en comparación con las pruebas triaxiales, si se desea ir al fondo de los mecanismos de falla que tienen lugar; por el contrario, los resultados de la prueba son de fácil aplicación a los trabajos de rutina, por lo menos en apariencia.

**Equipo:**

- Prensa con buena aproximación o una prensa triaxial.
- Calibrador con vernier.
- Balanza con aproximación a 0.1 gr.
- Cronómetro.
- Molde cilíndrico.
- Pisón.
- Muestra de suelo

**Procedimiento:**

- Si se trata de muestra inalterada, se labran los cilindros, buscando que el diámetro de estos, sea de 3 cm y la altura sea de 2 a 2.5 veces el diámetro.
- La muestra es medida y pesada y se anota en el registro correspondiente.
- Si las muestras son labradas se medirán los diámetros: superior (Ds), central (Dc) e inferior (Di).
- De los diámetros anteriores se saca el promedio, el cual es multiplicado por 2, esto para obtener la altura que tendrá el espécimen.
- Se corta el espécimen a la altura media calculada, después de haberlo cortado, se toma la altura real del espécimen y es la que se anota como altura media (Hm).
- Se coloca la muestra en la prensa, se le coloca la placa de aplicación de carga.
- Se procede a aplicar la carga a la muestra, tomando lecturas de carga y deformación correspondiente a cada 15 segundos, hasta que el espécimen falle,



esto es, que se registren 2 cargas iguales o que de una carga menor que la inmediata anterior.

- Se realizan los cálculos del registro y se obtiene el valor de la Esfuerzo Máximo.

(Ensayo de Compresión Simple. Recuperado de

[mecanicadesuelos1unitec.wordpress.com/ensayo-compresión-simple/](http://mecanicadesuelos1unitec.wordpress.com/ensayo-compresión-simple/))

### Figura 32

*Ensayo de Compresión Simple.*



*Nota.* El gráfico representa ensayo de compresión simple, elaboración Propia.

#### 2.2.22 Esclerómetro o martillo de Schmidt

Es un instrumento que nos permite estimar aproximadamente la resistencia a compresión simple de una roca ya sea en un talud, túnel, testigo de roca o discontinuidad mediante el rebote que produce el muelle que se aloja en su interior después de un impacto sobre una superficie rocosa.

El martillo de tipo L, de los cuatro disponibles, es el que se recomienda en la ISRM. Mediante este ensayo se puede estimar el valor de la resistencia a compresión simple de la matriz rocosa a partir de la resistencia al rebote de la superficie ensayada.



### Como se utiliza:

El martillo de Schmidt se aplica presionando la punta del mismo sobre una superficie rocosa hasta que salta el muelle, el cual golpea la roca a través de una punta cilíndrica. En función de la dureza de la roca o superficie ensayada, el muelle sufre un mayor o menor rebote. A mayor rebote mayor resistencia de la roca.

El esclerómetro debe colocarse perpendicularmente al plano o roca ensayada. Previamente al inicio de las medidas se debe limpiar la superficie a ensayar para que esté libre de suelo, musgo, líquenes, pátinas de alteración, fisuras o grietas.

En cada área o zona de ensayo con esclerómetro se deben tomar 10 medidas de cada superficie descartándose los 5 valores más bajos y realizándose el promedio de los otros 5 valores restantes. (Ensayo de Esclerómetro. Recuperado de [geotecniafacil.com/martillo-schmidt-rocas/](http://geotecniafacil.com/martillo-schmidt-rocas/))

### Figura 33

*Esclerómetro.*



*Nota.* El gráfico representa un esclerómetro, tomada de [dirimpex.com/](http://dirimpex.com/), (2012).

#### 2.2.23 Ensayo Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)

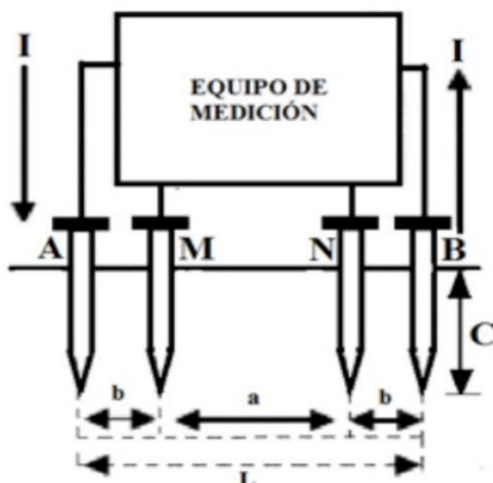
El Sondeo Eléctrico Vertical es una prueba que se usa para conocer la distribución de resistividad del suelo. Dadas las propiedades eléctricas de los materiales que constituyen del

subsuelo, éste manifiesta un determinado comportamiento ante el paso de corriente eléctrica. Dicho comportamiento se manifiesta en líneas de campo o flujo eléctrico constante para materiales homogéneos, por ello cuando los valores y características de estos campos varían, indican un cambio de materiales o una discontinuidad dentro de un mismo depósito. Así, los suelos gruesos o rocosos se caracterizan por presentar una alta resistividad, mientras que las zonas arcillosas o con altos contenidos de humedad y sales corresponden con anomalías de baja resistividad.

Operacionalmente, los métodos eléctricos de resistividad en corriente continua consisten en inyectar corriente al terreno mediante dos electrodos que son clavados en el mismo, conocidos como A y B; el campo eléctrico así generado se monitorea a través de mediciones de diferencias de potencial  $\Delta V$  entre otros dos electrodos, conocidos como M y N. El cociente de la corriente inyectada I entre la diferencia de potencial  $\Delta V$  multiplicado por la constante geométrica del arreglo empleado K, determina el valor del parámetro medido conocido como resistividad aparente, en unidades ohm-m ( $\Omega \cdot m$ ) y que físicamente representa la dificultad que encuentra la corriente eléctrica para fluir a través de un material.

### Figura 34

*Geometría del SEV arreglo Schlumberger.*



*Nota.* El gráfico representa la geometría del SEV, tomada de [sismica.com/](http://sismica.com/), 2015.



$$\rho = \frac{\pi b(a + b)R}{a}$$

Donde:

$\rho$  Resistividad aparente ( $\Omega.m$ )

$a$  Separación entre electrodos de potencial M y N (m)

$b$  Separación entre electrodos de potencial y corriente, A-M o B-N (m)

$\pi$  Relación entre la longitud de una circunferencia y su diámetro

$V$  Voltaje medido (mV)

$I$  Corriente medida (mA)

### **Procedimiento en campo**

Se realizan Sondeos Eléctricos Verticales en arreglo Schlumberger, cuyas mediciones de resistividad se hacen al nivel del terreno como se establece en la Norma NRF 011 CFE 2004. Las aberturas interelectrónicas “a” y “b”, dependen del objetivo de estudio y suficientes para caracterizar el subsuelo hasta la profundidad deseada; los Sondeos Eléctricos Verticales se realizan en dos direcciones, perpendiculares entre sí y considerando que el centro de ambas líneas corresponde al centro geométrico del arreglo implementado. Es decir, se obtiene la variación de resistividad en profundidad con el promedio de ambas mediciones, a fin de evitar errores en la interpretación de los resultados por efecto de los cambios laterales en la resistividad del subsuelo.

La toma de datos, de corriente y potencial se realiza con un equipo transmisor de corriente marca GF Instruments Modelo ARES, capaz de inyectar al terreno pulsos rectangulares de 0.5 a 4 segundos de duración. Este equipo cuenta con una impedancia de entrada de 20 M $\Omega$ .





#### **2.2.24 Capacidad Portante en Rocas**

Las cimentaciones en roca no suelen presentar muchos problemas derivados de la capacidad portante puesto que, en general, suelen soportar elevadas cargas con deformaciones mínimas o nulas, pero no todos los tipos de rocas presentan características igualmente favorables.

En algunos casos pueden presentarse problemas asociados a la capacidad portante debido a debilidades de las rocas o lo que es más común, se requieran unas tensiones admisibles muy elevadas debido a estructuras muy pesadas.

Requieren un estudio especial todas aquellas rocas con problemas de karstificación o presencia de cavidades, rocas solubles (evaporitas), rocas que pueden experimentar cambios de volumen, zonas falladas o rocas volcánicas entre otras. (Capacidad Portante en Rocas Recuperado de [geotecniafacil.com/cimentaciones-en-roca/](http://geotecniafacil.com/cimentaciones-en-roca/))

#### **2.2.25 Clasificación Geomecánica RMR**

Las clasificaciones geomecánicas de rocas son un elemento fundamental en la caracterización de macizos rocosos ya sea mediante toma de datos de afloramientos o mediante sondeos con recuperación de testigo.

Son fundamentales en estudios de túneles y taludes y permiten una clasificación rápida del macizo rocoso.

Hoy nos centraremos en la más empleada de todas, la clasificación geomecánica RMR (Rock Mass Rating) o también llamada de Bieniawski por ser desarrollada por el profesor Z. T. Bieniawski en 1973 y actualizada en 1979 y 1989.

Otras clasificaciones muy utilizadas son la Q de Barton utilizada casi en exclusiva para túneles y el SMR de Romana para su uso en taludes.

La clasificación geomecánica RMR permite obtener un índice de calidad del macizo rocoso a partir de resistencia de la roca intacta, grado de fracturación y diaclasado de las



discontinuidades del macizo, presencia de agua y la orientación de las discontinuidades respecto al elemento de estudio: túnel, talud o cimentación.

El índice RMR va desde 15 hasta 100 puntos a partir de los cuales el macizo rocoso puede clasificarse en 5 categorías.

Los parámetros geomecánicas que influyen en el índice RMR son:

- **Resistencia de la roca matriz**

Se mide a partir del ensayo de rotura a compresión simple de testigos de rocas o a partir del ensayo de carga puntual. La puntuación va desde 0 hasta 15 puntos dependiendo de la resistencia de la roca.

- **RQD**

Valora el grado de fracturación del macizo según el universalmente conocido RQD desde 3 puntos para un valor de RQD inferior al 25% hasta 20 puntos para un valor de RQD superior al 90%.

- **Separación entre diaclasas**

Como bien dice el enunciado puntúa el espaciamiento entre discontinuidades. La puntuación alcanza valores de 20 puntos para diaclasas separadas más de 2 m y un valor mínimo de 5 para diaclasas espaciadas menos de 6 cm.

- **Estado de las diaclasas**

Permite puntuar el estado de las diaclasas a través de persistencia o longitud de las discontinuidades, abertura, rugosidad, presencia de relleno y alteración de las juntas. El valor máximo es de 20 puntos mientras que el mínimo es de 0 puntos.

- **Presencia de agua freática**

Mide las filtraciones de agua en el macizo, el flujo de agua y la humedad presente en las discontinuidades. La puntuación alcanza un valor de 15 para un macizo rocoso seco y un valor de 0 para cuando el agua está fluyendo entre las juntas



con un caudal superior a 125 l/min o la relación presión de agua/tensión principal mayor es superior a 0,5. (clasificación geomecánica RMR. Recuperado de <https://geotecniafacil.com/clasificacion-geomecanica-rmr-bieniawski-1989/>).

### 2.2.26 Factor de seguridad en taludes

Se define el factor de seguridad (FS), como el valor que cuantifica la diferencia entre las condiciones reales que presenta el talud, y las condiciones que llevan a su rotura. El factor de seguridad es el coeficiente mínimo de todos los coeficientes de seguridad asociados a todas las superficies de deslizamiento posibles.

También se puede definir al factor de seguridad como el factor por el cual debe reducirse la resistencia cortante del suelo para llevar a la masa potencialmente inestable a un equilibrio límite a lo largo de una superficie de deslizamiento previamente seleccionada.

$$FS_s = \frac{\tau_f}{\tau_d}$$

Donde:

FSs = factor de seguridad con respecto a la resistencia.

$\tau_f$  = resistencia cortante promedio del suelo.

$\tau_d$  = esfuerzo cortante desarrollado a lo largo de la superficie potencial de falla.

En el caso de un FS menor a 1 se afirma que el movimiento a lo largo de la superficie de deslizamiento es posible. A partir de FS=1, es posible determinar el máximo ángulo de inclinación que un talud podría tener para permanecer estable.

La fuerza desestabilizadora más importante será el peso de la masa deslizante, a la cual se le suman otras fuerzas, como las sobrecargas de estructuras o el empuje del agua en las grietas. La principal fuerza estabilizadora será la resistencia de corte del terreno en la superficie de deslizamiento.



Actualmente, existen varias normativas nacionales e internacionales ampliamente aceptadas en Perú, en las que se regula el coeficiente de seguridad a emplear. La elección de dicho coeficiente debe realizarse considerando la temporalidad de la obra (provisional o definitiva) y la situación de cálculo (estática o sísmica). En la siguiente tabla puede consultarse una recopilación de los factores según las diferentes normativas. (Valiente et. al, 2015).

**Tabla 3**

*Coeficientes de seguridad a emplear en el análisis de estabilidad de taludes.*

| Normativa       | Talud temporal |          | Talud permanente |          |
|-----------------|----------------|----------|------------------|----------|
|                 | Estática       | Sísmica  | Estática         | Sísmica  |
| A ASHTO LRFD    | 1.33-1.53      | 1.1      | 1.33-1.53        | 1.1      |
| NAVFAC – DM7    | 1.31-1.25      | 1.2-1.15 | 1.5              | 1.2-1.15 |
| FHWA-NHI-11-032 | -              | 1.1      | -                | 1.1      |
| CE.020          | -              | -        | 1.5              | 1.25     |

*Nota: Este cuadro muestra los coeficientes de seguridad a emplear en el análisis de estabilidad de taludes, Valiente et. al (2015).*

La AASHTO, en situación estática, determina que, si no existen cargas estructurales próximas al talud, o los reconocimientos geotécnicos realizados son confiables, debe emplearse un factor de seguridad de 1.33; en caso contrario, se emplea el de 1.53.

### 2.2.27 Software de Ingeniería

- **Agisoft Metashape**

Agisoft Metashape es un producto de software autónomo que realiza el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales en 3D para su uso en aplicaciones SIG, documentación del patrimonio cultural y producción de efectos visuales, así como para mediciones indirectas de objetos de diversas escalas.



Una técnica de fotogrametría digital bien implementada y aplicada con métodos de visión por computador da como resultado un sistema de procesamiento automatizado inteligente que, por un lado, puede ser gestionado por un recién llegado en el campo de la fotogrametría y, por otro, tiene mucho que ofrecer a un especialista que puede ajustar el flujo de trabajo a numerosas tareas específicas y a diferentes tipos de datos. A través de varios casos de estudio, Metashape demuestra producir resultados precisos y de calidad. (Agisoft Metashape. Recuperado de metashape-la.com)

- **Software Slide**

Slide es un software de análisis de Estabilidad de Taludes en 2D que utiliza métodos de equilibrio límite para el cálculo de la estabilidad.

Incluye análisis de agua subterránea por elementos finitos en estado estacionario, e integra capacidades de análisis de sensibilidad, probabilísticos y análisis retrospectivos.

Su ámbito de aplicación en minería y obra civil es muy variado, permitiendo evaluar un gran número de problemáticas geotécnicas, tales como estabilidad de terraplenes, presas, taludes en excavaciones mineras o en edificaciones, efectos de cargas externas, sísmicas, eficiencia de elementos de refuerzo, etc.

Es un software potente y flexible desarrollado por Rocscience, empresa puntera a nivel mundial en modelización geotécnica.

El programa Slide ha ido creciendo de manera continua al mismo ritmo que se expandía la capacidad de análisis geotécnico por ordenador en los últimos años. Este continuo esfuerzo en investigación y actualización, y la solvencia que proporciona su trayectoria, lo convierten en un software de referencia. Prueba de ello es el hecho de ser uno de los programas más reconocidos y utilizados que existen en el mercado.



Hoy en día existe una creciente variedad de software de modelización geotécnica a nivel general, y también en relación a la estabilidad de taludes. Sin embargo, no todos los programas cuentan con la capacidad de cálculo y fiabilidad de Slide. Este programa destaca, además, entre otros programas del mercado, por una interfaz clara y sencilla y por un manejo muy intuitivo de las diversas capacidades que ofrecen los menús de análisis.

Con un coste de licencia muy competitivo en relación a otros competidores en el mercado de su misma capacidad, y su amplia cobertura técnica de análisis, Slide se convierte en un software líder en el campo de la modelización geotécnica. Tierra y tecnología. (2016, octubre). Slide la mejor aplicación de estabilidad de taludes.

<https://n9.cl/9iuxh>

- **Software RocData**

RocData de Rocscience, el cual es un software para la determinar parámetros de resistencia del suelo y la masa rocosa mediante el análisis de laboratorio, prueba triaxial o prueba de corte. El programa puede ajustar el criterio de falla lineal de Mohr-Coulomb, y otros tres criterios de falla: criterio de falla no lineal, criterio de falla generalizado de Hoek-Brown, Barton Bandis y el modelo de Power Curve de esfuerzo para poner a prueba los datos. Esta característica, combinada con una interfaz intuitiva, rápida respuesta a las entradas del usuario, e inmediato trazado de las curvas de esfuerzo, facilita los estudios paramétricos del comportamiento de esfuerzo. En el curso taller se desarrollará la revisión de los comandos principales, así como el análisis de los resultados. Centro Geotécnico Internación. (2015, noviembre). SOFTWARE ROCDATA. <https://centrogeotecnico.com/store/product/software-rocddata.html>



### 2.2.28 *Epoxico*

El término se usa para poder referirse a cualquier material que lleve resina epoxi en su composición. La definición técnica depende directamente de la composición química de esta resina.

Suele mezclarse el bisfenol A, o la epiclorohidrina, con el propileno, el fenol y la acetona. Desde el punto de vista químico, un material que es epóxico es aquel que combina dos átomos de carbono contiguos con un átomo de oxígeno que actúa como puente.

Se utiliza el epoxi o resina epóxica, también conocidos como porcelanato o cristal líquido, para modificar la consistencia de los materiales utilizados para adherir partes o para aumentar su resistencia. Así, se logra que cualquier material se adapte mejor a los cambios de temperatura, del clima o de los efectos de la humedad o del óxido, entre otros.

Los podemos encontrar en las pinturas para lograr que se adhieran mejor a la superficie correspondiente. También en la construcción de nuevas superficies y en los elementos decorativos de los suelos de mármol.

Se emplean habitualmente en las juntas de concreto y en la reparación de fisuras en una estructura de concreto. Igualmente, es común hallarlos en garajes, hangares, almacenes, naves, plantas de procesado y suelos industriales en general.

Ventajas:

- Una resistencia ideal a temperaturas de hasta 45° C que podrían llegar, de forma puntual, a los 70° C.
- La máxima adaptabilidad a los suelos de tránsito continuado. Soporta hasta 65N por metro cuadrado.
- Se aplica y se limpia con facilidad. Es un material flexible que mantiene un nivel de adherencia y humedad perfecto. Puede eliminarse la suciedad que acumule en segundos.



- Su escaso nivel de contracción. Que se mantenga firme y sin perder longitud garantiza un óptimo resultado.
- Su eficacia al nivelarse sin ayuda. No es necesario frenar su dispersión y al aplicarse se extiende por la superficie.
- Su polivalencia. Cualquier material epóxico se adapta a todo tipo de labores con facilidad.
- Puede aplicarse sobre superficies existentes para potenciar su resistencia.
- Admite todo tipo de colores y acabados, lo que facilita el proceso de su elección.
- Su secado es bastante corto por lo que la superficie queda operativa en apenas unas horas.
- No desprende olores.

Structuralia. (2023, enero). *¿Qué es epóxico? Se describen las características de este material.* <https://blog.structuralia.com/que-es-epoxico-caracteristicas-ventajas-resina-epoxi>

### **2.2.29 Resina de baja viscosidad**

La resina de baja viscosidad es utilizada en su mayoría para usos odontológicos, específicamente para el curado dental. Pero otro de sus usos es en la ingeniería para aumentar la resistencia del concreto, específicamente se utilizó el Sikadur-52, Resina inyectable de baja viscosidad, que es un sistema de dos componentes, basado en resina epóxica de alta resistencia, cuyas características son las siguientes:

Se puede aplicar sobre superficies secas o húmedas.

- Utilizable a bajas temperaturas.
- Endurecimiento sin retracción.
- Alta adherencia y resistencia mecánica.
- Alta dureza.
- Inyectable de baja viscosidad con sistemas de un componente.





El producto cumple con la norma ASTM C 881 - 78 Tipo I Grado 1 clase B + C. La información importante del producto son los siguientes:

- Base Química: Resina epóxica modificada de dos componentes.
- Color: Líquido transparente color amarillo (mix A + B)
- Conservación: 2 años en un lugar fresco y en interiores, en su envase original cerrado.
- Condiciones de Almacenamiento: Acondicionar entre 15°C y 30°C antes de usar.
- Densidad: 1,1 kg/l
- Resistencia a Compresión: 52 N/mm<sup>2</sup> (a 7 días a +23°C), (ASTM D695-96)
- Resistencia a Flexión: 61 N/mm<sup>2</sup> (a 7 días a +23°C), (DIN 53452)
- Módulo de Elasticidad: 1800 N/mm<sup>2</sup> (a 7 días a +23°C), (DIN 53452)
- Resistencia a Tracción: 37 N/mm<sup>2</sup> (a 7 días a +23°C) (ISO 527)
- Resistencia de Adhesión en Tracción: Concreto > 4 N/mm<sup>2</sup> (falla del concreto) (a 7 días a + 23°C)
- Coeficiente de Expansión Térmica: 8.9 x 10<sup>-5</sup> por ° C (entre -20°C y + 40°C) (EN ISO 1770)
- Consumo: El consumo de Sikadur 52 depende del ancho y profundidad de las grietas, para 1 litro de relleno se requiere de 1,1 kg de Sikadur 52.
- Temperatura del Soporte: +5°C mín. / +30°C máx.
- Humedad del Soporte: Seco o húmedo (SSS - Saturado Superficialmente seco: sin goteo de agua)

Building trust Sika. (2020, Julio). *Ficha de Producto Sikadur-52*.

<https://chl.sika.com/es/construccion/impermeabilizacion/impermeabilizacionparazonasestructurales/tuneles/sikadur-52.html>



### 2.2.30 *Solicitaciones Sísmicas*

Desde tiempos pasados, el hombre estudio el fenómeno sísmico con el objetivo de comprenderlo y saber por qué ocurre o qué lo causa, y también para conocer la forma en que afecta a las construcciones y poder hacerlas más resistentes. Para tratar este último aspecto surgió la ingeniería sísmica, que es la encargada entonces de estudiar todos aquellos aspectos relacionados con los sismos que de alguna u otra forma interactúan o influyen en el comportamiento de las estructuras, y tomarlos en cuenta en el diseño de éstas para garantizar la seguridad

Si bien en la actualidad hay un gran número de libros que tratan la Ingeniería Sísmica a detalle y sirven para complementar lo que ve en clase el estudiante, también es cierto que existe una problemática para éste, pues no siempre puede disponer de ellos, o bien, se encuentran en otros idiomas, o incluso, el tratamiento de los temas se realiza en una forma muy abstracta que muchas veces no logra comprender. Atendiendo a esta problemática, estos apuntes fueron realizados con el objetivo principal de constituir un material de fácil acceso, que lejos de confundirlo y dejarlo con cabos sueltos, le ayude a comprender totalmente un tema en lo teórico y reafirmarlo en lo práctico. De esta forma, los apuntes en realidad consisten en una compilación de información, aunque tratada y redactada en una forma sencilla y clara para facilitar su comprensión.

En conclusión, las solicitaciones sísmicas pueden definirse como las cargas que se inducen a una estructura por un movimiento de su base producido por la propagación de las ondas sísmicas. (Fuerzas de inercia), este movimiento es irregular y puede presentar componentes en los ejes de un sistema de coordenadas tridimensional. Moisés Vite. (2022, enero). *Solicitaciones sísmicas*. <https://es.scribd.com/document/556085835/06->

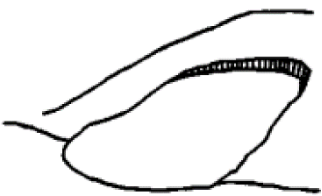
SOLICITACIONES-SISMICAS

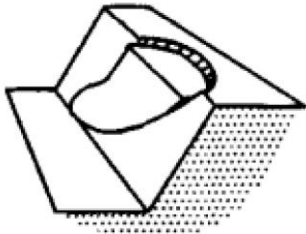


2.2.31 *Parámetros del factor de seguridad en talud*

**Tabla 4**

*Hoek, E. (2006). Practical Rock Engineering.*

| Estructura  | Problemas típicos  | Parámetros críticos   | Métodos de análisis  | Criterios de aceptabilidad  |
|---|--|---|--|---|
| <br>Deslizamientos | Falla compleja o superficie de falla casi circular, que implica deslizamiento sobre fallas y otras características estructurales, así como falla de materiales intactos. | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Presencia de fallas regionales.</li> <li>– Resistencia al corte de los materiales a lo largo de la superficie de falla</li> <li>– Distribución del agua subterránea en la pendiente, particularmente en respuesta a la lluvia o a la saturación de la base del talud.</li> <li>– Carga potencial por sismo.</li> </ul> | Los métodos de equilibrio límite que permiten superficies de falla no circulares pueden usarse para estimar cambios en el factor de seguridad como resultado de cambios en el drenaje o en el perfil del talud. Los métodos numéricos, como el análisis de elementos finitos o de elementos discretos, se pueden utilizar para investigar los mecanismos de falla y la historia del desplazamiento de taludes. | El valor absoluto del factor de seguridad tiene poco significado, pero la tasa de cambio del factor de seguridad se puede utilizar para juzgar la eficacia de las medidas correctivas. El monitoreo a largo plazo de los desplazamientos de la superficie y el subsuelo en la pendiente es el único medio práctico para evaluar el comportamiento de la pendiente y la efectividad de la acción correctiva. |



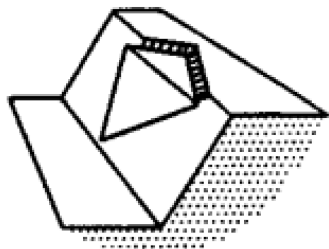
Taludes de suelo o de roca con juntas

Falla circular a lo largo de una superficie en forma de cuchara a través del suelo o masas de roca con juntas.

- Altura y ángulo de la del talud.
- Resistencia al corte de los materiales a lo largo de la superficie de falla.
- Distribución de aguas subterráneas en el talud.
- Carga potencial por sismo.

Los métodos de equilibrio límite bidimensional que incluyen la búsqueda automática de la superficie crítica de falla se utilizan para estudios paramétricos del factor de seguridad. Los análisis de probabilidad, los análisis de equilibrio límite tridimensional o los análisis numéricos de tensión se utilizan ocasionalmente para investigar problemas de pendiente inusuales.

Factor de seguridad > 1.3 para taludes temporales con mínimo riesgo de daño.  
Factor de seguridad > 1,5 para taludes permanentes con riesgo significativo de daño.  
Cuando los desplazamientos son críticos, se pueden requerir análisis numéricos de la deformación del talud y, en general, se aplican factores de seguridad más altos en estos casos.



Taludes de roca con juntas

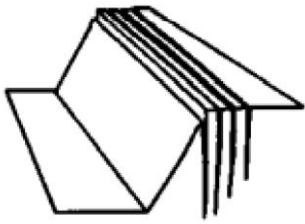
Deslizamiento plano o en cuña sobre una característica estructural o a lo largo de la línea de intersección de dos estructuras.

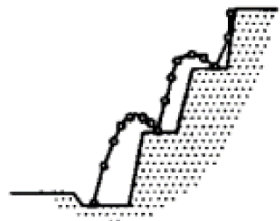
- Altura, orientación, buzamiento y rumbo de las estructuras.
- Distribución de aguas subterráneas en el talud.
- Carga potencial por sismo.

Los análisis de equilibrio límite que determinan los modos deslizantes tridimensionales, se utilizan para estudios paramétricos sobre el factor de seguridad. Los análisis de probabilidad de falla, basados en la

Factor de seguridad > 1.3 para taludes temporales con mínimo riesgo de daño.  
Factor de seguridad > 1.5 para taludes permanentes con riesgo significativo de daño. La probabilidad de falla del 10% al 15% puede ser aceptable



|  |   |  |   |   |
|--|---|--|---|---|
|  |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- préstamo potencial del terremoto</li> <li>- Secuencia de excavación e instalación de apuntalamientos.</li> </ul>  | <p>distribución de las orientaciones estructurales y resistencias al corte, son útiles para algunas aplicaciones.</p>   | <p>para taludes de minas a cielo abierto, donde el costo de limpieza es menor que el costo de estabilización.</p>   |
|  <p>Taludes de roca con juntas verticales</p> | <p>Derrumbe de columnas separadas del macizo rocoso por características estructurales con buzamiento pronunciado que son paralelas o casi paralelas al talud.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Altura, ángulo y orientación del talud.</li> <li>- Buzamiento y rumbo de las estructuras.</li> <li>- Distribución de aguas subterráneas en el talud.</li> <li>- Carga potencial por sismo.</li> </ul> | <p>Los análisis simples de equilibrio límite de modelos de bloques simplificados son útiles para estimar el potencial de derrumbe y deslizamiento. Los modelos de elementos discretos de geometría de pendiente simplificada, se pueden utilizar para explorar los mecanismos de falla por caída.</p> | <p>No se dispone de un criterio generalmente aceptable para la falla por derribo, aunque el potencial de derribo suele ser obvio. El monitoreo de los desplazamientos de taludes es el único medio práctico para determinar el comportamiento de taludes y la efectividad de las medidas correctivas.</p> |



Bolonería suelta en taludes de roca

Deslizamiento, rodadura, caída y rebote de rocas, Bolonería y cantos rodados sueltos.

- Geometría del talud.
- Presencia de cantos rodados sueltos.
- Coeficientes de restitución de los materiales constitutivos del talud.
- Presencia de estructura para detener la caída y el rebote de rocas

El cálculo de las trayectorias de rocas que caen o rebotan en función de los cambios de velocidad en cada impacto es generalmente adecuado. Los análisis de Monte Carlo de muchas trayectorias basadas en la variación de la geometría de la pendiente y las propiedades de la superficie brindan información útil sobre la distribución de falla.

La ubicación de las rocas caídas o la distribución de un gran número de rocas caídas darán una indicación de la magnitud del problema potencial de caída de rocas y de la efectividad de las medidas correctivas tales como mallas cubiertas, cercas de captura y zanjas al pie del talud.

*Nota.* Esta tabla muestra Problemas típicos, parámetros críticos, métodos de análisis y criterios de aceptabilidad para pendientes, Hoek, 2006.

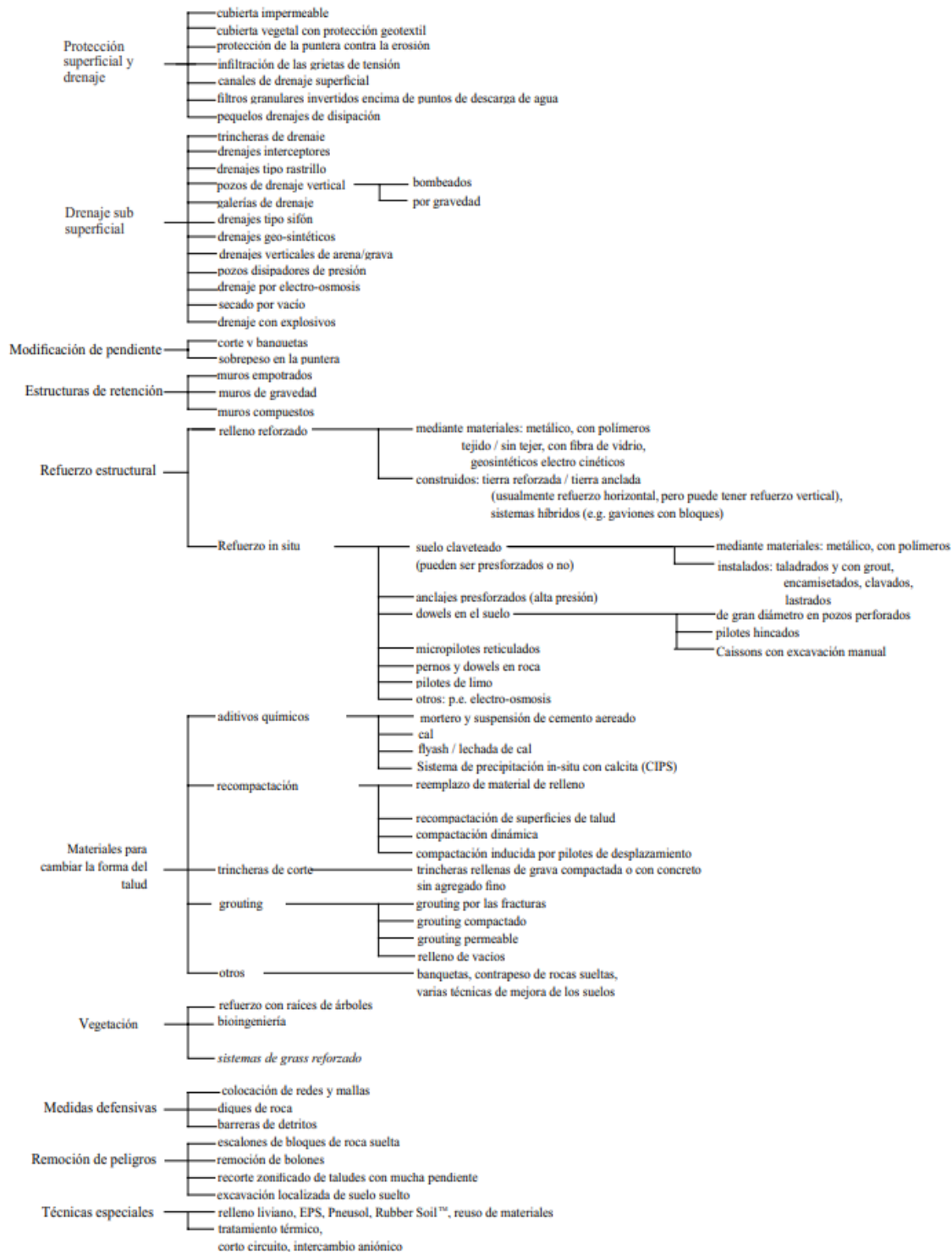
Traducción: C. Arbulú; A. Sullca, K. Chávez.

El talud que nosotros estudiamos tiene las propiedades de la parte resaltada con amarillo en el cuadro anterior, el cual se resumen en  $F_s > 1.5$  para talud estable y seguro, y  $F_s > 1.3$  para talud estable pero no seguro, ya que el talud de estudio es un talud permanente.

2.2.32 Clasificación de técnicas de protección y estabilización de taludes

Figura 35

Clasificación De Técnicas De Protección Y Estabilización De Taludes.



Nota. El gráfico representa la clasificación de técnicas de protección y estabilización de taludes, tomada de Hoek, 2004.



## 2.3 Hipótesis de Trabajo

### 2.3.1 *Hipótesis general*

Se incrementará al 50% el factor de seguridad al agregar epóxico en el talud de suelo en litificación con solicitaciones sísmicas del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq.

### 2.3.2 *Sub hipótesis*

#### **Sub Hipótesis 01:**

Las pendientes del talud del suelo en litificación son mayores a  $60^\circ$  del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq.

#### **Sub Hipótesis 02:**

Las características geofísicas y geomecánicas del talud de estudio del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq muestran características particulares de un suelo en litificación.

#### **Sub Hipótesis 03:**

El factor de seguridad es mayor a 1.5 en el talud de suelo en litificación del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq

#### **Sub Hipótesis 04:**

Existe una disminución del factor de seguridad con solicitaciones sísmicas en el talud de suelo en litificación del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq.

#### **Sub Hipótesis 05:**

Existe un incremento del factor de seguridad con solicitaciones sísmicas con epóxico en el talud de suelo en litificación del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq.





## 2.4 Definición de Variables

### 2.4.1 Variables de Estudio

- **Factor de Seguridad:** El factor de seguridad se define como la relación entre el esfuerzo último del material del componente y el esfuerzo de trabajo. Denota la fuerza adicional del componente que la fuerza requerida.
- **Morfometría del talud:** La morfometría define las categorías de talud con base en la frecuencia de ocurrencia de determinados ángulos particulares en el talud, reúne las áreas, relieve, etc.
- **Suelo en litificación:** El proceso por el cual los sedimentos no consolidados se transforman en rocas sedimentarias. Los sedimentos normalmente son derivados de rocas preexistentes por procesos de meteorización.
- **Condición estática:** Se refiere a que no se considera un factor sísmico dinámico que afecte de forma directa, sino algo estático que no genere ningún tipo de cargas inducidas a una estructura.
- **Solicitaciones Sísmicas:** Se define como las cargas que se inducen a una estructura por un movimiento de su base producido por la propagación de las ondas sísmicas.
- **Solicitaciones Sísmicas con epóxico:** Puede definirse como las cargas que se inducen a una estructura por un movimiento de su base producido por la propagación de las ondas sísmicas.



2.4.2 Cuadro de Operacionalización de Variables

**TITULO: “INCREMENTO DEL FACTOR DE SEGURIDAD EN TALUD DE SUELO EN LITIFICACIÓN CON SOLICITACIONES SISMICAS, RECINTO R-41, MEDIANTE EPÓXICO, SITIO ARQUEOLÓGICO DE RAQARAQAYNIYOQ, SAN JERÓNIMO-CUSCO, 2022”**

| VARIABLES DE ESTUDIO  | TIPO          | DEFINICION CONCEPTUAL   | DEFINICION OPERACIONAL   | DIMENSIONES   | INDICADORES   | INSTRUMENTO   |
|-----------------------|---------------|---|--|---|---|---|
| Factor de Seguridad   | Dependiente   | El factor de seguridad se define como la relación entre el esfuerzo último del material del componente y el esfuerzo de trabajo. Denota la fuerza adicional del componente que la fuerza requerida. (whatispiping.com,2022) | Se obtendrá a través de los resultados de la simulación del software Slide, con los datos previamente obtenidos por los ensayos. | Método de elementos finitos.                                | Ángulo de fricción.<br>Cohesión.<br>Peso específico.<br>Altura.   | Fichas de laboratorio.<br>Memoria de cálculo del factor de seguridad.       |
| Morfometría del talud | Independiente | La morfometría define las categorías de talud con base en la frecuencia de ocurrencia de determinados ángulos particulares en el talud,   | Se obtendrá a través de un levantamiento fotogramétrico que se realizará al talud de estudio obteniendo talud                    | Levantamiento fotogramétrico<br>Método de elementos finitos | Altura del talud.<br>Área de talud.<br>Relieve<br>Perfil de talud | Equipos de levantamiento fotogrametría y uso de software Agisoft Metashape. |



|                          |               |   |  |  |   |   |
|--------------------------|---------------|---|--|--|---|---|
|                          |               | reúne las áreas, relieve, etc. (eird.org2000)   | con 70° de pendiente.  |  |   |   |
| Suelo en litificación    | Independiente | El proceso por el cual los sedimentos no consolidados se transforman en rocas sedimentarias. Los sedimentos normalmente son derivados de rocas preexistentes por procesos de meteorización. (mineriaenlinea,2020) | Se realizo el ensayo de sondeo eléctrico vertical, y ensayo de RMR para tener como resultado el tipo de suelo que se menciona en este caso un suelo en litificación. | Estudios geofísicos y estudio geomecánicos. Método de elementos finitos. | Características geofísicas y geomecánicas. Omnios | Ficha de recolección de datos de estudios geofísicos, geomecánicos y uso de software. |
| Condición estática       | Independiente | Se refiere a que no se considera un factor sísmico dinámico que afecte de forma directa, sino algo estático que no genere ningún tipo de cargas inducidas a una estructura.                                       | Se considero el factor sísmico 0 ya que se trabajó estáticamente al momento de obtener el factor de seguridad.   | Ondas sísmicas Método de elementos finitos.                              | Magnitud Intensidad Aceleración                   | Uso de software.  |
| Solicitaciones Sísmicas. | Independiente | Se define como las cargas que se inducen a una  | Se considero el factor sísmico de  | Ondas sísmicas.  | Magnitud Intensidad                               | Uso de software.  |



|                                      |               |   |   |  |                                       |                  |
|--------------------------------------|---------------|---|---|--|---------------------------------------|------------------|
|                                      |               | estructura por un movimiento de su base producido por la propagación de las ondas sísmicas. (uca.edu.sv, 2005)  | 0.25 que pertenece a la zona donde nos encontramos en la ciudad del Cusco.  | Método de elementos finitos.                 | Aceleración                           |                  |
| Solicitaciones Sísmicas con epóxico. | Independiente | Puede definirse como las cargas que se inducen a una estructura por un movimiento de su base producido por la propagación de las ondas sísmicas. (uca.edu.sv, 2005) | Se considero el factor sísmico de 0.25 que pertenece a la zona donde nos encontramos en la ciudad del Cusco y el uso de epóxico aplicado. | Ondas sísmicas. Método de elementos finitos. | Magnitud<br>Intensidad<br>Aceleración | Uso de software. |



## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

### 3.1 Metodología de la Investigación

#### 3.1.1 *Enfoque de la Investigación*

El enfoque de la presente investigación es cuantitativo. Para Hernández, R. y otros, “Los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés o por qué se relacionan dos o más variables.” (2014, pág. 95)

#### 3.1.2 *Nivel o Alcance de la Investigación*

Según Campbell, D.T., & Stanley, J.C. (1963) la investigación preexperimental es aquella en la que el investigador trata de aproximarse a una investigación experimental pero no tiene los medios de control suficientes que permitan la validez interna. Por lo que se compara un grupo de muestras al que se aplica un tratamiento experimental con otro grupo al que no se le aplica el tratamiento. También se mide la misma muestra o grupo de muestras antes de la aplicación de la variable independiente y después de la aplicación de la misma.

En este tipo de diseño el investigador es capaz de controlar los procedimientos que se empleen durante el proceso de analizar las propiedades geofísicas y geomecánicas del del suelo.

#### 3.1.3 *Método de Investigación*

Se considerará una investigación de método hipotético deductivo, porque consiste en hacer observaciones y análisis, a partir de las cuales se formulan hipótesis que serán comprobadas mediante el desarrollo de la tesis.

En este caso, sabemos que realizar una obra de arte es lo más adecuado para reducir la vulnerabilidad y prevenir deslizamientos.



## **3.2 Diseño de Investigación**

### **3.2.1 *Diseño Metodológico***

Diseño No Experimental debido a que el presente estudio no se realizó ningún tipo manipulación en las variables, por lo que se observa el comportamiento que tiene el deslizamiento para ser estudiado, para después analizarlos y plantear una solución de ingeniería. Este es un proyecto de investigación transversal porque los datos se recopilan durante un período fijo de tiempo para describir variables y analizar sus relaciones en un momento dado.

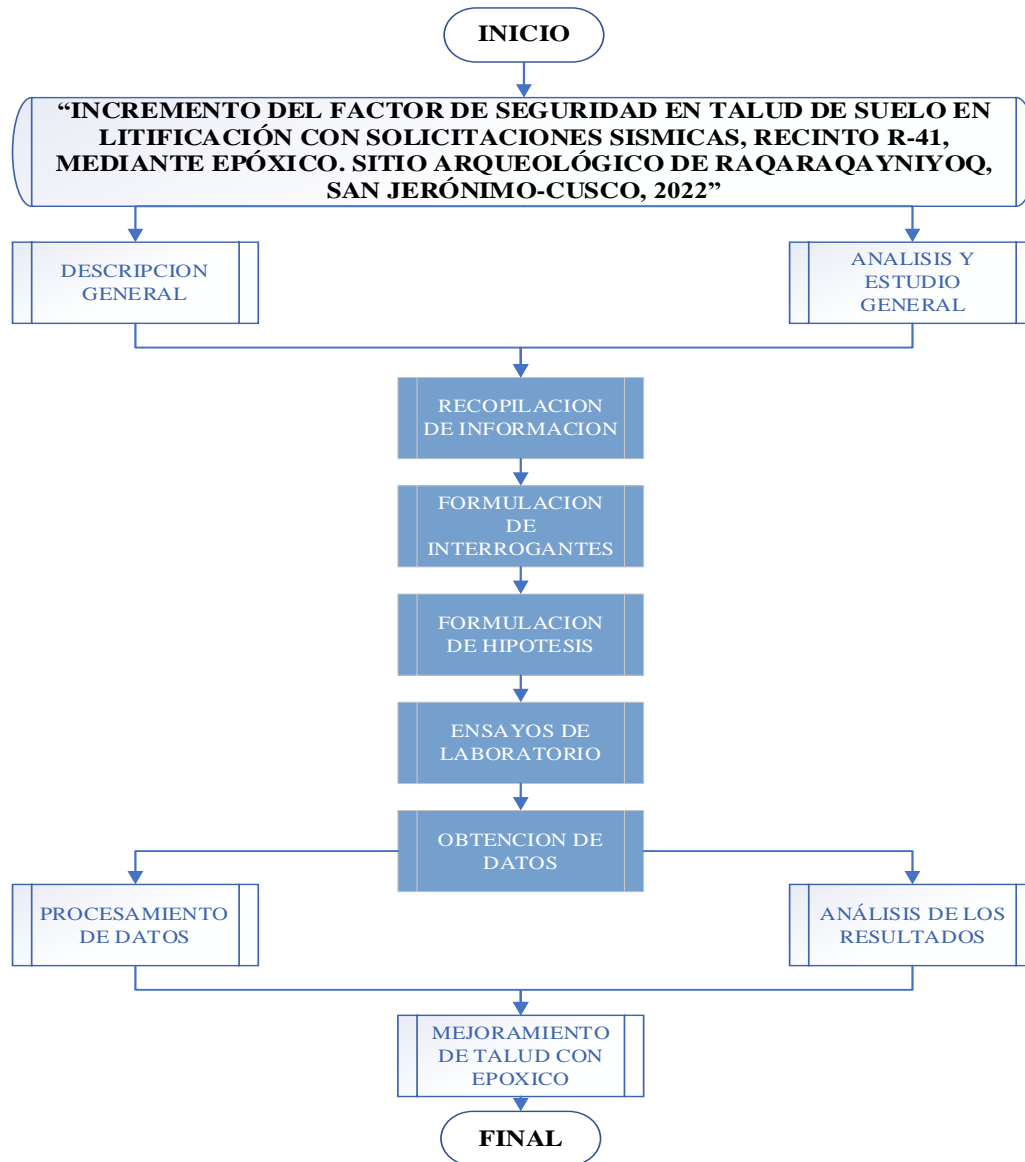
### **3.2.2 *Diseño de Ingeniería***

Se planteó un diseño de investigación que constituye el plan general sistematizado, que permitirá desarrollar la investigación, permitirá obtener respuestas a las interrogantes y comprobar las hipótesis de la investigación.



**Figura 36**

*Esquema General para la Elaboración de la Investigación.*



*Nota.* El gráfico representa el diseño de ingeniería de la tesis, elaboración Propia.

### 3.3 Población y Muestra

#### 3.3.1 Población

##### 3.3.1.1 Descripción de la Población

###### Población

La zona de estudio de nuestra tesis tiene formaciones rocosas, para lo cual con ayuda de los ensayos de RMR tuvimos como resultado un suelo pero



en proceso de litificación, por dicho motivo procedimos a hacer otro ensayo que fue el ensayo de sondeo eléctrico vertical para tener más evidencias de que dicho suelo es como se había obtenido anteriormente, y los resultados del ensayo de sondeo eléctrico vertical arrojaron que el lugar de estudio era un suelo en proceso de litificación motivos por el cual nosotros consideramos al lugar de estudio de nuestra tesis como un suelo en litificación esta vez con mayor certeza ya que teníamos ensayos que respaldaba dicha conclusión, posteriormente realizamos los ensayos que le competía a dicho suelo en litificación.

### **Aspectos históricos y constructivos**

El área del distrito de San Jerónimo fue estudiada por el arqueólogo Edwar Dwyer. Quien realizó una prospección arqueológica, expuesta en su tesis "The Early Inca Occupation of The Valley of Cusco", donde menciona diferentes sitios asociados con ocupación desde el Periodo Intermedio Tardío hasta el Horizonte Tardío,

Igualmente, los arqueólogos Alfredo Mormontoy y Dorina Claros, registran 22 sitios Arqueológicos, evidenciado cerámica de los estilos Killke e Inka, llegando a la conclusión de que los ámbitos periféricos de San Jerónimo habrían satisfecho necesidades de tipo agrícola, pecuario y de almacenamiento de productos, con algunas estructuras de tipo habitacional; también define los sitios de Sillkinchani A y B, QontayMoqo, Cheqollopata, RakaRakayniyoq y Chimaracay, como recintos prehispánicos. Los sitios de Churomoqo, Larapa, Patapata, Mesapata, Rumitaqeyoq y Puscar con conjuntos de andenes que habrían servido para cultivo (Mormontoy y Claros, 1992: 88).





El año 2001 el Arqueólogo Carlos Delgado, realiza en el sector de Patapata el Proyecto de Rescate Arqueológico, a solicitud de la Derrama magisterial, en cuyas conclusiones asevera haber encontrado seis andenerías construidas desde las postrimerías del Periodo Intermedio Tardío a inicios del Horizonte Tardío, e indica que Patapata fue una zona agrícola en la época prehispánica, que habría proyectado durante la época colonial de orden agrícola asociada a la casa hacienda de Bella Vista, cuya desaparición se relaciona con un aluvión. (Carlos González, 2001:181).

Asimismo, la Evaluación Arqueológica en Patapata Tercera etapa, concluye indicando que el andén evidenciado durante las excavaciones, corresponde a la época Inca, con una reutilización prolongada hasta la actualidad; además, señala haber recuperado muy escaso material cultural, indicando que el área tuvo mayor ocupación en la época Inca. (Nancy Román, 2001).

La investigación arqueológica desarrollada en el entorno de Raqaraqayniyoq realizadas por investigadores como (Béjar Raymundo: 2001), (García Calderón Ernesto: 2003), concluyen que estos espacios culturales corresponden a un sistema de andenería asociados a canales que corresponden a la época inca.

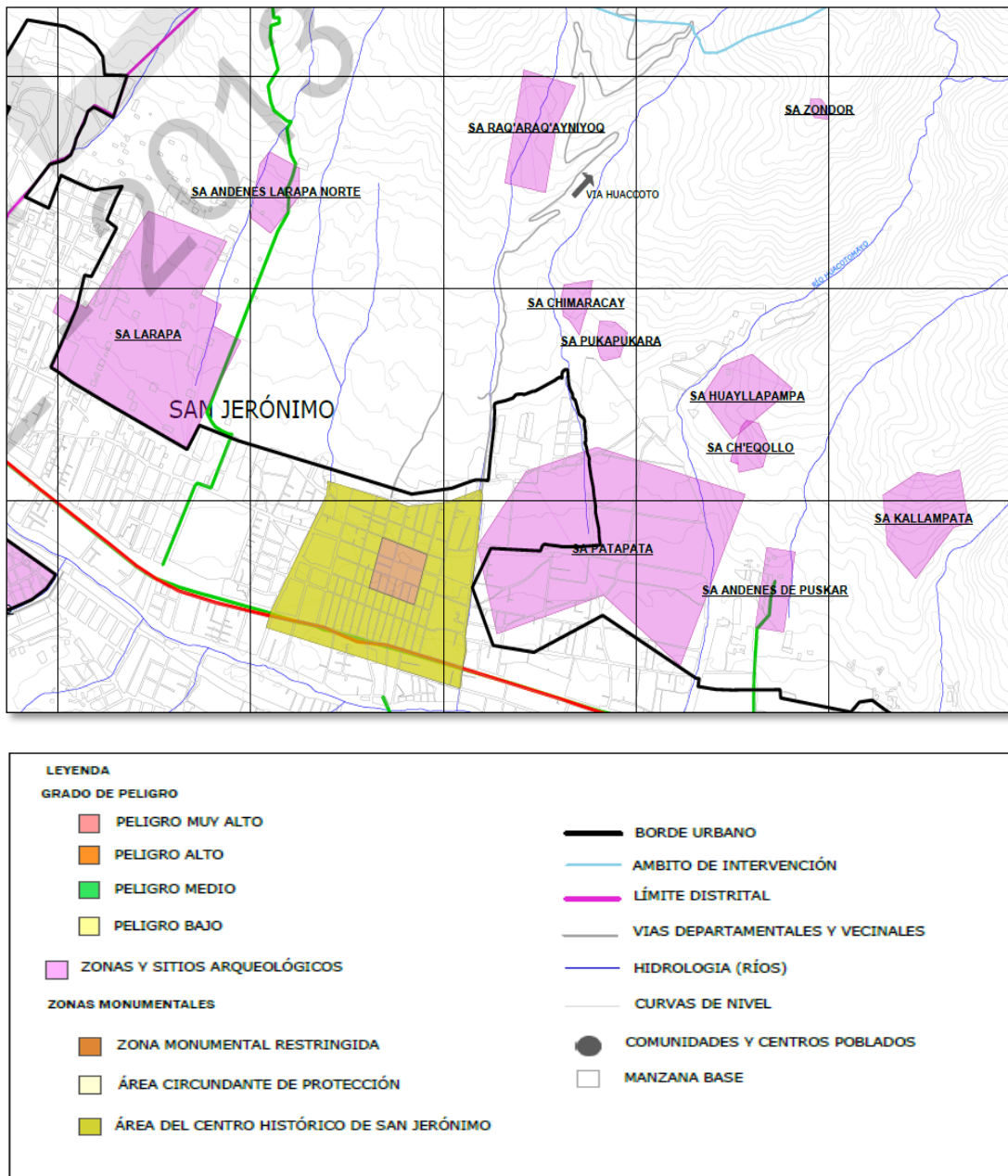
El sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq se encuentra en la parte izquierda del valle cusco, exactamente en las faldas del cerro picol.

El sitio arqueológico insitu comprende un total de 26 recintos todos ellos construidos con piedras, mortero de barro, techo de paja. Las estructuras de Raqaraqayniyoq son de arquitectura rústica.

La mayoría de los recintos tienen los muros de fachada en forma rectangular adecuándose a la topografía del terreno. Los recintos tienen una conformación simple y recta de forma rectangular.

**Figura 37**

*Zona y Sitios Arqueológicos, Zonas Monumentales y Red de Caminos Prehispánicos-Qhapaq Ñam.*



*Nota.* El gráfico representa las zonas y sitios arqueológicos, tomado de Plan de Desarrollo Urbano de la Provincia del Cusco 2013-2023 (2013).



## Aspectos geotécnicos

### a) Geomorfología local

El Sitio Arqueológico Raqaraqayniyoq está en la Zona Intermedia Altiplano en la Cordillera Oriental, que es una faja alargada en dirección NO-SE que separa el Altiplano de la Cordillera Oriental, las alturas máximas alcanzadas en esta zona sobrepasan los 4800 msnm y destacan particularmente las montañas de Pachatusan, cuyas laderas al norte son bastante abruptas por el desnivel en relación al río Vilcanota, en esta zona también se tienen la presencia de mesetas como la de Huaccoto que se halla a una altura de 4000 msnm. (INGEMMET, 2011)

Altiplano: Se distinguen las siguientes unidades locales: Depresión Cusco - Huacarpay, Meseta de Sacsayhuamán, Montañas del Cusco.

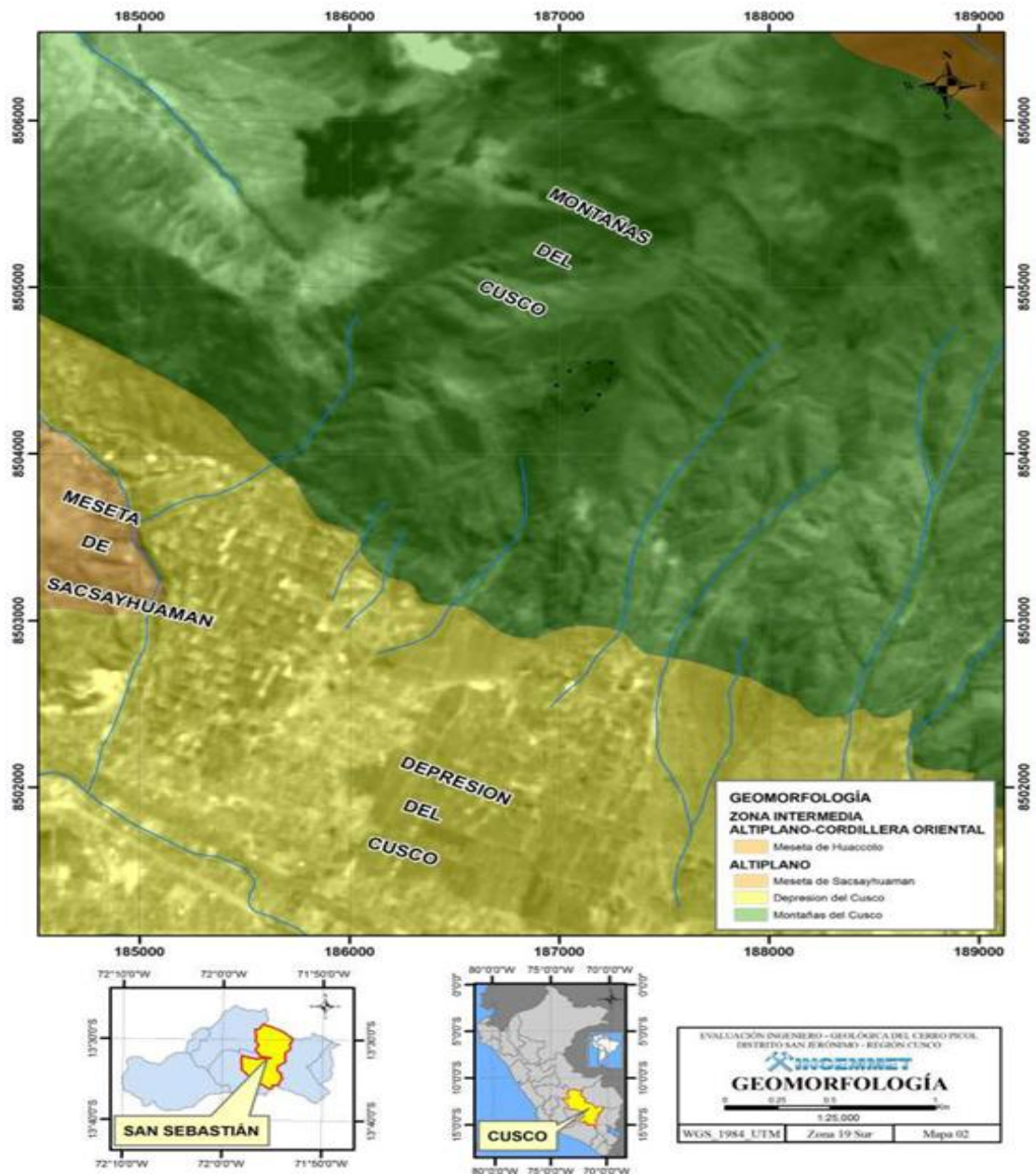
**Meseta de Saqsayhuaman:** Se localiza al Norte de la depresión de Cusco, tiene un relieve relativamente plano y su altitud varia de 3600 a 3700 msnm. El talud entre la meseta y la depresión es algo suave al Oeste y más abrupto al Este, y corresponde a depósitos de conos aluviales pliocenos de la Formación Chinchero (Cabrera, 1988).

**Depresión de Cusco:** Alargada, con dirección NO-SE. El material de relleno es aluvial, lacustre y fluvial de edad pliocuaternaria, en realidad corresponde a una cuenca de origen tectónico, ya que está controlada por fallas activas.

**Montañas del Cusco:** Se ubican al Norte de la meseta de Sacsayhuamán, aquí afloran areniscas de la Formación Kayra que constituyen relieves prominentes; en el cerro Picol alcanzan los 4000 msnm.

**Figura 38**

*Evaluación Ingeniero-Geológica del Cerro Picol*



*Nota.* El grafico representa la evaluación ingeniero-geológico, tomado de Propia.

INGEMMET.



## b) Geología local

En el área evaluada aflora la Formación Kayra del Grupo San Jerónimo y depósitos cuaternarios que describiremos a continuación (Carlotto, et al, 2011):

**Grupo San Jerónimo:** Aflora ampliamente en la región de Cusco y Sicuani. El Grupo San Jerónimo originalmente ha sido dividido en tres formaciones (Córdova, 1986): Kayra (3000 m), Soncco (1600 m) y Punacancha (1700 m). Actualmente solo las formaciones Kayra y Soncco se han redefinido como parte del Grupo San Jerónimo. En la zona de estudio aflora la Formación Kayra.

La sedimentación es continental, depositándose potentes series continentales rojas, el color rojo indica que las zonas expuestas a la erosión experimentaban un clima cálido con alternancia de estación seca y húmeda (Marocco 1978), este grupo se presentan ampliamente al sur y norte de San Jerónimo, oeste de la cuenca en el distrito de Santiago, Lucre y se prolonga hasta Andahuaylillas. Está conformado por las formaciones Kayra y Soncco.

**Formación Kayra:** Constituye el basamento rocoso del área de evaluación, y dado que estas se encuentran alteradas, deformadas, falladas, fracturadas y diaclasadas, producto de la tectónica regional. Litológicamente presenta areniscas feldespáticas, intercaladas con niveles de lutitas rojas; siendo la parte media a superior más gruesa y compuesta por areniscas, micro conglomerados con clastos volcánicos y cuarcitas. Hacia el tope la formación acaba con facies arenosas. Dadas las características litológicas y a sus condiciones geomecánicas.



Esta formación presenta, en algunos sectores, intensa erosión por cárcavas. Localmente la orientación de la estratificación en la Formación Kayra es  $N150^{\circ}, 48^{\circ}NE$  (Foto 01); esta se encuentra en contra de la pendiente del terreno.

Formación Kayra (Peo-ky) Tiene un espesor de 3,000m, está constituida por areniscas intercaladas con lutitas rojas, de origen fluvial, siendo la prolongación lateral de la formación Muñani, esta unidad es una de las más importantes, no solamente por la extensión de los afloramientos y el espesor de sedimentos, sino también porque constituye el principal acuífero de la subcuenca. Además, son rocas muy favorables para las obras civiles. Yacimientos de cobre y plata en mantos, son conocidos en las areniscas, muchas de las cuales han sido explotadas artesanalmente, como en la mina Uspha, al sur de San Jerónimo, o la mina Tambomachay al norte de Cuzco. Sobre esta formación se emplazan asentamientos humanos como Barrio de Dios (margen derecha del río Huancaro), urbanizaciones como: Viva el Perú, Manco Ccapac y General Ollanta. - Formación Soncco (Eoceno superior – Oligoceno inferior) Se ha dividido en 2 miembros: Soncco I (Peo-SOI): aflora en los mismos lugares donde lo hace la formación Kayra, está constituido por lutitas rojas de llanura de inundación, intercaladas con niveles areniscas finas. Soncco II (Peo-SOII): está compuesto por areniscas con clastos blandos y conglomerados con clastos volcánicos de un sistema fluvial altamente entrelazados, de procedencia S y SO. Se tiene 2 dataciones radiométricas al techo de la



unidad, una K/Ar, sobre las plagioclasas de  $29.9 \pm 1.4$  Ma. (Carlotto 2007), y otra de Ar/Ar de 30 Ma (Fornari, 2002).

### c) Peligros Geológicos

Para la descripción del Deslizamiento del cerro Picol se ha tomado como base la clasificación de Varnes (1978, 1996) y la terminología sobre Movimientos en Masa en la región Andina preparado por el Grupo GEMMA (PMA: GCA, 2007):

**DESLIZAMIENTOS:** Son movimientos de ladera debajo de una masa de suelo y roca, cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante. Los deslizamientos cartografiados en el área son del tipo rotacional y/o traslacional; en su mayoría las reactivaciones se encuentran en las márgenes de la quebrada y hacia la cabecera de la quebrada principal (cárcava), presentando escarpas activas semicirculares a rectas.

**CAÍDAS (DERRUMBES):** Son fenómenos asociados a la inestabilidad de las laderas de los cerros, consisten en el desprendimiento y caída repentina de una masa de suelo o rocas o ambos, que pueden rodar o caer directamente en forma vertical con ayuda de la gravedad. Son producidos o reactivados por sismos, erosión (socavamiento de la base en riberas fluviales o acantilados rocosos), efecto de la lluvia (saturación de suelos incoherentes) y la actividad humana (acción antrópica: cortes de carreteras o áreas agrícolas). Estos movimientos tienen velocidades muy rápidas a extremadamente rápidas. En la zona de estudio estos fenómenos se dan



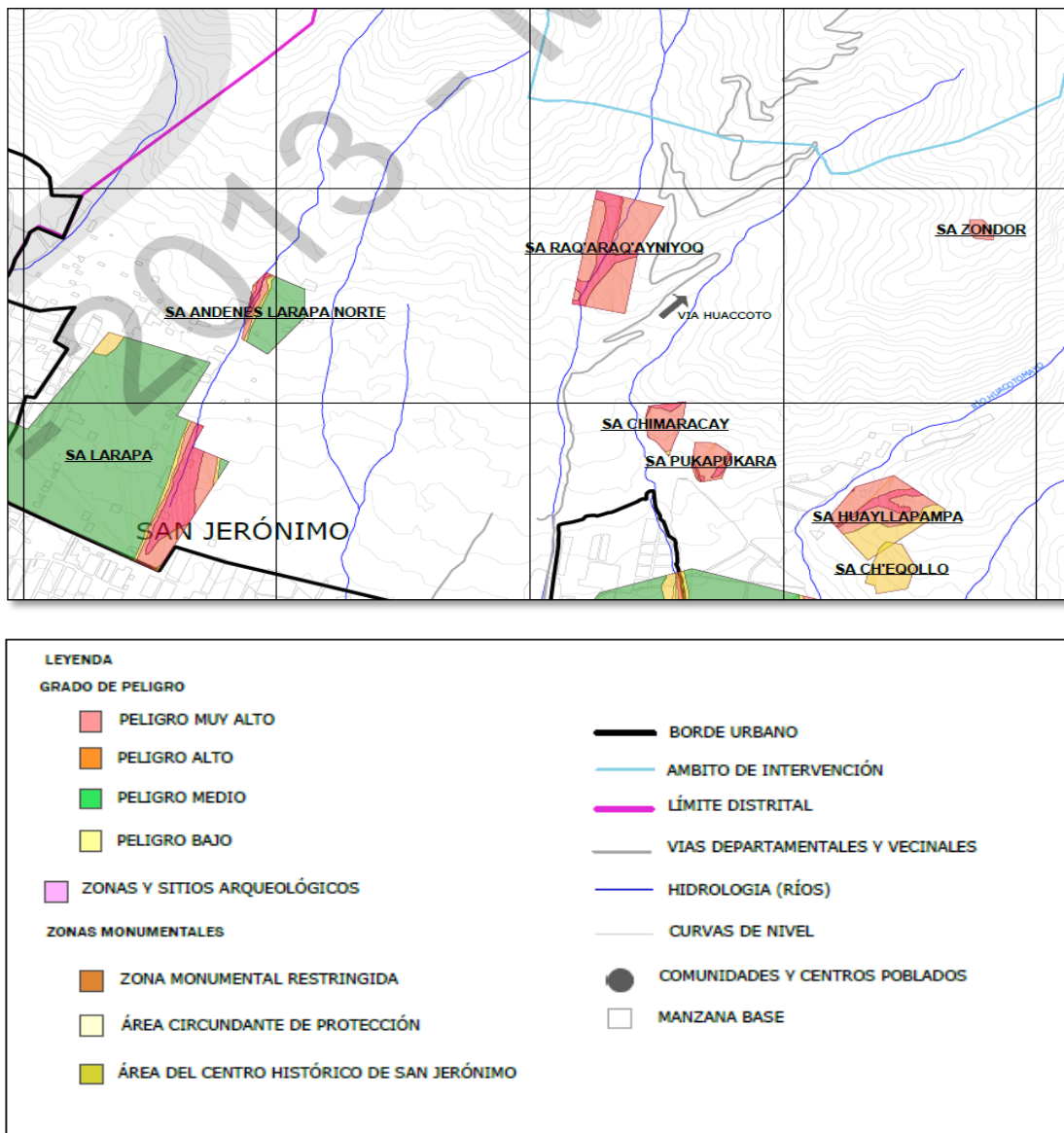
a lo largo y cabeceras de la quebrada Thuniyoq. Asociadas generalmente a erosión en surcos y cárcavas.

**FLUJOS DE DETRITOS:** Se trata de flujos de material detrítico y fino, que se activan con precipitaciones estacionales y/o excepcionales, debido a la escorrentía superficial. Estos depósitos transcurren principalmente a lo largo del cauce de la quebrada y desembocan en su cono deyeectivo, donde se ubican los disipadores 1 y 2.



**Figura 39**

*Peligros Geológicos en Zona y Sitios Arqueológicos.*



*Nota.* El gráfico representa peligros geológicos en zonas arqueológicas, tomado de Plan de Desarrollo Urbano de la Provincia del Cusco 2013-2023 (2013).

### Aspectos sísmicos

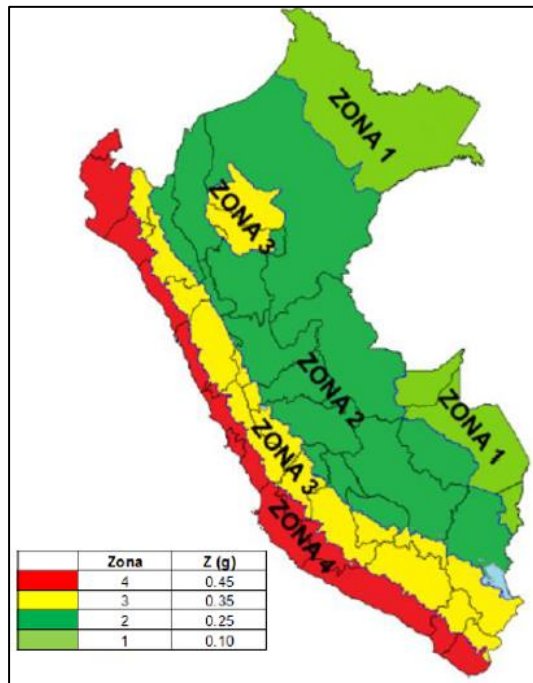
#### a) Zonificación sísmica

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones en la norma E030 Diseño Sismorresistente (2018), indica que la zona de estudio se

encuentra en la zona 2 con valor de  $Z$  máximo de  $0.25g$ , donde  $g$  es la aceleración de la gravedad.

**Figura 40**

*Zonificación sísmica.*



*Nota.* El gráfico representa la zonificación sísmica, tomada de Norma E030 (2018).

### **b) Sismología regional**

El 80% de terremotos del mundo ocurren en el Círculo de Fuego del Pacífico, del cual forma parte el territorio peruano. La interacción de placas tectónicas (subducción de la placa Nazca por debajo de la placa Sudamericana) es el mecanismo responsable de la alta sismicidad en nuestro país.

Los sismos que ocurren en la zona del Cusco, son bastantes localizados (en su mayoría), ligados a reactivaciones de fallamientos activos.

Desde el punto de vista tectónico la sismicidad regional se desarrolla en el dominio de la intraplaca continental sudamericana,



constituyendo la denominada Zona Sismogénica Superficial Oriental del Sur del Perú, esta se caracteriza por presentar sismos principalmente superficiales y destructores como los ocurridos en Cusco en 1950 y 1986, así como en Urcos en 1965.

### **Fallas Activas**

La ciudad del Cusco está rodeada por varias fallas activas dentro de las cuales las que poseen una actividad comprobada son las de Tambomachay y Qoricocha que parecen haber sido activadas durante el sismo del año 1986. La más cercana a la zona de estudio es la falla Tambomachay, la cual se localiza a unos 4 Km al norte de la ciudad del Cusco, tiene una dirección N 110° a N 130° con buzamientos que varían entre 70°E y 80°E hacia el sur, afecta esencialmente las Capas Rojas y la formación Yuncaypata y recorta la topografía actual con planos normales.

### **c) Historia sísmica**

A continuación, se detallan los principales eventos sísmicos que afectaron a la ciudad del Cusco, y por ello también al Sitio Arqueológico Raqaraqayniyoq.



**Tabla 5**

*Zonificación sísmica.*

| <b>Fecha</b>   | <b>Magnitud<br/>(Ritcher)</b> | <b>Intensidad<br/>(MM)</b> |
|----------------|-------------------------------|----------------------------|
| Abril 1986     | 5.2                           | -                          |
| Junio 1980     | -                             | IV                         |
| Mayo 1965      | -                             | V - VI                     |
| Noviembre 1961 | -                             | VI                         |
| Marzo 1954     | -                             | IV                         |
| Agosto 1952    | -                             | IV                         |
| Febrero 1952   | -                             | V                          |
| Mayo 1950      | -                             | VII                        |
| Setiembre 1941 | -                             | VI - VII                   |

*Nota.* El gráfico representa la zonificación sísmica, tomado de Bueno J. (2012).

### **3.3.1.2 Cuantificación de la Población**

La población corresponde al área total del sitio arqueológico del cual se pretende realizar la estabilización del talud siendo aproximadamente 300 m<sup>2</sup>.

### **3.3.2 Muestra**

Las muestras de presente investigación son 05 puntos en el talud de estudio en el Sitio Arqueológico Raqaraqayniyoc.

## Figura 41

*Talud de Estudio (05 puntos de estudio).*



*Nota.* El gráfico representa 5 puntos del talud de estudio, Elaboración propia.

### 3.3.2.1 Descripción de la Muestra

Corresponde a la muestras identificadas y cuantificadas dentro del área del sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq.

### 3.3.2.2 Cuantificación de la Muestra

Para Hernández, R. y otros, “La muestra es un subconjunto de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos, y que tiene que definirse y delimitarse de antemano con precisión, además de que debe ser representativo de la población.”

(Hernández Sampieri y otros, 2014, pág. 173)

- 05 muestras para la Clasificación Geomecánica RMR (resistencia de la matriz rocosa).



- 05 pruebas realizadas con Esclerómetro.
- 10 ensayos de Compresión Simple.
- Levantamiento Fotogramétrico (Software Agisoft Metashape)

### 3.3.2.3 Método de Muestreo

El método de muestreo utilizado en el presente estudio es el NO PROBABILÍSTICO. Según (Hernández Sampieri, 2014), las muestras no probabilísticas, también llamadas muestras dirigidas, suponen un procedimiento de selección orientado por las características de la investigación, más que por un criterio estadístico de generalización. Se utilizan en diversas investigaciones cuantitativas y cualitativas. Seleccionan individuos o casos “típicos” sin intentar que sean estadísticamente representativos de una población determinada.

Para la presente investigación fue necesario establecer que las muestras sean seleccionadas según los criterios para la estabilización de taludes de la misma forma estas fueron ordenadas sistemáticamente debido principalmente a que se requiere conocer las características geomecánicas, compresión simple de los puntos designados para el análisis de la estabilización del talud en la zona arqueológica.

### 3.3.2.4 Criterios de evaluación de muestra

Se evaluaron 05 puntos mediante los criterios anteriormente descritos.:

- Determinación de las características Geomecánica RMR con el método Bieniawski, 1989.
- Determinación de las características de resistencia mediante el ensayo de la Compresión Simple.
- Determinación de las características de resistencia mediante Esclerómetro.
- Determinación de las características topográficas con Software Agisoft Metashape



### 3.3.3 *Criterios de inclusión*

Los criterios que determinamos para la inclusión son:

- Características Geomecánica RMR. Donde se evaluaron:
  1. Resistencia de la Matriz Rocosa
  2. RQD
  3. Separación entre Diaclasas
  4. Estado de las discontinuidades (diaclasas): Persistencia, Abertura, Rugosidad, Relleno, Alteración.
  5. Agua Freática (Meteorización).
- Características de resistencia mediante el ensayo de la Compresión Simple.
- Características de resistencia mediante Esclerómetro.
- Características topográficas con Software Agisoft Metashape

## 3.4 Instrumentos

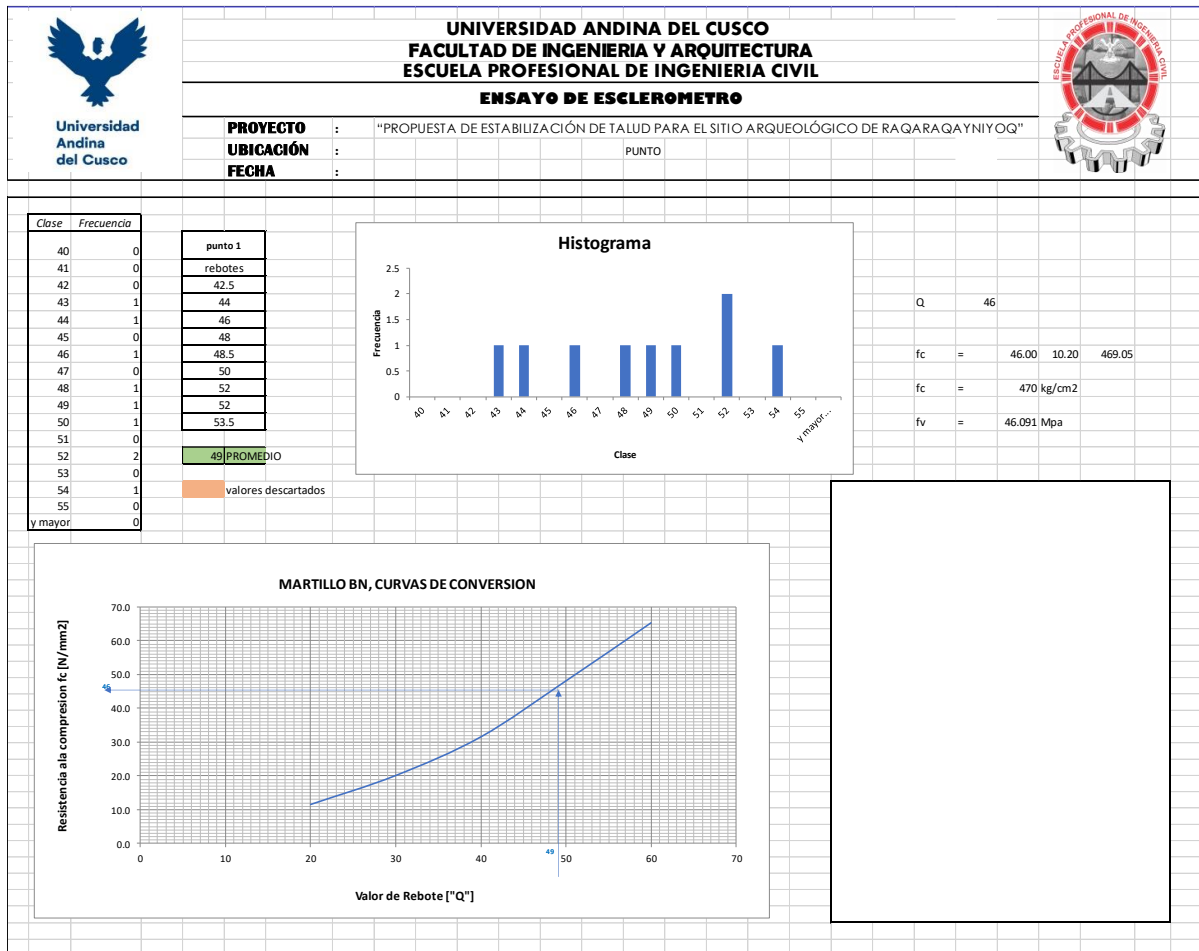
### 3.4.1 *Instrumentos Metodológicos*

- Formato para la toma de datos del ensayo de Esclerómetro.



Figura 42

Formato para la recopilación y análisis del Ensayo de Esclerómetro.



**MARTILLO BN, CURVAS DE CONVERSION**

Nota. El gráfico representa formato para ensayo de esclerómetro, Elaboración propia.

- Formato para la toma de datos de los resultados de la clasificación geomecánica RMR según la metodología de Bieniawski, 1989.





Figura 43

Formato para la recopilación y análisis de la Clasificación Geomecánica RMR.

| UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO                      |                                 | FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA           |                          | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL   |                             | CLASIFICACION GEOMECANICA             |                         |     |    |
|---|---------------------------------|---|--------------------------|---|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----|----|
|   |                                 | PROYECTO :                                      |                          | "PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN DE TALUD PARA EL SITIO ARQUEOLÓGICO DE RAQARAQAYNIYOQ" |                             |                                       |                         |     |    |
|   |                                 | UBICACIÓN :                                     |                          | Sitio Arqueologico RAQARAQAYNIYOQ   |                             |                                       |                         |     |    |
|   |                                 | FECHA :   |                          | Cusco 2022  |                             |                                       |                         |     |    |
| CLASIFICACION GEOMECANICA RMR (Bieniawski, 1989)  |                                 |   |                          |   |                             |                                       |                         |     |    |
| PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN                       |                                 |   |                          |   |                             |                                       |                         |     |    |
| 1   | Resistencia de la Matriz Rocosa | Ensayo de Carga Puntual Compresión Simple (MPa) | >10                      | 10-4  | 4-2                         | 2-1                                   | Compresión Simple (MPa) |     |    |
|   |                                 |   | >250                     | 250-100   | 100-50                      | 50-25                                 | 25-5                    | 5-1 | <1 |
| Puntuación  |                                 | 15  | 12                       | 7   | 4                           | 2                                     | 1                       | 0   |    |
| 2   | RQD                             | Ensayo de Carga Puntual Compresión Simple (MPa) | 100-90%                  | 90-75%  | 75-50%                      | 50-25%                                | <25%                    |     |    |
|   |                                 |   | >20                      | 17  | 13                          | 6                                     | 3                       |     |    |
| Puntuación  |                                 | 20  | 17                       | 13  | 6                           | 3                                     |                         |     |    |
| 3   | Separación entre diaclasas      | Ensayo de Carga Puntual Compresión Simple (MPa) | > 2m                     | 2-0.6m.   | 0.6-0.2m.                   | 0.2-0.06m.                            | < 0.06m.                |     |    |
|   |                                 |   | >20                      | 15  | 10                          | 8                                     | 5                       |     |    |
| Puntuación  |                                 | 20  | 15                       | 10  | 8                           | 5                                     |                         |     |    |
| 4   | Estado de las discontinuidades  | Persistencia                                    | <1m                      | 1-3m  | 3-10m                       | 10-20m                                | >20m                    |     |    |
|   |                                 | Puntuación                                      | 6                        | 4   | 2                           | 1                                     | 0                       |     |    |
|   |                                 | Abertura  | Cerrada (C)              | <0.1mm  | 0.1-1mm                     | 1-5mm                                 | >5mm                    |     |    |
|   |                                 | Puntuación                                      | 6                        | 5   | 3                           | 1                                     | 0                       |     |    |
|   |                                 | Rugosidad                                       | Muy Rugosa (MR)          | Rugosa (R)  | Ligeramente Rugosa (LR)     | Ondulada (O)                          | Suave (S)               |     |    |
|   |                                 | Puntuación                                      | 6                        | 5   | 3                           | 1                                     | 0                       |     |    |
|   |                                 | Relleno   | Ninguno (NG)             | Relleno duro (RD <5mm)  | Relleno duro (RD >5mm)      | Relleno suave (RS <5mm)               | Relleno suave (RS >5mm) |     |    |
|   |                                 | Puntuación                                      | 6                        | 4   | 2                           | 2                                     | 0                       |     |    |
|   |                                 | Alteración                                      | Inalterada (I)           | Ligeramente alterada (LA)   | Moderadamente alterada (MA) | Muy alterada (MuyA)                   | Descompuesta (D)        |     |    |
|   |                                 | Puntuación                                      | 6                        | 5   | 3                           | 1                                     | 0                       |     |    |
| 5   | Agua Freatica                   | Caudal por 10m de túnel                         | Nulo                     | <10litros/min   | 10-25 litros/min            | 25-125 litros/min                     | >125 litros/min         |     |    |
|   |                                 | Relación Presión de agua/Tensión principal      | 0                        | 0-0.1   | 0.1-0.2                     | 0.2-0.5                               | >0.5                    |     |    |
|   |                                 | Estado general                                  | Seco                     | Ligeramente húmedo  | Húmedo                      | Goteando                              | Agua fluyendo           |     |    |
|   |                                 | Puntuación                                      | 15                       | 10  | 7                           | 4                                     | 0                       |     |    |
| ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES EN EL TÚNEL   |                                 |   |                          |   |                             |                                       |                         |     |    |
| Dirección Perpendicular al eje del túnel          |                                 |   |                          | Dirección Paralela al eje del túnel   |                             | Cualquier Dirección Buzamiento 0°-20° |                         |     |    |
| Excavación a favor del Buzamiento                 |                                 | Excavación en contra del buzamiento             |                          |   |                             |                                       |                         |     |    |
| Buz. 45°-90°                                      | Buz. 20°-45°                    | Buz. 45°-90°                                    | Buz. 20°-45°             | Buz. 45°-90°  | Buz. 20°-45°                |                                       |                         |     |    |
| Muy Favorable                                     | Favorable                       | Media   | Desfavorable             | Muy desfavorable  | Media                       | Desfavorable                          |                         |     |    |
| CORRECIÓN POR ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES |                                 |   |                          |   |                             |                                       |                         |     |    |
| Dirección y Buzamiento                            |                                 | Muy Favorable                                   | Favorable                | Media   | Desfavorable                | Muy Desfavorable                      |                         |     |    |
| Puntuación  | Túnel                           | 0   | -2                       | -5  | -10                         | -12                                   |                         |     |    |
|   | Cimentaciones                   | 0   | -2                       | -7  | -15                         | -25                                   |                         |     |    |
|   | Taludes                         | 0   | -5                       | -25   | -50                         | -60                                   |                         |     |    |
| CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN EL RMR      |                                 |   |                          |   |                             |                                       |                         |     |    |
| RMR   | 100-81                          | 80-61   | 60-41                    | 40-21   | <20                         |                                       |                         |     |    |
| Clase   | I                               | II  | III                      | IV  | V                           |                                       |                         |     |    |
| Calidad   | Muy Buena                       | Buena   | Media                    | Mala  | Muy Mala                    |                                       |                         |     |    |
| 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°                       |                                       |                         |     |    |
| Tiempo de Autosporte y longitud sin sostener      | 10 años 15m.                    | 6 meses 8m.                                     | 1 semana 5m.             | 10 horas 2.5m.  | 30 minutos 1m.              |                                       |                         |     |    |
| PUNTAJUE TOTAL                                    |                                 |   |                          |   |                             |                                       |                         |     |    |
| 6   |                                 |   |                          |   |                             |                                       |                         |     |    |
| RESULTADO   | V                               |   |                          |   |                             |                                       |                         |     |    |
|   | Muy Mala                        |   |                          |   |                             |                                       |                         |     |    |
|   | <1Kp/cm <sup>2</sup>            |   |                          |   |                             |                                       |                         |     |    |
|   | <15°                            |   |                          |   |                             |                                       |                         |     |    |
| 30 minutos 1m                                     |                                 |   |                          |   |                             |                                       |                         |     |    |

Nota. El gráfico representa formato clasificación geomecánica RMR, Elaboración propia.

- Formato para la toma de datos del ensayo de compresión simple.

**Figura 44**

Formato para la recopilación y análisis del Ensayo de Compresión Simple.

| <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b><br><b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b><br><b>ENSAYO A LA COMPRESION SIMPLE</b> |      |                    |       |   |         |       |               |         |          |                   |         |     |             |
|---|------|--------------------|-------|---|---------|-------|---------------|---------|----------|-------------------|---------|-----|-------------|
| <br>Universidad<br>Andina<br>del Cusco  |      | <b>PROYECTO</b> :  |       | "PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN DE TALUD PARA EL SITIO ARQUEOLÓGICO DE RAQARAQAYNIYOQ" |         |       |               |         |          |                   |         |     |             |
|   |      | <b>UBICACIÓN</b> : |       | Sitio Arqueologico RAQARAQAYNIYOQ   |         |       |               |         |          |                   |         |     |             |
|   |      | <b>FECHA</b> :     |       | Cusco 2022  |         |       |               |         |          |                   |         |     |             |
| TOMA DE DATOS   |      |                    |       |   |         |       | CALCULOS      |         |          |                   |         |     |             |
| N   | Peso | d1                 | d2    | h1  | h2      | Vol   | Area Sec Tran | Q       | Densidad | Densidad Promedio | fv      | fv  | fv Promedio |
|   | g    | mm                 | mm    | mm  | mm      | cm3   | cm2           | kg      | g/cm3    | KN/m3             | kg/cm2  | Mpa | Mpa         |
| 1   | 1    | 114.8              | 31.74 | 30.96   | 60.65   | 61.51 | 47.15         | 1740    |          |                   |         |     |             |
| 1   | 2    | 118.3              | 30.64 | 32.38   | 59.06   | 59.12 | 46.08         | 2880    |          |                   |         |     |             |
| 2   | 1    | 115.4              | 31.95 | 31.88   | 57.87   | 58.32 | 46.47         | 1540    |          |                   |         |     |             |
| 2   | 2    | 121.5              | 31.43 | 31.71   | 60.45   | 61.00 | 47.53         | 2210    |          |                   |         |     |             |
| 3   | 1    | 118.9              | 32.14 | 32.71   | 59.25   | 59.21 | 48.91         | 4300    |          |                   |         |     |             |
| 3   | 2    | 112.2              | 32.85 | 32.43   | 59.61   | 59.28 | 49.74         | 1060    |          |                   |         |     |             |
| 4   | 1    | 134.2              | 33.14 | 31.86   | 60.19   | 59.96 | 49.84         | 6030    |          |                   |         |     |             |
| 4   | 2    | 116.5              | 32.24 | 31.98   | 59.40   | 59.32 | 48.07         | 1690    |          |                   |         |     |             |
| 5   | 1    | 125.4              | 32.72 | 32.78   | 60.19   | 59.71 | 50.50         | 3770    |          |                   |         |     |             |
| 5   | 2    | 115.2              | 31.47 | 32.01   | 58.50   | 59.00 | 46.48         | 3210    |          |                   |         |     |             |
| PUNTO 1   |      | PUNTO 2            |       |   | PUNTO 3 |       |               | PUNTO 4 |          |                   | PUNTO 5 |     |             |
|   |      |                    |       |   |         |       |               |         |          |                   |         |     |             |

Nota. El gráfico representa formato para ensayo de compresión simple, Elaboración propia.

### 3.4.2 Instrumentos de Ingeniería

- Equipo para el ensayo de la Compresión Simple
- Esclerómetro
- Software Agisoft Metashape
- Software RocData
- Software Slide.
- Software Excel.
- Laboratorio de Ingeniería (mecánica de suelos-roca)



- Equipo Sondeo Eléctrico Vertical

### 3.5 Procedimientos de Recolección de Datos

Evaluación y Recolección de Datos en campo.

Para determinar la estabilidad del talud de estudio en el Sitio Arqueológico

Raqaraqayniyoq se realizo toma de datos usando el formato antes mencionado, donde se puede observar las características del talud de estudio, a continuación, se describe el uso del formato para realizar la clasificación RMR en 5 puntos:

#### 3.5.1 Clasificación de RMR

Para la Clasificación de RMR en los puntos designados se procedió a realizar las inspecciones visuales Insitu. Para lo cual se procedió de la siguiente manera:

1. Se procedió a realizar los diferentes ensayos de los parámetros de la Matriz Rocosa siguiendo la ficha de la clasificación geomecánica RMR.
2. Para determinar la Resistencia de la Matriz Rocosa se obtiene muestras para luego llevarlas a laboratorio y realizar el ensayo de compresión simple.

Se obtuvieron 02 rocas por cada punto, en total 10 muestras los cuales talladas para obtener forma cilíndrica de diámetro 3cm y altura 6cm.

#### **Procedimiento:**

Se realizó la prueba de ensayo a compresión simple:

- 1.1. Muestras de forma cilíndrica para realizar el ensayo a compresion simple.

**Figura 45**

*Muestras de forma cilíndrica para realizar el ensayo a compresión simple.*



1.2. Obtención del peso de cada muestra.

**Figura 46**

*Obtención del peso de cada muestra.*



- 1.3. Obtención de las medidas del diámetro y altura de cada cilindro utilizando el vernier.

**Figura 47**

*Obtención de las medidas del diámetro y altura de cada cilindro muestra utilizando el vernier.*



- 1.4. Ensayo de compresión simple

**Figura 48**

*Resultado del ensayo a la compresión simple del punto 1, muestra 1-1 y 1-2.*



**Figura 49**

*resultado del ensayo a la compresión simple del punto 2, muestra 2-1 y 2-2.*



**Figura 50**

*Resultado del ensayo a la compresión simple del punto 3, muestra 3-1 y 2-2.*



**Figura 51**

*Resultado del ensayo a la compresión simple del punto 4, muestra 4-1 y 4-2.*



**Figura 52**

*Resultado del ensayo a la compresión simple del punto 5, muestra 5-1 y 5-2.*





- 1.5. Fractura de los cilindros luego de realizar en ensayo de resistecia a la compresion simple.

**Figura 53**

*Factura de los cilindros de las 10 muestras.*







1.6. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión simple.

Figura 54

Resultados del ensayo de resistencia a la compresión simple.

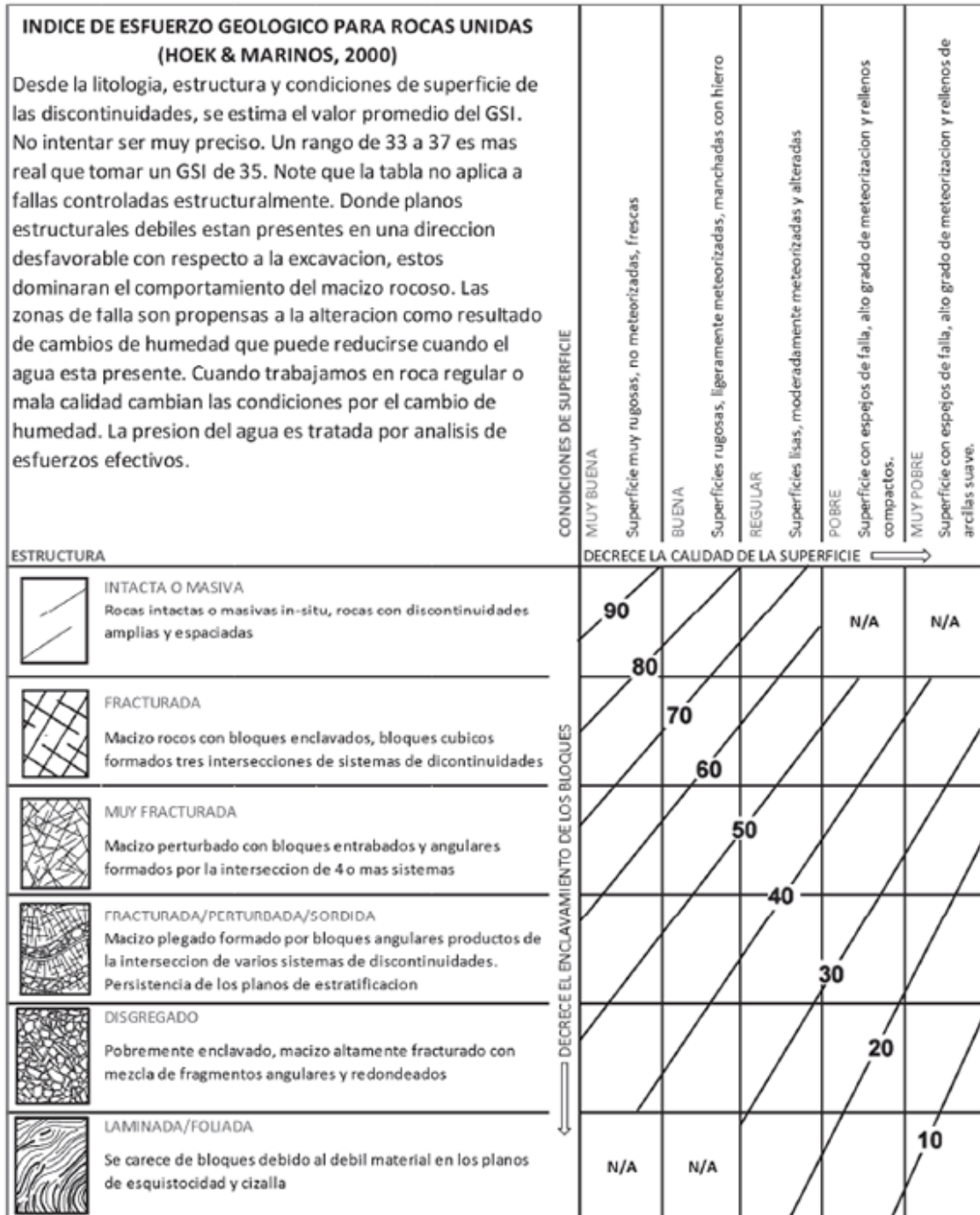
|   |   | UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  |       |   |  |       |          | FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA   |      |          |   |        |       | ESCUOLA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL |  |   |  |
|---|---|---|-------|---|--|-------|----------|---|------|----------|---|--------|-------|---|--|---|--|
|   |   | ENSAYO A LA COMPRESION SIMPLE   |       |   |  |       |          |   |      |          |   |        |       |   |  |   |  |
|    |   | <b>PROYECTO</b>   |       | "PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN DE TALUD PARA EL SITIO ARQUEOLÓGICO DE RAQARAQAYNIYOQ" |  |       |          |   |      |          |   |        |       |   |  |  |  |
|   |   | <b>UBICACIÓN</b>  |       | Sitio Arqueologico RAQARAQAYNIYOQ   |  |       |          |   |      |          |   |        |       |   |  |   |  |
|   |   | <b>FECHA</b>  |       | Cusco 2022  |  |       |          |   |      |          |   |        |       |   |  |   |  |
| TOMA DE DATOS   |   |   |       |   |  |       | CALCULOS |   |      |          |   |        |       |   |  |   |  |
| N   |   | Peso  | d1    | d2  | h1   | h2    | Vol      | Area Sec Tran   | Q    | Densidad | Densidad Promedio   | fv     | fv    | fv Promedio                             |  |   |  |
|   |   | g   | mm    | mm  | mm   | mm    | cm3      | cm2   | kg   | g/cm3    | KN/m3   | kg/cm2 | Mpa   | Mpa                                     |  |   |  |
| 1   | 1 | 114.8   | 31.74 | 30.96   | 60.65  | 61.51 | 47.15    | 7.72  | 1740 | 2.43     | 24.52   | 225.4  | 22.11 | 29.16                                   |  |   |  |
| 1   | 2 | 118.3   | 30.64 | 32.38   | 59.06  | 59.12 | 46.08    | 7.80  | 2880 | 2.57     |   | 369.3  | 36.22 |   |  |   |  |
| 2   | 1 | 115.4   | 31.95 | 31.88   | 57.87  | 58.32 | 46.47    | 8.00  | 1540 | 2.48     | 24.71   | 192.5  | 18.88 | 23.28                                   |  |   |  |
| 2   | 2 | 121.5   | 31.43 | 31.71   | 60.45  | 61.00 | 47.53    | 7.83  | 2210 | 2.56     |   | 282.3  | 27.69 |   |  |   |  |
| 3   | 1 | 118.9   | 32.14 | 32.71   | 59.25  | 59.21 | 48.91    | 8.26  | 4300 | 2.43     | 22.95   | 520.7  | 51.07 | 31.75                                   |  |   |  |
| 3   | 2 | 112.2   | 32.85 | 32.43   | 59.61  | 59.28 | 49.74    | 8.37  | 1060 | 2.26     |   | 126.7  | 12.42 |   |  |   |  |
| 4   | 1 | 134.2   | 33.14 | 31.86   | 60.19  | 59.96 | 49.84    | 8.30  | 6030 | 2.69     | 25.10   | 726.9  | 71.28 | 45.87                                   |  |   |  |
| 4   | 2 | 116.5   | 32.24 | 31.98   | 59.40  | 59.32 | 48.07    | 8.10  | 1690 | 2.42     |   | 208.7  | 20.47 |   |  |   |  |
| 5   | 1 | 125.4   | 32.72 | 32.78   | 60.19  | 59.71 | 50.50    | 8.42  | 3770 | 2.48     | 24.32   | 447.5  | 43.89 | 41.84                                   |  |   |  |
| 5   | 2 | 115.2   | 31.47 | 32.01   | 58.50  | 59.00 | 46.48    | 7.91  | 3210 | 2.48     |   | 405.7  | 39.79 |   |  |   |  |
| PUNTO 1   |   | PUNTO 2   |       |   | PUNTO 3  |       |          | PUNTO 4   |      |          | PUNTO 5   |        |       |   |  |   |  |
|  |   |  |       |   |  |       |          |  |      |          |  |        |       |   |  |   |  |

Nota. El gráfico representa resultados de ensayo de compresión simple, Elaboración propia

1.7. Se Procedió a realizar el RQD insitu, con la siguiente ficha:

**Figura 55**

*Clasificación geomecánica GSI*



*Nota.* El gráfico representa clasificación geomecánica GSI, tomada de HOEK Y MARINOS, 2000.



1. Posteriormente se realizó la Puntuación para la Separación entre diaclasas el cual nos indica la abertura existente entre las discontinuidades.
2. De la misma forma después de identificar las diaclasas se procedió a caracterizarla y dando una puntuación a la Persistencia, Abertura, Rugosidad, Relleno y Alteración para cada punto de inspección seleccionada.
3. Se procedió a puntuar si la zona en estudio estaba Meteorizada y si existía la presencia de agua Freática.
4. Posteriormente se realiza la corrección por orientación de las discontinuidades
5. Finalmente se realiza la clasificación del Macizo Rocoso.

### ***3.5.2 Recolección de Datos de la resistencia a la compresión con Esclerómetro***

Se observó que el talud de estudio es de tipo roca por lo que se empleó el ensayo de esclerómetro, este ensayo permite medir la resistencia de manera no destructiva de la roca, se realizó de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Antes de realizar los disparos sobre las rocas en los 5 puntos se limpió bien las superficies donde se realizó los disparos.
- El medidor de dureza se colocó de forma vertical respecto al lugar de medición.  
Se sujeto el esclerómetro con ambas manos, una mano en la parte anterior y la otra en la parte posterior.



**Procedimiento:**

**Figura 56**

*Toma de datos in situ con Esclerómetro en el punto 01.*



**Figura 57**

*Toma de datos in situ con Esclerómetro en el punto 02*





**Figura 58**

*Toma de datos in situ con Esclerómetro en el punto 03*



**Figura 59**

*Toma de datos in situ con Esclerómetro en el punto 04*



**Figura 60**

*Toma de datos in situ con Esclerómetro en el punto 05*



**Figura 61**

*Ensayos Insitu con Esclerómetro.*





Datos obtenidos del ensayo del esclerómetro.

**Tabla 6**

*Resultados de la toma de datos con Esclerómetro.*

| <b>Punto 1</b>  | <b>Punto 2</b> | <b>Punto 3</b> | <b>Punto 4</b> | <b>Punto 5</b> |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Rebotes</b>  | <b>Rebotes</b> | <b>Rebotes</b> | <b>Rebotes</b> | <b>Rebotes</b> |
| 42.5            | 0              | 0              | 0              | 0              |
| 44              | 0              | 11             | 0              | 0              |
| 46              | 0              | 13             | 5              | 0              |
| 48              | 0              | 13             | 6              | 0              |
| 48.5            | 0              | 16             | 10             | 0              |
| 50              | 11             | 16             | 11             | 0              |
| 52              | 11             | 22             | 14             | 0              |
| 52              | 21.5           | 32.5           | 15.5           | 10             |
| 53.5            | 27             | 41.5           | 24             | 11             |
| <b>PROMEDIO</b> |                |                |                |                |
| 51.875          | 17.625         | 28             | 16.125         | 10.5           |

*Nota.* La tabla muestra los resultados del esclerómetro, Elaboración propia.

### **3.5.3 Levantamiento fotogramétrico del Talud para procesamiento**

El trabajo se ha desarrollado en tres etapas, las cuales se describen a continuación:

Gabinete 1: Recopilación de información a partir de informes y reportes técnicos sobre el estado del Sitio Arqueológico Raqaraqayniyoc. Preparación de mapas de ubicación de la zona de estudio, elaboración de los puntos de tomas de fotografía de los puntos para la adquisición de información posterior en campo.

Trabajos de campo: Reconocimiento del área de estudio, señalización, instalación, medición de los puntos para la obtención de las fotografías.



Gabinete 2: Procesamiento de los datos fotogramétricos, obtención de productos  
levantamiento fotogramétrico para obtener los perfiles del talud.

**Procedimiento:**

1. Toma de vistas fotográficas a lo largo del talud de estudio para el procesamiento en el programa Software Agisoft Metashape.
2. Se realizo la toma de fotos siguiendo un orden para tener todo el talud y obtener mejores resultados.

**Figura 62**

*Toma de vistas fotográficas del talud de estudio.*





**Figura 63**

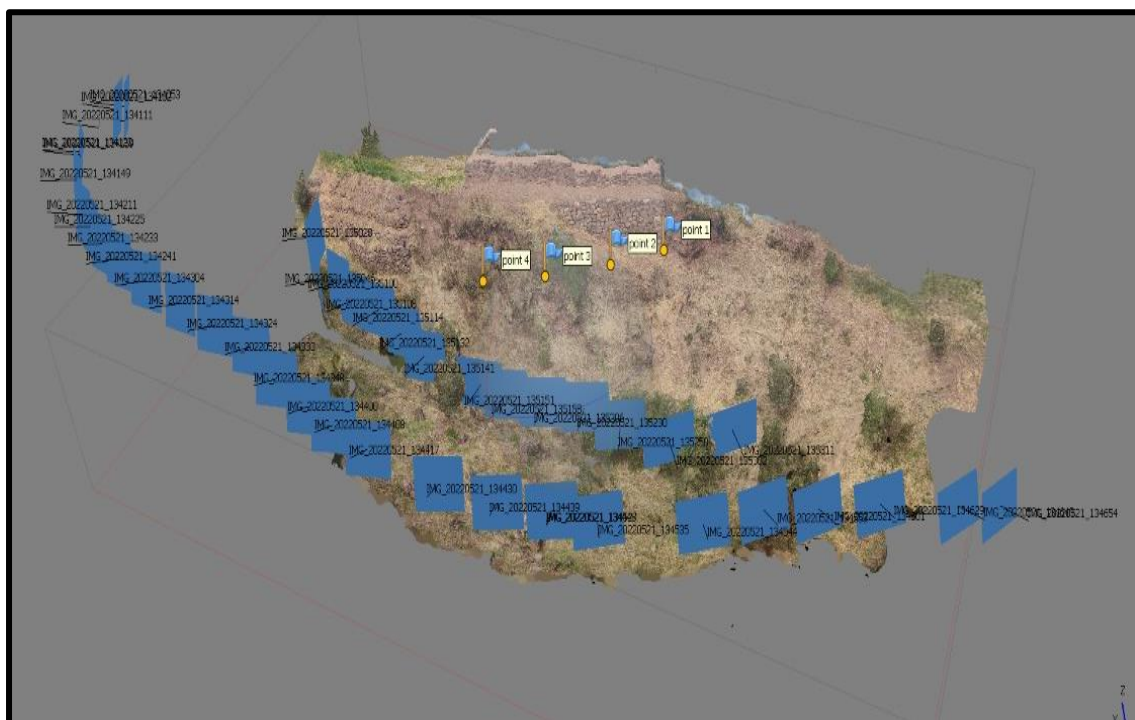
*Toma de vistas fotográficas del talud de estudio.*



**Figura 64**

*Referencia de la distribución de las fotografías para el levantamiento fotogramétrico.*

Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)





El estudio geofísico de resistividad empleando la técnica del Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) se realizó entre los días 14 y 15 de octubre del 2022.

De acuerdo a las condiciones del terreno donde se realizaron los estudios geofísicos, se empleó el dispositivo Schlumberger simétrico tetraelectródico, la línea de extensión AB/2 llegó hasta una distancia de 0.6 metros.

Para realizar el ensayo de Sondeo Eléctrico Vertical, se identificó dos puntos y se procedió a realizar el ensayo

### **Figura 65**

*Obtención de datos del ensayo Sondeo Eléctrico Vertical.*



*Nota.* El gráfico representa obtención de datos del SEV, Elaboración propia.



**Tabla 7**

*Datos ensayo Sondeo Eléctrico Vertical SEV.*

| <b>Ensayo</b>                             |                         |                |
|---|-------------------------|----------------|
| <b>SEV-2D (Sondeo Eléctrico Vertical)</b> |                         |                |
| <b>Nivel</b>                              | <b>Talud de estudio</b> |                |
|   | <b>Punto 1</b>          | <b>Punto 2</b> |
| Nivel superior                            | 4                       | 3              |
|   | 9                       | 2              |
|   | 5                       | 1              |
| Nivel inferior                            | 8                       | 5              |
|   | 2                       | 3              |
|   | 4                       | 1              |

*Nota.* La tabla muestra los datos del ensayo de SEV, Elaboración propia.

### 3.6 Procedimiento de Análisis de Datos

#### 3.6.1 Análisis de Datos de los Ensayos Realizados

##### 3.6.1.1 Procesamiento de Datos para la Clasificación Geomecánica RMR

Figura 66

Procesamiento de datos para RMR del Punto 01.

| UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL |                                 | NOMBRE DEL ENSAYO   |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
|--|---------------------------------|---|--------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|----|--|
|  |                                 | <b>PROYECTO :</b> "PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN DE TALUD PARA EL SITIO ARQUEOLÓGICO DE RAQARAQAYNIYQQ"<br><b>UBICACIÓN :</b><br><b>FECHA :</b> |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
|  |                                 |   |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
| CLASIFICACION GEOMECHANICA RMR (Bieniawski, 1989)  |                                 |   |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
| PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN  |                                 |   |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
| 1  | Resistencia de la Matriz Rocosa | Ensayo de Carga Puntual   | >10                      | 10-4                                | 4-2                         | 2-1                     | Compresión Simple (MPa) |                   |    |  |
|  |                                 | Compresión Simple (MPa)   | >250                     | 250-100                             | 100-50                      | 50-25                   | 25-5                    | 5-1               | <1 |  |
|  | Puntuación                      |   | 15                       | 12                                  | 7                           | 4                       | 2                       | 1                 | 0  |  |
| 2  | RQD                             |   | 100-90%                  | 90-75%                              | 75-50%                      | 50-25%                  | <25%                    |                   |    |  |
|  | Puntuación                      |   | 20                       | 17                                  | 13                          | 6                       | 3                       |                   |    |  |
| 3  | Separación entre diaclasas      |   | > 2m                     | 2-0.6m.                             | 0.6-0.2m.                   | 0.2-0.06m.              | < 0.06m.                |                   |    |  |
|  | Puntuación                      |   | 20                       | 15                                  | 10                          | 8                       | 5                       |                   |    |  |
| 4  | Estado de las Discontinuidades  | Persistencia  | <1m                      | 1-3m                                | 3-10m                       | 10-20m                  | >20m                    |                   |    |  |
|  |                                 | Puntuación  | 6                        | 4                                   | 2                           | 1                       | 0                       |                   |    |  |
|  |                                 | Abertura  | Cerrada (C)              | <0.1mm                              | 0.1-1mm                     | 1-5mm                   | >5mm                    |                   |    |  |
|  |                                 | Puntuación  | 6                        | 5                                   | 3                           | 1                       | 0                       |                   |    |  |
|  |                                 | Rugosidad   | Muy Rugosa (MR)          | Rugosa (R)                          | Ligeramente Rugosa (LR)     | Ondulada (O)            | Suave (S)               |                   |    |  |
|  |                                 | Puntuación  | 6                        | 5                                   | 3                           | 1                       | 0                       |                   |    |  |
|  |                                 | Relleno   | Ninguno (NG)             | Relleno duro (RD <5mm)              | Relleno duro (RD >5mm)      | Relleno suave (RS <5mm) | Relleno suave (RS >5mm) |                   |    |  |
|  |                                 | Puntuación  | 6                        | 4                                   | 2                           | 2                       | 0                       |                   |    |  |
|  |                                 | Alteración  | Inalterada (I)           | Ligeramente alterada (LA)           | Moderadamente alterada (MA) | Muy alterada (MuyA)     | Descompuesta (D)        |                   |    |  |
|  |                                 | Puntuación  | 6                        | 5                                   | 3                           | 1                       | 0                       |                   |    |  |
| 5  | Agua Freatica                   | Caudal por 10m de túnel   | Nulo                     | <10litros/min                       | 10-25 litros/min            | 25-125 litros/min       | >125 litros/min         |                   |    |  |
|  |                                 | Relación Presión de agua/Tensión principal  | 0                        | 0-0.1                               | 0.1-0.2                     | 0.2-0.5                 | >0.5                    |                   |    |  |
|  |                                 | Estado general  | Seco                     | Ligeramente húmedo                  | Húmedo                      | Goteando                | Agua fluyendo           |                   |    |  |
|  |                                 | Puntuación  | 15                       | 10                                  | 7                           | 4                       | 0                       |                   |    |  |
| ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES EN EL TÚNEL  |                                 |   |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
| Dirección Perpendicular al eje del túnel   |                                 |   |                          | Dirección Paralela al eje del túnel |                             | Cualquier Dirección     |                         | Buzamiento 0°-20° |    |  |
| Excavación a favor del Buzamiento  |                                 | Excavación en contra del buzamiento   |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
| Buz. 45°-90°   | Buz. 20°-45°                    | Buz. 45°-90°  | Buz. 20°-45°             | Buz. 45°-90°                        | Buz. 20°-45°                |                         |                         |                   |    |  |
| Muy Favorable  | Favorable                       | Media   | Desfavorable             | Muy desfavorable                    | Media                       | Desfavorable            |                         |                   |    |  |
| CORRECCIÓN POR ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES   |                                 |   |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
| Dirección y Buzamiento   |                                 | Muy Favorable   | Favorable                | Media                               | Desfavorable                | Muy Desfavorable        |                         |                   |    |  |
| Puntuación   | Túnel                           | 0   | -2                       | -5                                  | -10                         | -12                     |                         |                   |    |  |
|  | Cimentaciones                   | 0   | -2                       | -7                                  | -15                         | -25                     |                         |                   |    |  |
|  | Taludes                         | 0   | -5                       | -25                                 | -50                         | -60                     |                         |                   |    |  |
| CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN EL RMR   |                                 |   |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
| RMR  | 100-81                          | 80-61   | 60-41                    | 40-21                               | <20                         |                         |                         |                   |    |  |
| Clase  | I                               | II  | III                      | IV                                  | V                           |                         |                         |                   |    |  |
| Calidad  | Muy Buena                       | Buena   | Media                    | Mala                                | Muy Mala                    |                         |                         |                   |    |  |
| 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°                       |                         |                         |                   |    |  |
| Tiempo de Autosuporte y longitud sin sostener  | 10 años 15m.                    | 6 meses 8m.   | 1 semana 5m.             | 10 horas 2.5m.                      | 30 minutos 1m.              |                         |                         |                   |    |  |
| PUNTO 01   |                                 |   |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
| INGRESAR DATOS   |                                 |   |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
| Compresión Simple (MPa)  |                                 | Ensayo de Carga Puntual   |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
| 29.16  |                                 |   |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
| 4  |                                 | #N/D  |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
|  |                                 | 25  |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
|  |                                 | 3   |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
|  |                                 | 0.1   |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
|  |                                 | 8   |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
|  |                                 | 1   |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
|  |                                 | 6   |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
|  |                                 | 7   |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
|  |                                 | 0   |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
|  |                                 | LR  |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
|  |                                 | 3   |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
|  |                                 | RS >5mm   |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
|  |                                 | 0   |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
|  |                                 | D   |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
|  |                                 | 0   |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
|  |                                 | H   |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
|  |                                 | 7   |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
|  |                                 |   |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
|  |                                 | -25   |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
| PUNTAJACION TOTAL  |                                 |   |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
|  |                                 | 6   |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
| RESULTADO  |                                 |   | V                        |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
|  |                                 |   | Muy Mala                 |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
|  |                                 |   | <1Kp/cm2                 |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
|  |                                 |   | <15°                     |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |
|  |                                 | 30 minutos 1m   |                          |                                     |                             |                         |                         |                   |    |  |

Nota. El gráfico representa procesamiento de datos RMR punto 1, Elaboración propia.



Figura 67

Procesamiento de datos para RMR del Punto 02.

| UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO                       |                                 | FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  |                             | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL |                         |                                       |                         |    |
|--|---------------------------------|--|-----------------------------|---|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------|----|
| UNIVERSIDAD Andina del Cusco                       |                                 | PROYECTO : "PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN DE TALUD PARA EL SITIO ARQUEOLÓGICO DE RAQARAQAYNIYOG" |                             | UBICACIÓN :                             |                         |                                       |                         |    |
| UNIVERSIDAD Andina del Cusco                       |                                 | FECHA :  |                             | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL |                         |                                       |                         |    |
| CLASIFICACION GEOMECANICA RMR (Bieniawski, 1989)   |                                 |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
| PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN                        |                                 |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
| 1  | Resistencia de la Matriz Rocosa | Ensayo de Carga Puntual Compresión Simple (MPa)  | >10                         | 10-4                                    | 4-2                     | 2-1                                   | Compresión Simple (MPa) |    |
|  | Puntuación                      | >250   | 250-100                     | 100-50                                  | 50-25                   | 25-5                                  | 5-1                     | <1 |
| 2  | RQD                             | 100-90%  | 90-75%                      | 75-50%                                  | 50-25%                  | <25%                                  |                         |    |
|  | Puntuación                      | 15   | 12                          | 7                                       | 4                       | 2                                     | 1                       | 0  |
| 3  | Separación entre diaclasas      | >2m  | 2-0.6m.                     | 0.6-0.2m.                               | 0.2-0.06m.              | <0.06m.                               |                         |    |
|  | Puntuación                      | 20   | 15                          | 10                                      | 8                       | 5                                     |                         |    |
| 4  | Estado de las Discontinuidades  | Persistencia   | <1m                         | 1-3m                                    | 3-10m                   | 10-20m                                | >20m                    |    |
|  |                                 | Puntuación   | 6                           | 4                                       | 2                       | 1                                     | 0                       |    |
|  |                                 | Abertura   | Cerrada (C)                 | <0.1mm                                  | 0.1-1mm                 | 1-5mm                                 | >5mm                    |    |
|  |                                 | Puntuación   | 6                           | 5                                       | 3                       | 1                                     | 0                       |    |
|  | Rugosidad                       | Muy Rugosa (MR)  | Rugosa (R)                  | Ligeramente Rugosa (LR)                 | Ondulada (O)            | Suave (S)                             |                         |    |
|  | Puntuación                      | 6  | 5                           | 3                                       | 1                       | 0                                     |                         |    |
|  | Relleno                         | Ninguno (NG)   | Relleno duro (RD <5mm)      | Relleno duro (RD >5mm)                  | Relleno suave (RS <5mm) | Relleno suave (RS >5mm)               |                         |    |
|  | Puntuación                      | 6  | 4                           | 2                                       | 2                       | 0                                     |                         |    |
| Alteración   | Inalterada (I)                  | Ligeramente alterada (LA)  | Moderadamente alterada (MA) | Muy alterada (MuyA)                     | Descompuesta (D)        |                                       |                         |    |
|  | Puntuación                      | 6  | 5                           | 3                                       | 1                       | 0                                     |                         |    |
| 5  | Agua Freatica                   | Caudal por 10m de túnel  | Nulo                        | <10litros/min                           | 10-25 litros/min        | 25-125 litros/min                     | >125 litros/min         |    |
|  |                                 | Relación Presión de agua/Tensión principal   | 0                           | 0-0.1                                   | 0.1-0.2                 | 0.2-0.5                               | >0.5                    |    |
|  |                                 | Estado general   | Seco                        | Ligeramente húmedo                      | Húmedo                  | Goteando                              | Agua fluyendo           |    |
|  |                                 | Puntuación   | 15                          | 10                                      | 7                       | 4                                     | 0                       |    |
| ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES EN EL TÚNEL    |                                 |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
| Dirección Perpendicular al eje del túnel           |                                 |  |                             | Dirección Paralela al eje del túnel     |                         | Cualquier Dirección Buzamiento 0°-20° |                         |    |
| Excavación a favor del Buzamiento                  |                                 | Excavación en contra del buzamiento  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
| Buz. 45°-90°                                       | Buz. 20°-45°                    | Buz. 45°-90°   | Buz. 20°-45°                | Buz. 45°-90°                            | Buz. 20°-45°            |                                       |                         |    |
| Muy Favorable                                      | Favorable                       | Media  | Desfavorable                | Muy desfavorable                        | Media                   | Desfavorable                          |                         |    |
| CORRECCIÓN POR ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES |                                 |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
| Dirección y Buzamiento                             |                                 | Muy Favorable  | Favorable                   | Media                                   | Desfavorable            | Muy Desfavorable                      |                         |    |
| Puntuación   | Túnel                           | 0  | -2                          | -5                                      | -10                     | -12                                   |                         |    |
|  | Cimentaciones                   | 0  | -2                          | -7                                      | -15                     | -25                                   |                         |    |
|  | Taludes                         | 0  | -5                          | -25                                     | -50                     | -60                                   |                         |    |
| CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN EL RMR       |                                 |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
| RMR  | 100-81                          | 80-61  | 60-41                       | 40-21                                   | <20                     |                                       |                         |    |
| Clase  | I                               | II   | III                         | IV                                      | V                       |                                       |                         |    |
| Calidad  | Muy Buena                       | Buena  | Media                       | Mala                                    | Muy Mala                |                                       |                         |    |
| 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°                    |                                       |                         |    |
| Tiempo de Autosoporte y longitud sin sostener      | 10 años 15m.                    | 6 meses 8m.  | 1 semana 5m.                | 10 horas 2.5m.                          | 30 minutos 1m.          |                                       |                         |    |
| PUNTO 01   |                                 |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
| INGRESAR DATOS                                     |                                 |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
| Compresión Simple (MPa)                            |                                 | Ensayo de Carga Puntual  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
| 23.28  |                                 |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
| 2  |                                 | #N/D   |                             |   |                         |                                       |                         |    |
| 25   |                                 |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
| 3  |                                 |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
| 0.2  |                                 |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
| 8  |                                 |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
| 1  |                                 |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
| 6  |                                 |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
| 8  |                                 |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
| 0  |                                 |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
| LR   |                                 |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
| 3  |                                 |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
| RS <5mm  |                                 |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
| 2  |                                 |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
| MuyA   |                                 |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
| 1  |                                 |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
| H  |                                 |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
| 7  |                                 |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
| -25  |                                 |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
| PUNTAJUE TOTAL                                     |                                 |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
| 7  |                                 |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
| RESULTADO  | V                               |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
|  | Muy Mala                        |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
|  | <1Kp/cm <sup>2</sup>            |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
|  | <15°                            |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |
| 30 minutos 1m                                      |                                 |  |                             |   |                         |                                       |                         |    |



Nota. El gráfico representa procesamiento de datos RMR punto 2, Elaboración propia.



Figura 68

Procesamiento de datos para RMR del Punto 03.

| UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL |   | NOMBRE DEL ENSAYO                               |                                     |                          |                         |                                     |                                       |              |    |
|--|---|---|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--------------|----|
|  | <b>PROYECTO :</b> "PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN DE TALUD PARA EL SITIO ARQUEOLÓGICO DE RAQARAQAYNIYOQ"<br><b>UBICACIÓN :</b><br><b>FECHA :</b> |   |                                     |                          |                         |                                     |                                       |              |    |
| CLASIFICACION GEOMECANICA RMR (Bieniawski, 1989)   |   |   |                                     |                          |                         |                                     | PUNTO 01                              |              |    |
| PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN  |   |   |                                     |                          |                         |                                     | INGRESAR DATOS                        |              |    |
| 1  | Resistencia de la Matriz Rocosa   | Ensayo de Carga Puntual Compresión Simple (MPa) | >10                                 | 10-4                     | 4-2                     | 2-1                                 | Compresión Simple (MPa)               |              |    |
|  | Puntuación  |   | >250                                | 250-100                  | 100-50                  | 50-25                               | 25-5                                  | 5-1          | <1 |
| 2  | RQD   |   | 100-90%                             | 90-75%                   | 75-50%                  | 50-25%                              | <25%                                  |              |    |
|  | Puntuación  |   | 20                                  | 17                       | 13                      | 6                                   | 3                                     |              |    |
| 3  | Separación entre diaclasas  |   | > 2m                                | 2-0.6m.                  | 0.6-0.2m.               | 0.2-0.06m.                          | < 0.06m.                              |              |    |
|  | Puntuación  |   | 20                                  | 15                       | 10                      | 8                                   | 5                                     |              |    |
| 4  | Estado de las discontinuidades  | Persistencia                                    | <1m                                 | 1-3m                     | 3-10m                   | 10-20m                              | >20m                                  |              |    |
|  |   | Puntuación                                      | 6                                   | 4                        | 2                       | 1                                   | 0                                     |              |    |
|  |   | Abertura  | Cerrada (C)                         | <0.1mm                   | 0.1-1mm                 | 1-5mm                               | >5mm                                  |              |    |
|  |   | Puntuación                                      | 6                                   | 5                        | 3                       | 1                                   | 0                                     |              |    |
|  |   | Rugosidad                                       | Muy Rugosa (MR)                     | Rugosa (R)               | Ligeramente Rugosa (LR) | Ondulada (O)                        | Suave (S)                             |              |    |
|  |   | Puntuación                                      | 6                                   | 5                        | 3                       | 1                                   | 0                                     |              |    |
|  |   | Relleno   | Ninguno (NG)                        | Relleno duro (RD <5mm)   | Relleno duro (RD >5mm)  | Relleno suave (RS <5mm)             | Relleno suave (RS >5mm)               |              |    |
|  |   | Puntuación                                      | 6                                   | 4                        | 2                       | 2                                   | 0                                     |              |    |
| Alteración   | Inalterada (I)  | Ligeramente alterada (LA)                       | Moderadamente alterada (MA)         | Muy alterada (MuyA)      | Descompuesta (D)        |                                     |                                       |              |    |
|  | Puntuación  | 6   | 5                                   | 3                        | 1                       | 0                                   |                                       |              |    |
| 5  | Agua Freatica   | Caudal por 10m de túnel                         | Nulo                                | <10litros/min            | 10-25 litros/min        | 25-125 litros/min                   | >125 litros/min                       |              |    |
|  |   | Relación Presión de agua/Tensión principal      | 0                                   | 0-0.1                    | 0.1-0.2                 | 0.2-0.5                             | >0.5                                  |              |    |
|  |   | Estado general                                  | Seco                                | Ligeramente húmedo       | Húmedo                  | Goteando                            | Agua fluyendo                         |              |    |
|  |   | Puntuación                                      | 15                                  | 10                       | 7                       | 4                                   | 0                                     |              |    |
| ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES EN EL TÚNEL  |   |   |                                     |                          |                         |                                     | PUNTO 01                              |              |    |
| Dirección Perpendicular al eje del túnel   |   |   |                                     |                          |                         |                                     | Cualquier Dirección Buzamiento 0°-20° |              |    |
| Excavación a favor del Buzamiento  |   |   | Excavación en contra del buzamiento |                          |                         | Dirección Paralela al eje del túnel |                                       |              |    |
| Buz. 45°-90°   | Buz. 20°-45°  | Buz. 45°-90°                                    | Buz. 20°-45°                        | Buz. 45°-90°             | Buz. 20°-45°            |                                     |                                       |              |    |
| Muy Favorable  | Favorable   | Media   | Desfavorable                        | Muy desfavorable         | Media                   |                                     |                                       | Desfavorable |    |
| CORRECCIÓN POR ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES   |   |   |                                     |                          |                         |                                     | PUNTO 01                              |              |    |
| Dirección y Buzamiento   |   | Muy Favorable                                   | Favorable                           | Media                    | Desfavorable            | Muy Desfavorable                    |                                       |              |    |
| Puntuación   | Túnel   | 0   | -2                                  | -5                       | -10                     | -12                                 |                                       |              |    |
|  | Cimentaciones   | 0   | -2                                  | -7                       | -15                     | -25                                 |                                       |              |    |
|  | Taludes   | 0   | -5                                  | -25                      | -50                     | -60                                 |                                       |              |    |
| CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN EL RMR   |   |   |                                     |                          |                         |                                     | PUNTO 01                              |              |    |
| RMR  | 100-81  | 80-61   | 60-41                               | 40-21                    | <20                     |                                     | PUNTAJES                              |              |    |
| Clase  | I   | II  | III                                 | IV                       | V                       |                                     | 10                                    |              |    |
| Calidad  | Muy Buena   | Buena   | Media                               | Mala                     | Muy Mala                |                                     | RESULTADO                             |              |    |
| 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>  |                                     | V                                     |              |    |
| Ángulo de rozamiento   | > 45°   | 35° - 45°                                       | 25° - 35°                           | 15° - 25°                | < 15°                   |                                     | Muy Mala                              |              |    |
| Tiempo de Autosuporte y longitud sin sostener  | 10 años 15m.  | 6 meses 8m.                                     | 1 semana 5m.                        | 10 horas 2.5m.           | 30 minutos 1m.          |                                     | <1Kp/cm2                              |              |    |
|  |   |   |                                     |                          |                         |                                     | <15°                                  |              |    |
|  |   |   |                                     |                          |                         |                                     | 30 minutos 1m                         |              |    |



Nota. El gráfico representa procesamiento de datos RMR punto 3, Elaboración propia.

Figura 69

Procesamiento de datos para RMR del Punto 04.

| UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO                             |                                 | FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  |                           | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL |                         | NOMBRE DEL ENSAYO                   |                         |
|--|---------------------------------|--|---------------------------|---|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
|  | UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO    | PROYECTO : "PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN DE TALUD PARA EL SITIO ARQUEOLÓGICO DE RAQARAQAYNIYOQ" |                           |   |                         |                                     |                         |
| Universidad Andina del Cusco                             | UBICACIÓN :                     |  |                           |   |                         |                                     |                         |
|  | FECHA :                         |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| <b>CLASIFICACION GEOMECANICA RMR (Bieniawski, 1989)</b>  |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| <b>PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN</b>                       |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| 1  | Resistencia de la Matriz Rocosa | Ensayo de Carga Puntual<br>Compresión Simple (MPa)   | >10                       | 10-4                                    | 4-2                     | 2-1                                 | Compresión Simple (MPa) |
|  | Puntuación                      | >250   | 250-100                   | 100-50                                  | 50-25                   | 25-5                                | 5-1 <1                  |
| 2  | RQD                             |  | 100-90%                   | 90-75%                                  | 75-50%                  | 50-25%                              | <25%                    |
|  | Puntuación                      |  | 20                        | 17                                      | 13                      | 6                                   | 3                       |
| 3  | Separación entre diaclasas      |  | >2m                       | 2-0.6m.                                 | 0.6-0.2m.               | 0.2-0.06m.                          | <0.06m.                 |
|  | Puntuación                      |  | 20                        | 15                                      | 10                      | 8                                   | 5                       |
| 4  | Persistencia                    |  | <1m                       | 1-3m                                    | 3-10m                   | 10-20m                              | >20m                    |
|  |                                 | Puntuación   | 6                         | 4                                       | 2                       | 1                                   | 0                       |
|  | Abertura                        |  | Cerrada (C)               | <0.1mm                                  | 0.1-1mm                 | 1-5mm                               | >5mm                    |
|  |                                 | Puntuación   | 6                         | 5                                       | 3                       | 1                                   | 0                       |
|  | Rugosidad                       |  | Muy Rugosa (MR)           | Rugosa (R)                              | Ligeramente Rugosa (LR) | Ondulada (O)                        | Suave (S)               |
|  |                                 | Puntuación   | 6                         | 5                                       | 3                       | 1                                   | 0                       |
|  | Relleno                         |  | Ninguno (NG)              | Relleno duro (RD <5mm)                  | Relleno duro (RD >5mm)  | Relleno suave (RS <5mm)             | Relleno suave (RS >5mm) |
|  |                                 | Puntuación   | 6                         | 4                                       | 2                       | 2                                   | 0                       |
| Alteración   |                                 | Inalterada (I)   | Ligeramente alterada (LA) | Moderadamente alterada (MA)             | Muy alterada (MuyA)     | Descompuesta (D)                    |                         |
|  | Puntuación                      | 6  | 5                         | 3                                       | 1                       | 0                                   |                         |
| 5  | Caudal por 10m de túnel         |  | Nulo                      | <10litros/min                           | 10-25 litros/min        | 25-125 litros/min                   | >125 litros/min         |
|  |                                 | Relación Presión de agua/Tensión principal   | 0                         | 0-0.1                                   | 0.1-0.2                 | 0.2-0.5                             | >0.5                    |
|  | Estado general                  |  | Seco                      | Ligeramente húmedo                      | Húmedo                  | Goteando                            | Agua fluyendo           |
|  |                                 | Puntuación   | 15                        | 10                                      | 7                       | 4                                   | 0                       |
| <b>ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES EN EL TÚNEL</b>   |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| Dirección Perpendicular al eje del túnel                 |                                 | Excavación a favor del buzamiento  |                           | Excavación en contra del buzamiento     |                         | Dirección Paralela al eje del túnel |                         |
|  |                                 | Buz. 45°-90°   |                           | Buz. 20°-45°                            |                         | Buz. 45°-90°                        |                         |
|  |                                 | Buz. 20°-45°   |                           | Buz. 45°-90°                            |                         | Buz. 20°-45°                        |                         |
|  |                                 | Muy Favorable  |                           | Favorable                               |                         | Media                               |                         |
|  |                                 | Favorable  |                           | Desfavorable                            |                         | Muy desfavorable                    |                         |
|  |                                 | Media  |                           | Desfavorable                            |                         | Muy desfavorable                    |                         |
|  |                                 | Desfavorable   |                           | Muy desfavorable                        |                         | Media                               |                         |
|  |                                 | Muy desfavorable   |                           | Media                                   |                         | Desfavorable                        |                         |
| <b>CORRECIÓN POR ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES</b> |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| Dirección y Buzamiento                                   |                                 | Muy Favorable  | Favorable                 | Media                                   | Desfavorable            | Muy Desfavorable                    |                         |
| Puntuación   | Túnel                           | 0  | -2                        | -5                                      | -10                     | -12                                 |                         |
|  | Cimentaciones                   | 0  | -2                        | -7                                      | -15                     | -25                                 |                         |
|  | Taludes                         | 0  | -5                        | -25                                     | -50                     | -60                                 |                         |
| <b>CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN EL RMR</b>      |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| RMR  | 100-81                          | 80-61  | 60-41                     | 40-21                                   | <20                     |                                     |                         |
| Clase  | I                               | II   | III                       | IV                                      | V                       |                                     |                         |
| Calidad  | Muy Buena                       | Buena  | Media                     | Mala                                    | Muy Mala                |                                     |                         |
| 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°                    |                                     |                         |
| Tiempo de Autosoporte y longitud sin sostener            | 10 años 15m.                    | 6 meses 8m.  | 1 semana 5m.              | 10 horas 2.5m.                          | 30 minutos 1m.          |                                     |                         |
| <b>PUNTO 01</b>  |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| INGRESAR DATOS   |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| Compresión Simple (MPa)                                  |                                 | Ensayo de Carga Puntual  |                           |   |                         |                                     |                         |
| 45.87  |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| 4  |                                 | #N/D   |                           |   |                         |                                     |                         |
| 25   |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| 3  |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| 0.1  |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| 8  |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| 1  |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| 6  |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| 7  |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| 0  |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| LR   |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| 3  |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| RD >5mm  |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| 2  |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| MA   |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| 3  |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| H  |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| 7  |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
|  |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| -25  |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| <b>PUNTAJOS</b>  |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| 11   |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| <b>RESULTADO</b>   |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| V  |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| Muy Mala   |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| <1Kp/cm <sup>2</sup>                                     |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| <15°   |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |
| 30 minutos 1m  |                                 |  |                           |   |                         |                                     |                         |

Nota. El gráfico representa procesamiento de datos RMR punto 4, Elaboración propia.

Figura 70

Procesamiento de datos para RMR del Punto 05.

| UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL                               |                                 | NOMBRE DEL ENSAYO                          |                                     |                          |                         |                                       |                         |     |    |  |
|--|---------------------------------|--|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----|----|--|
|  |                                 |  |                                     |                          |                         |                                       |                         |     |    |  |
| <b>PROYECTO :</b> "PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN DE TALUD PARA EL SITIO ARQUEOLÓGICO DE RAQARAQA YNIYOQ"<br><b>UBICACIÓN :</b><br><b>FECHA :</b> |                                 |  |                                     |                          |                         |                                       |                         |     |    |  |
| CLASIFICACION GEOMECANICA RMR (Bieniawski, 1989)   |                                 |  |                                     |                          |                         |                                       | PUNTO 01                |     |    |  |
| PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN  |                                 |  |                                     |                          |                         |                                       | INGRESAR DATOS          |     |    |  |
| 1  | Resistencia de la Matriz Rocosa | Ensayo de Carga Puntual                    | >10                                 | 10-4                     | 4-2                     | 2-1                                   | Compresión Simple (MPa) |     |    |  |
|  |                                 | Compresión Simple (MPa)                    | >250                                | 250-100                  | 100-50                  | 50-25                                 | 25-5                    | 5-1 | <1 |  |
| Puntuación   |                                 |  | 15                                  | 12                       | 7                       | 4                                     | 2                       | 1   | 0  |  |
| 2  | RQD                             |  | 100-90%                             | 90-75%                   | 75-50%                  | 50-25%                                | <25%                    |     |    |  |
|  | Puntuación                      |  |                                     | 20                       | 17                      | 13                                    | 6                       | 3   |    |  |
| 3  | Separación entre diaclasas      |  | >2m                                 | 2-0.6m.                  | 0.6-0.2m.               | 0.2-0.06m.                            | < 0.06m.                |     |    |  |
|  | Puntuación                      |  |                                     | 20                       | 15                      | 10                                    | 8                       | 5   |    |  |
| 4  | Estado de las discontinuidades  | Persistencia                               | <1m                                 | 1-3m                     | 3-10m                   | 10-20m                                | >20m                    |     |    |  |
|  |                                 | Puntuación                                 |                                     | 6                        | 4                       | 2                                     | 1                       | 0   |    |  |
|  |                                 | Abertura                                   | Cerrada (C)                         | <0.1mm                   | 0.1-1mm                 | 1-5mm                                 | >5mm                    |     |    |  |
|  |                                 | Puntuación                                 |                                     | 6                        | 5                       | 3                                     | 1                       | 0   |    |  |
|  |                                 | Rugosidad                                  | Muy Rugosa (MR)                     | Rugosa (R)               | Ligeramente Rugosa (LR) | Ondulada (O)                          | Suave (S)               |     |    |  |
|  |                                 | Puntuación                                 |                                     | 6                        | 5                       | 3                                     | 1                       | 0   |    |  |
|  |                                 | Relleno                                    | Ninguno (NG)                        | Relleno duro (RD <5mm)   | Relleno duro (RD >5mm)  | Relleno suave (RS <5mm)               | Relleno suave (RS >5mm) |     |    |  |
|  |                                 | Puntuación                                 |                                     | 6                        | 4                       | 2                                     | 2                       | 0   |    |  |
| Alteración   | Inalterada (I)                  | Ligeramente alterada (LA)                  | Moderadamente alterada (MA)         | Muy alterada (MuyA)      | Descompuesta (D)        |                                       |                         |     |    |  |
|  | Puntuación                      |  | 6                                   | 5                        | 3                       | 1                                     | 0                       |     |    |  |
| 5  | Agua Freatica                   | Caudal por 10m de túnel                    | Nulo                                | <10litros/min            | 10-25 litros/min        | 25-125 litros/min                     | >125 litros/min         |     |    |  |
|  |                                 | Relación Presión de agua/Tensión principal | 0                                   | 0-0.1                    | 0.1-0.2                 | 0.2-0.5                               | >0.5                    |     |    |  |
|  |                                 | Estado general                             | Seco                                | Ligeramente húmedo       | Húmedo                  | Goteando                              | Agua fluyendo           |     |    |  |
| Puntuación   |                                 |  | 15                                  | 10                       | 7                       | 4                                     | 0                       |     |    |  |
| ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES EN EL TÚNEL  |                                 |  |                                     |                          |                         |                                       |                         |     |    |  |
| Dirección Perpendicular al eje del túnel   |                                 |  | Dirección Paralela al eje del túnel |                          |                         | Cualquier Dirección Buzamiento 0°-20° |                         |     |    |  |
| Excavación a favor del Buzamiento  |                                 | Excavación en contra del buzamiento        |                                     |                          |                         |                                       |                         |     |    |  |
| Buz. 45°-90°   | Buz. 20°-45°                    | Buz. 45°-90°                               | Buz. 20°-45°                        | Buz. 45°-90°             | Buz. 20°-45°            |                                       |                         |     |    |  |
| Muy Favorable  | Favorable                       | Media                                      | Desfavorable                        | Muy desfavorable         | Media                   | Desfavorable                          |                         |     |    |  |
| CORRECIÓN POR ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES  |                                 |  |                                     |                          |                         |                                       |                         |     |    |  |
| Dirección y Buzamiento   |                                 | Muy Favorable                              | Favorable                           | Media                    | Desfavorable            | Muy Desfavorable                      |                         |     |    |  |
| Puntuación   | Túnel                           | 0  | -2                                  | -5                       | -10                     | -12                                   |                         |     |    |  |
|  | Cimentaciones                   | 0  | -2                                  | -7                       | -15                     | -25                                   |                         |     |    |  |
|  | Taludes                         | 0  | -5                                  | -25                      | -50                     | -60                                   |                         |     |    |  |
| CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN EL RMR   |                                 |  |                                     |                          |                         |                                       | PUNTAJUE TOTAL          |     |    |  |
| RMR  | 100-81                          | 80-61                                      | 60-41                               | 40-21                    | <20                     |                                       | 6                       |     |    |  |
| Clase  | I                               | II   | III                                 | IV                       | V                       |                                       | V                       |     |    |  |
| Calidad  | Muy Buena                       | Buena                                      | Media                               | Mala                     | Muy Mala                |                                       | Muy Mala                |     |    |  |
| 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>  |                                       | <1Kp/cm2                |     |    |  |
| Ángulo de rozamiento   | > 45°                           | 35° - 45°                                  | 25° - 35°                           | 15° - 25°                | < 15°                   |                                       | <15°                    |     |    |  |
| Tiempo de Autosoporte y longitud sin sostener  | 10 años 15m.                    | 6 meses 8m.                                | 1 semana 5m.                        | 10 horas 2.5m.           | 30 minutos 1m.          |                                       | 30 minutos 1m           |     |    |  |

Nota: El gráfico representa procesamiento de datos RMR punto 5, Elaboración propia.

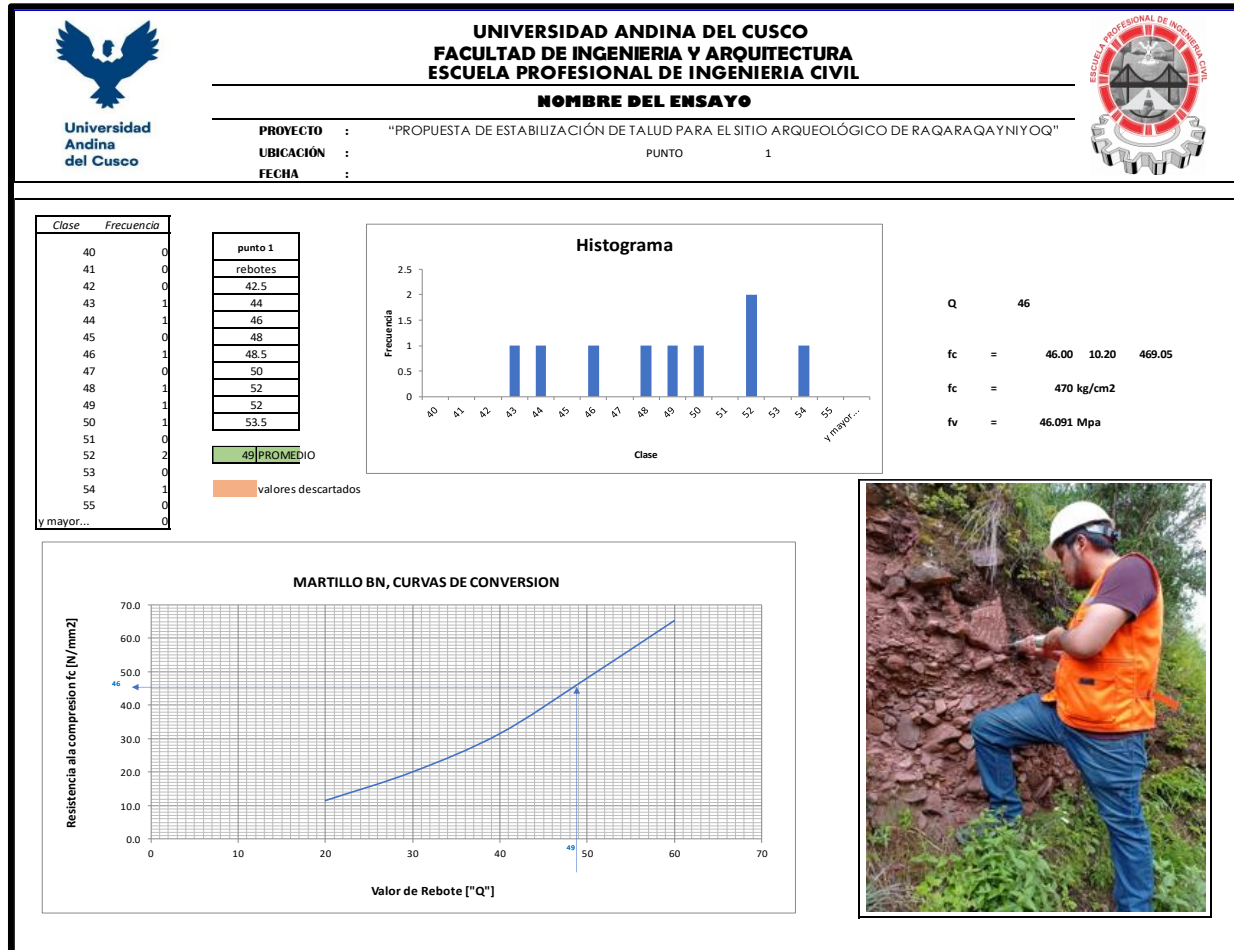




### 3.6.1.2 Procesamiento de Datos de los resultados a compresión con Esclerómetro

Figura 71

Resultados de la prueba realizada con Esclerómetro en el punto 01.

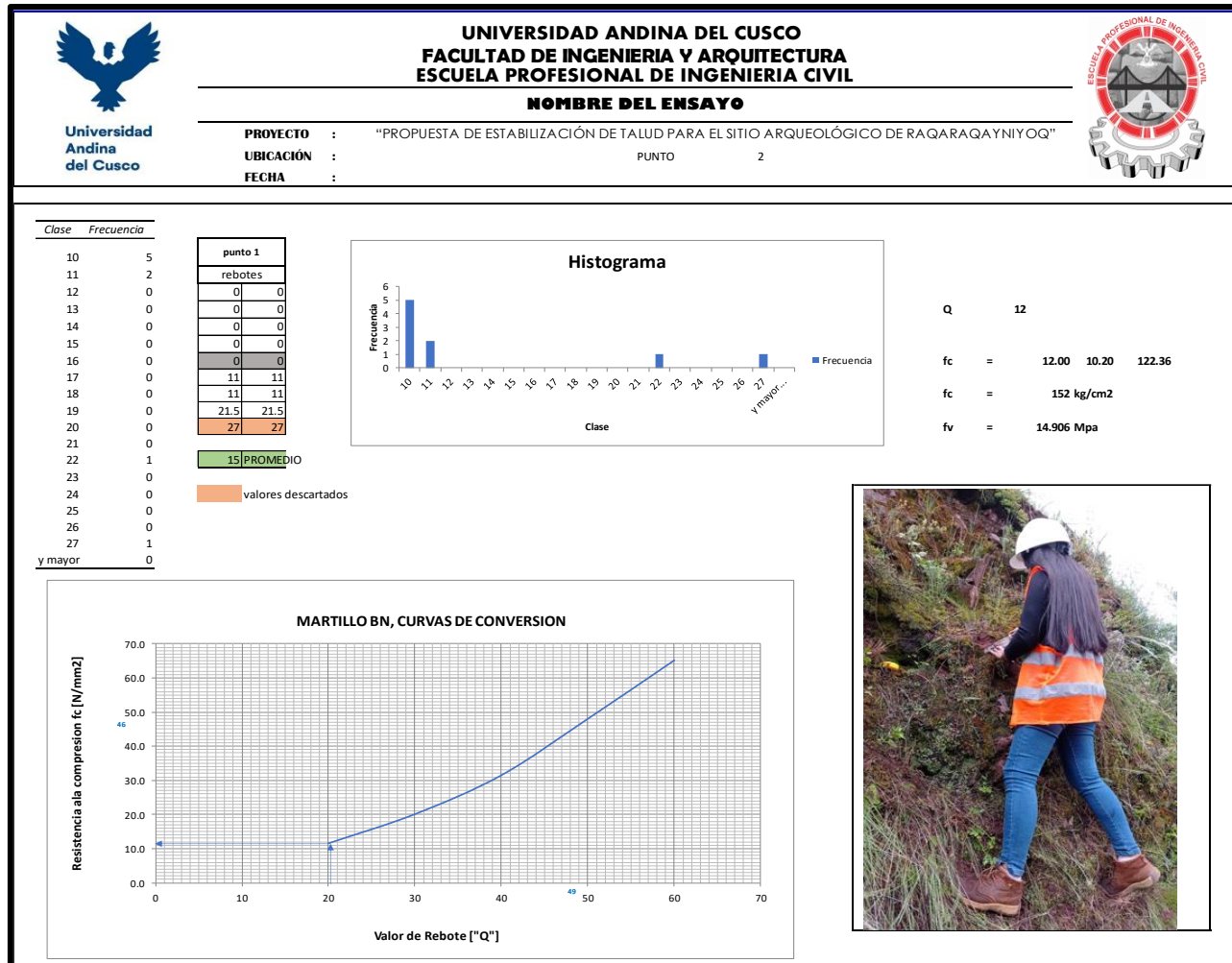


Nota. El gráfico representa resultados del esclerómetro punto 1, Elaboración propia.



Figura 72

Resultados de la prueba realizada con Esclerómetro en el punto 02.

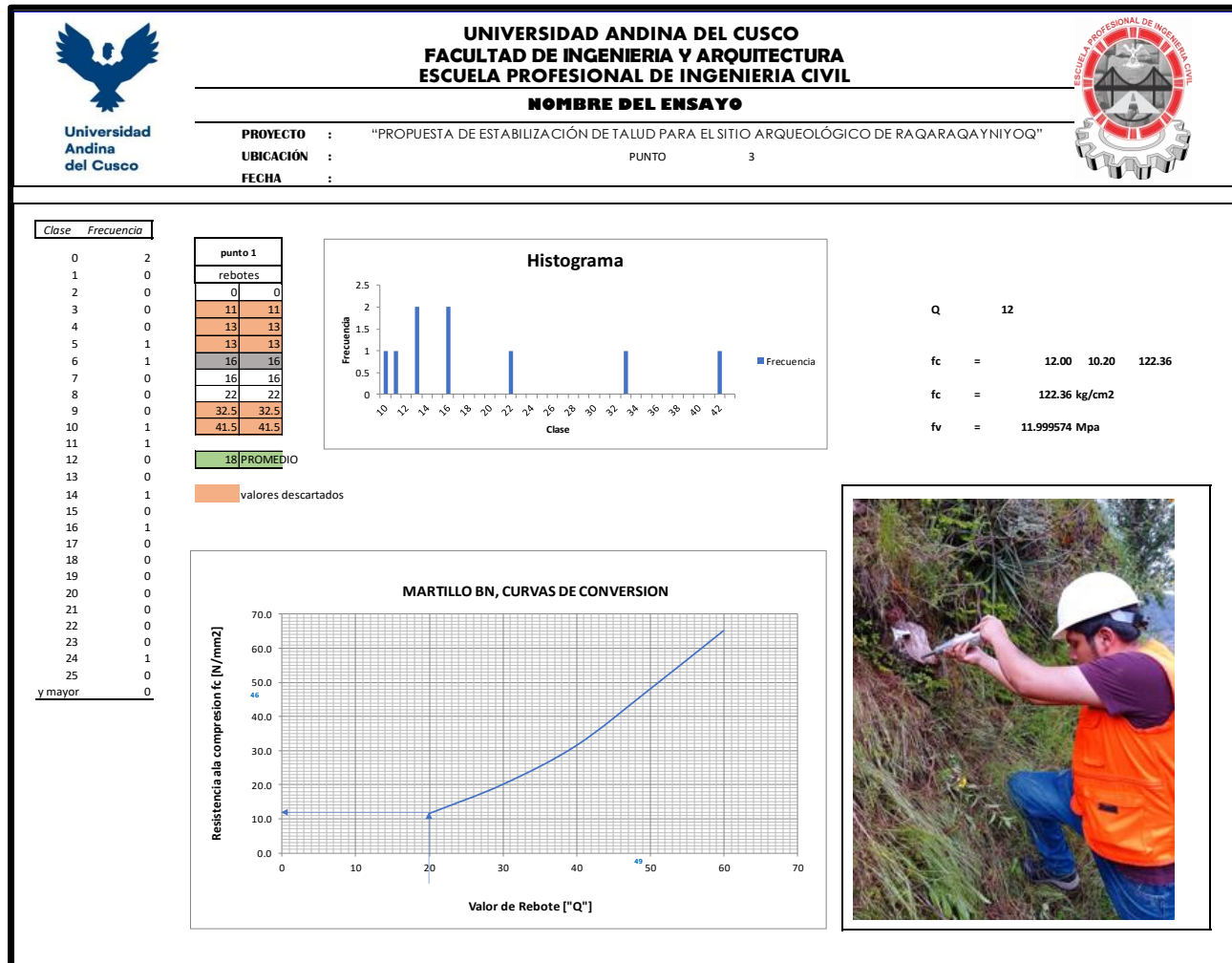


Nota. El gráfico representa resultados del esclerómetro punto 2, Elaboración propia.



Figura 73

Resultados de la prueba realizada con Esclerómetro en el punto 03.

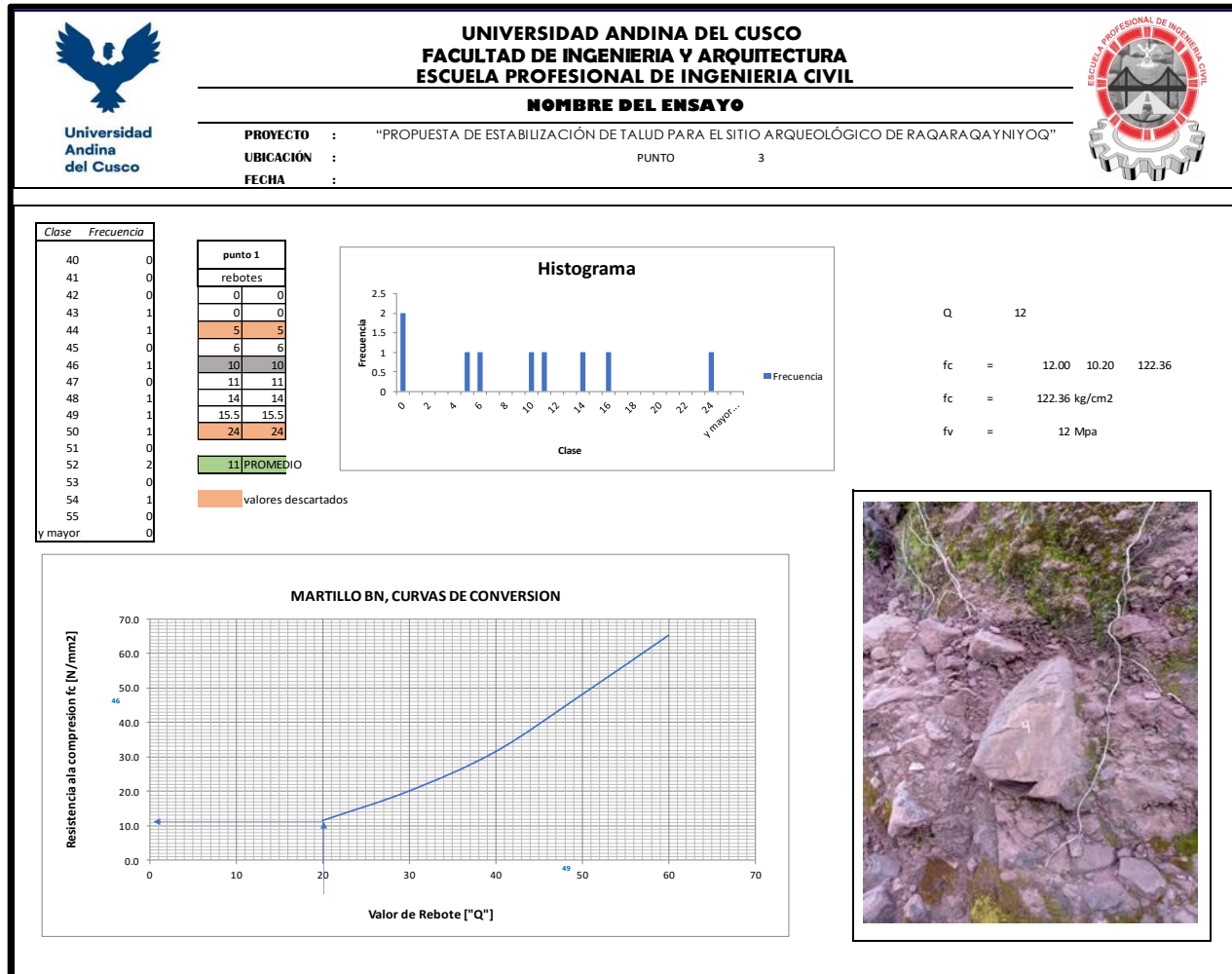


Nota. El gráfico representa resultados del esclerómetro punto 3, Elaboración propia.



Figura 74

Resultados de la prueba realizada con Esclerómetro en el punto 04.

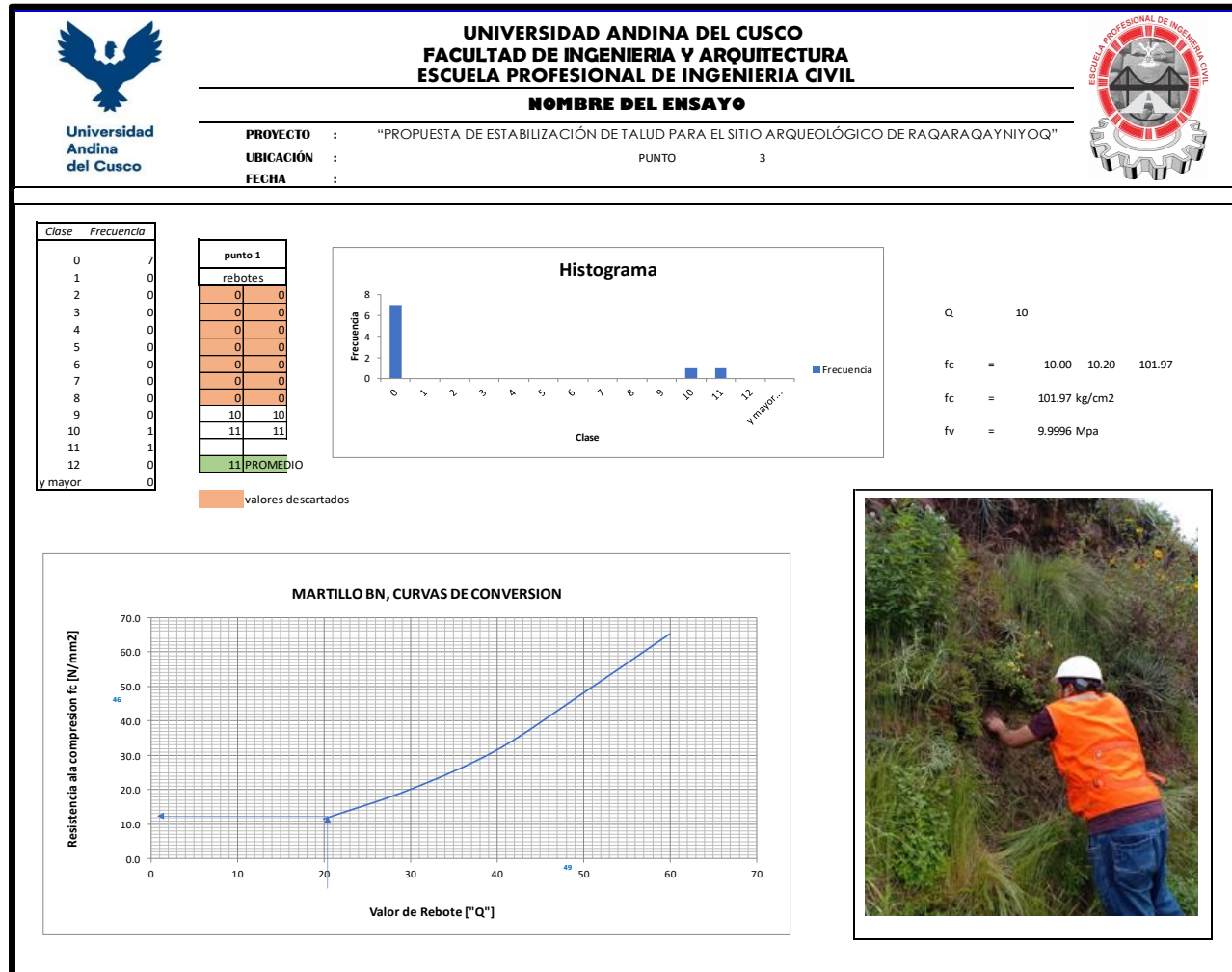


Nota. El gráfico representa resultados del esclerómetro punto 4, Elaboración propia.



Figura 75

Resultados de la prueba realizada con Esclerómetro en el punto 05.



Nota. El gráfico representa resultados del esclerómetro punto 5, Elaboración propia.



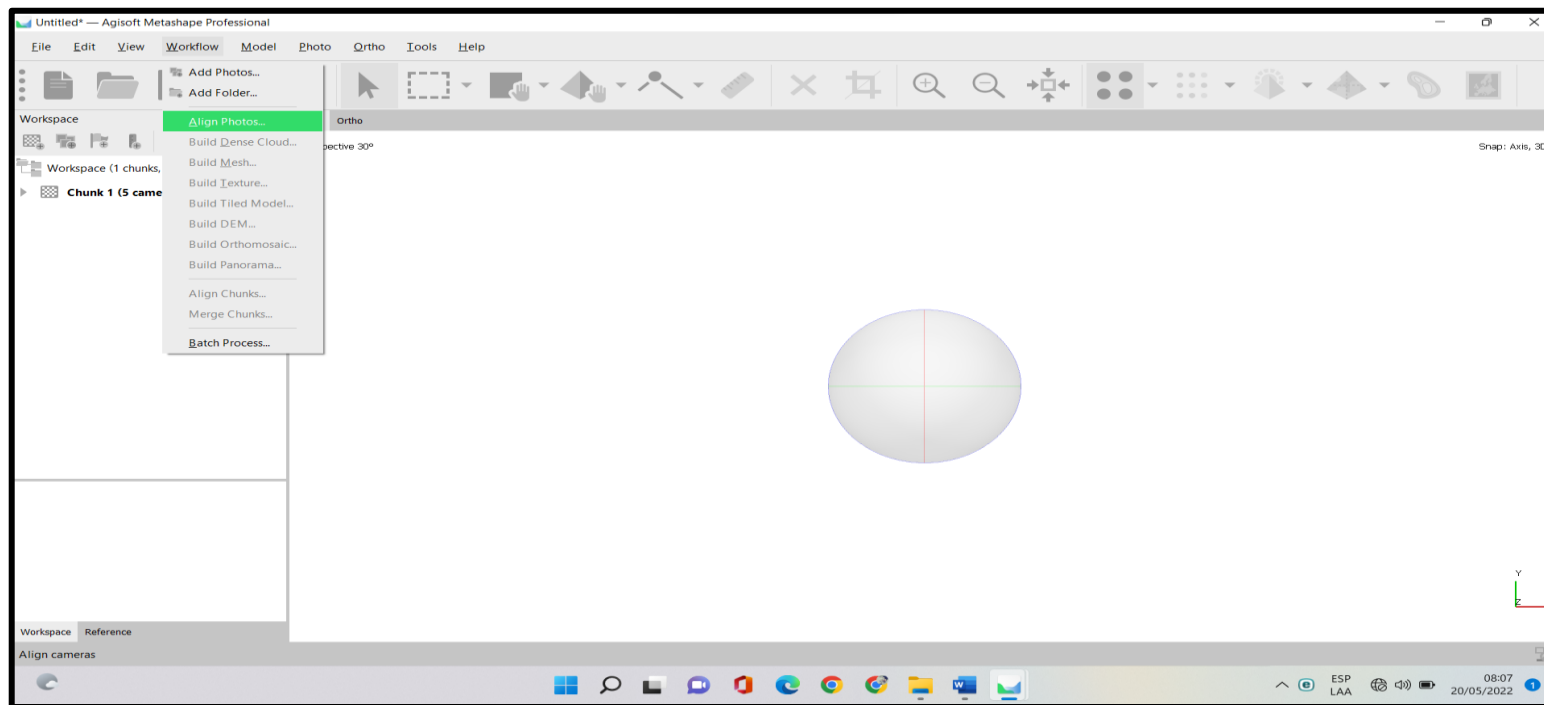
### 3.6.1.3 Procesamiento en SOFTWARE METASHAPE AGISOFT

Se generó modelos digitales del talud de estudio a partir del levantamiento fotogramétrico para la obtención del perfil de los 05 punto de estudio.

1. Se procedió añadir las fotos con las que se disponía a trabajar.

#### Figura 76

*Ingreso de Datos a software Metashape para el alineamiento de fotos.*



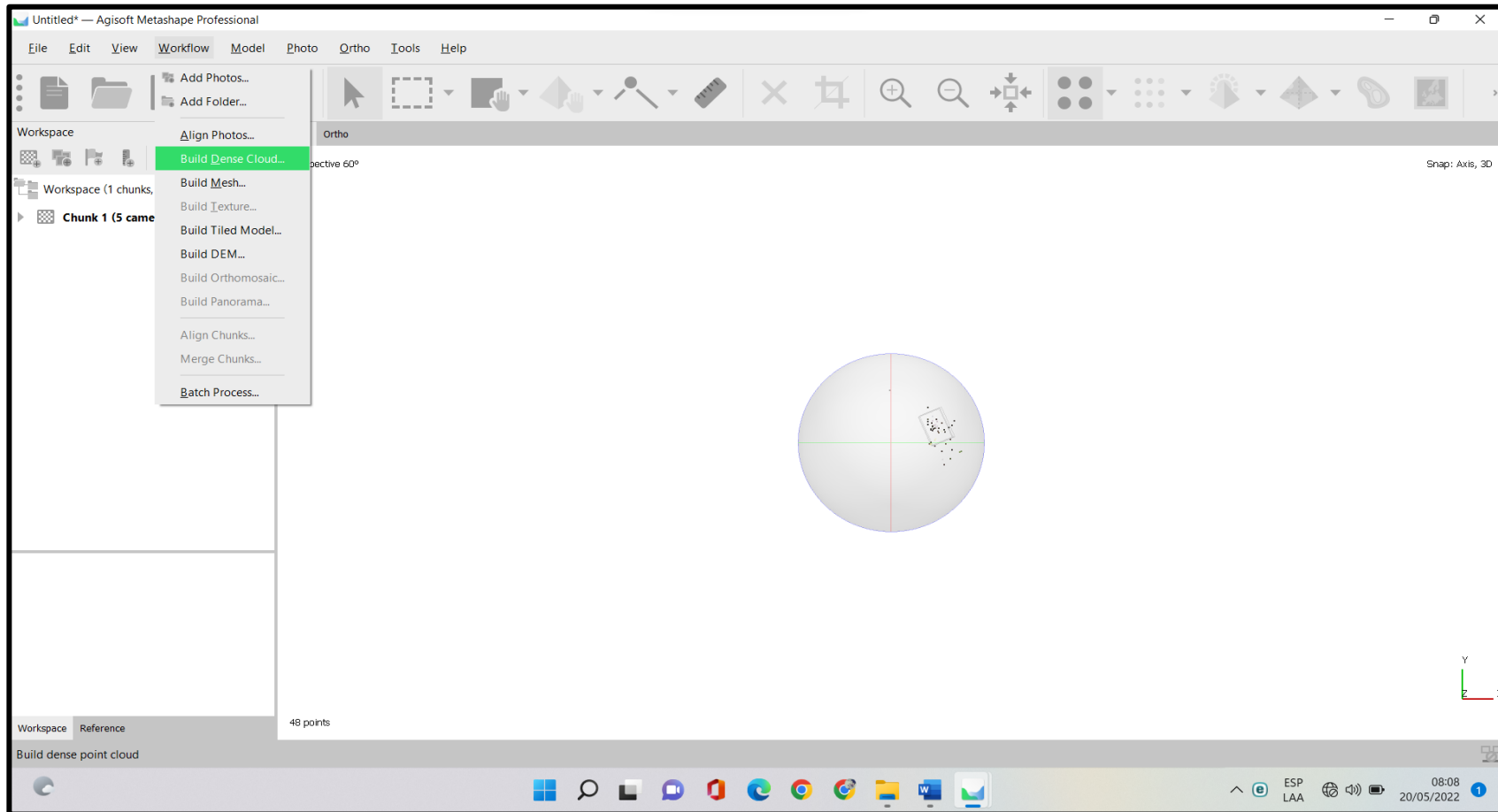
*Nota.* El gráfico representa ingreso de datos al software para alineamiento de puntos, Elaboración propia.



2. Se alineó las fotos como parte del proceso.

**Figura 77**

*Ingreso de Datos a software Metashape con build dense cloud.*



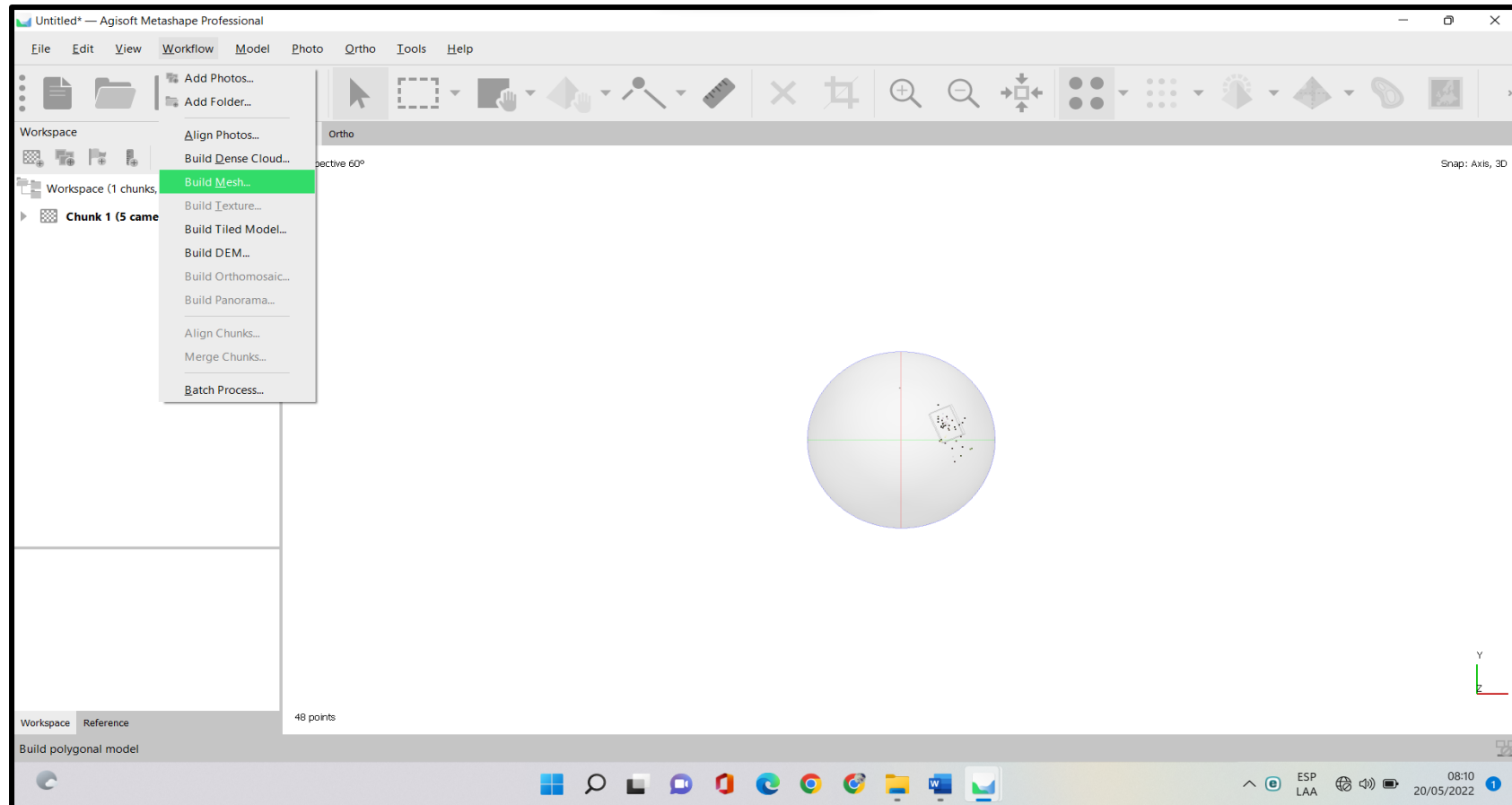
*Nota.* El gráfico representa ingreso de datos al software para construcción de los puntos, Elaboración propia.



3. Continuamos con la parte de build dense cloud.

### Figura 78

*Ingreso de Datos a software Metashape build mesh.*



*Nota.* El gráfico representa ingreso de datos al software para construir malla, Elaboración propia.

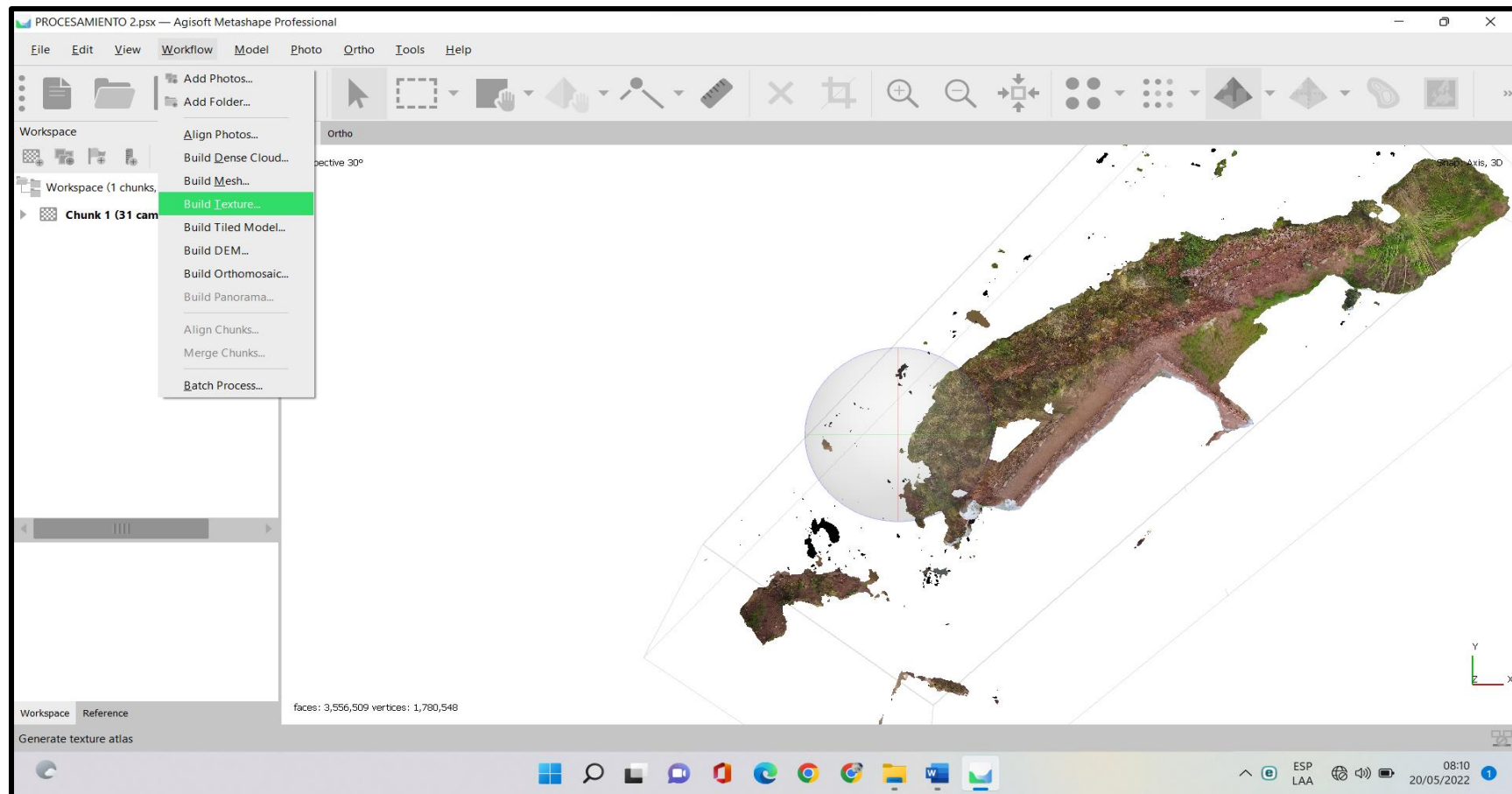




4. Continuamos con la parte de build mesh

### Figura 79

*Ingreso de Datos a software Metashape con build textura.*



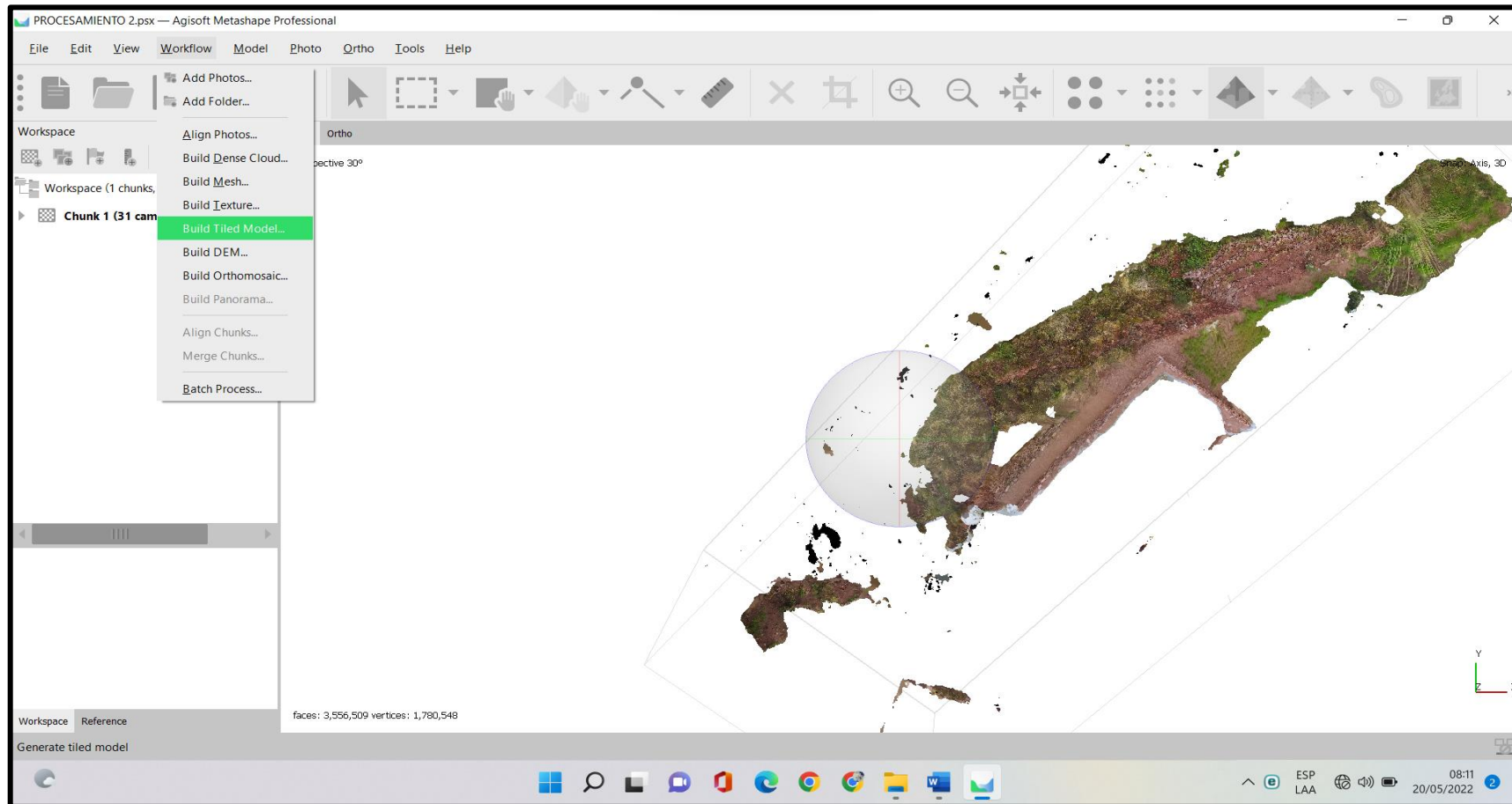
*Nota.* El gráfico representa ingreso de datos al software para construir textura, Elaboración propia.



5. Continuamos con la parte de build textura

**Figura 80**

*Ingreso de Datos a software Metashape con build tiled model.*



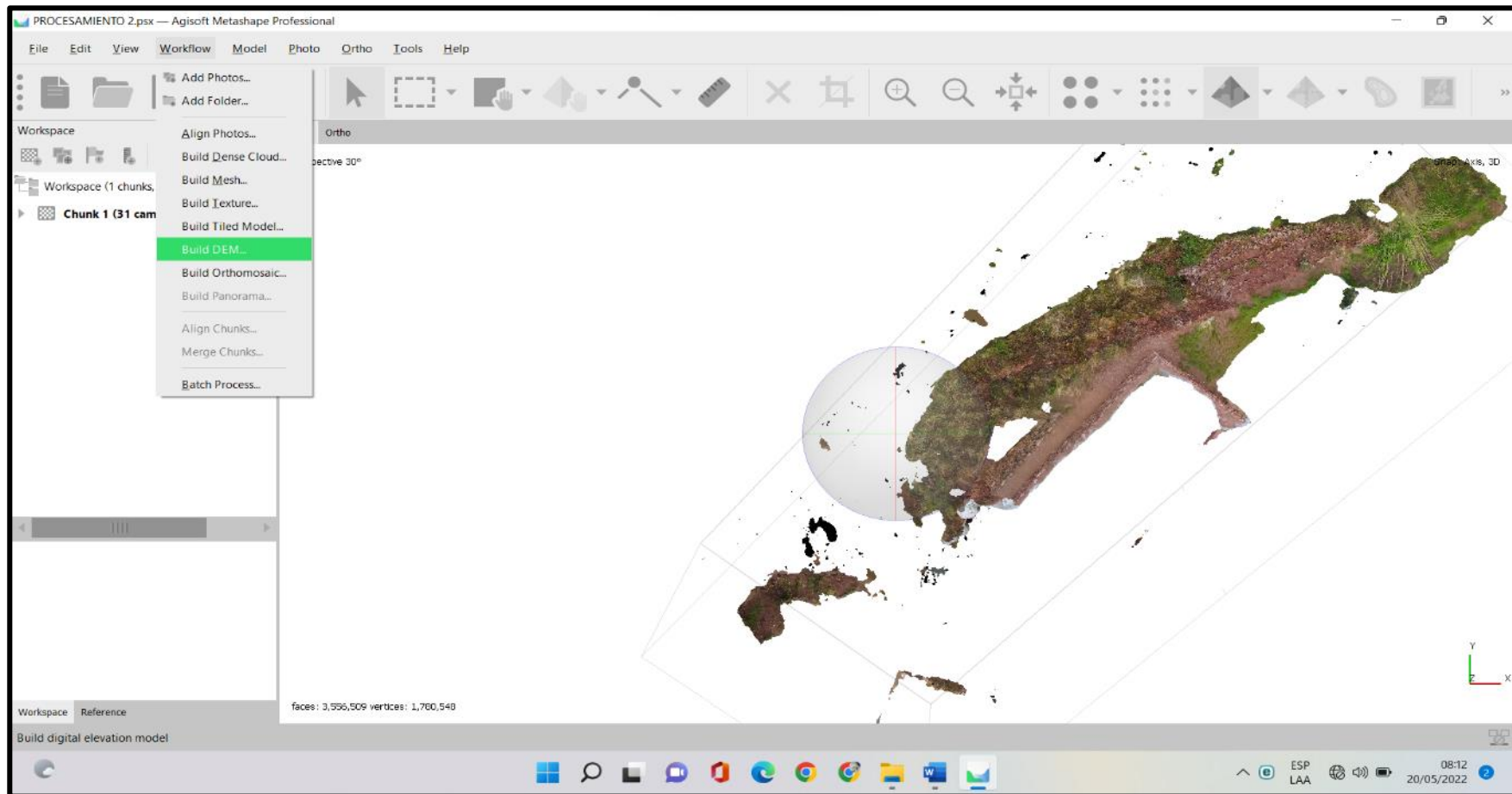
*Nota.* El gráfico representa ingreso de datos al software para construir modelo, Elaboración propia.



6. Continuamos con build tiled model.

### Figura 81

*Ingreso de Datos a software Metashape con build dem.*



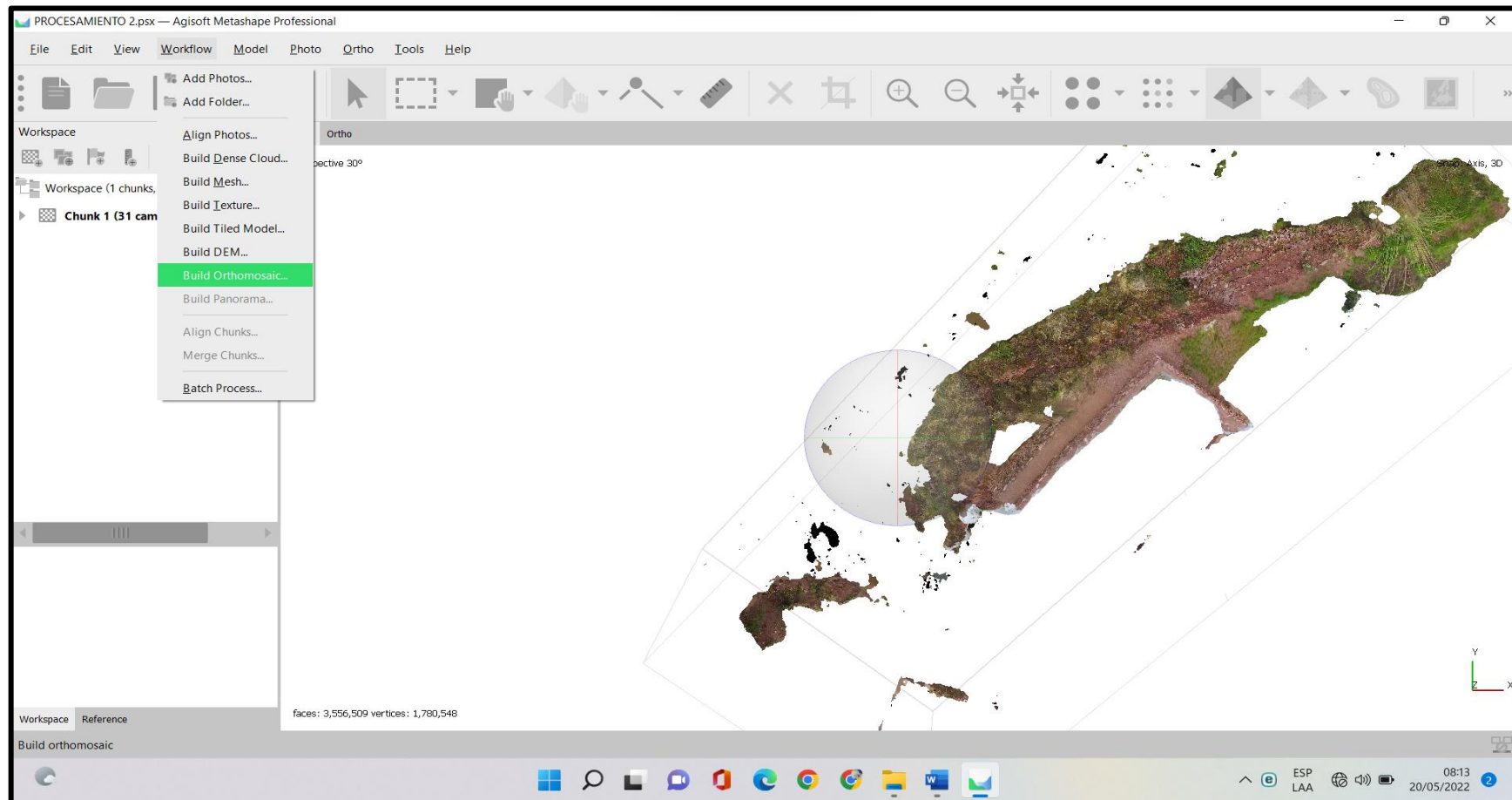
*Nota.* El gráfico representa ingreso de datos al software para build dem, Elaboración propia.



7. Continuamos con build dem

**Figura 82**

*Procesamiento con la herramienta Build Ortomosaico.*



*Nota.* El gráfico representa ingreso de datos al software para construir Ortomosaico, Elaboración propia.

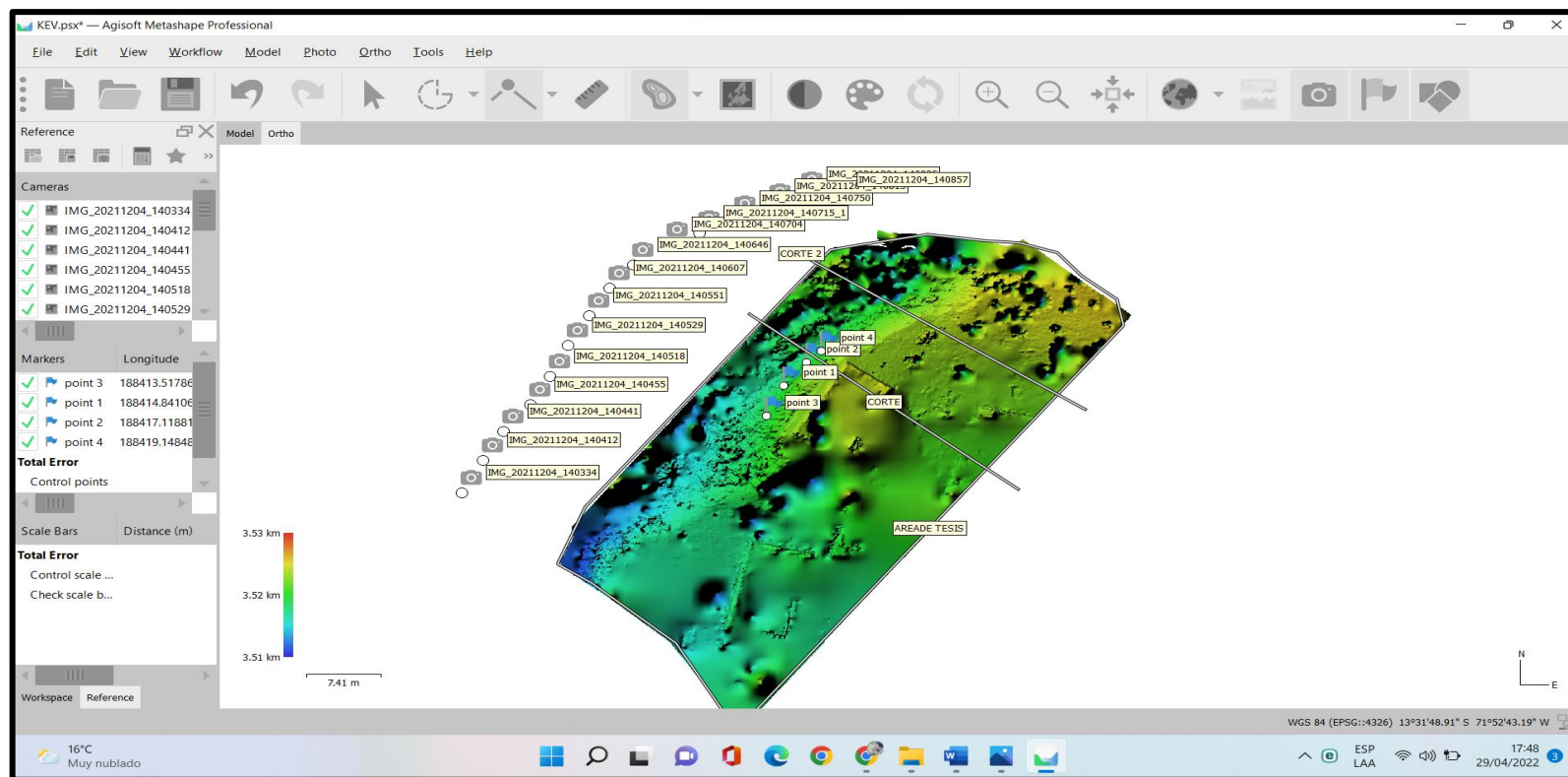


8. Y por último build orto mosaico que corresponde a construir un orto mosaico

Como resultado se obtuvo la ortofoto con la que se procederá a trabajar, para lo cual se introdujo las coordenadas y puntos de distancia cuyo resultado fue el siguiente

**Figura 83**

*Resultados de orto fotogrametría.*

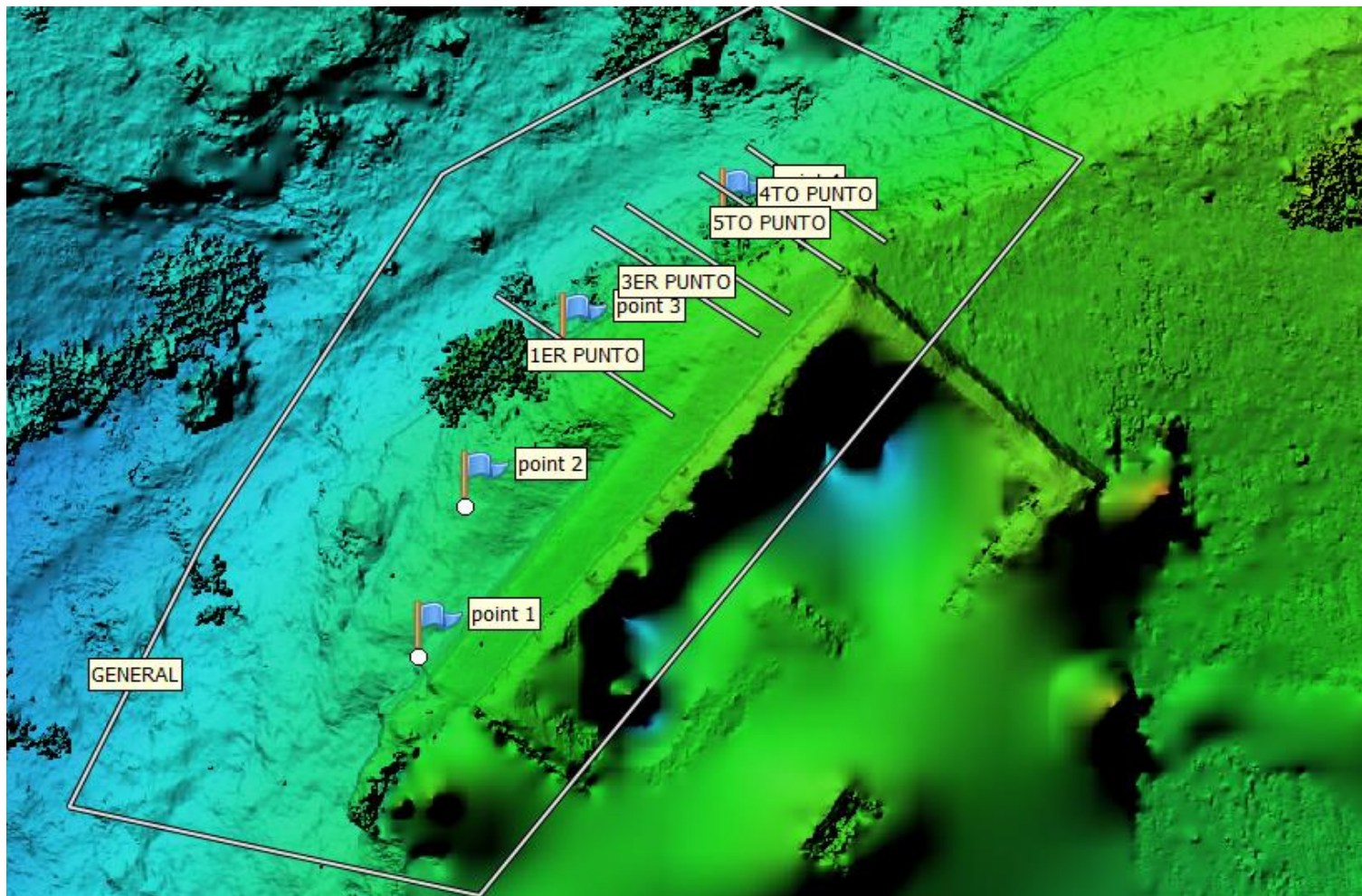


*Nota.* El gráfico representa los resultados de orto fotogrametría, Elaboración propia.



**Figura 84**

*Elaboración de las secciones de corte para la obtención los perfiles de cada punto.*



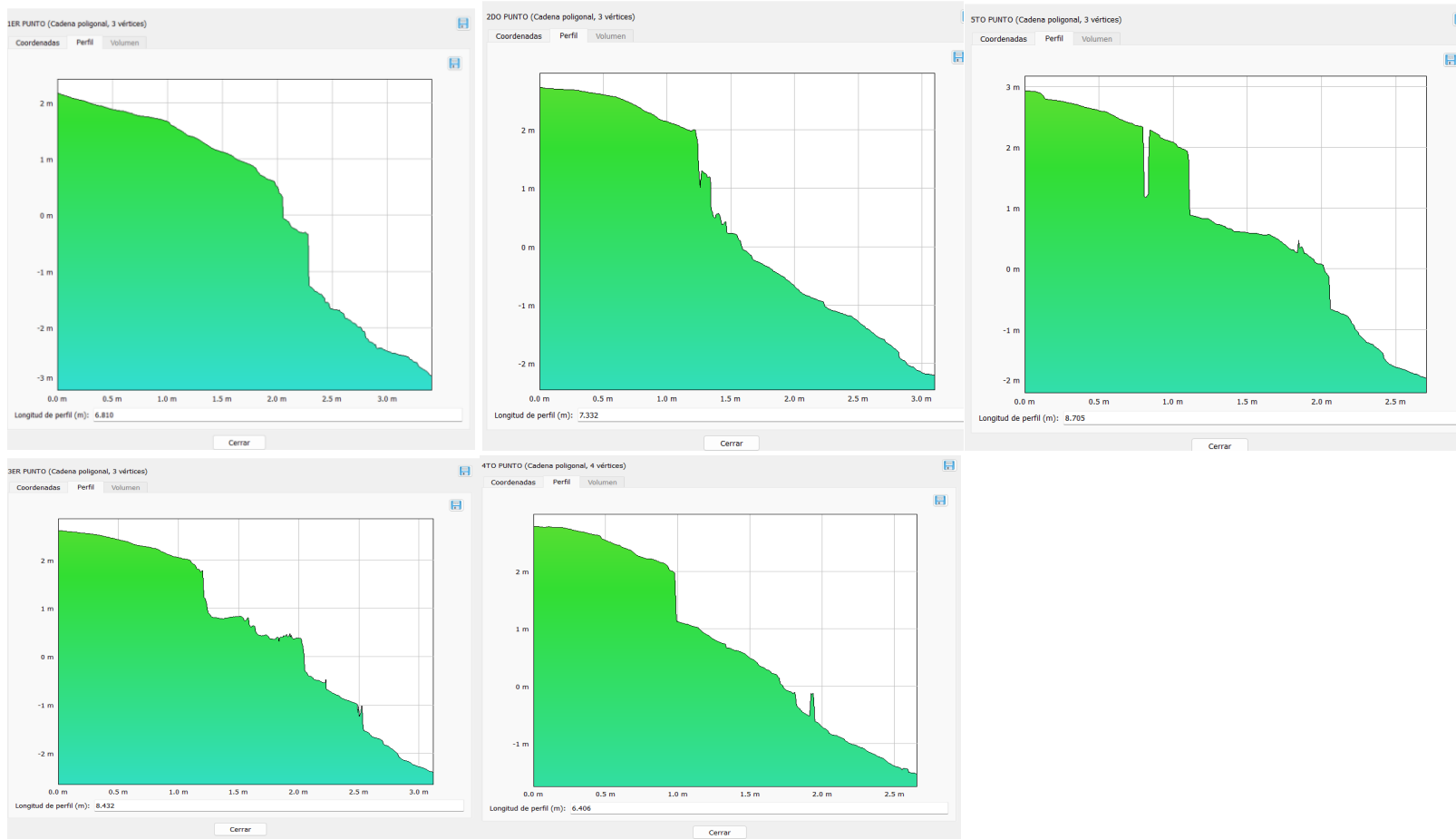
*Nota.* El gráfico representa la elaboración de secciones de corte para perfiles, Elaboración propia.



Donde se aprecia la sección de corte y los puntos para determinar volumen y demás.

### Figura 85

*Obtención de las secciones de corte para la obtención los perfiles de cada punto.*



*Nota. El gráfico representa la obtención de las secciones de corte, Elaboración propia.*



#### **3.6.1.4 Procesamiento de Datos Sondeo Eléctrico Vertical**

El proceso de interpretación es la fase que permite determinar los parámetros básicos de resistividad verdadera y espesores de cada uno de los horizontes geoeléctricos que constituye el subsuelo. Estos parámetros van a depender de la fisuración, contenido de agua, mineralización, salinidad, porosidad, características propias del suelo, etc.

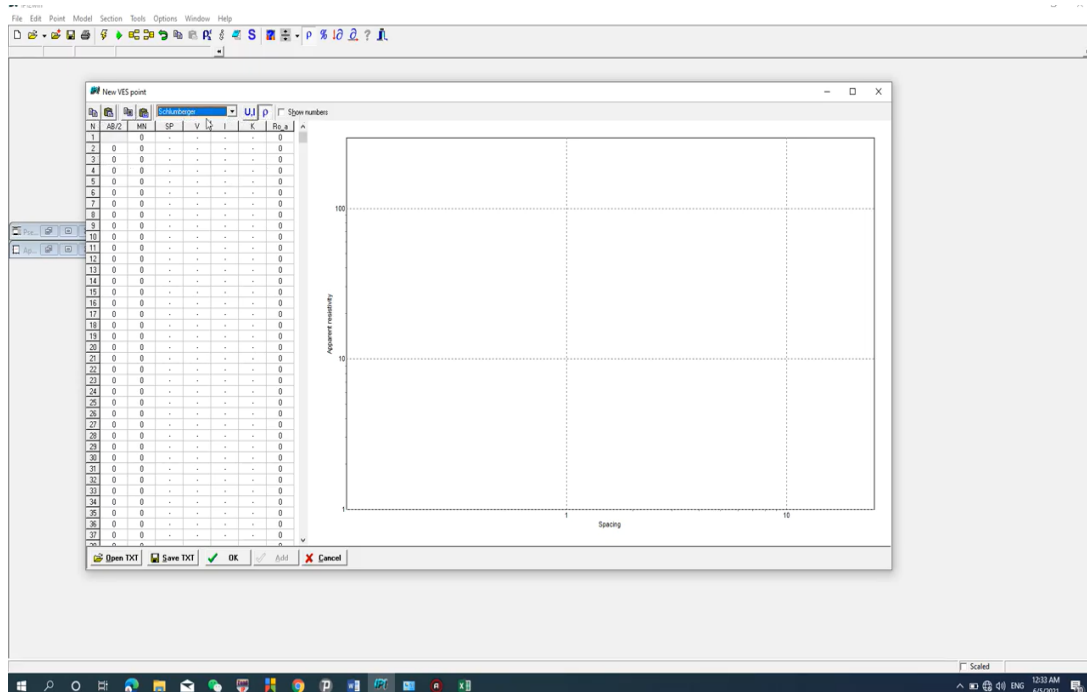
Las resistividades verdaderas y espesores se correlacionan, obteniéndose planos y perfiles de las variaciones laterales y en profundidad de las características físico-geológicas que al ser estudiadas con las técnicas geofísicas proporciona valiosa información.

La interpretación analítica se ha hecho con la ayuda de curvas maestras de ábacos chino-ruso, la metodología empleada fue la de Schlumberger y Ebert; asimismo toda la información se ha procesado con programas computarizados, que permite mayor confiabilidad en los resultados.



**Figura 86**

*Ingreso de datos para procesamiento de datos.*



*Nota.* El grafico representa ingreso de datos, Elaboración propia.

### **3.6.1.5 Procesamiento de Datos en ROC DATA para obtención de la cohesión y ángulo de fricción para la simulación en el SLIDE.**

Para realizar la simulación en el Software SLIDE es necesario obtener datos como la cohesión y ángulo de fricción debido a que los ensayos realizados no son intrusivos se utiliza el software ROC DATA para la obtención de estos valores.

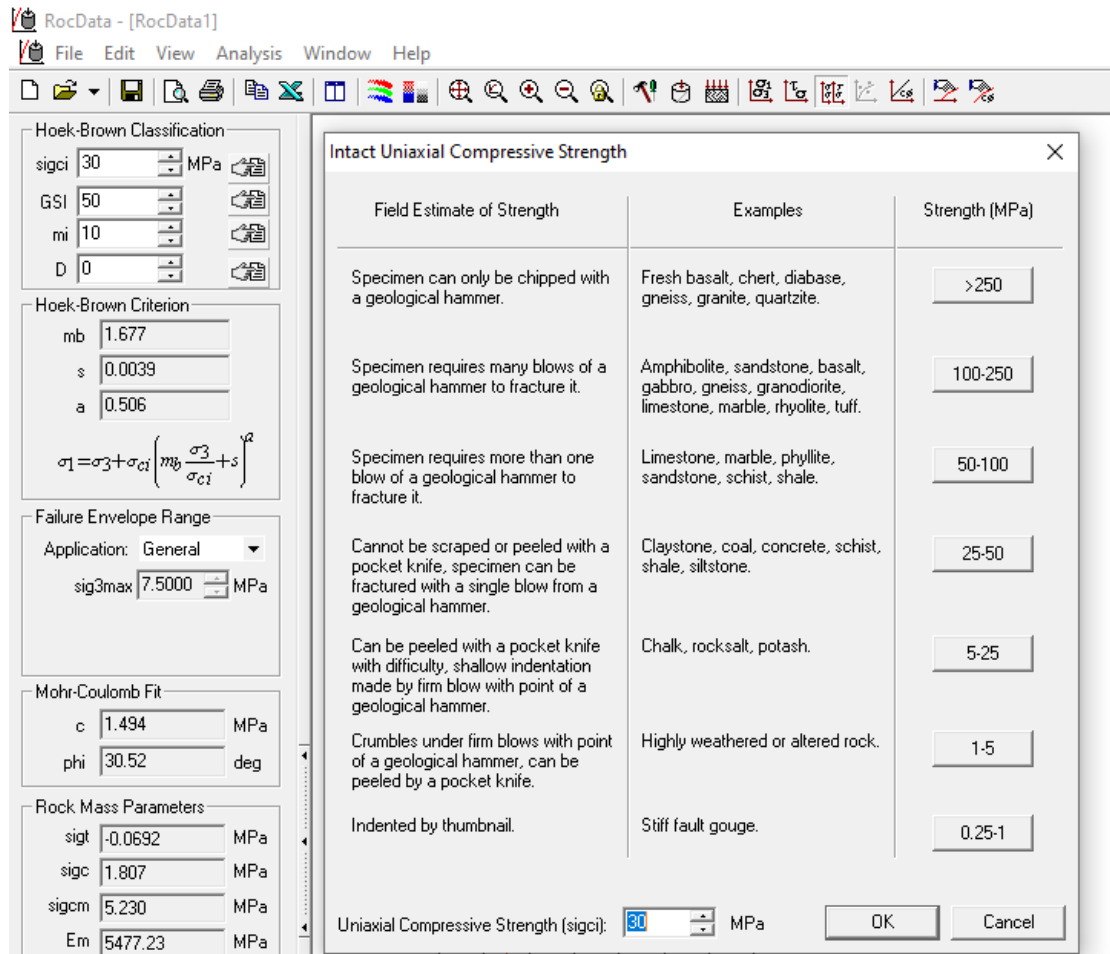
#### **Procedimiento:**

1. Para la clasificación de los parámetros de HOEK Y BROWN se utilizan los ensayos realizados en la tesis.
2. Para el primer parámetro INTACT UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH (resistencia a la compresión uniaxial intacta) se introduce el valor obtenido del ensayo e la resistencia a la compresión para los 5 puntos de estudio del talud.

**Figura 87**

*Procesamiento de datos del ensayo a la compresión simple en el software ROC*

*DATA.*

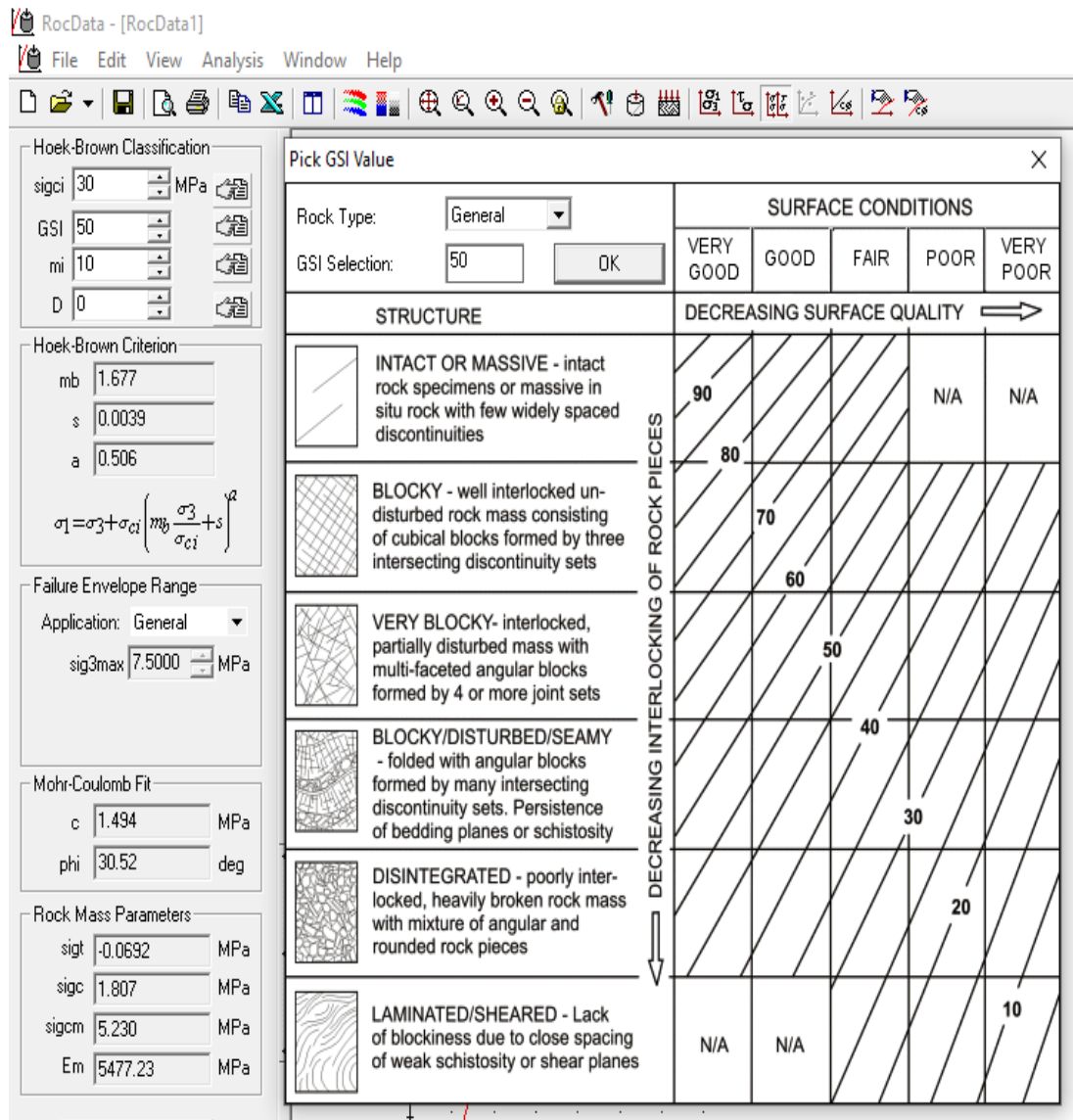


*Nota.* El gráfico representa procesamiento de datos ROC DATA, Elaboración propia.

1. Para el segundo parámetro GSI (Geological Strength Index), Índice de Resistencia Geológica, anteriormente en la clasificación geodinámica RMR se realizó la caracterización de las propiedades geomecánicas de los macizos rocosos a través de la identificación por una evaluación visual de las propiedades geológicas en campo.

**Figura 88**

*Procesamiento de datos de la evaluación del talud en el software ROC.*

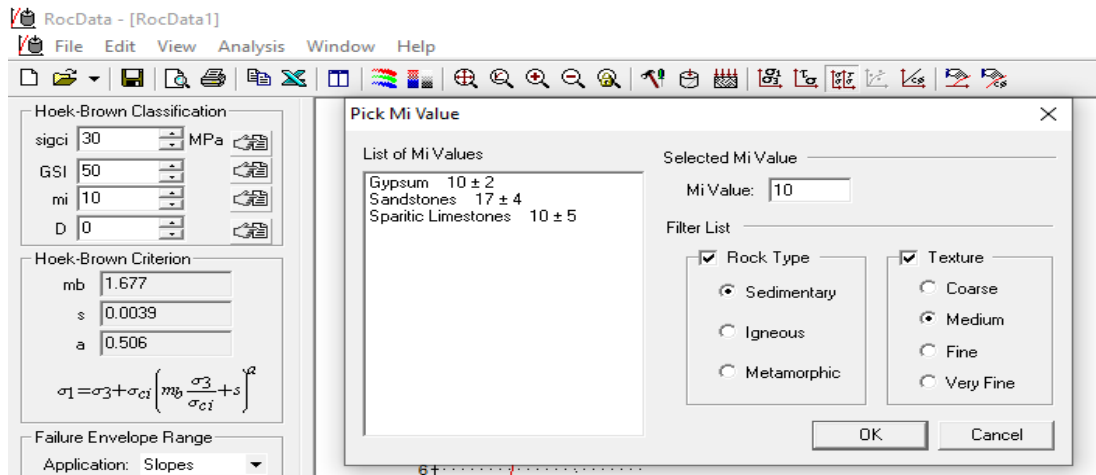


*Nota.* El gráfico representa procesamiento de datos ROC DATA, Elaboración propia.

1. Para el tercer parámetro se elige los valores de acuerdo al tipo de roca y textura de la roca.

**Figura 89**

*Procesamiento según el tipo de roca en el software ROC DATA.*

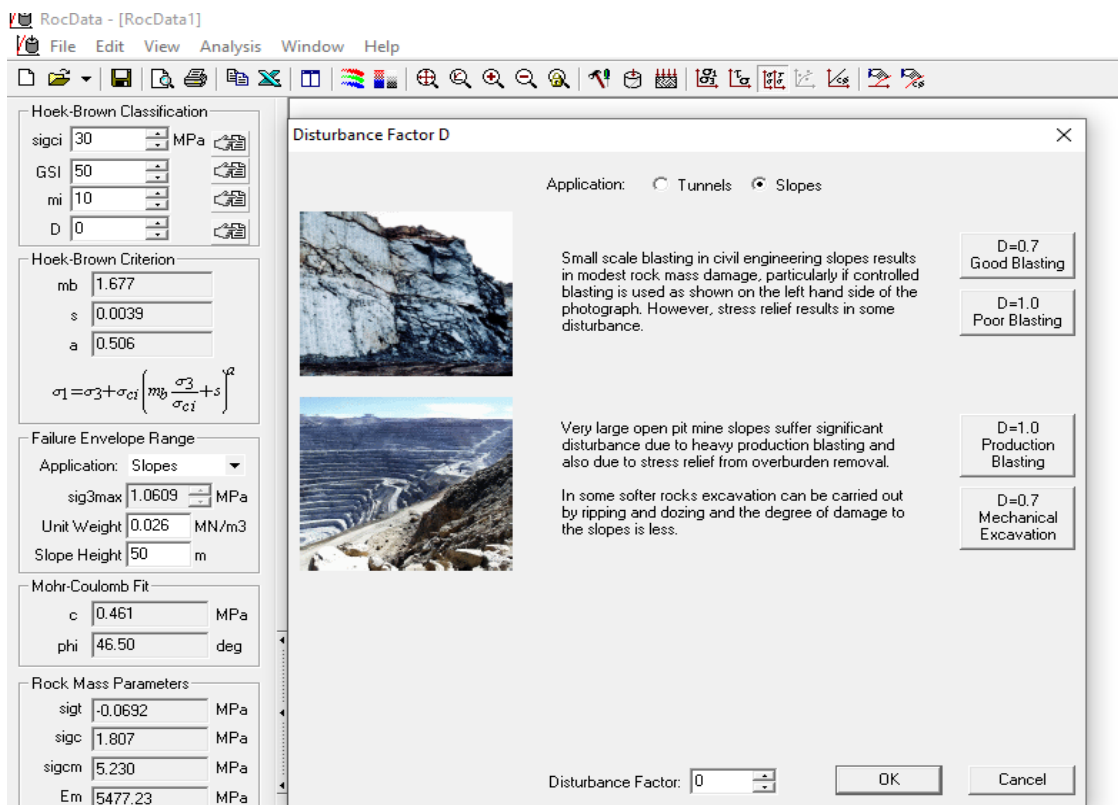


*Nota.* El gráfico representa procesamiento de datos ROC DATA, Elaboración propia.

1. Para el cuarto parámetro se elige los valores de acuerdo al talud de estudio, en nuestro caso es una pendiente.

**Figura 90**

*Procesamiento según el tipo de talud en el software ROC DATA.*



*Nota.* El gráfico representa procesamiento de datos ROC DATA, Elaboración propia.



1. Luego se introduce los datos para el rango de envolvente de la falla, peso unitario y altura de pendiente.

| Failure Envelope Range |             |
|------------------------|-------------|
| Application:           | Slopes      |
| sig3max                | 1.0609 MPa  |
| Unit Weight            | 0.026 MN/m3 |
| Slope Height           | 50 m        |

2. Y finalmente se obtienen los datos que se necesitan para la simulación en el SLIDE y otros parámetros.

Figura 91

*Resultados de cohesión y ángulo de fricción en el software ROC DATA*

| Mohr-Coulomb Fit |           |
|------------------|-----------|
| c                | 0.461 MPa |
| phi              | 46.50 deg |

| Rock Mass Parameters |             |
|----------------------|-------------|
| sigt                 | -0.0692 MPa |
| sigc                 | 1.807 MPa   |
| sigcm                | 5.230 MPa   |
| Em                   | 5477.23 MPa |

**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial compressive strength = 30 MPa  
GSI = 50 mi = 10 Disturbance factor = 0

**Hoek-Brown Criterion**

mb = 1.677 s = 0.0039 a = 0.506

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.461 MPa friction angle = 46.50 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.069 MPa  
uniaxial compressive strength = 1.807 MPa  
global strength = 5.230 MPa  
modulus of deformation = 5477.23 MPa

*Nota. El gráfico representa resultado de datos ROC DATA, Elaboración propia.*

1. Del procesamiento de datos en el software Roc Data se tienen los siguientes resultados, que serán utilizados para el análisis de los datos y la simulación en el software SLIDE.



**Tabla 8**

*Datos obtenidos del procesamiento en el software Roc Data.*

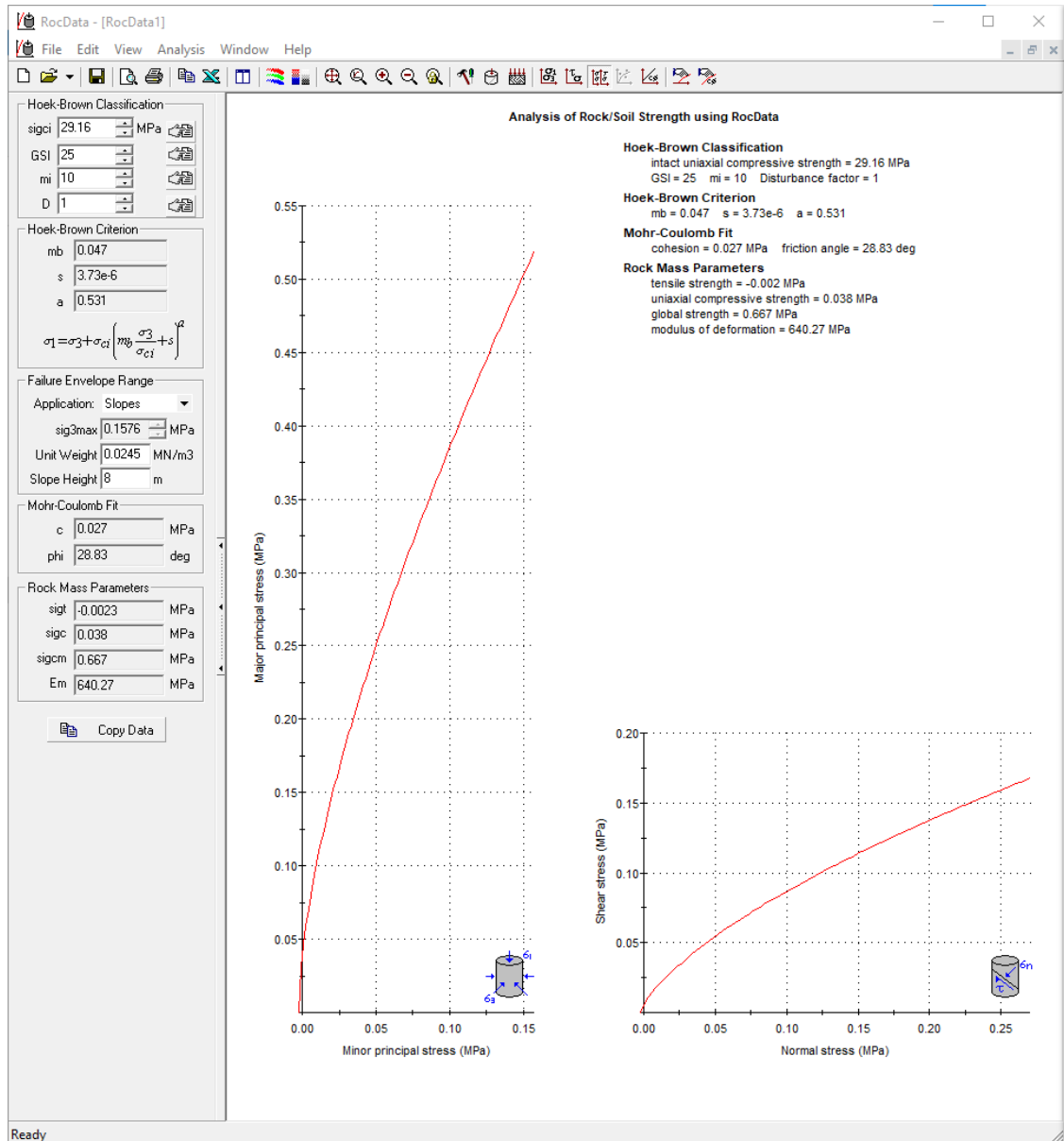
| Description                      | Und     | Punto 1   | Punto 2   | Punto 3   | Punto 4    | Punto 5    |
|----------------------------------|---------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| <b>Hoek-Brown Classification</b> |         |           |           |           |            |            |
| sigci                            | MPa     | 29.16     | 23.28     | 31.75     | 45.87      | 41.84      |
| GSI                              |         | 25        | 25        | 25        | 25         | 25         |
| Mi                               |         | 10        | 10        | 10        | 10         | 10         |
| D                                |         | 1         | 1         | 1         | 1          | 1          |
| <b>Hoek-Brown Criterion</b>      |         |           |           |           |            |            |
| Mb                               |         | 0.0471436 | 0.0471436 | 0.0471436 | 0.04714    | 0.0471436  |
| S                                |         | 3.73E-06  | 3.73E-06  | 3.73E-06  | 3.73E-06   | 3.73E-06   |
| A                                |         | 0.531267  | 0.531267  | 0.531267  | 0.531267   | 0.531267   |
| <b>Failure Envelope Range</b>    |         |           |           |           |            |            |
| Application                      |         | Slopes    | Slopes    | Slopes    | Slopes     | Slopes     |
| sig3max                          | MPa     | 0.157569  | 0.155611  | 0.149316  | 0.167171   | 0.159747   |
| Unit Weight                      | MN/m3   | 0.0245    | 0.02471   | 0.0229    | 0.025      | 0.024      |
| Slope Height                     | M       | 8         | 8         | 8         | 8          | 8          |
| <b>Mohr-Coulomb Fit</b>          |         |           |           |           |            |            |
| cohesion                         | MPa     | 0.0271495 | 0.0247855 | 0.0271003 | 0.0334421  | 0.0313877  |
| friction angle                   | degrees | 28.83     | 27.2392   | 29.883    | 31.8379    | 31.4794    |
| <b>Rock Mass Parameters</b>      |         |           |           |           |            |            |
| Sigt                             | MPa     | -         | -         | -         | -          | -          |
| Sigc                             | MPa     | 0.0023050 | 0.0018402 | 0.0025098 | 0.00362598 | 0.00330741 |
| Sigcm                            | MPa     | 0.0380809 | 0.0304021 | 0.0414633 | 0.059903   | 0.0546401  |
| Em                               | MPa     | 0.667224  | 0.532681  | 0.726487  | 1.04957    | 0.957361   |
|                                  | MPa     | 640.271   | 572.086   | 668.101   | 803.035    | 766.948    |

*Nota.* La tabla muestra datos obtenidos de ROC DATA, Elaboración propia.

Gráficos de comportamiento de la roca sometido a la compresión y otros parámetros de los 05 puntos de estudio.

**Figura 92**

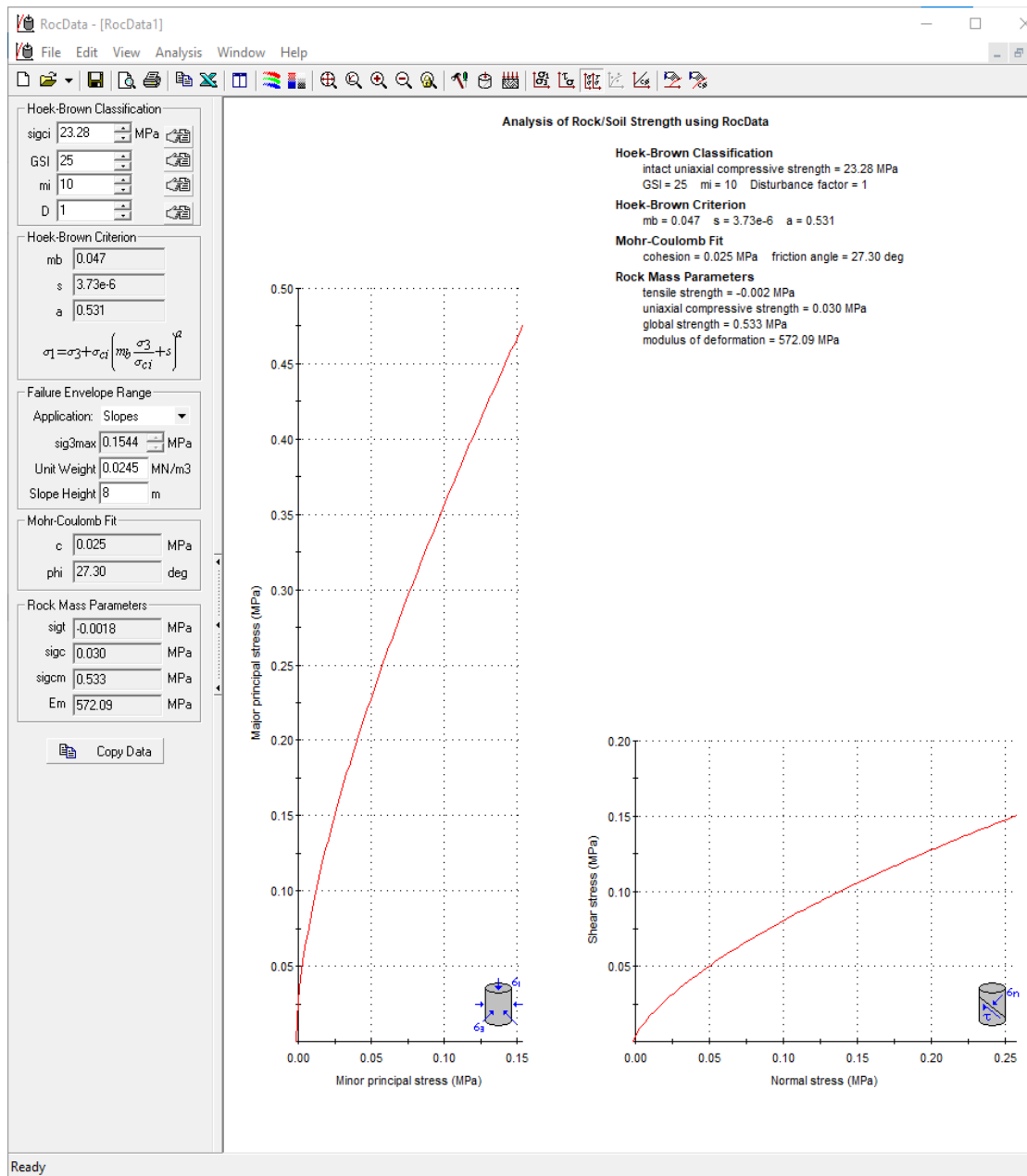
*Procesamiento ROC DATA para el punto 01.*



Nota. El gráfico representa procesamiento de datos ROC DATA, Elaboración propia.

Figura 93

Procesamiento ROC DATA para el punto 02.



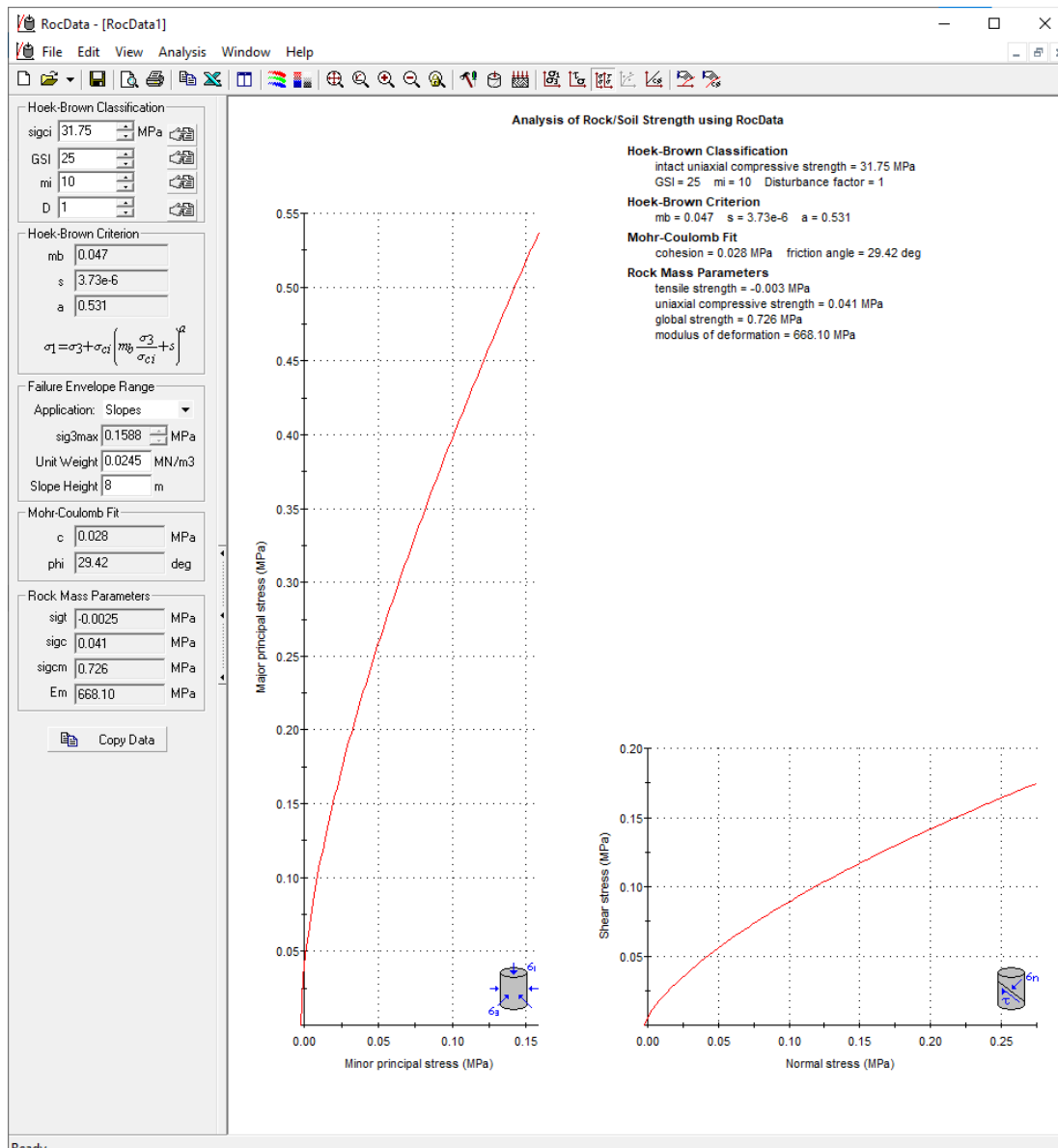
Nota. El gráfico representa procesamiento de datos ROC DATA, Elaboración propia.





Figura 94

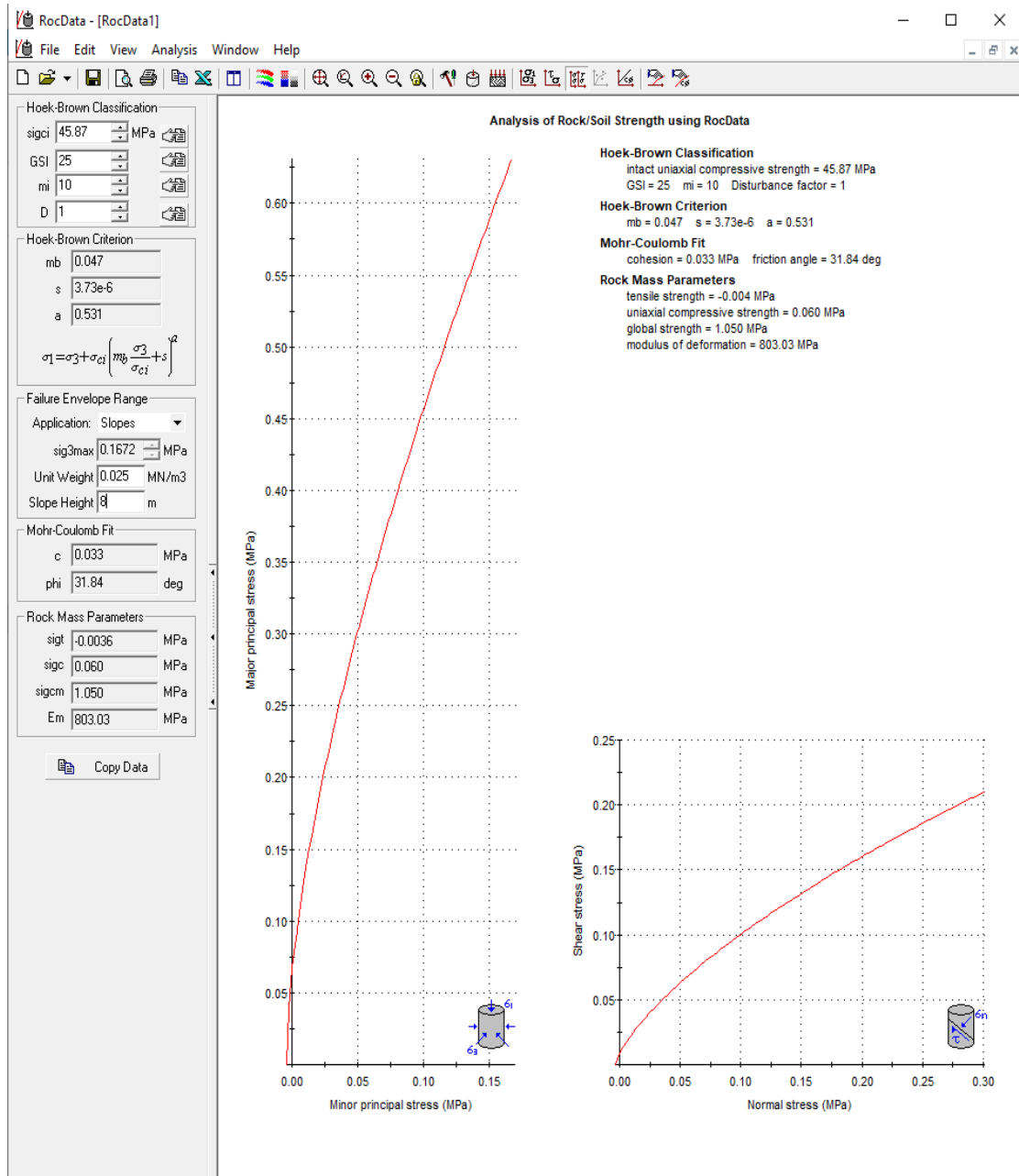
Procesamiento ROC DATA para el punto 03.



Nota. El gráfico representa procesamiento de datos ROC DATA, Elaboración propia.

**Figura 95**

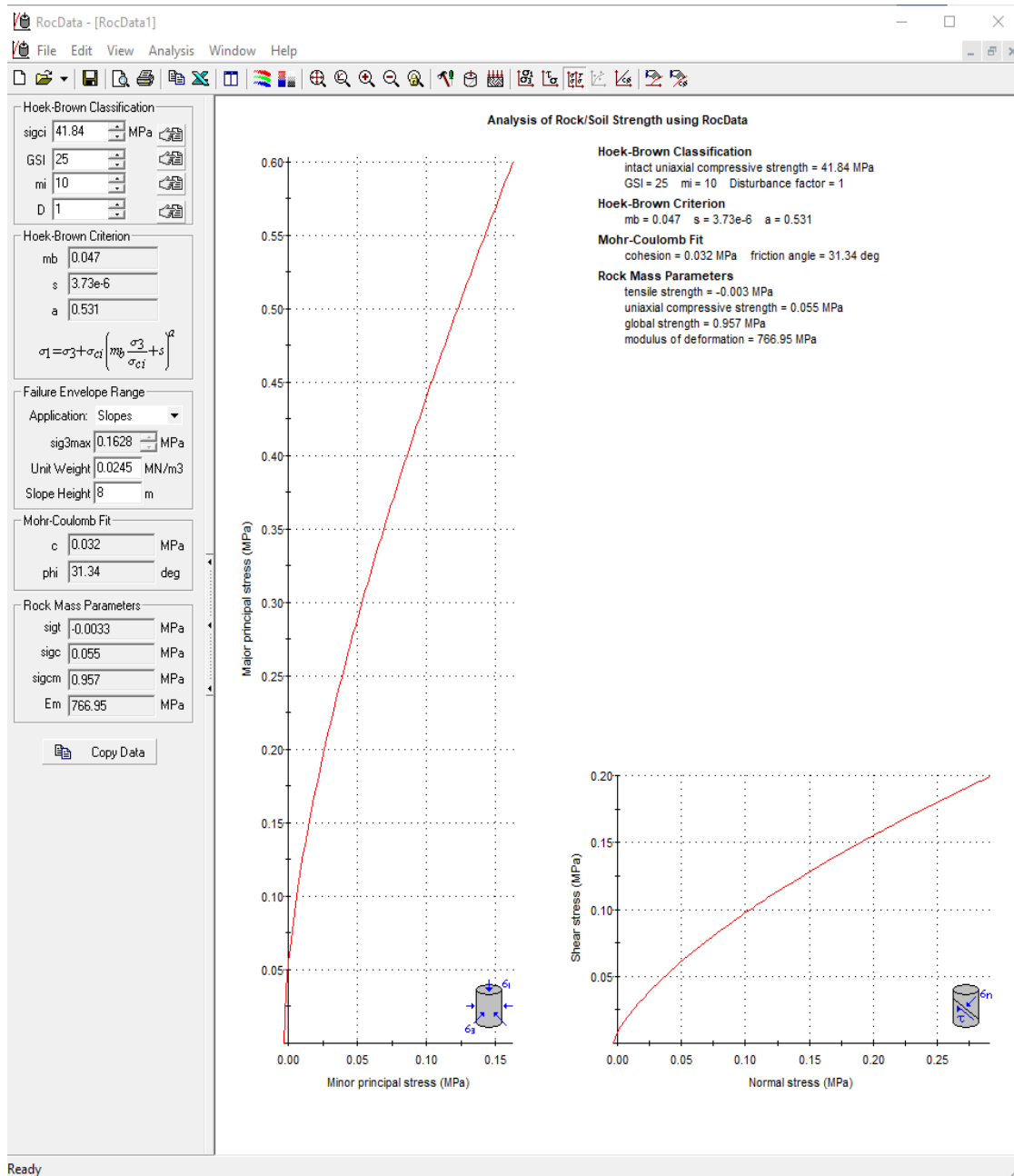
*Procesamiento ROC DATA para el punto 04.*



*Nota.* El gráfico representa procesamiento de datos ROC DATA, Elaboración propia.

**Figura 96**

*Procesamiento ROC DATA para el punto 05.*



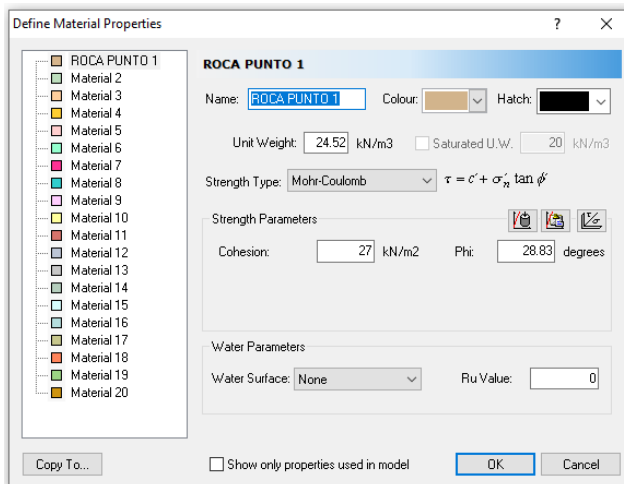
Nota. El gráfico representa procesamiento de datos ROC DATA, Elaboración propia.

### 3.6.1.6 Procesamiento de Datos Simulación en Software SILDE

1. Obtenidos los datos del peso unitario, Cohesión y ángulo de fricción, así como las características del talud de estudio se realiza la simulación en el Software SLIDE, como se muestran en las siguientes imágenes.

**Figura 97**

*Definición de Propiedades para el punto 01.*

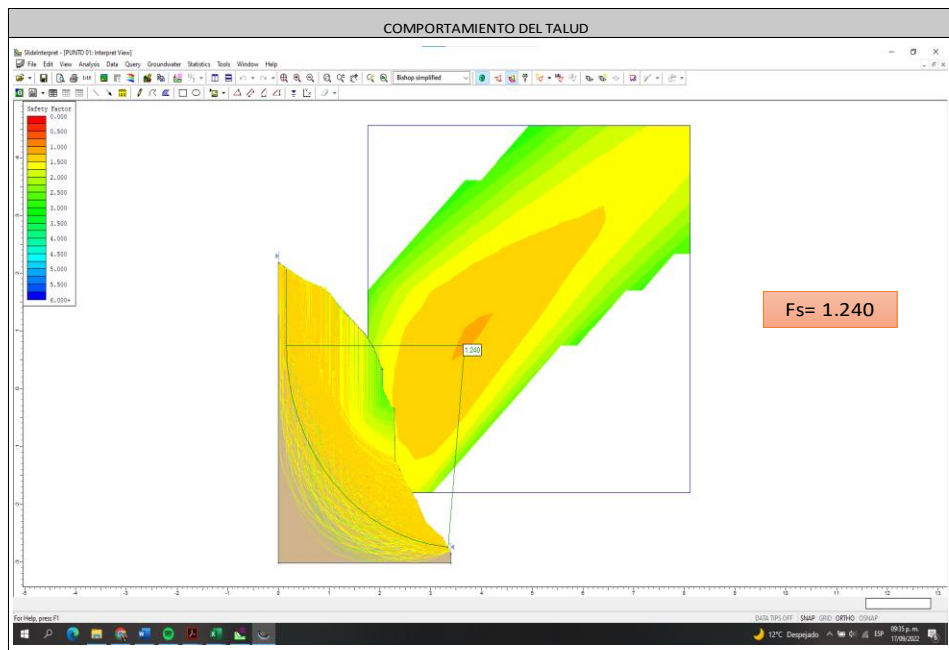


*Nota.* El gráfico representa propiedades punto 1, Elaboración propia.

2. Simulación del punto 01, donde el Fs. es de 2.221

**Figura 98**

*Simulación en el Software Slide para el Comportamiento del Talud en el punto 01*



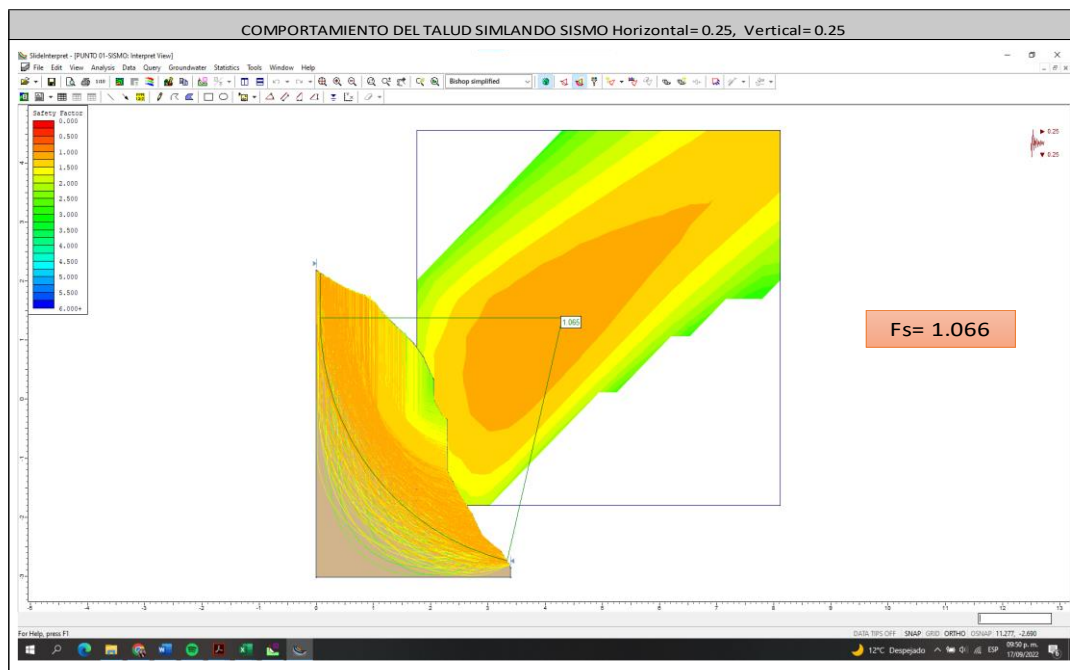
*Nota.* El gráfico representa simulación en Slide punto 1, Elaboración propia.

3. Simulación del punto 01, simulando sismo con las siguientes características: Horizontal= 0.25 y Vertical= 0.25, se considera estos valores por la nuestra región, donde el factor de seguridad es de 1.883, lo

que indica que el Talud de estudio es estable pero no seguro debido a que se encuentra por debajo de 2.5 que es el mínimo para que el talud sea estable y seguro.

### Figura 99

*Simulación en el Software Slide para el Comportamiento del Talud con sismo en el punto 01.*



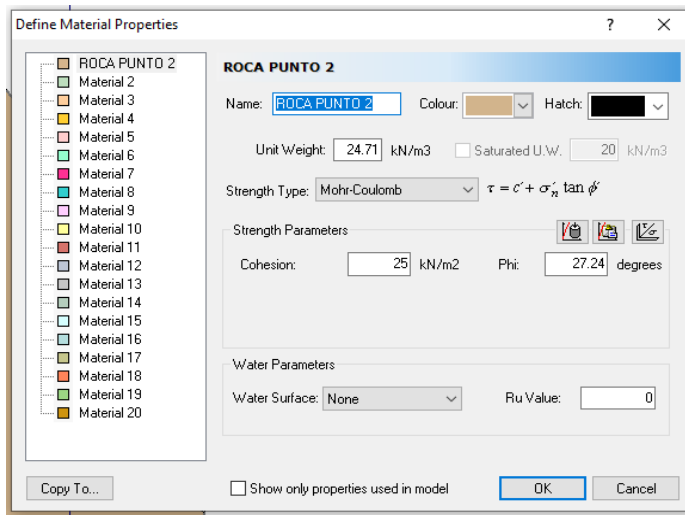
*Nota.* El gráfico representa simulación en Slide punto 1 con sismo, Elaboración propia.

4. Se procede a realizar la simulación de los puntos de estudio según las siguientes imágenes.



**Figura 100**

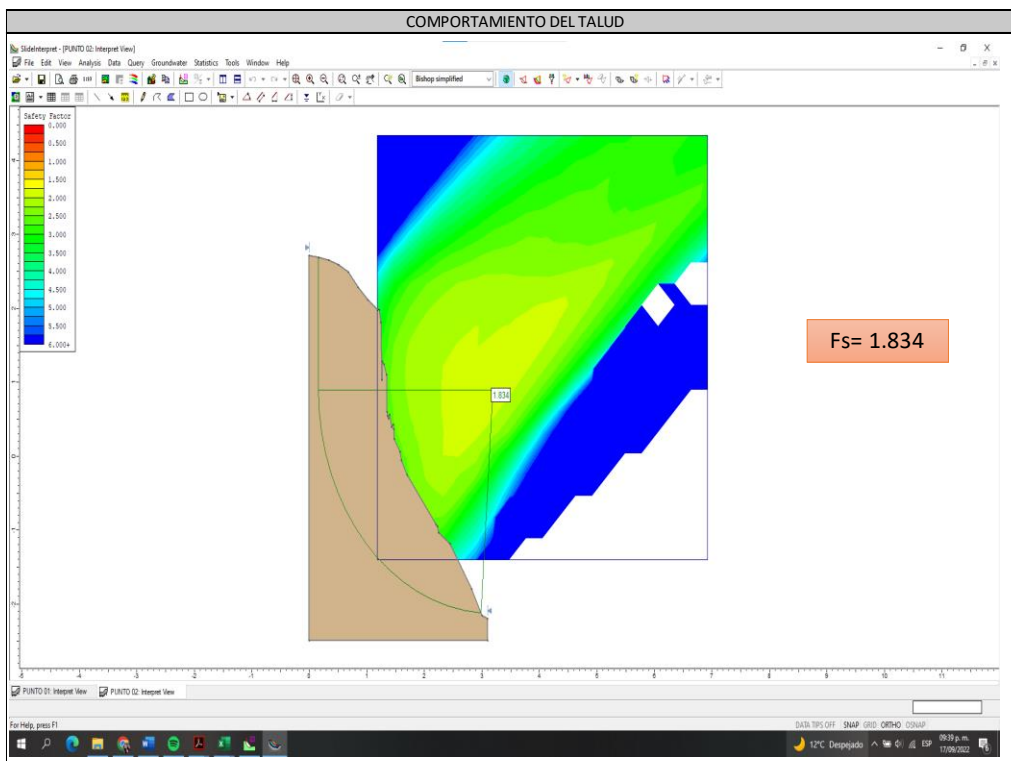
*Definición de Propiedades para el punto 02.*



*Nota.* El gráfico representa propiedades para punto 2, Elaboración propia.

**Figura 101**

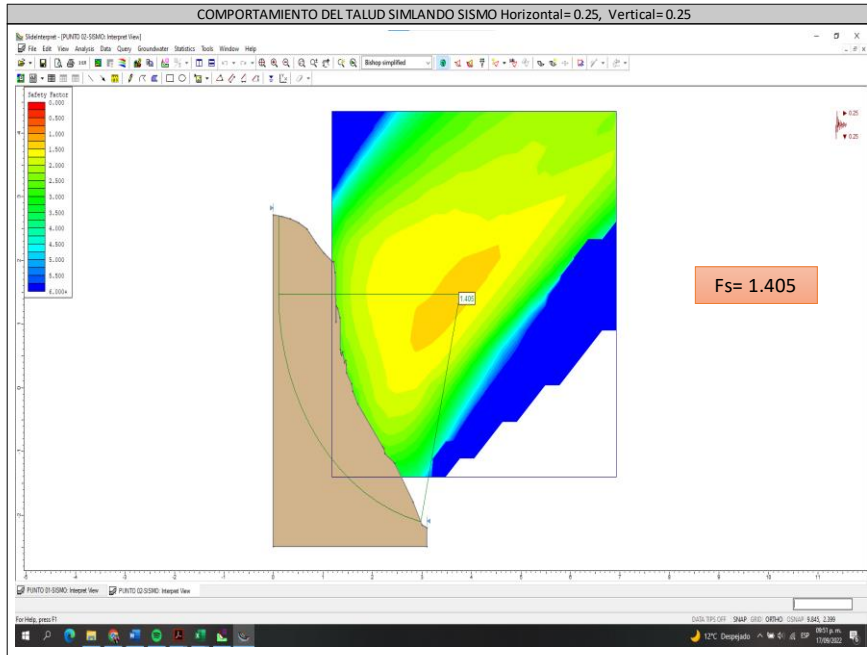
*Simulación en el Software Slide para el Comportamiento del Talud en el punto 02.*



*Nota.* El gráfico representa simulación en Slide punto 2, Elaboración propia.

**Figura 102**

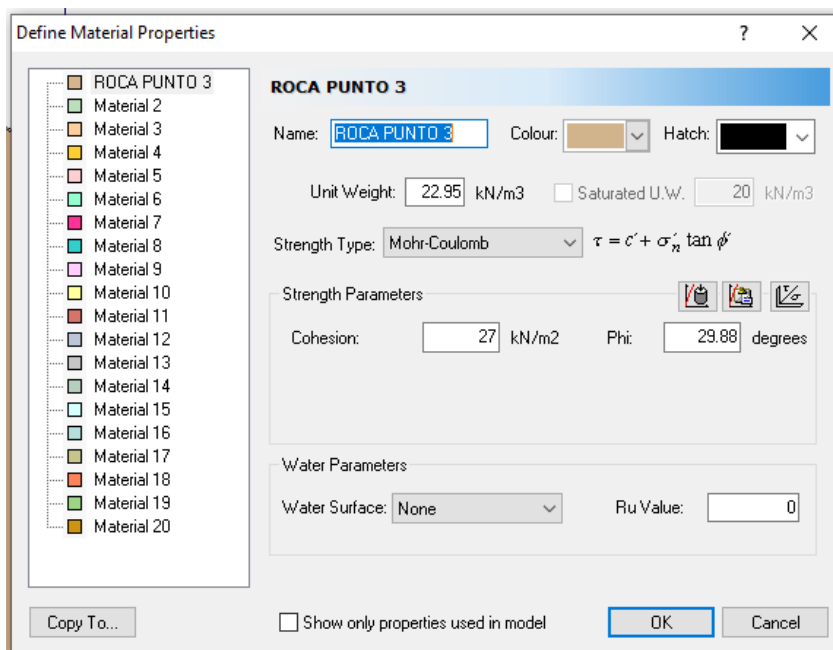
*Simulación en el Software Slide para el Comportamiento del Talud con sismo en el punto 02.*



*Nota.* El gráfico representa simulación en Slide punto 2 con sismo, Elaboración propia.

**Figura 103**

*Definición de Propiedades para el punto 03.*

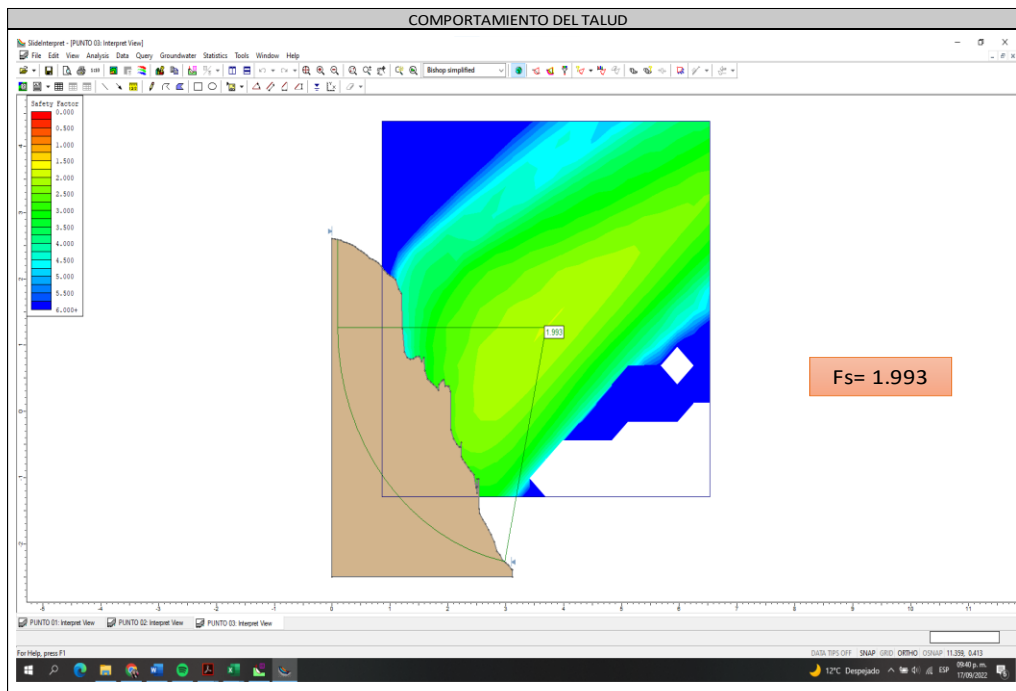


*Nota.* El gráfico representa propiedades en el punto 3, Elaboración propia.



**Figura 104**

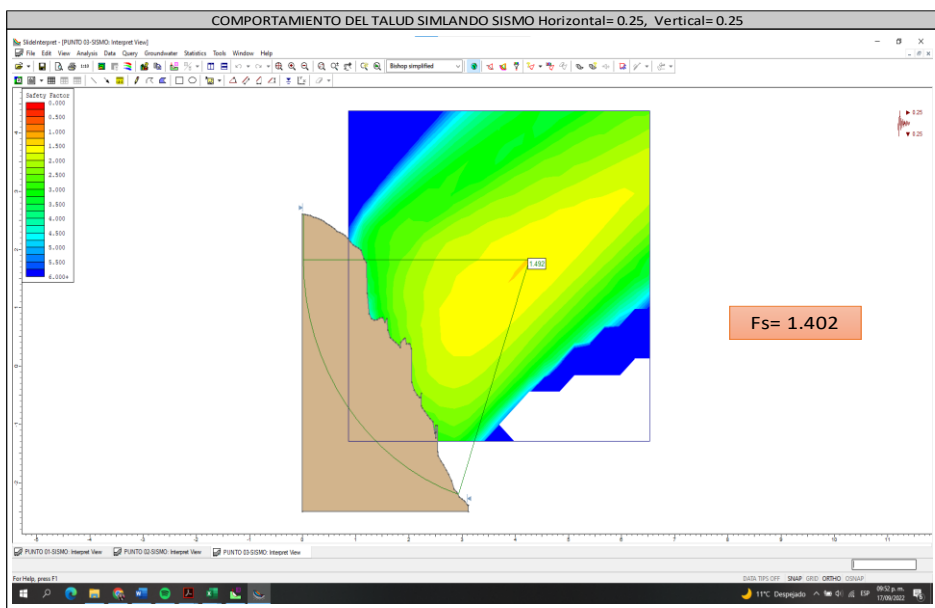
*Simulación en el Software Slide para el Comportamiento del Talud en el punto 03.*



*Nota:* El gráfico representa simulación en Slide punto 3, Elaboración propia.

**Figura 105**

*Simulación en el Software Slide para el Comportamiento del Talud con sismo en el punto 03.*

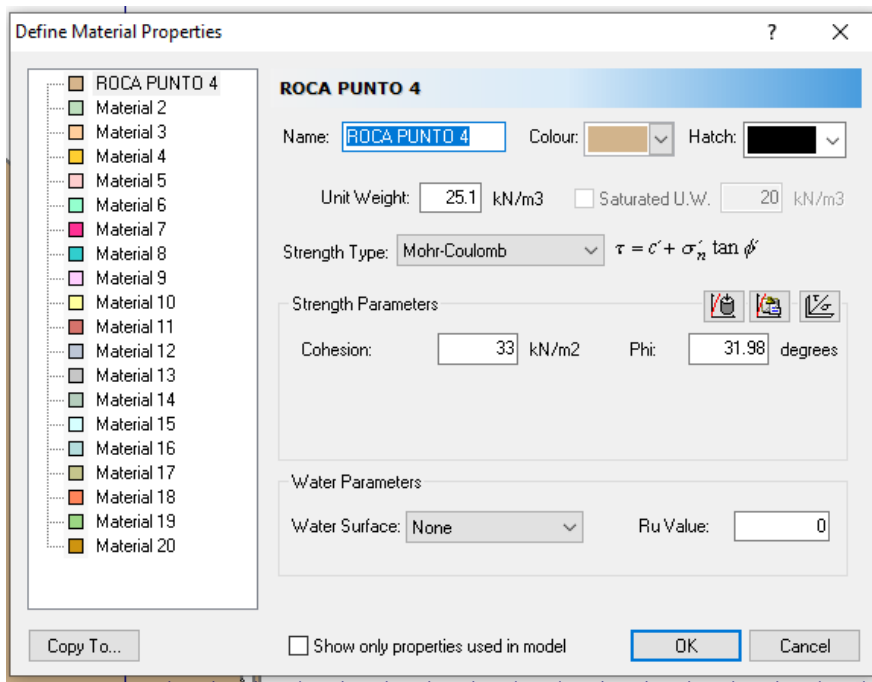


*Nota.* El gráfico representa simulación en Slide punto 3 con sismo, Elaboración propia.



**Figura 106**

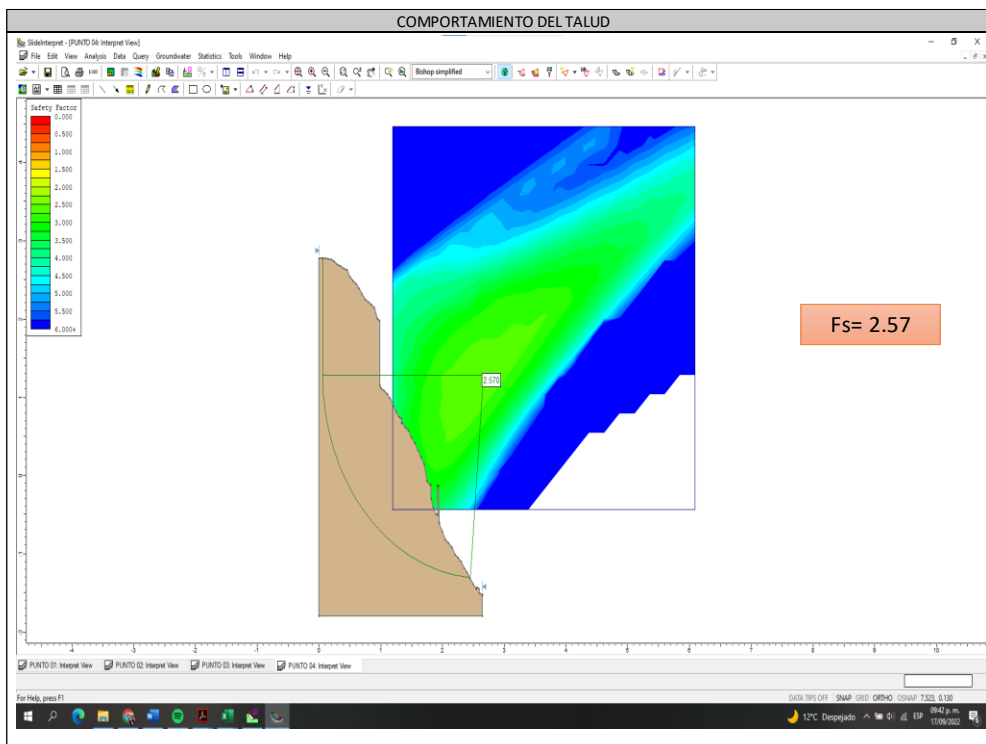
*Definición de Propiedades para el punto 04.*



*Nota.* El gráfico representa propiedades en el punto 4, Elaboración propia.

**Figura 107**

*Simulación en el Software Slide para el Comportamiento del Talud en el punto 04.*

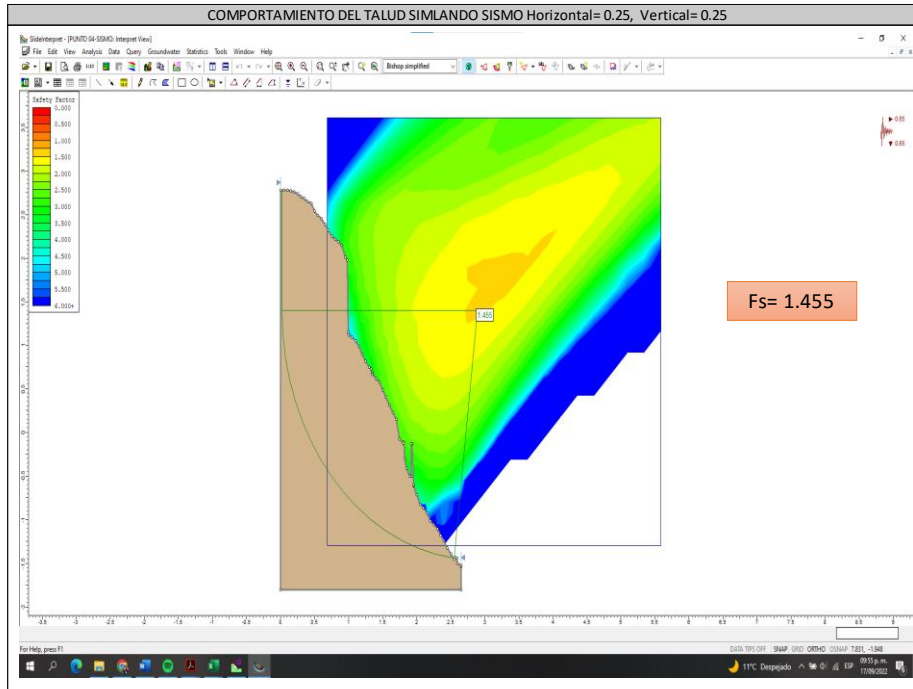


*Nota.* El gráfico representa simulación en Slide punto 4, Elaboración propia.



**Figura 108**

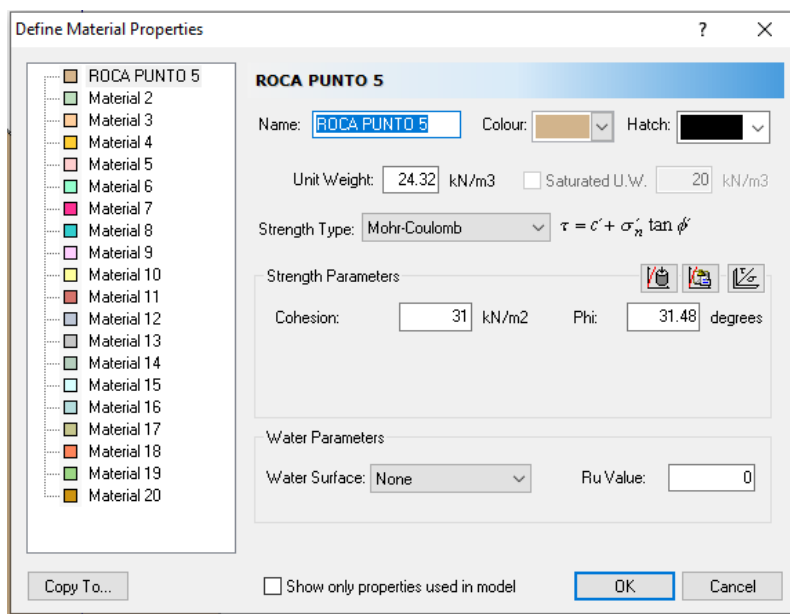
*Simulación en el Software Slide para el Comportamiento del Talud con sismo en el punto 04.*



*Nota.* El gráfico representa simulación en Slide punto 4 con sismo, Elaboración propia.

**Figura 109**

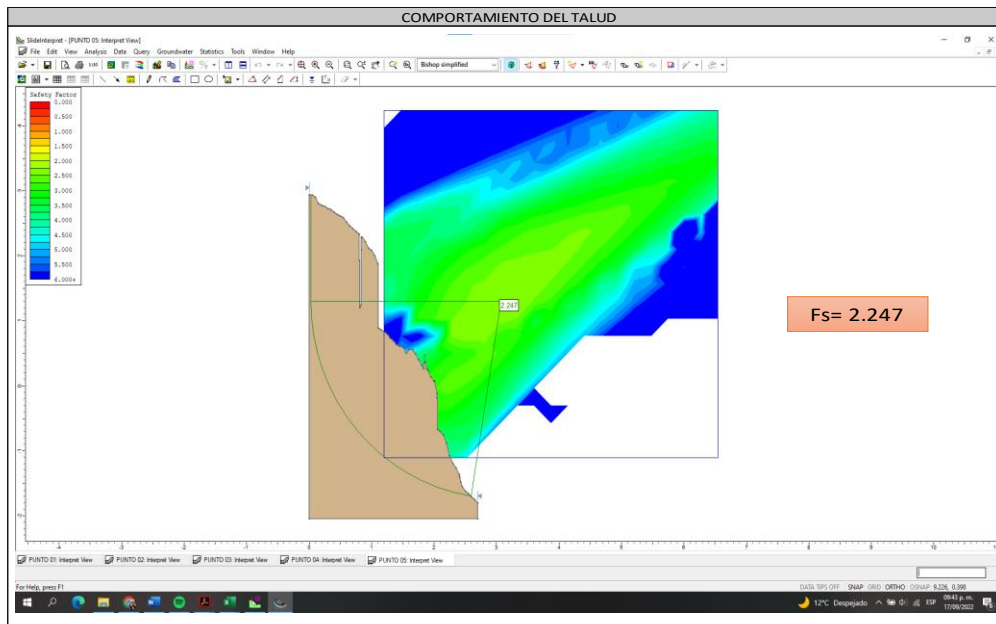
*Definición de Propiedades para el punto 05.*



*Nota.* El gráfico representa propiedades del punto 5, Elaboración propia.

**Figura 110**

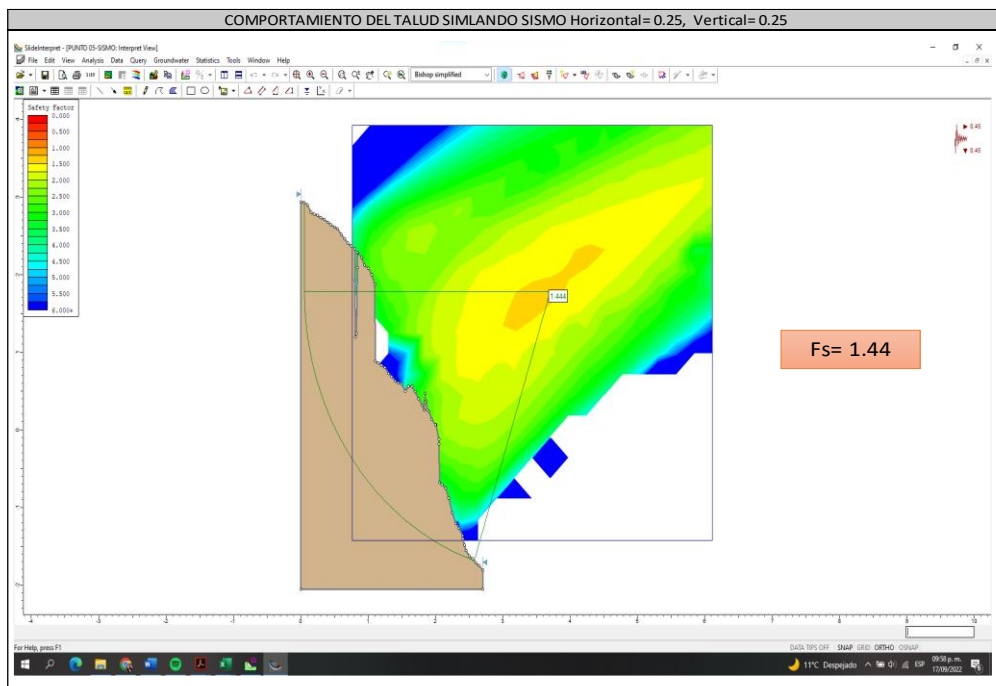
*Simulación en el Software Slide para el Comportamiento del Talud en el punto 05.*



*Nota.* El gráfico representa simulación en Slide punto 5, Elaboración propia.

**Figura 111**

*Simulación en el Software Slide para el Comportamiento del Talud con sismo en el punto 05.*



*Nota.* El gráfico representa simulación en Slide punto 5 con sismo, Elaboración propia.



### 3.6.2 *Determinación de la Estabilidad del Talud de Estudio en el Sitio Arqueológico*

#### *Raqaraqayniyoc*

#### 3.6.2.1 **Determinación del macizo rocoso según la Clasificación Geomecánica**

##### **RMR**

De la clasificación geomecánica realizada en el talud de estudio en 5 puntos, para obtener un índice de calidad del macizo rocoso a partir de la roca intacta, grado de fracturación, diaclasado y discontinuidades del macizo.

Se realizó la clasificación del macizo rocoso según el RMR, del cual se obtuvieron 5 resultados donde podemos tener las características del talud, estas características indican que el talud es inestable.

Caracterización según la Clasificación Geomecánica en los 5 puntos del talud de estudio.



**Tabla 9**

*Resultado de la Clasificación del macizo rocoso según el RMR del punto 01.*

| RMR                   | Clasificación del macizo rocoso según el RMR |                          |                          |                          |                        | Puntuación Total             |               |
|-----------------------|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|---------------|
|                       | 100-81                                       | 80-61                    | 60-41                    | 40-21                    | <20                    | 6                            |               |
| Clase                 | I  | II                       | III                      | IV                       | V                      | V                            |               |
| Calidad               | Muy Buena                                    | Buena                    | Media                    | Mala                     | Muy Mala               | Muy Mala                     |               |
| 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> | <b>Resultado</b><br><1Kp/cm2 |               |
| Ángulo de rozamiento  | > 45°  | 35° - 45°                | 25°- 35°                 | 15° - 25°                | < 15°                  |                              |               |
| Tiempo de             |  |                          |                          |                          |                        |                              |               |
| Autosoporte y         | 10 años 15m.                                 | 6 meses 8m.              | 1 semana 5m.             | 10 horas 2.5m.           | 30 minutos 1m.         |                              | 30 minutos 1m |
| longitud sin sostener |  |                          |                          |                          |                        |                              |               |

*Nota.* La tabla muestra resultados de macizo rocoso según RMR punto 1, Elaboración propia.



**Tabla 10**

*Resultado de la Clasificación del macizo rocoso según el RMR del punto 02.*

| RMR   | Clasificación del macizo rocoso según el RMR |                          |                          |                          |                        | Puntuación total             |
|---|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|
|   | 100-81                                       | 80-61                    | 60-41                    | 40-21                    | <20                    | 7                            |
| Clase   | I  | II                       | III                      | IV                       | V                      | V                            |
| Calidad   | Muy Buena                                    | Buena                    | Media                    | Mala                     | Muy Mala               | Muy Mala                     |
| 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> | <b>Resultado</b><br><1Kp/cm2 |
| Ángulo de rozamiento                                | > 45°  | 35° - 45°                | 25°- 35°                 | 15° - 25°                | < 15°                  |                              |
| Tiempo de<br>Autosoporte y<br>longitud sin sostener | 10 años 15m.                                 | 6 meses 8m.              | 1 semana 5m.             | 10 horas 2.5m.           | 30 minutos 1m.         |                              |

*Nota.* La tabla muestra resultados de macizo rocoso según RMR punto 2, Elaboración propia.



**Tabla 11**

*Resultado de la Clasificación del macizo rocoso según el RMR del punto 03.*

| RMR   | Clasificación del macizo rocoso según el RMR |                             |                          |                          |                        | Puntuación Total |
|---|--|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|------------------|
|   | 100-81                                       | 80-61                       | 60-41                    | 40-21                    | <20                    | 10               |
| Clase   | I  | II                          | III                      | IV                       | V                      | V                |
| Calidad                                       | Muy Buena                                    | Buena                       | Media                    | Mala                     | Muy Mala               | Muy Mala         |
| Cohesión                                      | > 4 Kp/cm <sup>2</sup>                       | 3 - 4<br>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> | <1Kp/cm2         |
| Ángulo de rozamiento                          | > 45°  | 35° - 45°                   | 25° - 35°                | 15° - 25°                | < 15°                  | <15°             |
| Tiempo de Autosoporte y longitud sin sostener | 10 años 15m.                                 | 6 meses 8m.                 | 1 semana 5m.             | 10 horas 2.5m.           | 30 minutos 1m.         | 30 minutos 1m    |

*Nota.* La tabla muestra resultados de macizo rocoso según RMR punto 3, Elaboración propia.



**Tabla 12**

*Resultado de la Clasificación del macizo rocoso según el RMR del punto 04.*

| RMR   | Clasificación del macizo rocoso según el RMR |                          |                          |                          |                        | Puntuación Total             |
|---|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|
|   | 100-81                                       | 80-61                    | 60-41                    | 40-21                    | <20                    | 11                           |
| Clase   | I  | II                       | III                      | IV                       | V                      | V                            |
| Calidad                                       | Muy Buena                                    | Buena                    | Media                    | Mala                     | Muy Mala               | Muy Mala                     |
| 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> | <b>Resultado</b><br><1Kp/cm2 |
| Ángulo de rozamiento                          | > 45°  | 35° - 45°                | 25°- 35°                 | 15° - 25°                | < 15°                  |                              |
| Tiempo de Autosoporte y longitud sin sostener | 10 años 15m.                                 | 6 meses 8m.              | 1 semana 5m.             | 10 horas 2.5m.           | 30 minutos 1m.         |                              |

*Nota.* La tabla muestra resultados de macizo rocoso según RMR punto 4, Elaboración propia.





**Tabla 13**

*Resultado de la Clasificación del macizo rocoso según el RMR del punto 05.*

| RMR   | Clasificación del macizo rocoso según el RMR |                          |                          |                          |                        | Puntuación Total |                      |
|---|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|------------------|----------------------|
|   | 100-81                                       | 80-61                    | 60-41                    | 40-21                    | <20                    | 6                |                      |
| Clase   | I  | II                       | III                      | IV                       | V                      | V                |                      |
| Calidad                                       | Muy Buena                                    | Buena                    | Media                    | Mala                     | Muy Mala               | Muy Mala         |                      |
| 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> | <b>Resultado</b> | <1Kp/cm <sup>2</sup> |
| Ángulo de rozamiento                          | > 45°  | 35° - 45°                | 25°- 35°                 | 15° - 25°                | < 15°                  |                  | <15°                 |
| Tiempo de Autosoporte y longitud sin sostener | 10 años 15m.                                 | 6 meses 8m.              | 1 semana 5m.             | 10 horas 2.5m.           | 30 minutos 1m.         | 30 minutos 1m    |                      |

*Nota.* La tabla muestra resultados de macizo rocoso según RMR punto 5, Elaboración propia.



### 3.6.2.2 Determinación de la resistencia a la compresión con Esclerómetro del talud

De los datos obtenidos al realizar el ensayo in situ, en el talud de estudio tenemos que la resistencia a la compresión es baja por lo que es necesario mejorar la resistencia del talud.

**Tabla 14**

*Datos de los Resultado del ensayo del Esclerómetro.*

| Punto | Resistencia a la | Valor de |
|-------|------------------|----------|
|       | compresión       | rebote   |
|       | Fv               | Q        |
| Mpa   |                  |          |
| 1     | 48.9             | 49       |
| 2     | 14.91            | 15       |
| 3     | 18               | 18       |
| 4     | 11               | 11       |
| 5     | 11               | 11       |

*Nota.* La tabla muestra resultados de ensayo de esclerómetro, Elaboración propia.

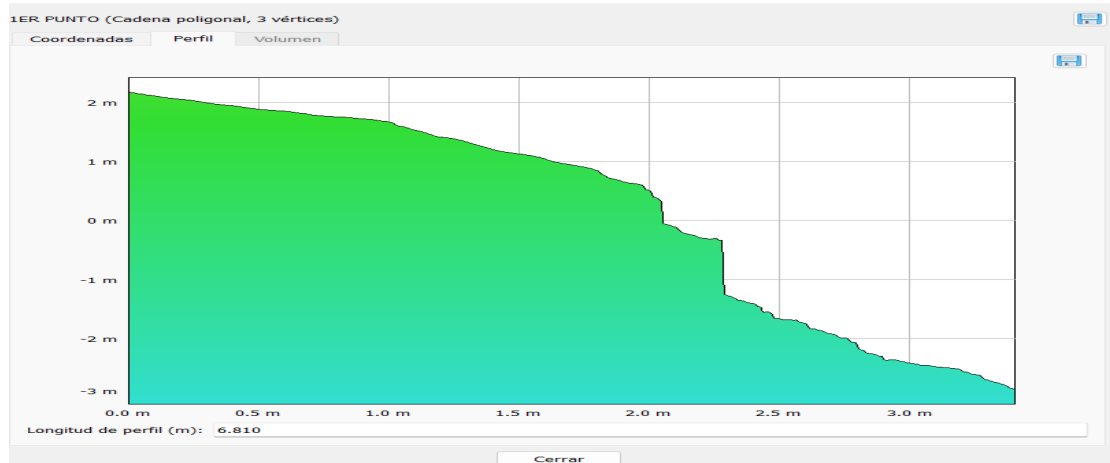
### 3.6.2.3 Determinación de los perfiles a partir de las secciones de los 5 puntos del talud de estudio

Obtención de los perfiles de cada punto, para la simulación en el software SLIDE.



**Figura 112**

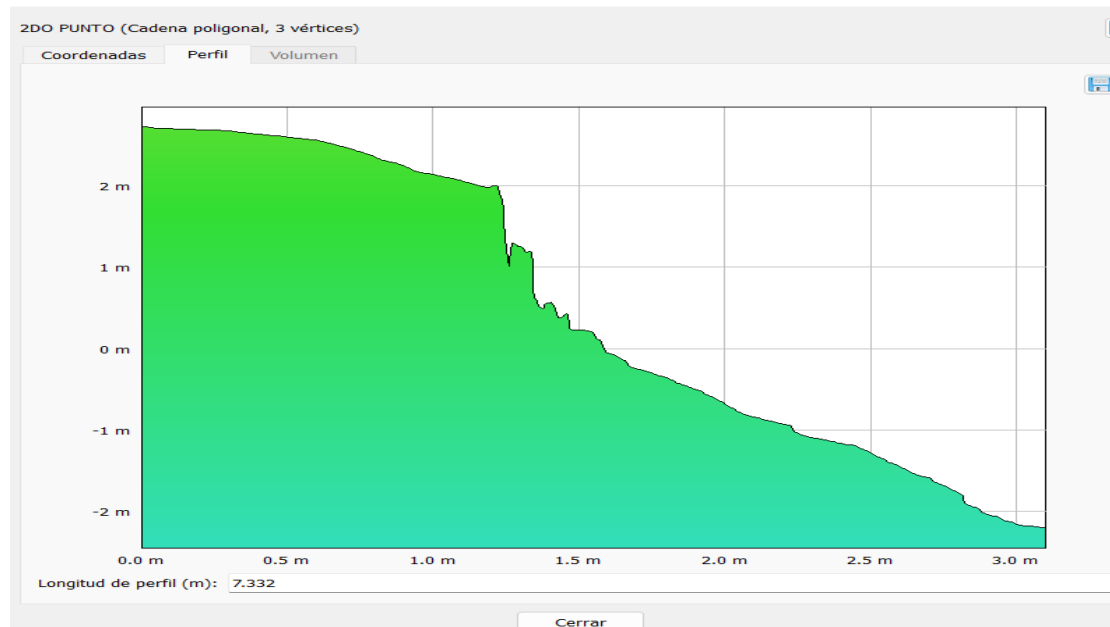
*Perfil de la sección 1 del talud de estudio.*



*Nota.* El gráfico representa el perfil de la sección 1, Elaboración propia.

**Figura 113**

*Perfil de la sección 2 del talud de estudio.*

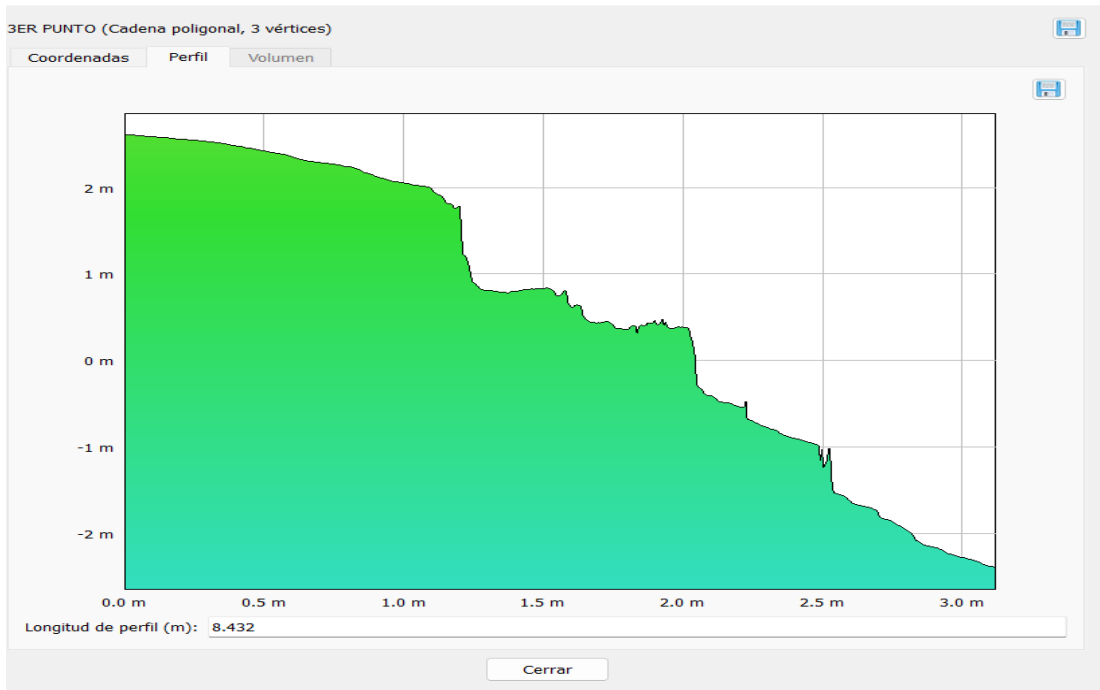


*Nota.* El gráfico representa el perfil de la sección 2, Elaboración propia.



**Figura 114**

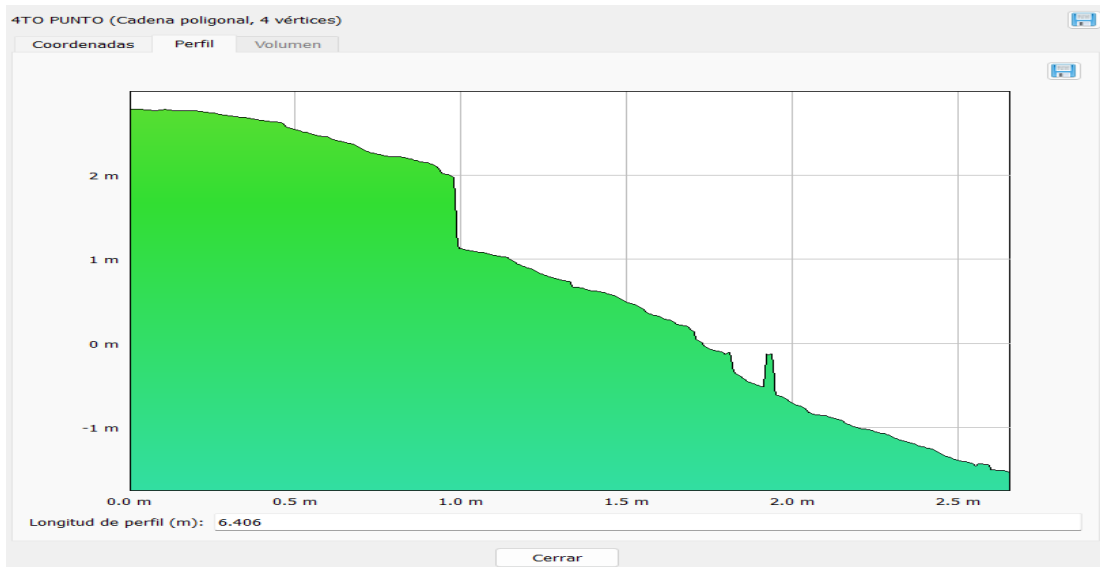
*Perfil de la sección 3 del talud de estudio.*



*Nota:* El gráfico representa el perfil de la sección 3, Elaboración propia.

**Figura 115**

*Perfil de la sección 4 del talud de estudio.*



*Nota.* El gráfico representa el perfil de la sección 4, Elaboración propia.



**Figura 116**

*Perfil de la sección 5 del talud de estudio.*



*Nota.* El gráfico representa el perfil de la sección 5, Elaboración propia.

### 3.6.2.4 Determinación de las características geofísicas del talud de estudio a partir del ensayo de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV 2D)

| SEV<br>N° | H1   |     | H2   |      | H3  |      | H4   |      |
|-----------|------|-----|------|------|-----|------|------|------|
|           | R1   | E1  | R2   | E2   | R3  | E3   | R4   | E4   |
| 01        | 1362 | 5.2 | 5662 | 6.6  | 225 | 141  | 7384 | ---- |
| 02        | 381  | 4.2 | 5098 | 23.3 | 123 | ---- |      |      |

**SEV** :Sondaje Eléctrico Vertical

**R** :Resistividad

Aparente

**H** :Horizonte Geoeléctrico

**E** :Espesor

Geoeléctrico



### 3.6.2.5 Determinación de la Cohesión y Ángulo de Fricción en el Software Roc

#### Data

**Tabla 15**

*Valores de la Cohesión y Ángulo de Fricción.*

| Descripción          | Und     | Punto 1   | Punto 2   | Punto 3   | Punto 4   | Punto 5   |
|----------------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Mohr-<br>Coulomb Fit |         |           |           |           |           |           |
| Cohesion             | MPa     | 0.0271495 | 0.0247855 | 0.0271003 | 0.0334421 | 0.0313877 |
| Friction angle       | degrees | 28.83     | 27.2392   | 29.883    | 31.8379   | 31.4794   |

*Nota.* La tabla muestra los valores de cohesión y Ángulo de fricción, Elaboración propia.

### 3.6.2.6 Determinación del factor de seguridad de los 5 puntos de estudio del Talud en el software SLIDE

De la simulación de los 5 puntos del talud de estudio, se obtiene el factor de seguridad en cada punto, y según la teoría revisada los valores obtenidos el talud de estudio es Estable – Inseguro.

**Tabla 16**

*Factor de Seguridad en el talud de estudio.*

| Caracterización del talud de estudio |   |                             |                   |                    |                     |                                 |
|--------------------------------------|---|-----------------------------|-------------------|--------------------|---------------------|---------------------------------|
| Talud de estudio                     |   | Resistencia a la compresión | Cohesión          | Ángulo de fricción | Factor de seguridad | Factor de seguridad (con sismo) |
|                                      |   | Mpa                         | Kg/m <sup>2</sup> | °                  |                     |                                 |
| Punto                                | 1 | 29.16                       | 27                | 28.83              | 1.240               | <b>1.066</b>                    |
| Punto                                | 2 | 23.28                       | 25                | 27.24              | 1.834               | <b>1.405</b>                    |
| Punto                                | 3 | 31.75                       | 27                | 29.88              | 1.993               | <b>1.402</b>                    |
| Punto                                | 4 | 45.87                       | 33                | 31.98              | 2.570               | <b>1.455</b>                    |
| Punto                                | 5 | 41.84                       | 31                | 31.48              | 2.247               | <b>1.440</b>                    |

*Nota.* La tabla muestra los factores de seguridad del talud, Elaboración propia.



De los resultados obtenidos de la simulación del talud sometido a sismo horizontal=0.25 y vertical= 0.25, determinamos que el talud es inseguro por lo que el recinto del sitio arqueológico Raqaraqayniyoc se encuentra en peligro.

La presente investigación tiene por finalidad brindar una propuesta de solución para dar estabilidad al talud, teniendo en cuenta las características del talud de estudio, la zona y principalmente que pertenece a un sitio arqueológico, el mejoramiento de la estabilidad del talud debe ser lo menos intrusivo para no alterar las características y propiedades del lugar.

### **3.6.3 *Análisis de Datos y Determinación de la Estabilidad del Talud de Estudio en el Sitio Arqueológico Raqaraqayniyoc mejorado con Epóxico***

#### **3.6.3.1 *Recolección de Datos del ensayo a la compresión simple***

Se tomó dos muestras nuevas del talud de estudio, los cuales fueron talladas con un diámetro de 3cm y altura de 6cm, para ser llevadas al ensayo de compresión simple y se obtuvieron los siguientes resultados.

#### **Figura 117**

*Resultado del ensayo a la compresión simple, muestra 1 y 2.*



*Nota.* El gráfico representa resultado de compresión simple, Elaboración propia.



**Tabla 17**

*Resistencia a la Compresión de las 02 muestras*

| <b>Resistencia a la Compresión</b> |           |            |
|------------------------------------|-----------|------------|
| <b>Muestra</b>                     | <b>Q</b>  | <b>fv</b>  |
|                                    | <b>kg</b> | <b>Mpa</b> |
| 1                                  | 300       | 3.79       |
| 2                                  | 1410      | 17.47      |

*Nota.* La tabla muestra la resistencia a la compresión, Elaboración propia.

Para realizar el siguiente ensayo de resistencia a la compresión, se mejora la muestra ya ensayada donde por la carga a la que fue sometida presenta fracturas, para no perder la forma de la muestra inicialmente se cubre con cinta reforzada, para luego añadir el epoxico (Resina de baja viscosidad para inyección), según las siguientes imágenes.

**La inclusión del epóxico en las muestras de cilindro, se realizó de la siguiente manera:**

Al someter los especímenes cilíndricos de roca a compresión simple tuvimos previamente que envolver los especímenes con una cinta para que los especímenes no pierdan su forma. Luego de someter al ensayo de compresión simple los especímenes de roca obtuvimos como resultado grietas en los especímenes, para lo cual con ayuda de la cinta evitamos perder la forma cilíndrica de los especímenes y procedimos a echar el epóxico con ayuda de un Izopo dentro de las grietas producto de ser sometidos a el ensayo de compresión simple, una vez culminado procedimos a esperar que el epóxico seque y luego fueron sometidos a compresión simple cada uno de los especímenes aumentados con epóxico y cuyo resultado fue que la resistencia a la compresión aumento considerablemente.





La profundidad al aplicar el epóxico en el talud de estudio es relativa, ya que como tenemos conocimiento las fallas y grietas que se presentan no son constantes por dichos motivos habrá lugares y fisuras que demanden una profundidad mayor en comparación a otros puntos por dichos motivos consideramos pertinente aplicar el epóxico a una profundidad de 0.30 metros en las grietas grandes y 0.15 metros en las grietas pequeñas para un mejor resultado y un factor de seguridad mayor.

**Figura 118**

*Muestra cubierta de cinta.*



**Figura 119**

*Uso del epoxico (Resina de baja viscosidad para inyección) en la muestra fractura.*



**Figura 120**

*Muestras fracturadas con epoxico (Resina de baja viscosidad para inyección)  
(secando durante 72 horas).*



Luego de mejorar las muestras con el epoxico (Resina de baja viscosidad para inyección) se realiza el ensayo a la compresion simple.

**Figura 121**

*Resultado del ensayo a la compresión simple, muestra 1 y 2 mejorada con epoxico*

*(Resina de baja viscosidad para inyección).*



**Tabla 18**

*Resistencia a la Compresión de las 02 muestras mejorado con epoxico (Resina de baja viscosidad para inyección).*

| <b>Resistencia a la Compresión Con epóxico</b> |           |            |
|--|-----------|------------|
| <b>Muestra</b>                                 | <b>Q</b>  | <b>Fv</b>  |
|  | <b>kg</b> | <b>Mpa</b> |
| 1  | 1660      | 25.45      |
| 2  | 2370      | 29.37      |

*Nota.* La tabla muestra la resistencia a la compresión con epóxico, elaboración propia.

### **3.6.3.2 Análisis de Datos del ensayo a la compresión simple**

Se tienen las muestras sometidas al ensayo de compresión simple, en el primer ensayo se tienen las 02 muestras inalteradas y para el segundo ensayo las 02 muestras son mejoradas con epoxico (Resina de baja viscosidad para inyección) lo valores



obtenidos son favorables ya que para ambas muestras la resistencia a la compresión aumenta.

**Tabla 19**

*Diferencia de la Resistencia a la Compresión de las 02 muestras.*

| Muestra | Resistencia a la Compresión |   |
|---------|-----------------------------|---|
|         | Muestra inalterada          | Muestra mejorada con epoxico (resina de baja viscosidad para inyección) |
|         | Q                           | Q   |
|         | kg                          | kg  |
| 1       | 300                         | 1660  |
| 2       | 1410                        | 2370  |

*Nota.* La tabla muestra la diferencia a la resistencia a la compresión, elaboración propia.

Ya que los resultados del factor de seguridad obtenidos mediante el uso del software Slide, dieron como resultados un talud estable pero no seguro, se procedió a realizar el uso del epóxido de resina de baja viscosidad para inyección Sikadur-52, ya que su uso no representa ningún riesgo en zonas arqueológicas, se usó con el fin de aumentar su cohesión y por ende su factor de seguridad aumente y se obtenga un talud estable y seguro.

Para dicho procedimiento se contó con el uso de 2 especímenes de 3 centímetros de diámetro por 6 centímetros de altura (forma cilíndrica), al ser una zona resguardada por el INC las posibilidades de contar con mayores muestras son escasas, por dicho motivo solo se trabajó con 2 muestras, las cuales fueron sometidas al ensayo de compresión simple para obtener sus resultados posteriormente ser inyectadas cada una de ellas con el epóxido de resina de baja viscosidad Sikadur-52 las cuales incrementaron bastante en su resistencia, por dicho motivo para obtener un promedio con datos más exactos se usó la fórmula de Mann-Whitney.



**Procedimiento Prueba de Mann-Whitney:**

**Tabla 20**

*Estadísticos descriptivos, a partir de los datos obtenidos de la resistencia a la compresión*

| Variable | Observaciones | Obs. con<br>datos<br>perdidos | Obs. sin<br>datos<br>perdidos | Mínimo   | Máximo   | Media    | Desv.<br>típica |
|----------|---------------|-------------------------------|-------------------------------|----------|----------|----------|-----------------|
| SIN      | 2             | 0                             | 2                             | 300.000  | 1410.000 | 855.000  | 784.889         |
| CON      | 2             | 0                             | 2                             | 1660.000 | 2370.000 | 2015.000 | 502.046         |

*Nota.* La tabla muestra los estadísticos descriptivos, elaboración propia.

**Tabla 21**

*Prueba de Mann-Whitney.*

| U                   | 0     |
|---------------------|-------|
| U (estandarizado)   | 0.000 |
| Valore esperado     | 2.000 |
| Varianza (U)        | 1.667 |
| Valor-p (bilateral) | 0.333 |
| Alfa                | 0.05  |

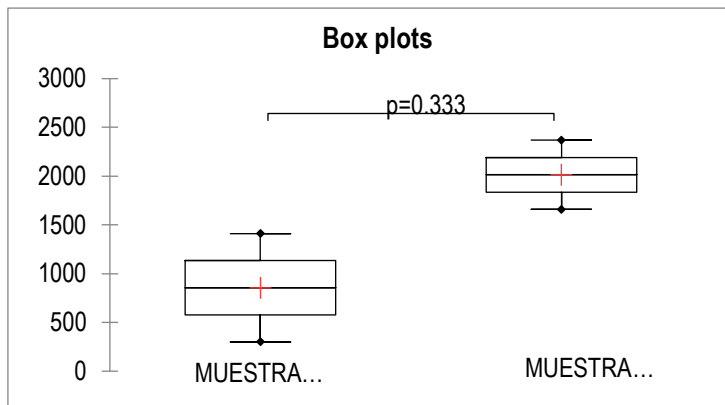
*Nota.* La tabla muestra la prueba de Mann Whitney, elaboración propia.

|   |
|---|
| Interpretación de la prueba:  |
| H0: La diferencia de posición entre las muestras es igual a 0.  |
| Ha: La diferencia de posición entre las muestras es diferente de 0.   |
| Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0.05$ , no se puede rechazar la hipótesis nula H0. |



**Tabla 22**

*Interpretación de la prueba.*



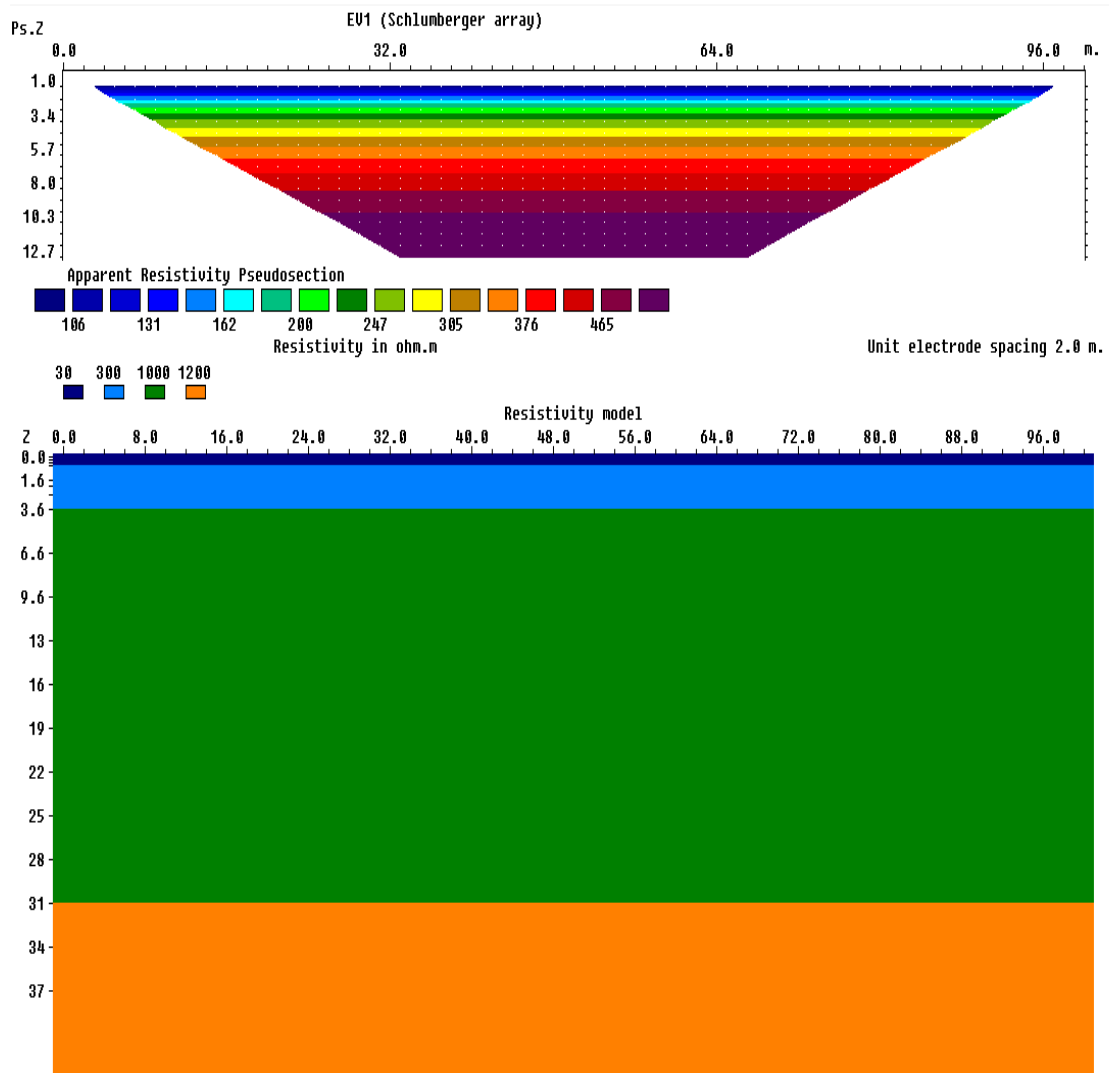
*Nota. La tabla muestra la interpretación de la prueba, elaboración propia.*

De la prueba realizada se tiene que el incremento en su resistencia a la compresión es de 136%.

### 3.6.3.3 Análisis de Datos del ensayo de Sondeo Eléctrico Vertical

Figura 122

Datos de entrada introducidos en software RES2DMOD.

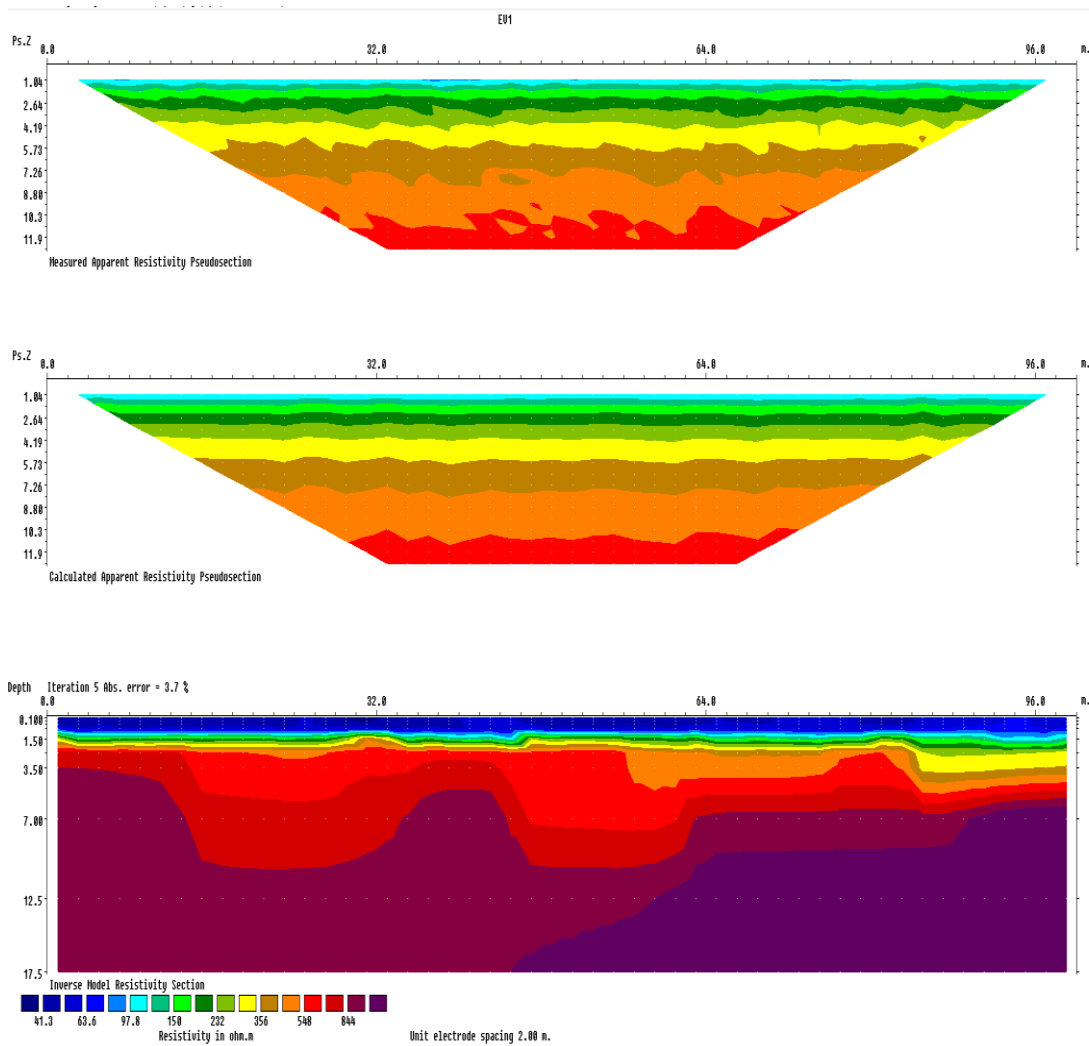


Nota. El gráfico representa Datos de entrada introducidos en software RES2DMOD, Elaboración propia.

**Figura 123**

*Datos de salida por inversión mediante método Schlumberger en software*

*RES2DINV.*



*Nota.* El gráfico representa Datos de salida por inversión mediante método Schlumberger en software RES2DINV, Elaboración propia.

Se obtuvo los resultados que describían que el componente principal por dentro era roca y se llegó al punto que era un suelo en litificación.





### 3.6.3.4 Determinación del factor de seguridad de los 5 puntos de estudio con el 136% de incremento en la resistencia a la compresión del Talud en el software SLIDE

Del valor obtenido en la Prueba de Mann-Whitney, donde el incremento a la resistencia a la compresión es de 136%, se aplica a las muestras de los 5 puntos del talud de estudio.

**Tabla 23**

*Resultados del incremento de 43.5% en los 5 puntos de estudio.*

| <b>Resistencia a la compresión</b> |            |                                 |
|------------------------------------|------------|---------------------------------|
| <b>Talud de estudio</b>            | Muestra    | Muestra con epoxico (resina de  |
|                                    | inalterada | baja viscosidad para inyección) |
|                                    | <b>Mpa</b> | <b>Mpa</b>                      |
| Punto 1                            | 29.16      | 68.81                           |
| Punto 2                            | 23.28      | 54.94                           |
| Punto 3                            | 31.75      | 54.94                           |
| Punto 4                            | 45.87      | 54.94                           |
| Punto 5                            | 41.84      | 98.74                           |

*Nota.* La tabla muestra resultados, elaboración propia.

Se procede a ingresar los datos en el Software Roc Data, por lo que se tiene un nuevo valor para la Cohesión y Ángulo de Fricción:



**Tabla 24**

*Datos obtenidos del procesamiento en el software Roc Data con los nuevos valores obtenidos.*

| Description                      | Und     | Punto 1         | Punto 2   | Punto 3   | Punto 4   | Punto 5   |
|----------------------------------|---------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Hoek-Brown Classification</b> |         |                 |           |           |           |           |
| Sigci                            | MPa     | 68.81           | 54.94     | 54.94     | 54.94     | 98.74     |
| GSI                              |         | 25              | 25        | 25        | 25        | 25        |
| Mi                               |         | 10              | 10        | 10        | 10        | 10        |
| D                                |         | 1               | 1         | 1         | 1         | 1         |
| <b>Hoek-Brown Criterion</b>      |         |                 |           |           |           |           |
| Mb                               |         | 0.0471436       | 0.0471436 | 0.0471436 | 0.0471436 | 0.0471436 |
| S                                |         | 3.73E-06        | 3.73E-06  | 3.73E-06  | 3.73E-06  | 3.73E-06  |
| A                                |         | 0.531267        | 0.531267  | 0.531267  | 0.531267  | 0.531267  |
| <b>Failure Envelope Range</b>    |         |                 |           |           |           |           |
| Application                      |         | Slopes          | Slopes    | Slopes    | Slopes    | Slopes    |
| sig3max                          | MPa     | 0.170227        | 0.168113  | 0.168113  | 0.168113  | 0.172582  |
| Unit Weight                      | MN/m3   | 0.0245          | 0.02471   | 0.02471   | 0.02471   | 0.024     |
| Slope Height                     | m       | 8               | 8         | 8         | 8         | 8         |
| <b>Mohr-Coulomb Fit</b>          |         |                 |           |           |           |           |
| Cohesion                         | MPa     | 0.0397462       | 0.0360175 | 0.0360175 | 0.0360175 | 0.0467503 |
| friction angle                   | degrees | 34.8399         | 33.1898   | 33.1898   | 33.1898   | 37.5316   |
| <b>Rock Mass Parameter</b>       |         |                 |           |           |           |           |
| Sigt                             | MPa     | -<br>0.00543936 | -0.004342 | -0.004342 | -0.004342 | -0.007805 |
| Sigc                             | MPa     | 0.0898611       | 0.0717478 | 0.0717478 | 0.0717478 | 0.128948  |
| Sigcm                            | MPa     | 1.57447         | 1.25711   | 1.25711   | 1.25711   | 2.25932   |
| Em                               | MPa     | 983.549         | 878.849   | 878.849   | 878.849   | 1178.19   |

*Nota.* La tabla muestra Datos obtenidos del procesamiento en el software Roc Data con los nuevos valores obtenidos, elaboración propia.

### 3.6.3.5 Determinación de la Cohesión y Ángulo de Fricción en el Software Roc

#### Data

Tabla 25

Valores de la Cohesión y Ángulo de Fricción.

| Description      | Und     | Punto 1   | Punto 2   | Punto 3   | Punto 4   | Punto 5   |
|------------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Mohr-Coulomb Fit |         |           |           |           |           |           |
| Cohesion         | Mpa     | 0.0397462 | 0.0360175 | 0.0360175 | 0.0360175 | 0.0467503 |
| Friction angle   | degrees | 34.8399   | 33.1898   | 33.1898   | 33.1898   | 37.5316   |

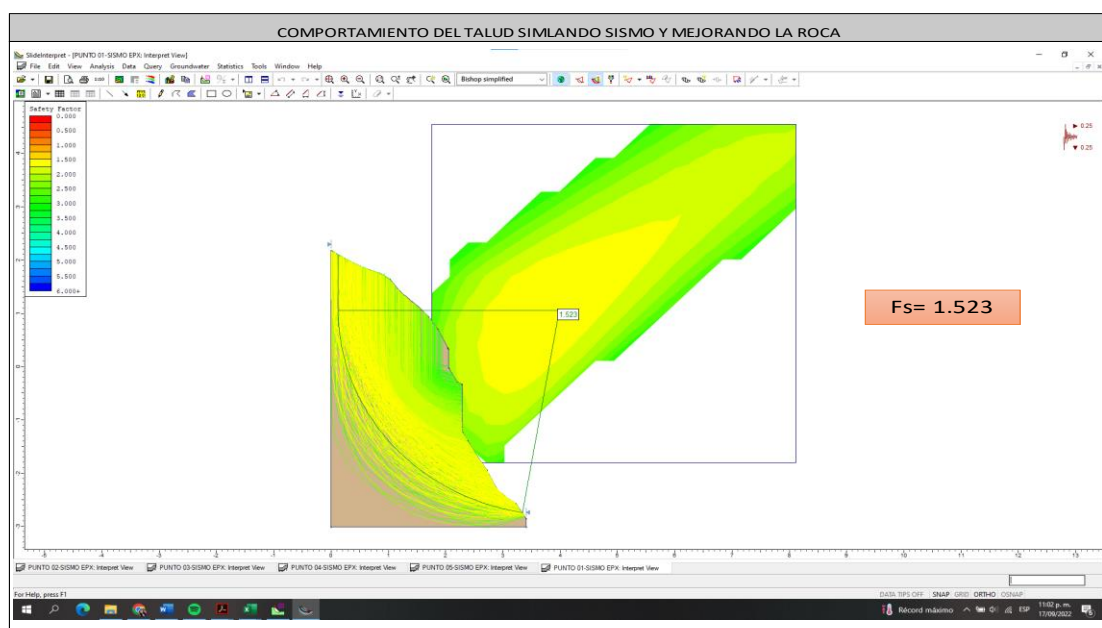
Nota. La tabla muestra valores de cohesión y ángulo de fricción, elaboración propia.

### 3.6.3.6 Procesamiento de Datos Simulación en Software SILDE

Se procede a realizar la simulación de los puntos de estudio modificando los valores de la cohesión y ángulo de fricción según las siguientes imágenes.

Figura 124

Simulación en el Software Slide para el Comportamiento del Talud y su mejoramiento en el punto 0.

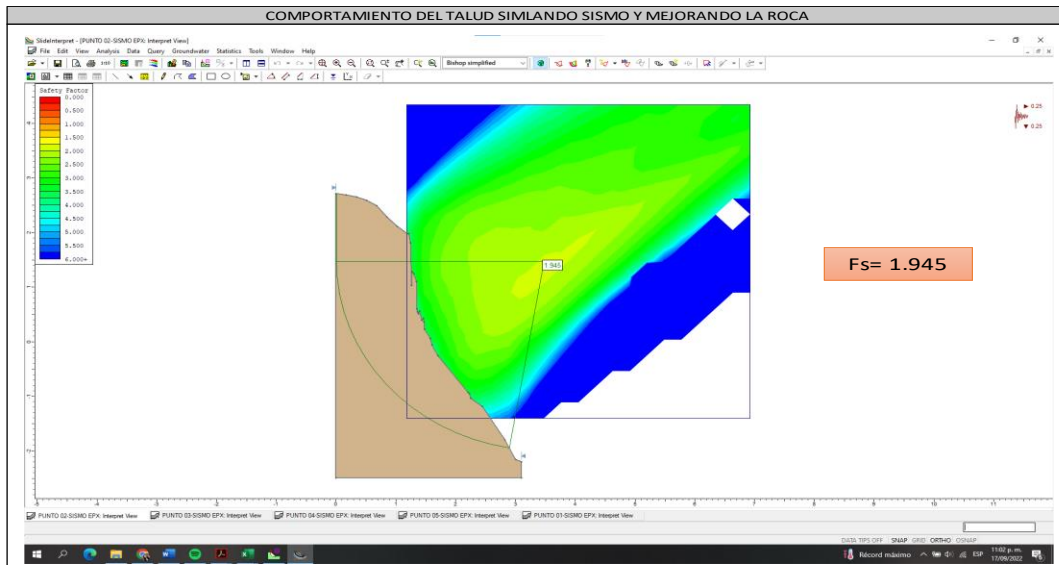


Nota. El gráfico representa simulación y su mejoramiento en el punto 1, Elaboración propia.



**Figura 125**

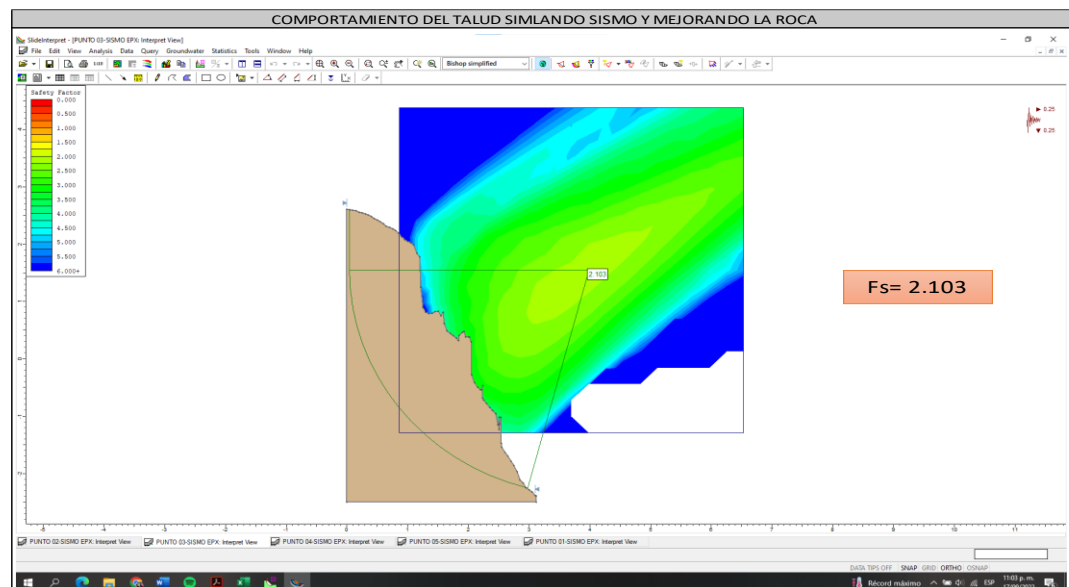
*Simulación en el Software Slide para el Comportamiento del Talud y su mejoramiento en el punto 02*



*Nota.* El gráfico representa simulación y su mejoramiento en el puto 2, Elaboración propia.

**Figura 126**

*Simulación en el Software Slide para el Comportamiento del Talud y su mejoramiento en el punto 03.*

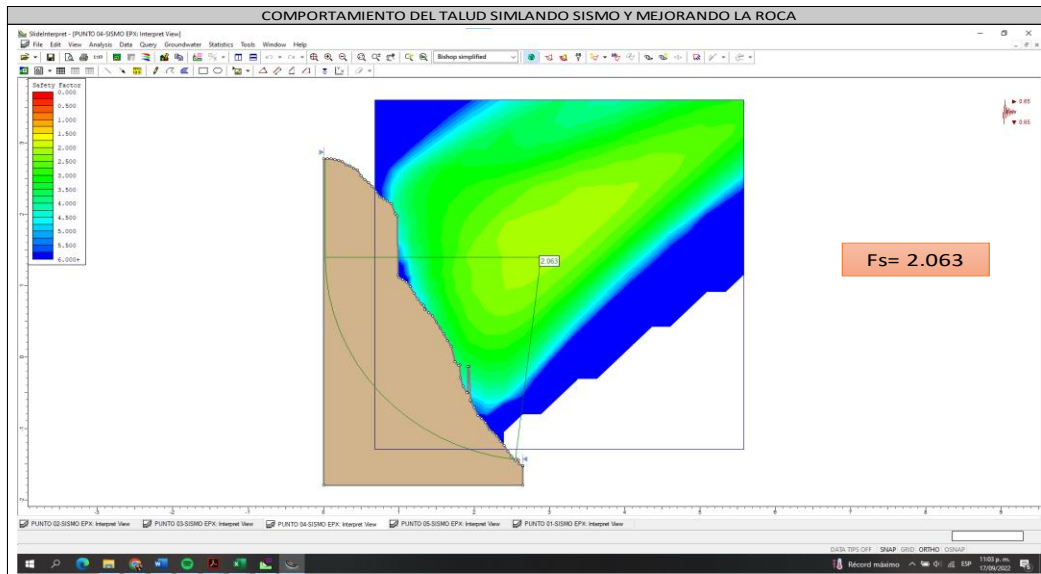


*Nota.* El gráfico representa simulación y su mejoramiento en el puto 3, Elaboración propia.



**Figura 127**

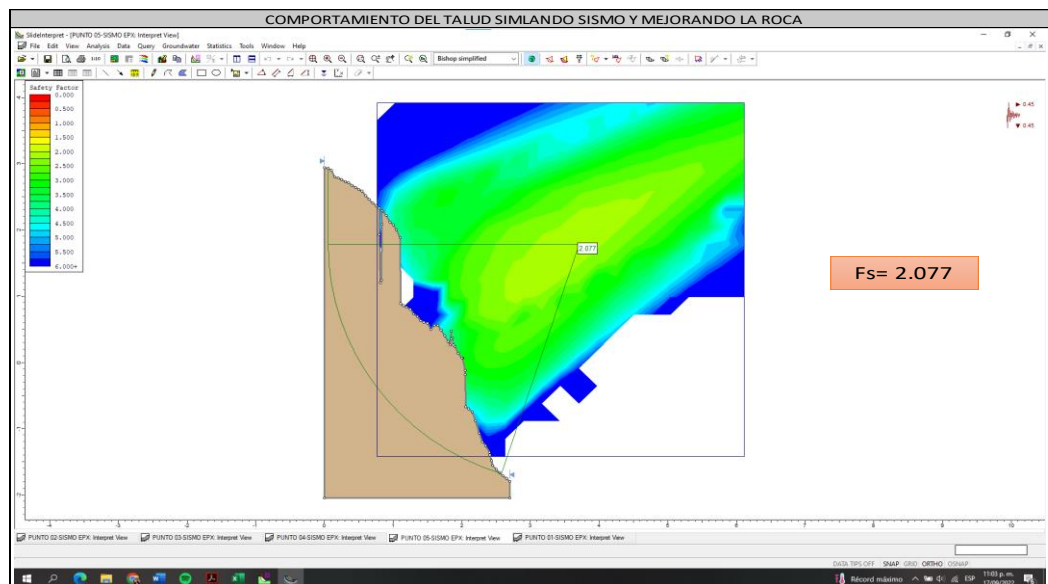
*Simulación en el Software Slide para el Comportamiento del Talud y su mejoramiento en el punto 04.*



*Nota.* El gráfico representa simulación y su mejoramiento en el puto 4, Elaboración propia.

**Figura 128**

*Simulación en el Software Slide para el Comportamiento del Talud y su mejoramiento en el punto 05.*



*Nota.* El gráfico representa simulación y su mejoramiento en el puto 5, Elaboración propia.



**3.6.3.7 Determinación del factor de seguridad de los 5 puntos de estudio del Talud mejorado con epoxico (Resina de baja viscosidad para inyección) en el software SLIDE**

De la simulación de los 5 puntos del talud de estudio, se obtiene el factor de seguridad en cada punto, y según la teoría revisada los valores obtenidos el talud de estudio es Estable – Seguro.

**Tabla 26**

*Factor de Seguridad en el talud de estudio mejorado con el epoxico (Resina de baja viscosidad para inyección)*

| <b>Caracterización del talud de estudio</b> |   |                                    |                 |                           |  |   |
|---|---|------------------------------------|-----------------|---------------------------|--|---|
| <b>Talud de estudio</b>                     |   | <b>Resistencia a la compresión</b> | <b>Cohesión</b> | <b>Ángulo de fricción</b> | <b>Factor de seguridad (con sismo)</b> | <b>Factor de seguridad (con epoxico (resina de baja viscosidad para inyección))</b> |
|   |   | <b>Mpa</b>                         | <b>Kg/m2</b>    | <b>°</b>                  |  |   |
| Punto                                       | 1 | 29.16                              | 40              | 34.84                     | 1.066                                  | 1.523   |
| Punto                                       | 2 | 23.28                              | 36              | 33.19                     | 1.405                                  | 1.945   |
| Punto                                       | 3 | 31.75                              | 40              | 35.92                     | 1.402                                  | 2.103   |
| Punto                                       | 4 | 45.87                              | 50              | 37.89                     | 1.455                                  | 2.063   |
| Punto                                       | 5 | 41.84                              | 47              | 37.53                     | 1.440                                  | 2.077   |

*Nota.* La tabla muestra factor de seguridad en el talud, mejorado con resina epóxica, elaboración propia.



## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1 Resultados de la Resistencia a la Compresión Simple

Del ensayo de la resistencia a la compresión se obtuvieron los siguientes resultados, luego de realizar los cálculos:

**Tabla 27**

*Resultados de la Resistencia a la Compresión Simple.*

|   |   | Toma de datos |          |          |          |          | Cálculos                |                        |         |                               |   |                          |           |                       |
|---|---|---------------|----------|----------|----------|----------|-------------------------|------------------------|---------|-------------------------------|---|--------------------------|-----------|-----------------------|
| N |   | Peso<br>g     | d1<br>mm | d2<br>mm | h1<br>mm | h2<br>mm | Vol.<br>cm <sup>3</sup> | Área                   |         | Densidad<br>g/cm <sup>3</sup> | Densidad<br>Promedio<br>KN/m <sup>3</sup> | fv<br>kg/cm <sup>2</sup> | fv<br>Mpa | fv<br>Promedio<br>Mpa |
|   |   |               |          |          |          |          |                         | Sec<br>cm <sup>2</sup> | Q<br>kg |                               |   |                          |           |                       |
| 1 | 1 | 114.8         | 31.74    | 30.96    | 60.65    | 61.51    | 47.15                   | 7.72                   | 1740    | 2.43                          | 24.52                                     | 225.4                    | 22.1      | 29.16                 |
|   | 2 | 118.3         | 30.64    | 32.38    | 59.06    | 59.12    | 46.08                   | 7.80                   | 2880    |                               |   | 2.57                     | 369.3     |                       |
| 2 | 1 | 115.4         | 31.95    | 31.88    | 57.87    | 58.32    | 46.47                   | 8.00                   | 1540    | 2.48                          | 24.71                                     | 192.5                    | 18.8      | 23.28                 |
|   | 2 | 121.5         | 31.43    | 31.71    | 60.45    | 61.00    | 47.53                   | 7.83                   | 2210    |                               |   | 2.56                     | 282.3     |                       |
| 3 | 1 | 118.9         | 32.14    | 32.71    | 59.25    | 59.21    | 48.91                   | 8.26                   | 4300    | 2.43                          | 22.95                                     | 520.7                    | 51.0      | 31.75                 |
|   | 2 | 112.2         | 32.85    | 32.43    | 59.61    | 59.28    | 49.74                   | 8.37                   | 1060    |                               |   | 2.26                     | 126.7     |                       |
| 4 | 1 | 134.2         | 33.14    | 31.86    | 60.19    | 59.96    | 49.84                   | 8.30                   | 6030    | 2.69                          | 25.10                                     | 726.9                    | 71.2      | 45.87                 |
|   | 2 | 116.5         | 32.24    | 31.98    | 59.40    | 59.32    | 48.07                   | 8.10                   | 1690    |                               |   | 2.42                     | 208.7     |                       |
| 5 | 1 | 125.4         | 32.72    | 32.78    | 60.19    | 59.71    | 50.50                   | 8.42                   | 3770    | 2.48                          | 24.32                                     | 447.5                    | 43.8      | 41.84                 |
|   | 2 | 115.2         | 31.47    | 32.01    | 58.50    | 59.00    | 46.48                   | 7.91                   | 3210    |                               |   | 2.48                     | 405.7     |                       |

*Nota.* La tabla muestra resultados de resistencia a la compresión, elaboración propia.



#### 4.2 Resultados de la Clasificación Geomecánica RMR

Se muestran los resultados de la clasificación Geomecánica del talud de los 5 puntos de estudio:

**Tabla 28**

*Resultados de la Clasificación Geomecánica RMR.*

| Clasificación                                 | Punto 1       | Punto 2       | Punto 3       | Punto 4       | Punto 5       |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>RMR</b>                                    | <b>&lt;20</b> | <b>&lt;20</b> | <b>&lt;20</b> | <b>&lt;20</b> | <b>&lt;20</b> |
| Clase   | V             | V             | V             | V             | V             |
| Calidad                                       | Muy mala      | Muy mala      | Muy mala      | Muy mala      | Muy mala      |
| Cohesión                                      | <1kp/cm2      | <1kp/cm2      | <1kp/cm2      | <1kp/cm2      | <1kp/cm2      |
| Ángulo de rozamiento                          | <15°          | <15°          | <15°          | <15°          | <15°          |
| Tiempo de autosoporte y longitud sin sostener | 30 minutos    | 30 minutos    | 30 minutos    | 30 minutos    | 30 minutos    |
|   | 1m            | 1m            | 1m            | 1m            | 1m            |

*Nota.* La tabla resultados de la clasificación geomecánica RMR, elaboración propia.

#### 4.3 Resultados del Ensayo de Esclerómetro

Se muestran los resultados y procesamiento de datos del ensayo del esclerómetro.





**Tabla 29**

*Resultados del ensayo del Esclerómetro.*

| Punto | Resistencia a la | Valor de rebote |
|-------|------------------|-----------------|
|       | Compresión       |                 |
|       | Fv               | Q               |
|       | Mpa              |                 |
| 1     | 48.9             | 49              |
| 2     | 14.91            | 15              |
| 3     | 18               | 18              |
| 4     | 11               | 11              |
| 5     | 11               | 11              |

*Nota.* La tabla muestra resultado de ensayo del esclerómetro, elaboración propia.

#### **4.4 Resultados del Ensayo de Sondeo Eléctrico Vertical**

Descripción de los horizontes determinados

##### **Horizonte H1**

Primer Horizonte Geoeléctrico determinado en la zona de estudio, presenta valores de resistividad que varían entre 10 a 25 Ohmios-metro y espesores de 0.5 m a 1 metro, está constituido por una cubierta superficial que corresponde a materiales orgánicos.

##### **Horizonte H2**

Segundo Horizonte Geoeléctrico determinado en la zona de estudio, presenta valores de resistividad que varían entre 25 a 80 Ohmios-metro y espesores de 0 m a 0.50 metros, está constituido por una cubierta superficial que corresponde a materiales limosos de alta plasticidad en los SEV presentes en el sector A, a su vez en los ubicados en el sector B se presentaría la presencia de gravas limosas.



### **Horizonte H3**

Tercer Horizonte Geoeléctrico determinado en la zona de estudio, presenta valores de resistividad que varían entre 100 a 200 Ohmios-metro y espesores de 0.50 a 3 metros, está constituido por una cubierta superficial que corresponde a materiales de roca fracturada de lutitas en los sondajes realizados en el sector A, mientras que los SEV realizados en el sector B presentarían gravas limosas

### **Horizonte H4**

Cuarto Horizonte Geoeléctrico determinado en la zona de estudio, presenta valores de resistividad que varían entre 200 a 1000 Ohmios-metro y espesores de 3 m a 30 metro, está constituido por una cubierta superficial que corresponde a materiales de roca de lutita en el sector A, mientras que éste empieza desde aproximadamente los 10 metros en el sector B.

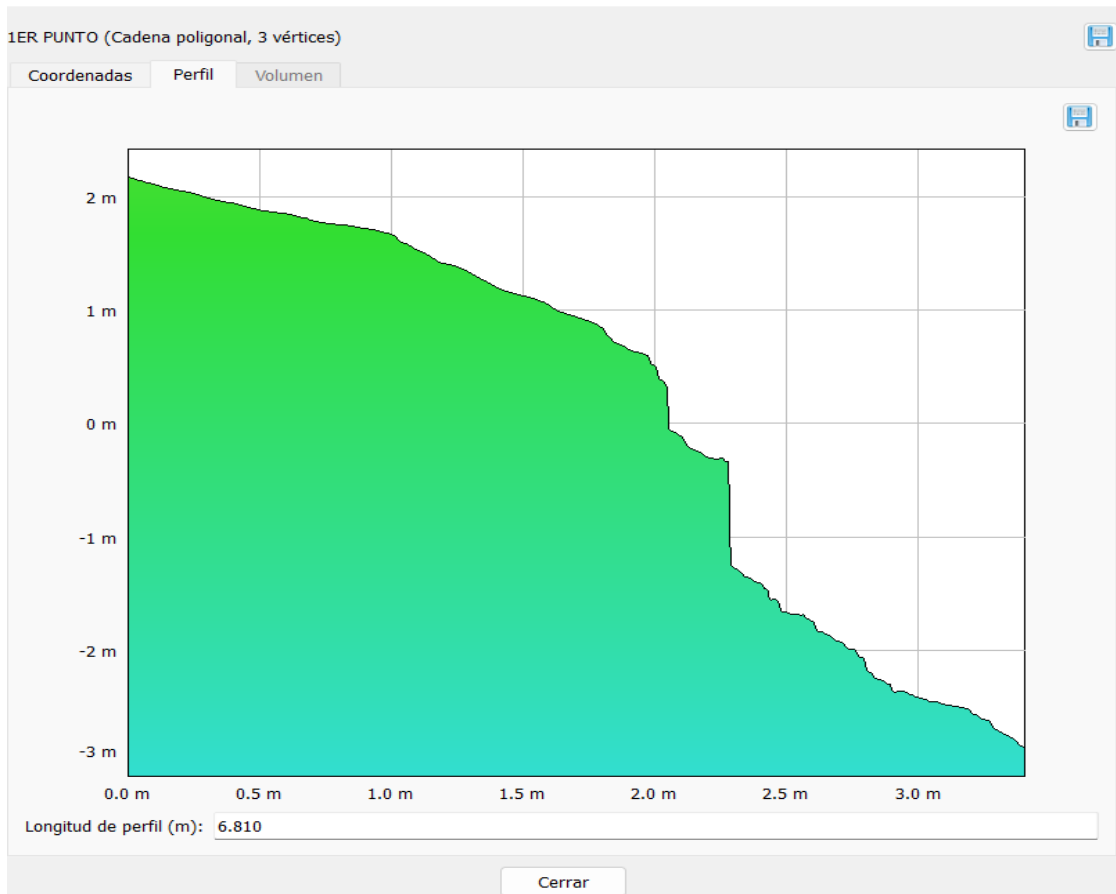
#### **4.5 Resultados del Procesamiento SOFTWARE METASHAPE AGISOFT**

A continuación, se tienen los perfiles de las 5 secciones de los 05 puntos del talud de estudio.



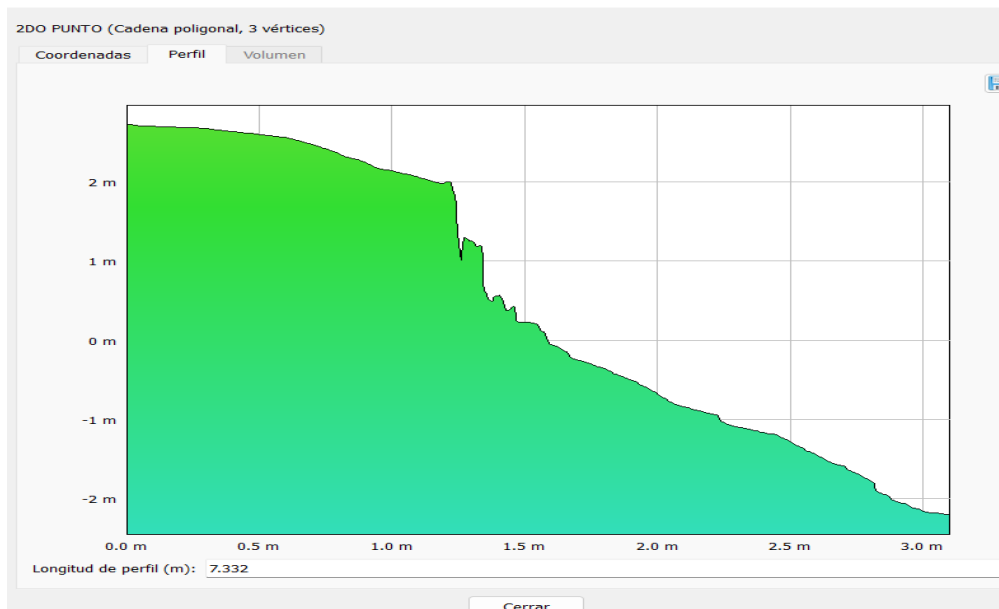
**Figura 129**

*Perfil de la sección 1 del talud de estudio.*



**Figura 130**

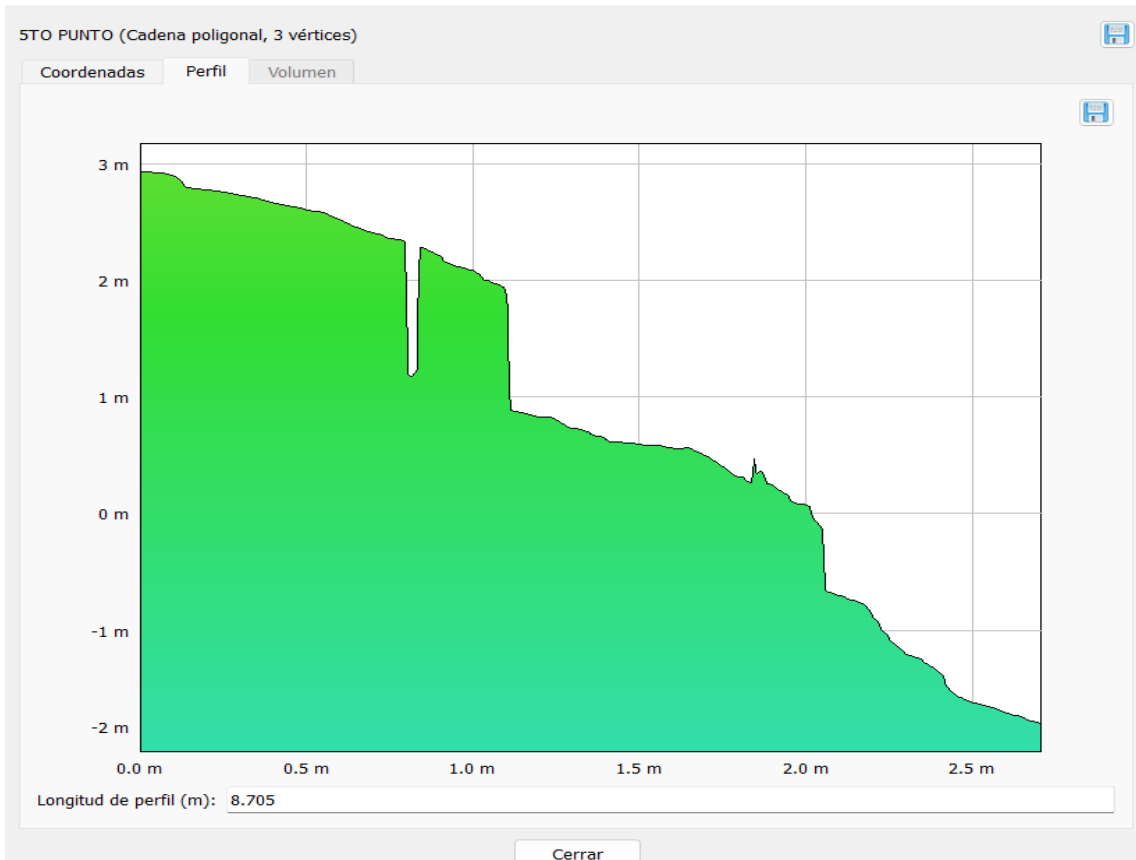
*Perfil de la sección 2 del talud de estudio.*





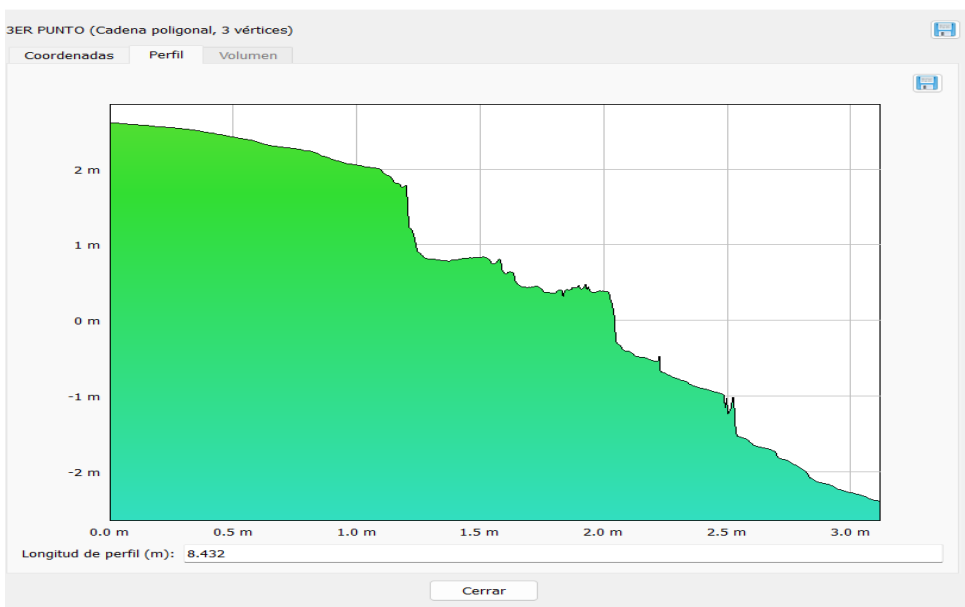
**Figura 131**

Perfil de la sección 3 del talud de estudio.



**Figura 132**

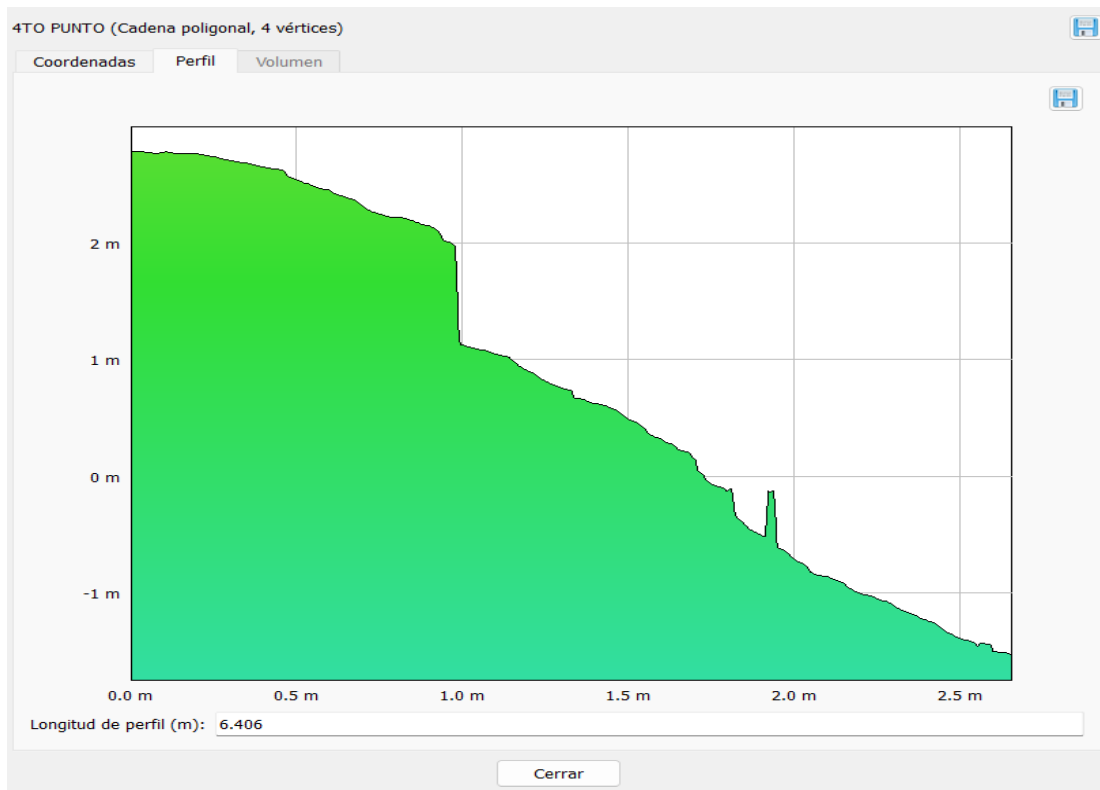
Perfil de la sección 4 del talud de estudio.





**Figura 133**

*Perfil de la sección 5 del talud de estudio.*



#### **4.6 Resultados del Procesamiento de Datos en ROC DATA**

A continuación, se muestra los resultados del procesamiento de Datos en el Software Roc Data.



**Tabla 30**

*Resultados del procesamiento de Datos en el Software Roc Date de los 5 puntos del talud de estudio.*

| Descripción                      | Und     | Punto 1    | Punto 2    | Punto 3    | Punto 4    | Punto 5    |
|----------------------------------|---------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>Hoek-Brown Classification</b> |         |            |            |            |            |            |
| Sigci                            | MPa     | 29.16      | 23.28      | 31.75      | 45.87      | 41.84      |
| GSI                              |         | 25         | 25         | 25         | 25         | 25         |
| mi                               |         | 10         | 10         | 10         | 10         | 10         |
| D                                |         | 1          | 1          | 1          | 1          | 1          |
| <b>Hoek-Brown Criterion</b>      |         |            |            |            |            |            |
| mb                               |         | 0.0471436  | 0.0471436  | 0.0471436  | 0.0471436  | 0.0471436  |
| S                                |         | 3.73E-06   | 3.73E-06   | 3.73E-06   | 3.73E-06   | 3.73E-06   |
| A                                |         | 0.531267   | 0.531267   | 0.531267   | 0.531267   | 0.531267   |
| <b>Failure Envelope Range</b>    |         |            |            |            |            |            |
| Application                      |         | Slopes     | Slopes     | Slopes     | Slopes     | Slopes     |
| sig3max                          | MPa     | 0.157569   | 0.155611   | 0.149316   | 0.167171   | 0.159747   |
| Unit Weight                      | MN/m3   | 0.0245     | 0.02471    | 0.0229     | 0.025      | 0.024      |
| Slope Height                     | M       | 8          | 8          | 8          | 8          | 8          |
| <b>Mohr-Coulomb Fit</b>          |         |            |            |            |            |            |
| Cohesion                         | MPa     | 0.0271495  | 0.0247855  | 0.0271003  | 0.0334421  | 0.0313877  |
| friction angle                   | Degrees | 28.83      | 27.2392    | 29.883     | 31.8379    | 31.4794    |
| <b>Rock Mass Parameters</b>      |         |            |            |            |            |            |
| Sigt                             | MPa     | -          | -          | -          | -          | -          |
|                                  |         | 0.00230507 | 0.00184026 | 0.00250981 | 0.00362598 | 0.00330741 |
| Sigc                             | MPa     | 0.0380809  | 0.0304021  | 0.0414633  | 0.059903   | 0.0546401  |
| Sigcm                            | MPa     | 0.667224   | 0.532681   | 0.726487   | 1.04957    | 0.957361   |
| Em                               | MPa     | 640.271    | 572.086    | 668.101    | 803.035    | 766.948    |



**Tabla 31**

*Resultados del procesamiento de Datos en el Software Roc Date de los 5 puntos mejorado con epoxico (Resina de baja viscosidad para inyección) del talud de estudio.*

| Descripción                      | Und     | Punto 1    | Punto 2    | Punto 3    | Punto 4    | Punto 5   |
|----------------------------------|---------|------------|------------|------------|------------|-----------|
| <b>Hoek-Brown Classification</b> |         |            |            |            |            |           |
| Sigci                            | MPa     | 68.81      | 54.94      | 54.94      | 54.94      | 98.74     |
| GSI                              |         | 25         | 25         | 25         | 25         | 25        |
| Mi                               |         | 10         | 10         | 10         | 10         | 10        |
| D                                |         | 1          | 1          | 1          | 1          | 1         |
| <b>Hoek-Brown Criterion</b>      |         |            |            |            |            |           |
| Mb                               |         | 0.0471436  | 0.0471436  | 0.0471436  | 0.0471436  | 0.0471436 |
| S                                |         | 3.73E-06   | 3.73E-06   | 3.73E-06   | 3.73E-06   | 3.73E-06  |
| A                                |         | 0.531267   | 0.531267   | 0.531267   | 0.531267   | 0.531267  |
| <b>Failure Envelope Range</b>    |         |            |            |            |            |           |
| Application                      |         | Slopes     | Slopes     | Slopes     | Slopes     | Slopes    |
| sig3max                          | MPa     | 0.170227   | 0.168113   | 0.168113   | 0.168113   | 0.172582  |
| Unit Weight                      | MN/m3   | 0.0245     | 0.02471    | 0.02471    | 0.02471    | 0.024     |
| Slope Height                     | m       | 8          | 8          | 8          | 8          | 8         |
| <b>Mohr-Coulomb Fit</b>          |         |            |            |            |            |           |
| Cohesion                         | MPa     | 0.0397462  | 0.0360175  | 0.0360175  | 0.0360175  | 0.0467503 |
| friction angle                   | degrees | 34.8399    | 33.1898    | 33.1898    | 33.1898    | 37.5316   |
| <b>Rock Mass Parameters</b>      |         |            |            |            |            |           |
| Sigt                             | MPa     | -          | -          | -          | -          | -         |
|                                  |         | 0.00543936 | 0.00434295 | 0.00434295 | 0.00434295 | 0.0078053 |
| Sigc                             | MPa     | 0.0898611  | 0.0717478  | 0.0717478  | 0.0717478  | 0.128948  |
| Sigcm                            | MPa     | 1.57447    | 1.25711    | 1.25711    | 1.25711    | 2.25932   |
| Em                               | MPa     | 983.549    | 878.849    | 878.849    | 878.849    | 1178.19   |



#### 4.7 Resultados de la Simulación en el Software SLIDE

De la simulación en el Software SLIDE, de los 5 puntos con las muestras no alteradas, obtenemos valores que de acuerdo a la bibliografía revisada el talud es estable – no seguro lo que no garantiza la estabilidad del talud donde se encuentra el recinto.

**Tabla 32**

*Resultados de la Simulación en el Software SLIDE de los 5 puntos del talud de estudio.*

| Talud de estudio |   | Resistencia a la compresión | Cohesión          | Ángulo de fricción | Factor de seguridad | Factor de seguridad (con sismo) |
|------------------|---|-----------------------------|-------------------|--------------------|---------------------|---------------------------------|
|                  |   | Mpa                         | Kg/m <sup>2</sup> | °                  |                     |                                 |
| Punto            | 1 | 29.16                       | 27                | 28.83              | 1.240               | 1.066                           |
| Punto            | 2 | 23.28                       | 25                | 27.24              | 1.834               | 1.405                           |
| Punto            | 3 | 31.75                       | 27                | 29.88              | 1.993               | 1.402                           |
| Punto            | 4 | 45.87                       | 33                | 31.98              | 2.570               | 1.455                           |
| Punto            | 5 | 41.84                       | 31                | 31.48              | 2.247               | 1.440                           |

Para que el talud sea estable – seguro se realiza la mejora agregando epoxico (Resina de baja viscosidad para inyección) a la roca.

Nosotros al considerar una posible solución el uso de un epóxico tuvimos que averiguar acerca del uso de epóxico en la ingeniería civil, y como resultado de dicha búsqueda tuvimos como conclusión que la empresa chema es una empresa reconocida nacionalmente que se caracteriza por ofrecer aditivos al concreto para mejorar su resistencia o para acelerar su fraguado, el epóxico de nuestro estudio es un adhesivo de dos componentes a base de resinas epóxica seleccionadas, libre de solventes. Como adhesivo estructural de concreto fresco con concreto endurecido. Como adhesivo entre elementos de concreto, piedra, mortero, acero, fierro, fibra cemento, madera.





**Tabla 33**

*Resultados de la Simulación en el Software SLIDE de los 5 puntos mejorado con epoxico*

*(Resina de baja viscosidad para inyección).*

| Talud de estudio |   | Resistencia a la compresión | Cohesión | Ángulo de fricción | Factor de seguridad (con sismo sin epoxico) | Factor de seguridad (con epoxico (resina de baja viscosidad para inyección)) |
|------------------|---|-----------------------------|----------|--------------------|---|--|
|                  |   | Mpa                         | Kg/m2    | °                  |   |  |
| Punto            | 1 | 29.16                       | 40       | 34.84              | 1.066                                       | 1.523  |
| Punto            | 2 | 23.28                       | 36       | 33.19              | 1.405                                       | 1.945  |
| Punto            | 3 | 31.75                       | 40       | 35.92              | 1.402                                       | 2.103  |
| Punto            | 4 | 45.87                       | 50       | 37.89              | 1.455                                       | 2.063  |
| Punto            | 5 | 41.84                       | 47       | 37.53              | 1.440                                       | 2.077  |



## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

**¿De qué forma afecta tanto en el proceso como en los resultados que la zona de estudio del talud haya sido levantada topográficamente mediante fotogrametría y no con estación total?**

Como es de conocimiento general, realizar un levantamiento topográfico mediante el uso de estación total en una zona arqueológica resguardada por el instituto nacional de cultura tiene varias restricciones, ya que se podría generar daños al momento de poner el trípode o al poner el jalón con los prismas o también al hacer puntos de cambio o marcar los BMs en el suelo, etc. Es por ese motivo que optamos por realizar el levantamiento mediante fotogrametría, ya que dicha zona de estudio comprende un área relativamente pequeña y el software que se utilizo es innovador y brinda excelentes resultados. Agisoft Metashape permite generar Ortofotos georreferenciadas de alta resolución (hasta 5cm de precisión con puntos de control en terreno) mientras que un levantamiento con estación total puede variar desde 2 segundos a 1 segundo en su precisión.

**¿Se pensó en alguna otra forma de aumentar la cohesión de los puntos estudiados, que no sea el uso de un epóxico?**

Básicamente para poder aumentar la cohesión estamos refiriéndonos de manera directa con su resistencia a la compresión, para nosotros poder tomar la decisión de realizar el inyectado del epóxico a nuestro material de estudio, se analizó que dicho elemento no afecte a la zona arqueológica, motivo por el cual fue tomada esa decisión, ya que si nosotros haríamos uso de grapas o algunos otros materiales que aumenten su resistencia a la compresión pero no respetes los parámetros de la zona arqueológica, no tendría sentido, ya que el objetivo del trabajo es encontrar algo que respete los parámetros establecidos arqueológicamente pero al mismo tiempo que brinde una resistencia mayor, motivo por el cual fue tomada la decisión.



**¿De qué forma afecta al talud que su factor de seguridad sin epóxico haya resultado estable con un Fs de 1.35?**

Al tener nosotros como resultado un talud estable, pero con un Fs de 1.35, corremos con el riesgo de que a corto o largo plazo pase algún deslizamiento producto de las fuertes lluvias o ya sea factores como sismo huayco, etc. y no se cuente con un talud estable y seguro. Es por dicho motivo que la tesis busca como solución un talud estable y seguro con un Fs mayor a 1.5 al mismo tiempo, que respete los parámetros que ponen por ser zona arqueológica, por dicha razón no solo basta con que la tesis sea solo estable, nosotros buscamos su seguridad más.

**¿Al tener un factor de seguridad mayor a 1.5 con el incremento de epóxico se tendrá una seguridad al 100% del talud?**

En términos generales y teóricos si se tendría un talud estable y seguro, ya que estamos dentro de los parámetros establecidos, y se esperaría que el talud brinde una estabilidad y seguridad siempre, salvo casos fortuitos como un terremoto o un huayco, que sean demasiados fuertes obviamente haría deslizar y derrumbar al talud, pero dicho punto ya estaría dentro de fenómenos naturales o desastres naturales, que ya estarían fuera de los alcances de los resultados de la tesis.

**¿El uso y el costo del epóxico que fue aplicado a la zona de estudio, salieron a cuenta en comparación con otras formas de solución?**

Como tenemos comprendido la zona arqueológica de Raqaraqayniyoq esta resguardada por el instituto nacional de cultura, también sabemos que dicha zona es un atractivo turístico por los recintos que ahí se encuentran, por ende, la propuesta de solución que se brindó en la tesis es una propuesta que no impacta de manera visual en la zona y al mismo tiempo que brinda una solución buena al talud y cumple con su propósito. Por dichos motivos el uso de la resina epóxica fue una solución buena pero el costo es relativamente



elevado ya que, al ser un material poco usual, de endurecimiento rápido y su uso es a través de inyección dentro de las rocas que forman parte del talud lo hace un material poco comercial y difícil de usar. En conclusión, el material cumple con su función, pero su costo es relativamente elevado.

**¿Sustenta que se le haya aplicado al software Slide el factor sísmico?**

Si sustenta, porque estamos en una zona sísmica y estamos en un sitio arqueológico y nosotros al considerar un factor sísmico estamos disminuyendo su factor de seguridad ya que los movimientos que el sismo representa en la simulación afectan en su factor de seguridad de manera directa hace a que no resista de la misma manera que resistiría si no se le aplicaría un factor sísmico.

**¿Cuál es la diferencia principal de los resultados y conclusiones obtenidas en la tesis, con la tesis de antecedente nacional?**

Los resultados obtenidos en nuestra tesis abarcaron los resultados de simulación de los diferentes softwares como son el tipo de roca del talud, características topográficas, y factor de seguridad con y sin solicitaciones sísmicas, y los resultados de la tesis de los antecedentes muestran de igual forma unos resultados específicos de sus características, la diferencia es que se pudieron realizar con mayor puntualidad ya que el talud de estudio estaba en malas condiciones.



## GLOSARIO

**Ensayos Intrusivos:** Son ensayos que tienen contacto directamente con el interior de lo que se dispone verificar, y afectan directamente a la misma.

**Litificación:** Proceso de conversión de un sedimento suelto en una roca sólida y coherente por cementación, compactación, consolidación, desecación o cristalización.

**Epóxico:** El término se usa para referirse a cualquier material que lleve resina epoxi en su composición. La definición técnica depende directamente de la composición química de esta resina.

**Talud:** Se entiende por talud a cualquier superficie inclinada respecto de la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las estructuras de tierra.

**Sitio Arqueológico:** Es un lugar en el cual se ha preservado evidencias de actividades que han sucedido en el pasado, ya sean prehistóricas, históricas o casi contemporáneas, y que han sido investigadas utilizando la disciplina de la arqueología, significando que el sitio representa parte del registro arqueológico.

**Prueba U De Mann-Whitney:** Es una técnica estadística que se utiliza comúnmente cuando nuestros datos no cumplen ciertos requisitos para ser evaluados a través de una prueba paramétrica.

**Resguardado:** El termino se refiere a ser cuidado, protegido, velado para su conservación y evitar daños.

**INC:** instituto nación de cultura.

**Cohesión:** Unión entre las moléculas de un cuerpo, debida a la fuerza de atracción molecular, relacionado estrechamente con la compresión simple.

**Compresión:** Presión a la que está sometido un cuerpo por la acción de fuerzas opuestas que tienden a disminuir su volumen.



**SEV:** Sondeo eléctrico vertical, el sondeo eléctrico vertical es una prueba que se usa para conocer la distribución de resistividad del suelo, y lo usamos para saber sus características.

**RBV:** Resina de baja viscosidad, cualidad del epóxico, para su uso adecuado.



## CONCLUSIONES

### Conclusión 1:

- De la hipótesis general **“Se incrementará al 50% el factor de seguridad al agregar epóxico en el talud de suelo en litificación con solicitaciones sísmicas del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq.”**, mediante la presente investigación se demuestra que el talud de estudio puede ser mejorada, según el capítulo IV Resultados, el talud de estudio en el escenario más crítico en estable – inseguro ( $FS < 1.5$ ), por lo que con la adición del RBV el factor de seguridad aumenta en un 43.5% en promedio.

### Conclusión 2:

- De la sub hipótesis 1 **“Las pendientes del talud del suelo en litificación son mayores a 60° del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq.”**, de la investigación realizada determinamos que de la clasificación geomecánica RMR, levantamiento fotogramétrico el talud de estudio, tiene una pendiente mayor al 60°.

### Conclusión 3:

- De la sub hipótesis 2 **“Las características geofísicas y geomecánicas del talud de estudio del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq muestran características particulares de un suelo en litificación.”** de los resultados en la investigación realizada determinamos que las características en el talud de estudio, da como resultado un suelo en litificación en proceso (compactación).

### Conclusión 4:

- De la sub hipótesis 3 **“El factor de seguridad es mayor a 1.5 en el talud de suelo en litificación del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq.”**, mediante la presente investigación se demuestra que el factor de seguridad del talud de estudio, es segura y se tiene un FS mayor a 1.5.



**Conclusión 5:**

- De la sub hipótesis 4 **“Existe una disminución del factor de seguridad con solicitaciones sísmicas en el talud de suelo en litificación del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq.”**, de la investigación realizada determinamos que el factor de seguridad del talud de estudio, es insegura y se tiene un  $FS = 1.35$  en promedio.

**Conclusión 6:**

- De la sub hipótesis 5 **“Existe un incremento del factor de seguridad con solicitaciones sísmicas con epóxico en el talud de suelo en litificación del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq.”** de la investigación realizada determinamos que el nivel de estabilidad de talud de estudio adicionando el epoxico incrementa el FS en un %.





## RECOMENDACIONES

### Recomendación 1:

- Considerando que en el departamento del Cusco se encuentran una gran mayoría de sitios arqueológicos, los cuales no son conservados de manera óptima, además, muchos se encuentran en mal estado, entonces se debe enfatizar en mejorar las condiciones actuales de estos sitios usando la ingeniería.

### Recomendación 2:

- Evaluar el uso de epoxico en futuras investigaciones como alternativa para mejorar la resistencia del material.

### Recomendación 3:

- Usar la propuesta de estabilización planteada en la investigación para mejorar el nivel de estabilidad del talud de estudio para lograr conservar el recinto y aplicar esta alternativa para estabilizar otros sitios arqueológicos que se encuentran en mal estado.

### Recomendación 4:

- Verificar el impacto ambiental e impacto visual que causara la ejecución de la propuesta planteado en esta investigación para la estabilización de taludes.

### Recomendación 5:

- Se recomienda realizar otros estudios de estabilidad de taludes en sitios arqueológicos no intrusivos, que incluyan parámetros hídricos.

### Recomendación 6:

- Se recomienda realizar un estudio de la estabilidad de taludes en todo el sitio arqueológico Raqaraqayniyoq, debido que se encuentra en un lugar accidentado y expuesto a posibles deslizamientos.



**Recomendación 7:**

- Se recomienda que la investigación de estabilización de talud en zonas arqueológicas seas una investigación multidisciplinaria, ya que con esto se tendrá mejores resultados, además que de esta manera se garantiza que se cumplan y respeten las normas del Ministerio de cultura.



## REFERENCIAS

- Abanto, F. (2009). *Tecnología del Concreto*. Lima: San Marcos.
- Agregados. Análisis granulométrico del agregado., NTP 400.012 (2001).
- Agregados. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos), NTP 400.011 (2008).
- Aguilar Vargas, E. D. (2020). *Diseño de muro de contención de mampostería para el puente Promacosa, río Platanitos, San Miguel Petapa y mapeo de uso de suelos utilizando la metodología Corine Land Cover y sistema de información geográfica (ArcGIS) para San Miguel Petapa y Santa Catari*. [Tesis de Licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/15497>
- Alva Hurtado, J. E. (2017). *Exploración Geotécnica*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Angelone, S. (2010). *Geología y Geotecnia-Estabilidad de Taludes, Segunda*.
- Atala Abad, C. A. (2011). *Estudio experimental sobre correlaciones en suelos granulares finos (arenas) compactados, usando equipos de penetración*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería]. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14076/848>
- Bannister, E., Raymond, S., & Baker, R. (2008). *Técnicas modernas en topografía* (Séptima ed.). México, D.F.: Alfaomega.
- Bazalar La Puerta, L. R., & Cadenillas Calderón, M. A. (2019). *Propuesta de agregado reciclado para la elaboración de concreto estructural con  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup> en estructuras aporticadas en la ciudad de Lima para reducir la contaminación ambiental*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10757/628103>



- Bedoya, C., & Dzul, L. (2015). El concreto con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana. *Revista ingeniería de construcción*, 30(2), 99-108. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732015000200002>
- Borselli, L. (2017). *Estudios Geotecnicos*. Instituto de Geología.
- Bowles, J. (1981). *Manual de Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil*. Mexico, D.F.: McGraw Hill.
- Bravo, J. L. (1998). *Poblacion y Muestra*.
- Cajamarca García, C. A., & Garcia Corredor, C. S. (2018). *Desarrollo de un software para el análisis y diseño de muros en voladizo de concreto reforzado, de acuerdo con la norma colombiana de puentes – LRFD (CCP-14)*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. Obtenido de <https://hdl.handle.net/10983/16677>
- Carrera Carrera, D. N., & Cevallos Estupiñan, D. Á. (2016). *Bases de diseño para la construcción sostenible con bloque alivianado con poliestireno*. [Trabajo de graduación, Universidad Central del Ecuador].
- Chereque Morán, W. (1989). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Cheung, C. (1988). *Geomecánica en zonas tropicales*. E.E.U.U.
- Concreto. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas, NTP 339.034 (2015).
- Concreto. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo, NTP 339.078 (2012).
- Condori Montero, J. F. (2013). *Diseño de una vivienda multifamiliar de dos niveles empleando acero estructural en el distrito de Cajamarca*. [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/5610>



- Custodio Limachi, Luis. (2014). *Manual de Instalación de Techo Aligerado con Viguetas Prefabricadas de Acero*. Lima: SENCICO.
- Das, B. M. (2003). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (Cuarta ed.). California: Cengage Learning.
- De Matteis, Á. F. (2003). *Geología y Geotecnia Tema: Estabilidad de taludes*. Universidad Nacional de Rosario.
- Díaz Márquez, J. B., Mejía Arévalo, E. H., & Ortez Reyes, J. A. (2007). *Diseño de elementos estructurales típicos para un edificio de estructuras de acero utilizando las especificaciones AISC 2005*. [Tesis de pregrado, Universidad de el Salvador].
- Dongo Torres, J. M., & Figueroa Quispe, G. C. (2020). *Análisis comparativo estructural – económico de muros de contención en voladizo vs muros de contención con contrafuerte, en el intercambio vial entre la AV. Avelino Cáceres y la AV. Daniel Alcides Carrión en el Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero*. [Tesis de grado, Universidad Católica de Santa María]. Obtenido de <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/9889>
- Espartel, L. (1987). *Curso de topografía* (Novena ed.). Rio de Janeiro: Globo.
- Fernandez Romero, F. I., & Quiroz Quispe, C. (2017). *Optimización estructural para el techado de edificios en la ciudad de Huancavelica en el año 2016*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica]. Obtenido de <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/1060>
- Fredlund, D. (1987). *Principios de mecánica para carreteras en ingeniería*. E.E.U.U.
- Giraldo Quiroga, P. A., & Orjuela Castellanos, E. G. (s.f.). *Análisis de la estabilidad de un talud ubicado en el k1+000 de la vía Calambeo - Anzoátegui en la ciudad de Ibagué departamento del Tolima*. [Tesis de grado, Universidad Cooperativa de Colombi]. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12494/34249>



Gonzáles de Vallejo, L. I. (2004). *Ingeniería Geológica*. España: Pearson.

Hernández Sampieri, R. (2010). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw-Hill.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. d. (2014).

*Metodología de la Investigación* (Sexta ed.). Mexico: Mc Graw Hill.

Hernández Vásquez, E. D., & Segovia Rey, E. H. (2020). *Anclajes en formación rocosa para*

*estabilizar muro de contención en pasaje 4 del asentamiento humano Hatary Llacta,*

*El Agustino, 2020*. [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo]. Obtenido de

<https://hdl.handle.net/20.500.12692/54100>

INGEMMET. (2011). *Evaluacion Ingeniero - Geologica del Cerro Picol*. Cusco:

INGEMMET.

Jiménez Cortés, W. A., & López Rincón, A. M. (2017). *Análisis mecánico de la utilización*

*de concreto reciclado como agregado grueso en un concreto de alto desempeño*

*(6000 psi o 42 mpa) /*. [Tesis de grado, Universidad Católica de Bogotá]. Obtenido de

<https://biblioteca.ucatolica.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=77921>

Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2010). *Fundamentos de la Mecánica de Suelos.*

*Tomo I*. México, D.F.: Limusa.

Labrador Diaz, E. L., Herrera Ramirez, J. D., & Aguirre López, S. A. (2020). *Análisis de la*

*estabilidad de un talud ubicado en el kilometro 5+530 via variante Ibagué-Armenia*

*en el sector del portal de la Martinica en la ciudad de Ibagué*. [Tesis de grado,

Universidad Cooperativa de Colombia]. Obtenido de

<http://hdl.handle.net/20.500.12494/17448>

Luna Sáez, D. R. (2003). *Estandarización de ensayos de conductividad hidráulica de campo*

*para el diseño de obras de infiltración*. Santiago de Chile: Pontificia Universidad

Católica de Chile.



- Marín Cabrera, J. A. (2019). *Resistencia a la compresión axial del concreto al reemplazar concreto reciclado como agregado grueso en porcentajes del 5%, 10% y 15%*. [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/22185>
- Martínez de Sánchez, A. M. (2013). Diseño de investigación. Principios Teóricos- Metodológicos y Prácticos para su concreción. *Anuario. Escuela de Archivología IV(4)*, 37-64. Obtenido de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/anuario/article/view/12664>
- McCormarc, J. (2003). *Topografía y Geodesia*. Bogotá: Limusa.
- Mendoza Dueñas, J. (2010). *Topografía Técnicas Modernas*. Lima: LyM.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2000). *Análisis granulométrico de suelos por tamizado*. Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.
- Molano Sánchez, J. L. (2017). *Comportamiento de la conexión de sistemas aligerados con poliestireno expandido, muros de mortero y losa en sección compuesta con perfiles formados en frío*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/60064>
- Municipalidad Provincial del Cusco. (2021). *Informe de evaluación del riesgo de desastres por flujo hiperconcentrado en la zona de reglamentación especial ZRECU10A-Sector PP.JJ. Picchu Sipaspucyo e Independencia, distrito Cusco, provincia y departamento Cusco*.
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227-232. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>



- Pasquel Crabajal, E. (1993). *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú*. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú.
- Pérez Rodríguez, M. (2009). *Diseño y cálculo de la estructura metálica y de la cimentación de una nave industrial*. [Proyecto de fin de carrera, Universidad Carlos III de Madrid].  
Obtenido de <http://hdl.handle.net/10016/7572>
- Ramos Rugel, M. (2002). *Análisis técnico y económico de losas de entrepiso*. [Tesis de licenciatura, Universidad de Piura]. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11042/1423>
- Ramos Vásquez, A. A. (2017). *Análisis de estabilidad de túneles en rocas : simulación con LS-DYNA y comparación con Slide*. [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Madrid]. Obtenido de <https://oa.upm.es/47326/>
- Rico Díaz, A. (2006). *Muros en Sistema Drywall como elementos estructurales antes cargas sísmicas*. [Tesis de grado, Universidad de los Andes]. Obtenido de <http://hdl.handle.net/1992/9374>
- Rivera Granados, D. P. (2017). *Análisis comparativo del sistema pre-fabricado de losa aligerada vigacero vs el sistema convencional de una edificación de 6 pisos en Huancayo, 2016*. [Tesis pregrado, Universidad Peruana los Andes]. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12848/276>
- Rivva Lopez, E. (1992). *Diseño de Mezclas*. Lima: CIP.
- Rodriguez Chavarry, A. (2015). *Comparación del comportamiento estructural y económico de losas colaborantes unidireccionales con losas aligeradas*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/482>
- Sackschewski Chapman, C. E. (2017). *Soluciones para estabilidad de taludes de la carretera Canta – Huayllay entre las progresivas del Km 102 al km 110*. [Tesis de pregrado,





Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Obtenido de

<https://hdl.handle.net/20.500.12672/5743>

Soto Rodriguez, H. (2005). *Diseño de Estructuras Metálicas* (Primera ed.). México, D. F.:

McComarc.

Suarez Diaz, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*.

Bucaramanga: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos.

Ttito Ortiz, D. C. (2018). *Análisis de estabilidad de taludes de la tercera terraza – zona los baluartes en el Parque Arqueológico de Sacsayhuaman*. [Tesis de pregrado,

Universidad Andina del Cusco]. Obtenido de

<https://hdl.handle.net/20.500.12557/2574>

Villar Arana, H. A. (2015). *Comparación del comportamiento estructural de muros de*

*contención en voladizo y con contrafuertes*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional

de Cajamarca]. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/380>



## ANEXOS

### Panel fotográfico

#### Figura 134

*Fotografía de los tesistas en la entrada del Sitio Arqueológico de Raqaraqayniyoq.*



*Nota.* La imagen muestra a los tesistas en el sitio arqueológico, elaboración propia.

#### Figura 135

*Fotografía donde se verifica el sitio donde se realizó el trabajo de investigación.*



*Nota.* La imagen muestra fotografía general del sitio de estudio, elaboración propia.



**Figura 136**

*Fotografía donde se verifica el levantamiento fotogramétrico mediante un dispositivo celular, que serán posteriormente procesados en el software Agisoft Metashape.*



*Nota.* La imagen muestra el levantamiento fotogramétrico, elaboración propia.

**Figura 137**

*Fotografías donde se verifica los 10 especímenes, de cada uno de los 5 puntos que se consideró en el talud de estudio, muestras que fueron sometidas al ensayo de compresión simple, seguida de la fotografía de su rotura de cada una.*



*Nota.* La imagen muestra los especímenes de roca, elaboración propia.

**Figura 138**

*Fotografías donde se verifica el trabajo en laboratorio de los tesistas.*



*Nota.* La imagen muestra el trabajo en laboratorio, elaboración propia.

**Figura 139**

*Fotografía donde se verifica el ensayo a compresión simple que se realizó a los 10 especímenes, con la guía y compañía del ingeniero asesor de tesis.*



*Nota.* La imagen muestra el ensayo a compresión simple, elaboración propia.



### Figura 140

*Fotografía donde se verifica el análisis de datos con la compañía y asesoría del ingeniero asesor de tesis.*



*Nota.* La imagen muestra el análisis de datos, elaboración propia.

### Figura 141

*Fotografía donde se verifica la verificación por parte del ingeniero asesor ante la prueba de compresión simple.*



*Nota.* La imagen muestra la verificación del asesor de tesis, elaboración propia.

**Figura 142**

*Fotografía donde se verifica la máquina para realizar el sondeo eléctrico vertical (SEV).*



*Nota.* La imagen muestra máquina que realiza el SEV, elaboración propia.

**Figura 143**

*Fotografías donde se verifica el trabajo en campo de los tesistas.*



*Nota.* La imagen muestra trabajo en campo, elaboración propia.



## Permiso del Ministerio de Cultura



PERÚ

Ministerio de Cultura

DIRECCION DESCONCENTRADA DE  
CULTURA - CUSCO

AREA FUNCIONAL ATENCION AL  
CIUDADANO Y GESTION  
DOCUMENTARIA



PERÚ

Ministerio de Cultura

Firmado digitalmente por OTAZU  
MENDOZA Teresa De Jesus FALU  
20460046307 aut  
Jefe De Area  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 07.07.2021 10:12:59 -05:00

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"  
"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"  
"Perú Suyuna Paya Pataka Marapa: paya pataka t'aqwaqtawi maranaka"

Cusco, 07 de Julio del 2021

OFICIO N° 001813-2021-AFACGD/MC

Señor(a):

KEVIN ALEX CHAVEZ ALEGRIA

AURIA GABRIELA SULLCA ESTRADA

Dirección : Jr. Los Claveles B-10, APV Tancarpatá, San Sebastián

Celular : 922542240

Correo : [kevinchaalegria@gmail.com](mailto:kevinchaalegria@gmail.com)

CIUDAD.-

ASUNTO: Respuesta a solicitud

REFERENCIA: Expediente N° 2021-29677

De mi mayor consideración.

Previo cordial saludo y por encargo del Director de la Dirección Desconcentrada de Cultura de Cusco del Ministerio de Cultura, me dirijo a usted en atención al documento de referencia, mediante el cual solicita autorización para reconocimiento y estudio superficial del Sitio Arqueológico Raqaraqayniyoc con fines académicos.

Al respecto, manifiesto a usted que su petición fue remitida a la instancia competente donde la Jefatura del Valle Cusco emite el informe N° 000525-2021-CZSAVC/MC, cuya copia se adjunta al presente en respuesta a su solicitud para su conocimiento y fines.

Sin otro particular, hago propicia la ocasión para expresarle las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,

Documento firmado digitalmente

**TERESA DE JESÚS OTAZU MENDOZA**

AREA FUNCIONAL ATENCION AL CIUDADANO Y GESTION DOCUMENTARIA

AFACGD/TOM/gar



BICENTENARIO  
PERÚ 2021

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por el Ministerio de Cultura, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: <https://tramitedocumentario.cultura.gob.pe:8181/validadorDocumental/inicio/detalle.jsf> e ingresando la siguiente clave: TSQT5TF



PERÚ

Ministerio de Cultura

COORDINACIÓN DE GESTIÓN DE  
MONUMENTOS

MANTENIMIENTO DE LA ZA. VALLE  
CUSCO



PERÚ

Firmado digitalmente por ARRIOLA  
TUNI Carlos Antonio FAU  
2049254237 aux  
Jefe de Parqueo  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 24.05.2021 10:53:33 -05:00

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"  
"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"  
"Perú Suyuna Paya Pataka Marapa: paya pataka t'aqwaqtawi maranaka"

Cusco, 24 de Mayo del 2021

**INFORME N° 000525-2021-CZSAVC/MC**

**A :** FRANCISCO SOLIS DIAZ  
COORDINACION DE GESTION DE MONUMENTOS

**De :** CARLOS ANTONIO ARRIOLA TUNI  
MANTENIMIENTO DE LA ZA. VALLE CUSCO

**Asunto :** SOLICITA AUTORIZACIÓN PARA RECONOCIMIENTO Y ESTUDIO  
SUPERFICIAL DEL SITIO ARQUEOLÓGICO RAQARAQAYNIYOC CON  
FINES ACADÉMICOS

**Referencia :** PROVEIDO N° 000391-2021-CZSAVC/MC (05MAY2021)

Mediante el presente me dirijo a su despacho, con la finalidad de informar en atención al documento de la referencia, a través del cual los Bachilleres en Ingeniería Civil Sr. Kevin Alex Chávez Alegría y Auxilia Gabriela Sulca Estrada, egresados de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, inscritos en el Registro Nacional de Identidad del firmante desconocida Andina del Cusco.

Solicitan autorización para realizar el reconocimiento y estudio superficial, del Sitio Arqueológico de Raqaraqayniyoq, ubicado en el distrito de San Jerónimo, departamento de Cusco, del cual manifiesto que realizada las coordinaciones vía telefónica con el administrado refiere que se está reprogramando la fecha de la programación de dicha actividad para los días 29, 05, 12 y 19 del mes de mayo y junio del presente año.

Señalar que el Sitio Arqueológico de Raqaraqayniyoq cuenta con declaratoria expresa como PCN mediante Resolución Viceministerial N°187-2010-VMPCIC-MC, por lo tanto, se encuentra dentro de los alcances y protegido por la Ley N° 28296 "Ley General del Patrimonio Cultural de la Nación".

La actividad a desarrollar, se sustenta con el objetivo de realizar un trabajo de investigación con fines académicos, a través del cual se pretende desarrollar un estudio para la estabilidad de taludes, cuyo trabajo a futuro aportará para la atención de dicha problemática que presenta el Sitio Arqueológico.

**OPINIÓN.**

Por lo expuesto se eleva el informe, de la actividad a efectuarse con la finalidad de dar procedencia a la autorización solicitada, en cumplimiento al trámite administrativo, indicándole que debe cumplir con las recomendaciones vertidas en el presente informe.

Así mismo los tesisistas deberán alcanzar una copia del trabajo de estudio, para el acervo documentario de la Institución.

**RECOMENDACIONES.**

- Está prohibido el Ingreso a zonas restringidas.
- No portar alimentos ni bebidas alcohólicas.



BICENTENARIO  
PERÚ 2021

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por el Ministerio de Cultura, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: <https://tramitedocumentario.cultura.gob.pe:8181/validadorDocumental/inicio/detalle.jsf> e ingresando la siguiente clave: HSLYSPS





Certificado de Calibración – Prensa Hidráulica



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
N° 1425-145-2022

Página 1 de 3

---

**Arsou Group**  
Laboratorio de Metrología

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| <b>Fecha de emisión</b>        | 2022/03/30                                      |
| <b>Solicitante</b>             | <b>CÉSAR EDILBERTO ARBULÚ JURADO</b>            |
| <b>Dirección</b>               | AV. MICAELA BASTIDAS 258- WANCHAQ- CUZCO-PERU   |
| <b>Instrumento de medición</b> | <b>PRESA HIDRAULICA PARA ROTURA DE CONCRETO</b> |
| Identificación                 | 1425-145-2020                                   |
| Marca                          | ARSOU   |
| Modelo                         | PR701   |
| Serie                          | 2138  |
| Capacidad                      | 120000KG  |
| Indicador                      | DIGITAL   |
| Bomba                          | MANUAL  |
| Procedencia                    | PERÚ  |
| Ubicación                      | Laboratorio de Suelos y Concreto                |
| Lugar de calibración           | Laboratorio de ARSOU GROUP SAC                  |
| Fecha de calibración           | 2022/03/30                                      |

**Método/Procedimiento de calibración**  
El procedimiento toma como referencia a la norma ISO 7500-1 "Metallic materials - Verification of static uniaxial testing machines", Se aplicaron dos series de carga al Sistema Digital mediante la misma prensa. En cada serie se registraron las lecturas de las cargas.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.






ARSOU GROUP S.A.C.  
Ing. Hugo Luis Arévalo Carnica  
METROLOGÍA

**ARSOU GROUP S.A.C.**  
Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú  
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437  
ventas@arsougroup.com  
www.arsougroup.com



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
N° 1425-145-2022

Página 2 de 3

**Arso Group**

Laboratorio de Metrología

Patrones e Instrumentos auxiliares

| Trazabilidad                   | Patrón Utilizado         | Certificado de Calibración             |
|--------------------------------|--------------------------|--|
| Patrones de referencia de PUCP | Celda de Carga de 100 TN | 192-19 con trazabilidad INF-LE 250-18. |

Condiciones ambientales durante la calibración

|                       |                    |                  |
|-----------------------|--------------------|------------------|
| Temperatura Ambiental | Inicial: 20,3 °C   | Final: 20,5 °C   |
| Humedad Relativa      | Inicial: 63 %hr    | Final: 65 %hr    |
| Presión Atmosférica   | Inicial: 1015 mbar | Final: 1015 mbar |

Resultados

TABLA N° 01

CALIBRACION DE PRENSA HIDRAULICA PARA CONCRETO

| SISTEMA DIGITAL "A" KG | SERIES DE VERIFICACIÓN PATRON ( Kg) |              |         |             | PROMEDIO "B" kg | ERROR Ep % | RPTBLD Rp % |
|------------------------|-------------------------------------|--------------|---------|-------------|-----------------|------------|-------------|
|                        | SERIE (1) kg                        | SERIE (2) kg | ERROR % | ERROR (2) % |                 |            |             |
| 10000                  | 10001.4                             | 10000.9      | 0.0     | 0.0         | 10001.2         | 0.0115     | 0.00        |
| 20000                  | 19999.0                             | 19999.5      | 0.0     | 0.0         | 19999.3         | 0.00       | 0.00        |
| 30000                  | 30000.0                             | 29999.8      | 0.0     | 0.0         | 29999.9         | 0.00       | 0.00        |
| 40000                  | 40000.5                             | 39999.4      | 0.0     | 0.0         | 40000.0         | 0.00       | 0.00        |
| 50000                  | 50000.0                             | 50000.0      | 0.0     | 0.0         | 50000.0         | 0.00       | 0.00        |
| 60000                  | 60000.4                             | 59999.4      | 0.0     | 0.0         | 59999.9         | 0.00       | 0.00        |
| 70000                  | 69998.8                             | 69999.4      | 0.0     | 0.0         | 69999.1         | 0.00       | 0.00        |
| 80000                  | 80000.0                             | 79999.5      | 0.0     | 0.0         | 79999.8         | 0.00       | 0.00        |

NOTAS SOBRE CALIBRACION

1. - La Calibración se hizo según el Método C de la norma ISO 7500-1
- 2.- Ep y Rp son el Error Porcentual y la Repetibilidad definidos en la citada Norma:  

$$Ep = ((A-B) / B) * 100 \quad Rp = Error(2) - Error(1)$$
3. - La norma exige que Ep y Rp no excedan el +/- 1.0 %
4. - Incertidumbre expandida del Error (Ep) = 0,35 % (1,73 kg)



ARSOU GROUP S.A.C  
 Ing. Hugo Luis Arevalo Carnica  
 METROLOGIA

ARSOU GROUP S.A.C

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú  
 Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437  
 ventas@arsougroup.com  
 www.arsougroup.com



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
N° 1425-145-2022

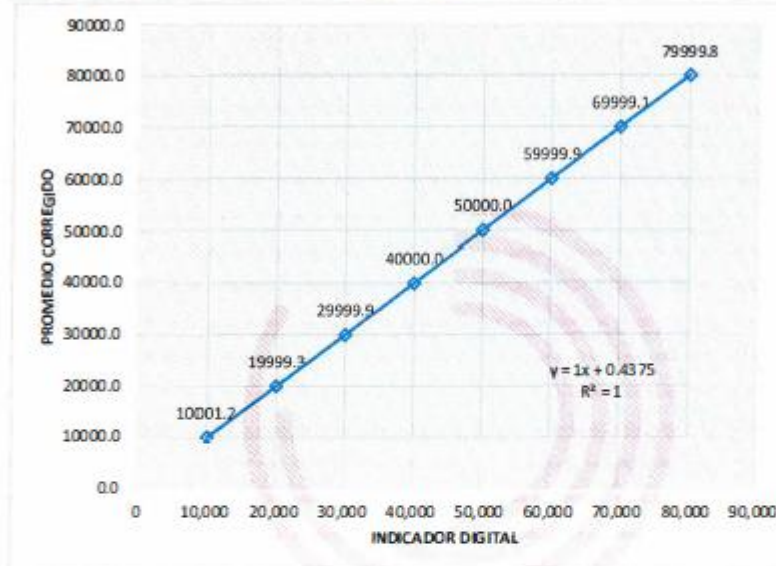
Página 3 de 3

**Arsou Group**

Laboratorio de Metrología

Gráfica (Coeficiente de correlación y Ecuación de Ajuste)

GRAFICO N° 01



Ecuación de ajuste:

Donde:  $y = 1x + 0,4375$

Coefficiente Correlación  $R^2 = 1$

X : Lectura de la pantalla (kg)

Y : fuerza promedio (kg)

**Observaciones**

1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. La incertidumbre de la medición ha sido calculada para un nivel de confianza de aproximadamente del 95 % con un factor de cobertura  $k=2$ .
3. (\*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
4. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CAUBRADO"

ARSOU GROUP S.A.C  
Ing. Hugo Luis Arévalo Carnica  
METROLOGIA



**ARSOU GROUP S.A.C.**

Asoc. Mv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú

Tel: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437

ventas@arsougroup.com

www.arsougroup.com



**TÍTULO: “INCREMENTO DEL FACTOR DE SEGURIDAD EN TALUD DE SUELO EN LITIFICACIÓN CON SOLICITACIONES SISMICAS, RECINTO R-41, MEDIANTE EPÓXICO, SITIO ARQUEOLÓGICO DE RAQARAQAYNIYOQ, SAN JERÓNIMO-CUSCO, 2022”**

| <b>Problema general</b>   | <b>Objetivo general</b>   | <b>Hipótesis General</b>  | <b>Variable Dependiente</b>         | <b>Instrumentos</b>  | <b>Metodología</b>                    |
|---|---|---|-------------------------------------|--|---------------------------------------|
| ¿Cuál será el incremento del factor de seguridad al agregar epóxico en el talud de suelo en litificación con solicitaciones sísmicas del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq? | Determinar el incremento del factor de seguridad al agregar epóxico en el talud de suelo en litificación con solicitaciones sísmicas del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq. | Se incrementará al 50% el factor de seguridad al agregar epóxico en el talud de suelo en litificación con solicitaciones sísmicas del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq.    | Factor de Seguridad                 | Fichas de laboratorio.<br>Memoria de cálculo del factor de seguridad.                              | Método de investigación cuantitativa. |
| <b>Problema específico</b>  | <b>Objetivo específico</b>  | <b>Hipótesis específica</b>   | <b>Variable Independiente</b>       | <b>Instrumentos</b>  | <b>Metodología</b>                    |
| ¿Cuáles son las características morfométricas del talud de suelo en litificación del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq?   | Determinar las características morfométricas del talud de suelo en litificación del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq.  | Las pendientes del talud del suelo en litificación son mayores a 0° del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq.  | Morfometría del talud               | Levantamiento fotogramétrico con uso de software.  |                                       |
| ¿Cuáles son las características geofísicas y geomecánicas del talud de estudio del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq?   | Determinar las características geofísicas y geomecánicas del talud de estudio del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq.  | Las características geofísicas y geomecánicas del talud de estudio del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq muestran características particulares de un suelo en litificación. | Suelo en litificación               | Ficha de recolección de datos de estudios geofísicos y geomecánicos.                               |                                       |
| ¿Cuál es el factor de seguridad en condición estática en el talud de suelo en litificación del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq?   | Determinar el factor de seguridad en condición estática en el talud de suelo en litificación del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq  | El factor de seguridad es mayor a 1.5 en el talud de suelo en litificación del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq  | Condición estática                  | Fichas de reporte de resultados del software Slide.<br>Muestra representativa de suelo litificado  |                                       |
| ¿Cuál es el efecto de las solicitaciones sísmicas en el factor de seguridad en el talud de suelo en litificación del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq?                     | Determinar el efecto de las solicitaciones sísmicas en el factor de seguridad en el talud de suelo en litificación del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq.                   | Existe una disminución del factor de seguridad con solicitaciones sísmicas en el talud de suelo en litificación del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq.                      | Solicitaciones Sísmicas.            | Fichas de reporte de resultados del software Slide.<br>Muestra representativa de suelo litificado  | Método de investigación cuantitativa. |
| ¿Cuál es el efecto de las solicitaciones sísmicas en el factor de seguridad con epóxico en el talud de suelo en litificación del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq?         | Determinar el efecto de las solicitaciones sísmicas en el factor de seguridad con epóxico en el talud de suelo en litificación del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq.       | Existe un incremento del factor de seguridad con solicitaciones sísmicas con epóxico en el talud de suelo en litificación del recinto R-41 en el sitio arqueológico de Raqaraqayniyoq.            | Solicitaciones Sísmicas con epoxico | Fichas de reporte de resultados del software Slide.<br>Muestra representativa de suelo litificado. |                                       |

