

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Uso del sistema soil nailing para solucionar la  
inestabilidad del talud, en la carretera PE-3S  
kilómetro 628+300 al 628+450 sector Yahuarí,  
distrito de Santa María de Chicmo - 2021**

Cristian Juaneco Diaz Pezua

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Civil

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

# USO DEL SISTEMA SOIL NAILING PARA SOLUCIONAR LA INESTABILIDAD DEL TALUD, EN LA CARRETERA PE-3S KILÓMETRO 628+300 AL 628+450 SECTOR YAHUARÍ, DISTRITO DE SANTA MARÍA DE CHICMO - 2021

## INFORME DE ORIGINALIDAD

25%

INDICE DE SIMILITUD

25%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://pdfs.semanticscholar.org">pdfs.semanticscholar.org</a> Fuente de Internet	1%
2	<a href="https://qdoc.tips">qdoc.tips</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="https://repositorio.continental.edu.pe">repositorio.continental.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://www.dspace.uce.edu.ec">www.dspace.uce.edu.ec</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="https://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="https://idoc.pub">idoc.pub</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="https://bibdigital.epn.edu.ec">bibdigital.epn.edu.ec</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="https://ri.ues.edu.sv">ri.ues.edu.sv</a> Fuente de Internet	1%

9	<a href="http://repositorio.unal.edu.co">repositorio.unal.edu.co</a> Fuente de Internet	1 %
10	<a href="http://repositorio.unfv.edu.pe">repositorio.unfv.edu.pe</a> Fuente de Internet	1 %
11	<a href="http://repositorio.udh.edu.pe">repositorio.udh.edu.pe</a> Fuente de Internet	1 %
12	<a href="http://vsip.info">vsip.info</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="http://repositorio.upla.edu.pe">repositorio.upla.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://repositorio.uncp.edu.pe">repositorio.uncp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="http://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> Fuente de Internet	<1 %
16	<a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
17	<a href="http://www.u-cursos.cl">www.u-cursos.cl</a> Fuente de Internet	<1 %
18	<a href="http://repositorio.uide.edu.ec">repositorio.uide.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
19	<a href="http://repositorio.unasam.edu.pe">repositorio.unasam.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
20	<a href="http://issuu.com">issuu.com</a> Fuente de Internet	<1 %

21	<a href="http://aprenderly.com">aprenderly.com</a> Fuente de Internet	<1 %
22	<a href="http://ja.scribd.com">ja.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
23	<a href="http://www.geostru.eu">www.geostru.eu</a> Fuente de Internet	<1 %
24	<a href="http://repositorio.unc.edu.pe">repositorio.unc.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
25	<a href="http://repositorio.uniandes.edu.co">repositorio.uniandes.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
26	<a href="http://nanopdf.com">nanopdf.com</a> Fuente de Internet	<1 %
27	<a href="http://es.slideshare.net">es.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
28	<a href="http://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	<1 %
29	<a href="http://dspace.ucacue.edu.ec">dspace.ucacue.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
30	<a href="http://repositorio.espe.edu.ec">repositorio.espe.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
31	<a href="http://repositorio.uancv.edu.pe">repositorio.uancv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
32	<a href="http://www.repositorio.usac.edu.gt">www.repositorio.usac.edu.gt</a> Fuente de Internet	<1 %

33	<a href="http://repositorio.lamolina.edu.pe">repositorio.lamolina.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
34	<a href="http://repositorio.untrm.edu.pe">repositorio.untrm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
35	<a href="http://www.scribd.com">www.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
36	<a href="http://repositorio.unsm.edu.pe">repositorio.unsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
37	<a href="http://www.kerwa.ucr.ac.cr">www.kerwa.ucr.ac.cr</a> Fuente de Internet	<1 %
38	<a href="http://core.ac.uk">core.ac.uk</a> Fuente de Internet	<1 %
39	<a href="http://repositorio.uap.edu.pe">repositorio.uap.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
40	<a href="http://repositorio.escuelamilitar.edu.pe">repositorio.escuelamilitar.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
41	<a href="http://www.muermos.cl">www.muermos.cl</a> Fuente de Internet	<1 %
42	<a href="http://documents.mx">documents.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
43	<a href="http://repositorio.unjbg.edu.pe">repositorio.unjbg.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
44	<a href="http://tesi.cab.unipd.it">tesi.cab.unipd.it</a> Fuente de Internet	<1 %

45	<a href="http://repositoriodigital.ucsc.cl">repositoriodigital.ucsc.cl</a> Fuente de Internet	<1 %
46	<a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	<1 %
47	<a href="http://oa.upm.es">oa.upm.es</a> Fuente de Internet	<1 %
48	<a href="http://repositorio.utn.edu.ec">repositorio.utn.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
49	<a href="http://cybertesis.uni.edu.pe">cybertesis.uni.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
50	<a href="http://repositorio.upao.edu.pe">repositorio.upao.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
51	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	<1 %
52	<a href="http://www.ptolomeo.unam.mx:8080">www.ptolomeo.unam.mx:8080</a> Fuente de Internet	<1 %
53	<a href="http://bvpad.indeci.gob.pe">bvpad.indeci.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
54	<a href="http://tesis.ucsm.edu.pe">tesis.ucsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
55	<a href="http://cybertesis.unmsm.edu.pe">cybertesis.unmsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
56	<a href="http://repositorio.uis.edu.co">repositorio.uis.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %

57	<a href="http://repositorio.utmachala.edu.ec">repositorio.utmachala.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
58	<a href="http://repositorio.undac.edu.pe">repositorio.undac.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
59	<a href="http://biblioteca.udenar.edu.co:8085">biblioteca.udenar.edu.co:8085</a> Fuente de Internet	<1 %
60	<a href="http://repositorio.usil.edu.pe">repositorio.usil.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
61	<a href="http://cam.gov.co">cam.gov.co</a> Fuente de Internet	<1 %
62	<a href="http://repositorio.usfq.edu.ec">repositorio.usfq.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
63	<a href="http://repository.ucc.edu.co">repository.ucc.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
64	<a href="http://repositorio.ug.edu.ec">repositorio.ug.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
65	<a href="http://repositorio.uta.edu.ec">repositorio.uta.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
66	<a href="http://repositorio.upn.edu.pe">repositorio.upn.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
67	Vicente Eduardo Capa Guachón. "Estudio experimental y numérico del comportamiento de excavaciones ejecutadas mediante la técnica de suelo claveteado (soil nailing) en	<1 %



# suelos de la ciudad de Quito (Ecuador).", Universitat Politecnica de Valencia, 2021

Publicación

---

68	<a href="https://edoc.pub">edoc.pub</a> Fuente de Internet	<1 %
69	<a href="https://downloads.hindawi.com">downloads.hindawi.com</a> Fuente de Internet	<1 %
70	<a href="http://www.ricuc.cl">www.ricuc.cl</a> Fuente de Internet	<1 %
71	<a href="https://repositorio.uladech.edu.pe">repositorio.uladech.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
72	<a href="https://repositorio.unheval.edu.pe">repositorio.unheval.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
73	<a href="https://upcommons.upc.edu">upcommons.upc.edu</a> Fuente de Internet	<1 %
74	<a href="https://dspace.espol.edu.ec">dspace.espol.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
75	<a href="https://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
76	<a href="https://repositorio.usmp.edu.pe">repositorio.usmp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
77	<a href="https://repositorio.unac.edu.pe">repositorio.unac.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
78	<a href="https://revistas.escuelaing.edu.co">revistas.escuelaing.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %

---

79

Cui, Shaodong, Jianfeng Gao, and Min Xu.  
"The Research on Determination Method of  
Rock Mechanics Parameters", ICPTT 2013,  
2013.

Publicación

<1 %

---

80

[bdigital.unal.edu.co](http://bdigital.unal.edu.co)

Fuente de Internet

<1 %

---

81

[bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083)

Fuente de Internet

<1 %

---

82

[digitk.areandina.edu.co](http://digitk.areandina.edu.co)

Fuente de Internet

<1 %

---

83

[repositorio.utea.edu.pe](http://repositorio.utea.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

---

84

[tesis.usat.edu.pe](http://tesis.usat.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

---

85

"Estimación cuantitativa de la amenaza  
sísmica en base a métodos geofísicos",  
Pontificia Universidad Católica de Chile, 2021

Publicación

<1 %

---

86

[geologiaweb.com](http://geologiaweb.com)

Fuente de Internet

<1 %

---

87

[repositorio.uandina.edu.pe](http://repositorio.uandina.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

---

88

[www.minem.gob.pe](http://www.minem.gob.pe)

Fuente de Internet

<1 %

---

89	<a href="https://id.scribd.com">id.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
90	<a href="https://pesquisa.bvsalud.org">pesquisa.bvsalud.org</a> Fuente de Internet	<1 %
91	<a href="https://repositorio.uaustral.edu.pe">repositorio.uaustral.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
92	<a href="https://repositorio.une.edu.pe">repositorio.une.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
93	<a href="https://repositorio.unp.edu.pe">repositorio.unp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
94	<a href="https://semspub.epa.gov">semspub.epa.gov</a> Fuente de Internet	<1 %
95	<a href="https://upc.aws.openrepository.com">upc.aws.openrepository.com</a> Fuente de Internet	<1 %
96	<a href="https://repositorio.uchile.cl">repositorio.uchile.cl</a> Fuente de Internet	<1 %
97	<a href="https://www.repositorioacademico.usmp.edu.pe">www.repositorioacademico.usmp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
98	"Proceedings of the 5th International Conference on Sustainable Civil Engineering Structures and Construction Materials", Springer Science and Business Media LLC, 2022 Publicación	<1 %

[repositorio.unab.cl](https://repositorio.unab.cl)

99

Fuente de Internet

<1 %

100

[repositorio.unsaac.edu.pe](http://repositorio.unsaac.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

101

"Uso de modelación organizacional para evaluar el impacto de principios de lean construction en el desempeño de proyectos.", Pontificia Universidad Católica de Chile, 2016

Publicación

<1 %

102

[distancia.udh.edu.pe](http://distancia.udh.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

103

[studylib.es](http://studylib.es)

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 12 words

Excluir bibliografía

Activo

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecer primeramente a Dios y la Santísima Virgen por brindarme salud y he hecho todo lo posible para poder cumplir con mis objetivos.

A la Universidad Continental, por haberme acogido y ayudado en cumplir con mis objetivos, a mi asesora la Mg. Ing. Zadith Nancy Garrido Campaña por su ayuda incondicional en la realización de este trabajo.

Al ingeniero Guido Farfán Quispitupa, que me ha guiado a lo largo del desarrollo de la presente tesis, gracias por su comprensión y paciencia, así como todo el conocimiento que me ha brindado.

A mis familiares, que son el pilar fundamental de mi existencia, espero no haberlos defraudado.

A todos mis amigos y compañeros de aulas en la facultad, que en realidad son muchos. Nos vemos en la vida profesional.

## **DEDICATORIA**

A mi mami Epifanía, quien ha sido el pilar fundamental para poder culminar mis estudios, además de haberme dado la vida, siempre me ayudó en los buenos y malos momentos y lo sigue haciendo, brindándome sus consejos y encaminándome de manera correcta para ser una mejor persona cada día. Te quiero bastante mamita.

A mi papi, que es una excelente persona, trabajadora y honesta, que además de ser mi padre es un amigo, compañero de casa y de vida, y agradecer sobre todas las cosas a Dios y la vida por tenerlos en mi vida.

A mi hermana, por brindarme todo su apoyo moral y emocional para seguir adelante y no decaer.

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>VIII</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XI</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>XII</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....</b>	<b>3</b>
1.1 Planteamiento y formulación del problema .....	3
1.2 Formulación del problema .....	4
1.2.1 Problema general.....	4
1.2.2 Problema específico .....	5
1.3 Objetivos .....	5
1.3.1 Objetivo general .....	5
1.3.2 Objetivos específicos .....	5
1.4 Hipótesis .....	6
1.4.1 Hipótesis general .....	6
1.4.2 Hipótesis específicas .....	6
1.5 Justificación e importancia .....	6
<b>CAPÍTULO II MARCO TEORICO.....</b>	<b>8</b>
2.1 Antecedentes del problema .....	8
2.1.1 Antecedentes internacionales .....	8
2.1.2 Antecedentes nacionales .....	10
2.2 Bases teóricas.....	12
2.2.1 Talud .....	12
2.2.2 Movimiento de ladera .....	14
2.2.3 Tipos de movimientos de ladera .....	14
2.2.4 Principales factores influyentes en la estabilidad de taludes .....	19
2.2.5 Metodología para el estudio de estabilidad de taludes.....	20
2.2.6 Análisis de estabilidad de taludes .....	21
2.2.7 Métodos de análisis de estabilidad de taludes.....	21
2.2.8 Método de dovelas para el cálculo de estabilidad de taludes.....	23
2.2.9 Superficie de falla .....	33
2.2.10 Factor de seguridad en taludes .....	33
2.2.11 Análisis sísmico en taludes .....	35

2.2.12 Medidas de estabilización de taludes .....	38
2.2.13 Métodos de estabilización de talud .....	39
2.2.14 Sistema soil nailing .....	40
2.2.15 Funcionamiento del sistema soil nailing .....	41
2.2.16 Aplicabilidad del sistema soil nailing .....	41
2.2.17 Ventajas y desventajas del sistema soil nailing .....	42
2.2.18 Elementos básicos que componen el sistema soil nailing .....	43
2.2.19 Estados limite en el sistema soil nailing .....	45
2.2.20 Modos de falla externos .....	46
2.2.21 Modos de falla internos .....	48
2.2.22 Fallas en la pantalla de revestimiento .....	50
2.2.23 Uso del sistema soil nailing en taludes de altura considerable .....	51
2.2.24 Proceso constructivo del sistema soil nailing.....	52
2.3 Definición de términos básicos .....	54
<b>CAPÍTULO III METODOLOGÍA .....</b>	<b>56</b>
3.1 Método y alcance de la investigación .....	56
3.1.1 Método de investigación .....	56
3.1.2 Alcance de investigación .....	56
3.2 Diseño de la investigación .....	56
3.3 Población y muestra .....	57
3.3.1 Población.....	57
3.3.2 Muestra.....	57
3.4 Operacionalización de las variables .....	58
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	59
3.5.1 Técnicas de recolección de datos. ....	59
3.5.2 Instrumentos de recolección de datos .....	60
<b>CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>62</b>
4.1 Marco geográfico .....	62
4.1.1 Ubicación política .....	62
4.1.2 Ubicación geográfica .....	62
4.1.3 Delimitación.....	63
4.1.4 Accesibilidad.....	63
4.2 Información previa.....	64
4.2.1 Aspectos geológicos.....	64



4.2.2 Aspectos sísmicos .....	67
4.3 Programa de investigación .....	67
4.3.1 Estudio topográfico .....	67
4.3.2 Estudios geotécnicos .....	71
4.3.3 Criterio de rotura para el macizo rocoso .....	75
4.3.4 Análisis de estabilidad.....	78
4.3.5 Estudio paramétrico .....	88
4.3.6 Efecto sísmico en el factor de seguridad.....	101
4.3.7 Medida de estabilización del talud .....	103
4.4 Discusión de resultados.....	111
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>114</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>116</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>117</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>125</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Influencia de los factores condicionantes en la estabilidad de los taludes ....	19
<b>Tabla 2</b>	Influencia de los factores desencadenantes en la estabilidad de los taludes..	20
<b>Tabla 3</b>	Factores de seguridad a emplear en el análisis de estabilidad de taludes .....	35
<b>Tabla 4</b>	Factor de PGA en Perú (E.030) .....	37
<b>Tabla 5</b>	Aplicación del sistema <i>soil nailing</i> para diferentes tipos de suelo .....	41
<b>Tabla 6</b>	Variables e indicadores - Operacionalización de variables .....	58
<b>Tabla 7</b>	Características de las calicatas y trincheras realizadas .....	72
<b>Tabla 8</b>	Resumen de los resultados del ensayo de cono de arena .....	72
<b>Tabla 9</b>	Resultado de valores de RMR para el tramo de estudio .....	73
<b>Tabla 10</b>	Ensayos de laboratorio realizados.....	73
<b>Tabla 11</b>	Resumen de ensayos estándar realizados en laboratorio .....	74
<b>Tabla 12</b>	Resumen de ensayos especiales realizados en laboratorio .....	74
<b>Tabla 13</b>	Resumen de las propiedades físicas de la roca .....	74
<b>Tabla 14</b>	Parámetros de resistencia del macizo rocoso.....	78
<b>Tabla 15</b>	Parámetros geotécnicos de las secciones de análisis .....	81
<b>Tabla 16</b>	Resumen de los factores de seguridad para el Corte 1.....	83
<b>Tabla 17</b>	Resumen de los factores de seguridad mínimos para el Corte 2.....	86
<b>Tabla 18</b>	Resumen de los factores de seguridad mínimos con bermas .....	87
<b>Tabla 19</b>	Propiedades de resistencia del clavo.....	89
<b>Tabla 20</b>	Influencia de la inclinación de los clavos en el factor de seguridad.....	97
<b>Tabla 21</b>	Parámetros de diseño del sistema <i>soil nailing</i> .....	106
<b>Tabla 22</b>	Resumen del FS global mínimo del talud con el sistema <i>soil nailing</i> .....	110
<b>Tabla 23</b>	Resultado de los factores de seguridad del sistema <i>soil nailing</i> .....	111

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Esquema de un talud de corte y relleno.....	13
<b>Figura 2</b>	Nomenclatura de taludes y laderas.....	14
<b>Figura 3</b>	Desprendimiento de roca.....	15
<b>Figura 4</b>	Deslizamiento rotacional.....	16
<b>Figura 5</b>	Deslizamiento rotacional.....	17
<b>Figura 6</b>	Flujo de detritos.....	18
<b>Figura 7</b>	Indicadores de procesos de reptación.....	19
<b>Figura 8</b>	Parámetros para la investigación del talud.....	21
<b>Figura 9</b>	Clasificación de los métodos de cálculo de estabilidad de taludes.....	23
<b>Figura 10</b>	División de la masa deslizante en una serie de fajas verticales.....	24
<b>Figura 11</b>	Esquema de fuerzas y aspectos geométricos en una rebanada.....	25
<b>Figura 12</b>	Superficie de deslizamiento circular con la masa de suelo subdivida.....	26
<b>Figura 13</b>	Fuerzas que actúan sobre una dovela en el método de Fellenius.....	28
<b>Figura 14</b>	Fuerzas que actúan sobre una dovela en el método de Bishop.....	29
<b>Figura 15</b>	Fuerzas sobre una dovela en el método de Spencer.....	31
<b>Figura 16</b>	Formas de superficie de falla.....	33
<b>Figura 17</b>	Análisis pseudoestático de equilibrio límite para una falla curva.....	36
<b>Figura 18</b>	Zonificación sísmica del Perú.....	37
<b>Figura 19</b>	Mapa de peligro sísmico o isoaceleraciones del Perú.....	38
<b>Figura 20</b>	Esquema básico del claveteado de taludes.....	40
<b>Figura 21</b>	Principales componentes básicos de un sistema soil nailing.....	43
<b>Figura 22</b>	Centralizadores de PVC unidos a una barra sólida.....	45
<b>Figura 23</b>	Detalles del sistema de subdrenaje en el sistema soil nailing.....	45
<b>Figura 24</b>	Modos de rotura principal en sistemas soil nailing.....	46
<b>Figura 25</b>	Modos de falla externos en sistemas soil nailing.....	48
<b>Figura 26</b>	Modos de falla interno en el sistema soil nailing.....	49
<b>Figura 27</b>	Modos de falla en la pantalla de revestimiento en muros soil nailing.....	51
<b>Figura 28</b>	Estructura de clavos en gradas.....	52
<b>Figura 29</b>	Pasos para la construcción de un sistema soil nailing.....	54
<b>Figura 30</b>	Tipos de muestro.....	57
<b>Figura 31</b>	Esquema para seleccionar las técnicas.....	59
<b>Figura 32</b>	Esquema para seleccionar los instrumentos de recolección de datos.....	60
<b>Figura 33</b>	Ubicación política del área de estudio.....	62

<b>Figura 34</b>	Localización del área estudio en el sector de Yahuari .....	63
<b>Figura 35</b>	Montañas estructurales en roca sedimentaria (RMCE-rs).....	64
<b>Figura 36</b>	Columna estratigráfica generalizada del cuadrángulo de Andahuaylas .....	65
<b>Figura 37</b>	Plano geológico de la zona de estudio.....	66
<b>Figura 38</b>	Mapa de distribución de intensidades sísmicas de la región Apurímac .....	67
<b>Figura 39</b>	Equipos usados para el levantamiento fotogramétrico.....	68
<b>Figura 40</b>	Procesamiento digital fotogramétrico en el programa Pix4D .....	69
<b>Figura 41</b>	Modelo digital 3D del terreno generado en el programa Pix4D .....	70
<b>Figura 42</b>	Ortofoto del área de estudio, sector de Yahuari .....	70
<b>Figura 43</b>	Excavación y toma de muestra de suelo en la calicata N°01 .....	71
<b>Figura 44</b>	Ubicación de las secciones a ser analizadas .....	79
<b>Figura 45</b>	Perfil estratigráfico del corte 1-1 .....	80
<b>Figura 46</b>	FS del corte 1 en condiciones estáticas .....	82
<b>Figura 47</b>	FS del corte 1 en condiciones pseudoestáticas .....	83
<b>Figura 48</b>	FS del corte 2 en condiciones estáticas .....	84
<b>Figura 49</b>	FS del corte 2 en condiciones pseudoestáticas .....	85
<b>Figura 50</b>	Reconformación de la geometría del talud.....	86
<b>Figura 51</b>	FS estático del talud con la geometría modificada.....	87
<b>Figura 52</b>	FS pseudoestático del talud con la geometría modificada .....	88
<b>Figura 53</b>	VARIABLES consideradas en el análisis paramétrico .....	89
<b>Figura 54</b>	Efecto de la separación del clavo en el factor de seguridad, $i=0^\circ$ .....	90
<b>Figura 55</b>	Efecto de la separación del clavo en el factor de seguridad, $i=5^\circ$ .....	90
<b>Figura 56</b>	Efecto de la separación del clavo en el factor de seguridad, $i=10^\circ$ .....	91
<b>Figura 57</b>	Efecto de la separación del clavo en el factor de seguridad, $i=20^\circ$ .....	91
<b>Figura 58</b>	Efecto de la separación del clavo en el factor de seguridad, $i=30^\circ$ .....	92
<b>Figura 59</b>	Efecto de la separación del clavo en el factor de seguridad, $i=45^\circ$ .....	92
<b>Figura 60</b>	Efecto de la separación del clavo en el factor de seguridad, $i=50^\circ$ .....	93
<b>Figura 61</b>	Efecto de la separación del clavo en el factor de seguridad, $i=65^\circ$ .....	93
<b>Figura 62</b>	Efecto de la separación del clavo en el factor de seguridad $H/L=0.90$ .....	94
<b>Figura 63</b>	Efecto de la inclinación del nail en el factor de seguridad, $S=1.20m$ .....	95
<b>Figura 64</b>	Efecto de la inclinación del nail en el factor de seguridad, $S=1.50m$ .....	95
<b>Figura 65</b>	Efecto de la inclinación del nail en el factor de seguridad, $S=1.80m$ .....	96
<b>Figura 66</b>	Efecto de la inclinación del nail en el factor de seguridad, $S=2.20m$ .....	96
<b>Figura 67</b>	Efecto de la inclinación del nail en el factor de seguridad, $S=2.50m$ .....	97

<b>Figura 68</b> Efecto de la inclinación del nail en el factor de seguridad $H/L = 0.90$ .....	98
<b>Figura 69</b> Efecto de la relación entre la longitud del nail y la altura del muro ( $L/H$ ) en el factor de seguridad, $i=0^\circ$ .....	99
<b>Figura 70</b> Efecto de la relación entre la longitud del nail y la altura del muro ( $L/H$ ) en el factor de seguridad, $i=20^\circ$ .....	99
<b>Figura 71</b> Efecto de la relación entre la longitud del nail y la altura del muro ( $L/H$ ) en factor de seguridad, $i=30^\circ$ .....	100
<b>Figura 72</b> Efecto de la relación entre la longitud del nail y la altura del muro ( $L/H$ ) en factor de seguridad, $i=50^\circ$ .....	100
<b>Figura 73</b> Efecto de la relación entre la longitud del nail y la altura del muro ( $L/H$ ) en factor de seguridad, $i=65^\circ$ .....	101
<b>Figura 74</b> Efecto de la aceleración sísmica en el factor de seguridad, $S = 1.20m$ ....	101
<b>Figura 75</b> Efecto de la aceleración sísmica en el factor de seguridad, $S = 1.80m$ ....	102
<b>Figura 76</b> Efecto de la aceleración sísmica en el factor de seguridad, $S = 2.50m$ ....	102
<b>Figura 77</b> Parámetros iniciales del soil nailing .....	103
<b>Figura 78</b> Variación del factor de seguridad respecto a la resistencia de tensión del clavo .....	104
<b>Figura 79</b> Resistencia a la tensión para diferentes diámetros de clavo.....	104
<b>Figura 80</b> Variación del factor de seguridad respecto a la resistencia de cabeza del clavo .....	105
<b>Figura 81</b> Valores de esfuerzo ultimo de unión estimada para clavos en suelos y rocas .....	105
<b>Figura 82</b> Variación del factor de seguridad respecto a la resistencia al arrancamiento del nail .....	106
<b>Figura 83</b> Fuerza de máxima de tracción en el clavo ( $T_{max}$ ).....	108
<b>Figura 84</b> FS estático global mínimo del talud con el sistema soil nailing .....	109
<b>Figura 85</b> FS pseudoestático global mínimo del talud con el sistema soil nailing ...	110

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio es determinar en qué medida el uso del sistema *soil nailing*, conseguirá solucionar la inestabilidad del talud, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450. La investigación que se ha desarrollado usa el método inductivo, con un alcance descriptivo y un diseño no experimental - trasversal, elaborado con una muestra de 150 m de la carretera PE-3S. Como técnica principal se utilizó la observación científica, así como el análisis documental, y como instrumentos se manejaron las fichas de observación de campo y laboratorio, por medio de las cuales se obtuvieron datos como la topografía, geología, geotécnica y sísmica del área de estudio. El cálculo del factor de seguridad del talud se realizó mediante el uso del software Slide siguiendo los métodos de Bishop simplificado, Spencer y Morgenstern Price y tomando en cuenta los criterios de rotura de Mohr-Coulomb y Hoek & Brown generalizado. Se obtuvieron factores de seguridad de 1.02 en condiciones estáticas y 0.83 en condiciones pseudoestáticas, siendo estos valores inferiores a los que se indica en el Reglamento Nacional de Edificaciones. Debido a esto, se realizó el diseño del sistema *soil nailing*, con los procedimientos indicados por la Administración Federal de Carreteras, donde los nuevos factores de seguridad obtenidos mediante la inclusión de anclajes pasivos al talud fueron de 1.58 en condiciones estáticas y 1.28 en condiciones pseudoestáticas. Se concluyó que, mediante el uso del sistema *soil nailing*, se consigue solucionar la inestabilidad del talud, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450 sector Yahuarí.

*Palabras clave:* talud, *soil nailing*, anclaje pasivo

## ABSTRACT

The objective of this study is to determine to what extent the use of the *soil nailing* system will solve the slope instability on the PE-3S road, kilometer 628+300 to 628+450. The research that has been developed uses the inductive method, with a descriptive scope and a non-experimental - transversal design, elaborated with a sample of 150m of the PE-3S road. Scientific observation was used as the main technique, as well as documentary analysis, and field and laboratory observation sheets were used as instruments, through which data such as topography, geology, geotechnical and seismic data of the study area were obtained.

The calculation of the slope safety factor was carried out using Slide software following the simplified Bishop, Spencer, and Morgenstern Price methods. Considering the Mohr - Coulomb and generalized Hoek & Brown failure criteria. Safety factors of 1.02 in static conditions and 0.83 in pseudo-static conditions were obtained, these values being lower than those indicated in the National Building Regulations. Due to this, the design of the *soil nailing* system was carried out according to the procedures indicated by the Federal Highway Administration. The new safety factors obtained by including passive anchors to the slope were 1.58 in static conditions and 1.28 in pseudo-static conditions. It is concluded that the use of the *soil nailing* system can solve the slope instability in the PE-3S highway, kilometer 628+300 to 628+450, Yahuarí sector.

*Keywords:* slope, *soil nailing*, passive anchorage

## INTRODUCCIÓN

Uno de fenómenos naturales y más destructivos que afectan a los seres humanos son los deslizamientos de laderas y taludes; estos ocurren de manera repentina sin previo aviso provocando cuantiosas pérdidas económicas, daños a las estructuras aledañas y la pérdida de vidas humanas. El departamento de Apurímac no ha sido ajeno a este tipo de fenómenos naturales, donde en las temporadas de mayor precipitación pluvial (noviembre a marzo) ocurren con mayor frecuencia, dejando incomunicadas poblaciones enteras por varios días.

En la longitudinal de la sierra sur (PE-3S), se ha podido observar y evidenciar la ocurrencia de estos fenómenos a lo largo de su recorrido, consistiendo principalmente en deslizamientos traslacionales y caídas de rocas en el km 628+300 al 628+450 de la longitudinal de la sierra sur, ubicada en el sector de Yahuarí, distrito de Santa María de Chicmo; estos deslizamientos vienen afectando a la calzada y obras de arte de la vía, poniendo en riesgo a los transportistas y población en general.

En la actualidad existe una gran cantidad de medidas para solucionar y controlar este tipo de problemas como los muros de contención, muros anclados, muros de tierra reforzada, uso de pilotes antideslizantes, etc. Uno de los métodos que se ha venido popularizando en nuestro territorio es la utilización de muros claveteados (*soil nailing*) los cuales son usados para estabilizar los taludes en carreteras y en la construcción sótanos.

Para realizar el diseño y las verificaciones del sistema *soil nailing* se tuvo que realizar investigaciones topográficas, geológicas, hidrogeológicas y geotécnicas. Los estudios topográficos se realizaron mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados (drones) los cuales permitieron conocer el relieve del terreno. Las investigaciones geológicas se realizaron mediante cartas geológicas publicadas por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET); estos estudios aportaron información acerca de la formación y las unidades litológicas presentes en la zona de estudio. Por otro lado, los estudios geotécnicos realizados a los suelos y las rocas presentes en la zona de estudio se realizaron mediante la ejecución de calicatas a distintas profundidades, los cuales permitieron conocer las propiedades físicas y mecánicas de los suelos y la roca.

El factor de seguridad determinístico al deslizamiento del talud se obtuvo mediante la ayuda de softwares geotécnicos de análisis de estabilidad de taludes, mientras que el diseño y la verificación a los diferentes modos de falla del sistema *soil*



*nailing* se realizó de manera analítica siguiendo las indicaciones realizadas por la Administración Federal de Carreteras (FHWA).

El trabajo de investigación comprende cuatro capítulos, los que se detallan de la siguiente manera:

Capítulo I: Se consigna el planteamiento del estudio teniendo los siguientes subtemas, planteamiento y formulación del problema, objetivos de la investigación (generales y específicos), justificación e importancia de la investigación y, por último, las hipótesis y descripción de las variables de la investigación.

Capítulo II: Está compuesto por el marco teórico, en el cual se describe los antecedentes del problema (internacional, nacional y local), bases teóricas y definición de términos básicos.

Capítulo III: Está constituido por la metodología de investigación y se conforma de la siguiente manera: por el método y alcance de investigación, diseño de la investigación, población y muestra y las técnicas e instrumentos para la recolección de datos.

Capítulo IV: Se presentan los resultados y discusión de la investigación. Se consideran los siguientes temas: presentación de los resultados de las exploraciones realizadas y discusión de los resultados. Para finalizar, también se han redactado las conclusiones y recomendaciones del trabajo; se presenta también los anexos que representan la complementación del trabajo de investigación que se ha realizado.

El investigador.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

#### **1.1 Planteamiento y formulación del problema**

“La red vial nacional está compuesta por tres (03) ejes longitudinales (PE-1, PE-3 y PE-5), los mismos que se dividen con trayectorias norte y sur respectivamente” (1 p. 2). La ruta nacional PE-3S o longitudinal de la sierra sur, inicia su recorrido en el kilómetro 00+000 ubicado en la repartición de La Oroya empalme con las rutas PE-3N y PE-22, provincia Yauli, distrito de La Oroya, departamento de Junín, atravesando en su recorrido seis departamentos (Junín, Huancavelica, Ayacucho, Apurímac, Cusco y Puno), 30 provincias y 125 distritos, finalizando su recorrido en la frontera sureste del país vecino de Bolivia en el distrito de Desaguadero departamento de Puno, la cual posee una longitud de 1510 km (1).

En su recorrido por el departamento de Apurímac, se puede evidenciar diferentes tipos de inconvenientes en la ruta, siendo una de las más habituales la inestabilidad de taludes y laderas, las cuales se originaron a raíz de su propia construcción. “La inestabilidad de estos taludes obedece a una gran diversidad de procesos geológicos, hidrogeológicos, químicos y mecánicos que se dan en la corteza terrestre y en la interface entre esta” (2 p. 19); en este contexto, se menciona además que los factores más influyentes como las intensas lluvias, la sismicidad, la topografía, el grado de meteorización y otros eventos (incluyendo la acción del hombre) actúan sobre los taludes y laderas para desestabilizarlas y cambiar, su relieve a una condición más plana.

Desde el kilómetro 628+300 al kilómetro 628+450 de la longitudinal de la sierra sur, se ha podido observar y evidenciar en los períodos de mayor precipitación pluvial, el deslizamiento de suelos y caída de fragmentos de roca meteorizada de las partes más altas al pie del talud, las cuales, si bien aún no han causado la pérdida de vidas humanas, viene afectando la vía de circulación, deteriorando las obras de arte y la calzada de la vía, pudiendo en un futuro deslizarse provocando bloqueos en la vía y la pérdida de vidas humanas en el peor de los casos. Este problema se origina debido a que el talud

de la carretera PE-3S kilómetro 628+330 al kilómetro 628+450 ubicado en el sector de Yahuarí carece de una adecuada técnica para la prevención y mitigación de los deslizamientos de suelos y/o rocas, esto debido a la falta de estudios ínsitos y la aplicación de modelos constructivos que sean seguros, económicos y eficaces, que aseguren la inestabilidad del talud.

En la actualidad, en nuestro territorio existen muchas metodologías para la contención y estabilización de taludes, siendo las más comunes y difundidas el uso de muros de contención (contrafuertes, voladizo, mampostería, etc.), las cuales se encuentran en su gran mayoría normadas y reguladas en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Sin embargo, en esta investigación se dará el uso del sistema *soil nailing* como alternativa de solución a la inestabilidad del talud que se presenta en la carretera PE-3S kilómetro 628+330 al kilómetro 628+450 ubicado en el sector de Yahuarí.

Ocurre muchas veces que los proyectos poseen ciertas limitaciones (técnicas, espaciales, ambientales, estéticas, construcción y costo), que requieren la aplicación de nuevas soluciones, como pueden ser los suelos reforzados, anclajes, *soil nailing*, micropilotes, etc. Aunque aún no muy difundidas y conocidas en la mayoría de los casos, se han ido popularizando cada vez más en la estabilización de taludes en nuestro territorio. No obstante, “se observa con alguna frecuencia la ausencia de normas y referencias que regulen los proyecto y la utilización de este tipo de estructuras” (3 p. 1), prueba de ello es que en nuestro reglamento actual (RNE) no se mencionan y/o normalizan diversas técnicas de muros de contención (*soil nailing*, muros reforzados, etc.). Resulta evidente que la normativa actual no puede impedir el uso de estos nuevos sistemas en sus obras, pero tampoco puede quedarse a expensas en proyectos audaces y con soluciones poco experimentadas, por lo que la presente investigación pretende determinar si el empleo del sistema *soil nailing*, es una buena alternativa para solucionar la inestabilidad del talud, variando los parámetros de inclinación, separación, la relación entre la longitud del clavo y la altura del muro (L/H) para observar cómo influyen en el factor de seguridad global del talud.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿En qué medida el uso del sistema *soil nailing*, conseguirá solucionar la inestabilidad del talud en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450 sector Yahuarí, distrito de Santa María de Chicmo - 2021?

### **1.2.2 Problema específico**

- ¿Cómo influye el ángulo de inclinación de los anclajes en el factor de seguridad del talud mediante la inclusión del sistema soil nailing, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450, sector de Yahuarí distrito de Santa María de Chicmo - 2021?
- ¿Cómo influye la separación de los anclajes en el factor de seguridad del talud mediante la inclusión del sistema soil nailing, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450, sector de Yahuarí distrito de Santa María de Chicmo -2021?
- ¿Cómo influye la relación de longitud del clavo entre la altura del muro en el factor de seguridad del talud mediante la inclusión del sistema soil nailing, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450, sector de Yahuarí distrito de Santa María de Chicho - 2021?
- ¿Cómo influye la aplicación de cargas sísmicas en el factor de seguridad del talud mediante la inclusión del sistema soil nailing, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450, sector de Yahuarí distrito de Santa María de Chicmo - 2021?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Determinar si el uso del sistema *soil nailing*, conseguirá solucionar la inestabilidad del talud, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450 sector Yahuarí, distrito de Santa María de Chicmo - 2021.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Determinar la influencia del ángulo de inclinación de los anclajes en el factor de seguridad del talud mediante la inclusión del sistema soil nailing, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450, sector de Yahuarí distrito de Santa María de Chicmo - 2021.
- Determinar la influencia de la separación de los anclajes en el factor de seguridad del talud mediante la inclusión del sistema soil nailing, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450, sector de Yahuarí distrito de Santa María de Chicmo - 2021.
- Determinar la influencia de la relación longitud del clavo entre la altura del muro en el factor de seguridad del talud mediante la inclusión del

sistema soil nailing, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450, sector de Yahuarí distrito de Santa María de Chicmo - 2021.

- Determinar la influencia de la aplicación de cargas sísmicas en el factor de seguridad del talud, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450, sector de Yahuarí distrito de Santa María de Chicmo - 2021.

## **1.4 Hipótesis**

### ***1.4.1 Hipótesis general***

El uso del sistema *soil nailing*, conseguirá solucionar la inestabilidad del talud, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450 sector Yahuarí, distrito de Santa María de Chicmo - 2021.

### ***1.4.2 Hipótesis específicas***

- La inclinación de los anclajes sí influye en el factor de seguridad del talud mediante la inclusión del sistema soil nailing, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450, sector de Yahuarí distrito de Santa María de Chicmo -2021.
- La separación de los anclajes sí influye en el factor de seguridad del talud mediante la inclusión del sistema soil nailing, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450, sector de Yahuarí distrito de Santa María de Chicmo -2021.
- La relación longitud del clavo entre la altura del muro sí influye en el factor de seguridad del talud mediante la inclusión del sistema soil nailing, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450, sector de Yahuarí distrito de Santa María de Chicmo - 2021.
- La aplicación de cargas sísmicas sí influye en el factor de seguridad del talud, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450, sector de Yahuarí distrito de Santa María de Chicmo - 2021.

## **1.5 Justificación e importancia**

En el ámbito mundial, nacional y local, los problemas relacionados con los deslizamientos de masas de suelos son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los seres humanos produciendo considerables pérdidas económicas, así como la pérdida de centenares de vidas humanas; es por ello que en las últimas décadas se han estudiado nuevos métodos para solucionar y/o mitigar estos problemas

relacionados a la estabilidad de taludes, tales como los muros *soil nailing*, muros de suelo reforzado, muros *redi-rock*, muros anclados, entre otros.

La presente investigación surge de la necesidad de conocer si el sistema *soil nailing*, es una propuesta viable de solución a la inestabilidad del talud en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450, debido a que, actualmente la definición y los procesos que conllevan el análisis y cálculo de este tipo de sistemas no se encuentran estrictamente establecidos en las normativas vigentes peruanas. Por ello, se pretende brindar y ampliar los conocimientos que se tienen al respecto de esta variable y su influencia en la estabilización de taludes, para lo cual se realizará el cálculo respectivo de este tipo de muros con las normas y manuales que se tienen hasta el momento generando un modelo que será simulado en softwares de análisis de estabilidad de talud, a fin de conocer la influencia en el factor de seguridad (FS).

## CAPÍTULO II

### MARCO TEORICO

#### 2.1 Antecedentes del problema

##### 2.1.1 Antecedentes internacionales

Alsubal et al. (4), en su artículo “A typical design of soil nailing system for stabilizing a soil slope: Case study”, realizaron un estudio sobre el sistema *soil nailing*, en términos de su inclinación, espaciamiento y longitud, para determinar la configuración más adecuada para la estabilización de un talud de suelo homogéneo. Para encontrar el sistema más adecuado, aplicó diferentes valores de inclinación, longitud y espaciamiento de clavos. El talud de suelo homogéneo tuvo inclinaciones de 30°, 40°, 45°, 60°, 70° y 90° respectivamente, evaluando el factor de seguridad global para cada una de las inclinaciones. Llegó a concluir que los parámetros del clavo como la inclinación, el espaciamiento y la longitud tienen un efecto significativo en el factor de seguridad global del talud. Para taludes con inclinaciones de 30°, 45°, 60°, 70° y 90° se obtuvo un mejor factor de seguridad cuando los clavos tenían una inclinación de 10°, 15°, 20° y 50° con respecto a la horizontal. El efecto de la inclinación sobre el factor de seguridad es leve cuando se poseen inclinaciones de 5° y 20° con respecto a la horizontal. Asimismo, determinó que la estabilidad global del talud disminuye con el aumento de la separación de los clavos, mientras que la longitud de los clavos tiene un efecto más significativo en la estabilidad del talud si este posee una superficie de falla profunda y va disminuyendo a medida que la superficie de falla se hace superficial.

Elahi et al. (5), en su artículo “Parametric assessment of soil nailing on the stability of slopes using numerical approach”, se enfocaron en evaluar el efecto de la geometría del talud y los parámetros del clavo (inclinación, longitud y separación), en el factor de seguridad global del talud mediante el empleo del sistema *soil nailing*. Para evaluar la geometría del talud se consideraron cuatro ángulos de inclinación ( $\beta = 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$  y  $90^\circ$ ) y tres ángulos inclinación de contrapendiente ( $\alpha = 0^\circ, 10^\circ$  y  $20^\circ$ ); mientras que, para ver la influencia de longitud de los clavos, este varió en longitudes

de 5 y 12 m respectivamente. Además, para evaluar el efecto de la separación de los clavos, se consideró una separación vertical de 1.25 m, 1.50 m, 1.75 m y 2.00 m, manteniendo constante la separación horizontal en 1 m. Los autores llegaron a la conclusión de que, mediante el aumento de la inclinación de los clavos, se observa un aumento inicial en el factor de seguridad llegando a un pico máximo y seguido de un descenso en el factor de seguridad global del talud; la inclinación más óptima de los clavos se encuentran entre los rangos de  $10^\circ$  a  $25^\circ$  con respecto a la horizontal, dependiendo de las diferentes inclinaciones del talud y contrapendiente que se posean. De forma similar que, mediante el aumento de la longitud del clavo L/H (Longitud del clavo/altura del talud), aumenta el factor de seguridad del talud; sin embargo, la influencia de la longitud del clavo se ve reducida cuando el valor de L/H es menor que 0.90, destacando que la inclusión de clavos en el talud con parámetros óptimos de inclinación, separación y longitud puede aumentar el factor de seguridad entre un 29 a 75% en función de la geometría del talud.

Rawat y Chatterjee (6), en su artículo “Seismic stability analysis of soil slopes using soil nails”, realizaron el análisis de estabilidad de talud bajo la aplicación de cargas sísmicas empleando el sistema *soil nailing*. El análisis de estabilidad se realizó en un talud de suelo homogéneo, calculando el factor de seguridad mediante el método de equilibrio límite, considerando para ello las fuerzas estabilizantes y desestabilizantes respectivamente, variando la inclinación de los clavos, la aceleración sísmica horizontal y vertical, así como el ángulo de fricción interna, y observar cómo estos parámetros influyen en el factor de seguridad global del talud. Llegaron a la conclusión principal de que el factor de seguridad global del talud disminuye a medida que se aumentan los coeficientes de aceleración sísmica, debido a que las fuerzas desestabilizantes superan a las fuerzas estabilizantes. El aumento del valor del ángulo de fricción interna del suelo suele producir un aumento en el factor de seguridad global del talud, debido a que la resistencia al corte del suelo aumenta. Asimismo, se determinó que, a medida que el ángulo de inclinación del clavo aumenta, el factor de seguridad disminuye, esto debido a una reducción en la capacidad a la extracción del clavo. Sin embargo, ángulos de inclinación bajos del clavo, se traducen en mejores capacidades a la extracción del clavo, lo que aumenta las fuerzas que se oponen al deslizamiento aumentando el factor de seguridad global del talud.

Campos (7) desarrolló un trabajo de investigación titulado “Diseño de propuestas constructivas soil nailing para estabilidad de taludes en sitios de la red



nacional de telecomunicaciones del ICE”, con la finalidad de optar el grado de Licenciado en Ingeniería de Construcción, en el Instituto Tecnológico de Costa Rica. El proyecto de investigación tuvo como finalidad diseñar propuestas constructivas de muros soil nailing para la estabilización de taludes y laderas del instituto costarricense de electricidad, asimismo, recomendar estudios de campo y laboratorio a mediano y corto plazo en los lugares donde no existen soluciones de estabilidad, para lo cual realizó estudios topográficos, geotécnicos y desarrolló modelos de estabilidad de talud con la ayuda del software Slide. Campos llegó a la conclusión de que los sistemas soil nailing generan estabilidad en los taludes; asimismo, concluye que el método de Fellenius, presenta una inconsistencia en la forma de la superficie de falla, en comparación a los métodos de Bishop simplificado y Janbú simplificado, debido a que el método de Fellenius es un método muy aproximado para taludes con alta presión de poros.

Bravo y Lumbi (8) desarrollaron un trabajo de investigación titulado “Análisis de la estabilidad de talud en la carretera Guanujo - Echeandía en el sector Agua Blanca”, con la finalidad de optar el título de Ingeniero Civil, en la Universidad de Guayaquil. La investigación tuvo por finalidad proponer alternativas de solución para mejorar la estabilidad del talud en la vía Guanujo - Echeandía, analizando los principales parámetros que contribuyen y conllevan a la falla de talud, como son los factores geotécnicos, geomorfológicos, topográficos, hidrológicos y geológicos. Llegó a la conclusión de que la topografía del terreno y las altas precipitaciones pluviales son los principales factores por los que ocurren los deslizamientos, debido a que el agua satura al suelo haciéndolo más pesado y, propiciado por una topografía empinada, provocan de esta manera que ocurran los deslizamientos.

### ***2.1.2 Antecedentes nacionales***

Mendo (9) desarrolló un trabajo de investigación titulado “Análisis de estabilidad del talud del Megacentro comercial 30 de enero y propuesta de solución con el sistema Soil nailing – Jicamarca, 2018”, con la finalidad de optar el título de Ingeniero Civil, en la Universidad César Vallejo. La investigación tuvo por objetivo determinar la influencia del sistema soil nailing en la estabilidad del talud, para lo cual realizó una exploración geotécnica del suelo, así como el diseño de los elementos estructurales y no estructurales del sistema de suelo claveteado. Los resultados obtenidos en los modelos computacionales fueron positivos, concluyendo que el sistema de suelo claveteado es un método que mejora la estabilidad de los taludes,

debido a que los factores de seguridad calculados en los análisis fueron mayores a la unidad; concluyendo, además, que la separación entre los clavos (1 m, 1.5 m y 2 m) influyen decisivamente en el factor de seguridad del talud.

Paccini (10) desarrolló un trabajo de investigación titulado “Análisis de alternativas técnico - económicas para estabilizar el talud ubicado en el km 3+310 al km 3+490 de la vía Chontayoc - Tinyash, distrito de Independencia - Huaraz – Ancash”, con la finalidad de optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. El objeto de la tesis fue analizar tres alternativas de solución para corregir el problema de inestabilidad que ocurre en los taludes, estas tres alternativas consistieron principalmente en el reforzamiento de la superficie con geosintéticos, muros anclados y muros de contención, los cuales fueron modelados en programas computacionales de estabilidad de taludes en condiciones estáticas y pseudoestáticas. Los resultados que obtuvo muestran que las alternativas de muros anclados y reforzamiento con geosintéticos son las más apropiadas para estabilizar el talud, dado que cumplen con los factores de seguridad mínimos establecidos en la Norma CE.020; concluyó que la alternativa de solución viable económica y técnica para estabilizar el talud es el reforzamiento de la superficie con geosintéticos.

Ávila (11) desarrolló un trabajo de investigación titulado “Análisis sísmico - dinámico en taludes para aseguramiento de estructuras de irrigación Sangallaya - Huarochirí - Región Lima 2017”, con la finalidad de optar el título de Ingeniero Civil, en la Universidad César Vallejo, la investigación tuvo como objetivo principal evaluar cómo el análisis sísmico - dinámico ayudará a la protección de las estructuras de irrigación. La población de la investigación estuvo conformada por las estructuras de la irrigación Sangallaya, llegando a la conclusión que los taludes con mayor pendiente son más propensos a sufrir deslizamientos de suelo y/o roca y que, en un escenario posible de saturación del suelo por efectos de la lluvia, provocarían fallas en el talud; asimismo, los sismos tienden a desestabilizar el talud debido a la pérdida de fuerzas resistentes del suelo.

Sackschewski (12) desarrolló un trabajo de investigación titulado “Soluciones para la estabilidad de taludes de la carretera Canta – Huayllay entre las progresivas del km 102 al km 110”, con la finalidad de optar el título de Ingeniero Geólogo en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. El objetivo de la investigación fue brindar soluciones que sean geotécnicamente seguras, eficaces y económicamente viables para mejorar la estabilidad de los taludes, para lo cual realizó un programa de

exploración geológico - geotécnica en suelos y rocas para obtener los principales parámetros resistentes del suelo; consecutivamente, efectuó el análisis estático y pseudoestático en programas computacionales de estabilidad de taludes teniendo en cuenta los criterios de rotura de Hoek & Brown y Mohr-Coulomb. Sackschewski llegó a la conclusión de que los problemas de inestabilidad presentes en la zona de estudio fueron generados por una mala metodología en la ejecución de los cortes, así como el pésimo control de las aguas superficiales en taludes y laderas. Recomienda reconformar los taludes mediante bancos y usar zanjas de coronación para realizar el control de las filtraciones de agua.

Arteaga (13) desarrolló un trabajo de investigación titulado “Análisis geológico - geotécnico en los taludes de la carretera Choropampa – Magdalena”, con la finalidad de optar el título de Ingeniero Geólogo, en la Universidad Nacional de Cajamarca. Esta investigación analizó el comportamiento geológico - geotécnico en los taludes de la carretera, y cómo influye en su inestabilidad; para ello, se identificaron las propiedades litológicas, físicas, geomecánicas de los materiales que conforman los taludes, y factores condicionantes, localizando con ello las zonas críticas de inestabilidad que son susceptibles a deslizamientos. Se estudiaron 15 taludes que fueron analizados y modelados en el software Slide, consiguiendo los factores de seguridad del talud en suelos y rocas, en condiciones normales, de saturación y pseudoestático, concluyendo que los taludes pronunciados son más propensos a sufrir deslizamientos de suelo, principalmente en épocas de mayor precipitación pluvial, por lo que el riesgo de sufrir fallas en esta carretera es alto, debiendo utilizarse medidas de protección para mitigar posibles fallas en el talud. Recomienda el uso de cunetas de coronación y estructuras de contención en las laderas para evitar deslizamientos de tierra a causa de posibles avenidas.

## **2.2 Bases teóricas**

### ***2.2.1 Talud***

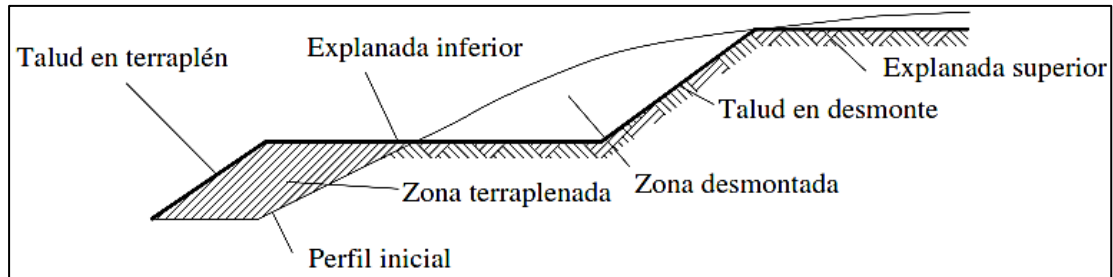
Con respecto a la definición de talud y ladera, varios autores coinciden en mencionar que:

Bajo el nombre genérico de talud denominamos a las superficies inclinadas, con respecto a la horizontal, que adoptan permanente o provisionalmente las estructuras de tierra. Estos pueden ser artificiales, cuando están contruidos por el hombre en sus obras de ingeniería (terraplén o desmonte), o naturales

(laderas). Asimismo, pueden ser de suelos, rocas o mixtos, variando a su vez la metodología de estudio (14 p. 1) (ver Figura 1).

### Figura 1

*Esquema de un talud de corte y relleno*



Fuente: (15 p. 165).

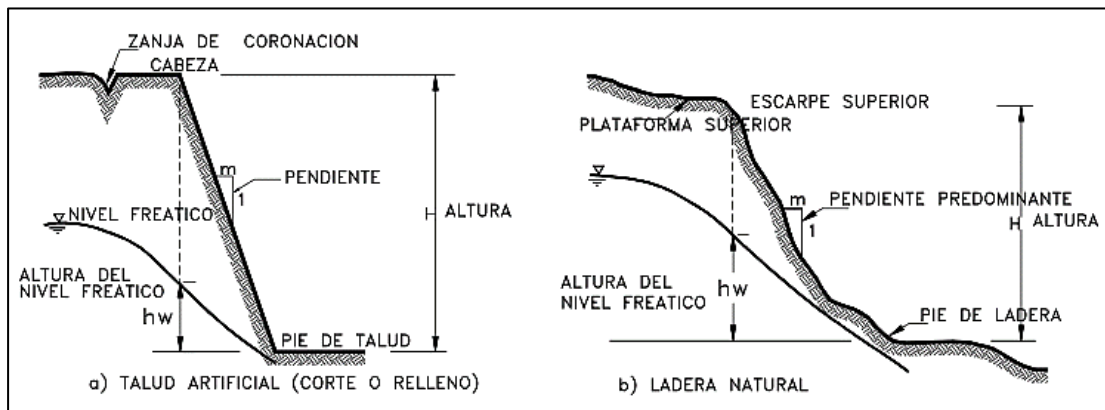
**2.2.1.1 Partes de un talud.** Un talud o ladera está constituido de los siguientes elementos (16):

- **Altura:** Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza; en el caso de taludes artificiales esta se puede distinguir claramente, pero en el caso de laderas es más complicado caracterizar debido a que la cabeza y el pie no son accidentes topográficos bien marcados.
- **Pie de ladera:** Es el sitio donde se origina un cambio violento de la pendiente en la parte inferior del talud o ladera.
- **Cabeza:** Es el sitio donde ocurre un cambio violento de la pendiente en la parte superior del talud o ladera.
- **Altura de nivel freático:** Es la distancia vertical entre el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua. La altura del nivel freático se mide por debajo de la cabeza del talud.
- **Pendiente:** Es la inclinación del talud o ladera, puede ser medida en grados, porcentaje o en relación.

En la Figura 2 se muestra la nomenclatura de un talud artificial, así como el caso de una ladera natural o simplemente ladera.

**Figura 2**

*Nomenclatura de taludes y laderas*



Fuente: (16 p. 12).

### **2.2.2 Movimiento de ladera**

Los movimientos de ladera o movimientos de masas son fenómenos naturales que ocurren en los taludes (naturales y artificiales), debido a una gran variedad de factores que afectan su estabilidad, “de tal manera que conceptos tales como procesos de remoción, movimientos de ladera, procesos gravitacionales, movimientos de terrenos, procesos de ladera, son empleados ampliamente para indicar que una ladera no es estable” (17 p. 5).

### **2.2.3 Tipos de movimientos de ladera**

“La inestabilidad de taludes o laderas se traduce en una serie de movimientos, que pueden ser clasificados en base a distintos criterios” (18 p. 12). Conocidos científicos, entre ellos Hutchinson (1988), distinguen cinco diferentes tipos movimientos de ladera siendo estos: desprendimientos, vuelcos, deslizamientos, expansión lateral y flujos (15), los cuales se desarrollan en los párrafos siguientes.

**2.2.3.1 Desprendimientos o caída de rocas.** El desprendimiento es un “movimiento de una porción de suelo (o roca) que en gran parte de su trayectoria descende por el aire en caída libre, y vuelve a estar en contacto con el terreno, donde se producen saltos, rebotes y rodaduras” (15 p. 80) (ver la Figura 3). “Aunque los bloques desprendidos pueden ser de poco volumen, al ser procesos repentinos suponen riesgo importante en vías de comunicación y edificaciones en zonas de montaña y al pie de los acantilados” (19 p. 628).

**Figura 3**  
*Desprendimiento de roca*



Fuente: (20)

**2.2.3.2 Vuelco o desplome.** “Un volcamiento consiste en una rotación hacia adelante en el sentido del talud, de una masa de suelo o roca alrededor de un punto o eje bajo el centro de gravedad de la masa desplazada” (21 p. 18). “Los vuelcos se pueden considerar exclusivamente de medios rocosos, condicionados por la disposición estructural de los estratos hacia el interior del talud y en sistema de discontinuidades bien desarrollados” (18 p. 15). Existe una variedad de estos movimientos, siendo las más comunes vuelco por flexión, vuelco por bloques y vuelco mixto.

**2.2.3.3 Deslizamiento.** “Los deslizamientos son movimientos que se producen al superarse la resistencia al corte del material y tiene lugar a lo largo de una o varias superficies o a través de una franja relativamente estrecha del material” (18 p. 16). Los deslizamientos se suelen producir de tres formas diferentes, siendo estos: deslizamiento rotacional, deslizamiento traslacional y deslizamiento en cuña, las cuales se describen en los siguientes párrafos.

**2.2.3.3.1 Deslizamiento rotacional.** El deslizamiento rotacional es aquella que se caracteriza principalmente porque la superficie de falla resulta ser cóncava, es decir, hacia arriba en forma de una cuchara; por lo general este tipo de fallas suelen suceder en suelos cohesivos como las arcillas blandas, aunque también pueden ocurrir en formaciones de rocas blandas (17) (ver la Figura 4).

## Figura 4

### *Deslizamiento rotacional*



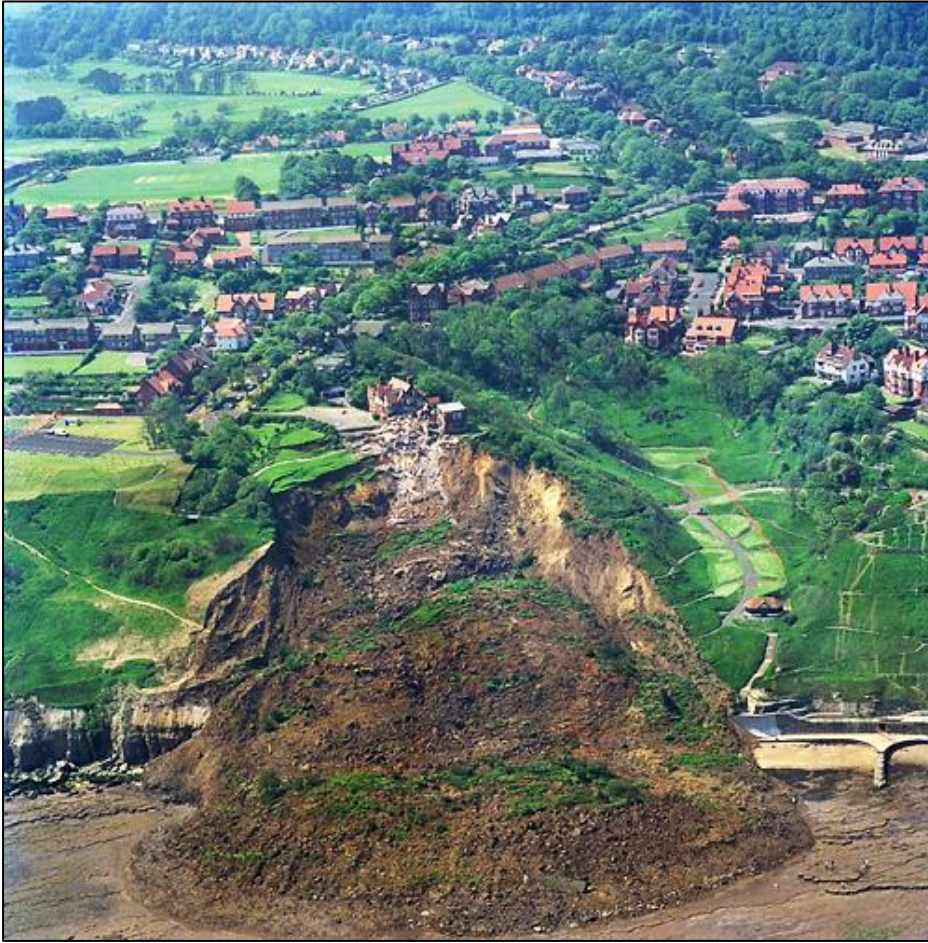
Fuente: (22)

**2.2.3.3.2 Deslizamiento en cuña.** Los deslizamientos en cuña son propios de masas rocosas, en los que la falla está orientada a lo largo de la línea de intersección de dos discontinuidades planas. Este tipo de deslizamientos ocurren mayoritariamente en taludes artificiales y menor cantidad en taludes naturales (15).

**2.2.3.3.3 Deslizamiento traslacional.** “Los movimientos traslacionales se producen mayormente por factores desencadenantes originados por el hombre, en cortes de taludes para estructuras viales o de canalización, o por erosiones pluviales” (23 p. 16) (ver Figura 5). “Los deslizamientos traslacionales son comúnmente controlados por superficies débiles tales como fallas, juntas, fracturas, planos de estratificación, foliación, *slickensides* o por el contacto entre la roca y los suelos blandos o coluviales” (21 p. 17).

## Figura 5

### *Deslizamiento rotacional*



Fuente: (24)

**2.2.3.4 Expansión lateral.** La propagación o expansión lateral es un “movimiento de masas terreas, que ocurren en pendientes muy suaves, que dan como resultados desplazamientos casi horizontales. Con frecuencia son causados por licuación [...]” (17 p. 7).

**2.2.3.5 Flujos.** Los deslizamientos pueden convertirse en un flujo a medida que el material pierde cohesión, añade agua y desciende por pendientes más fuertes (25). Los principales tipos de flujo se detallan a continuación.

**2.2.3.5.1 Flujo en roca.** “Su ocurrencia es mayor en rocas ígneas y metamórficas muy fracturadas y pueden estar precedidos por fenómenos de inclinación. Estos flujos tienden a ser ligeramente húmedos y su velocidad tiende a ser rápida a muy rápida” (16 p. 20). “Estos movimientos son generalmente muy lentos y más o menos estables, afectando a zonas superficiales o de cierta profundidad” (18 p. 20).



**2.2.3.5.2 Flujo de detritos.** “Los flujos de residuos o de detritos son movimientos relativamente rápidos que llegan a ser extremadamente rápidos y están compuestos de materiales gruesos con menos del 50% de finos” (26 p. 23). De igual manera, los flujos de detritos “suelen involucrar volúmenes de medianos a grandes de hasta 10000m<sup>3</sup> de material grueso de diferentes diámetros que incluye bloques de rocas, derrubios y roca descompuesta” (23 p. 17) (ver Figura 6).

**Figura 6**

*Flujo de detritos*

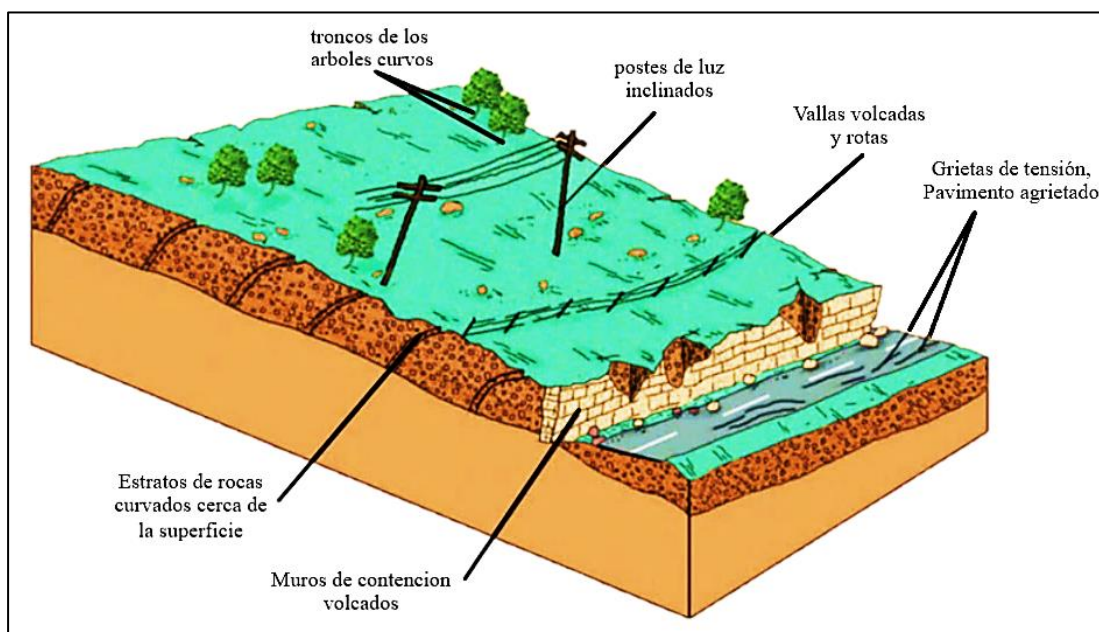


**2.2.3.5.3 Flujo de lodo.** Los flujos de lodo son uno de los eventos de la naturaleza más destructivos, debido a que afecta en gran parte a las comunidades que se encuentran aledañas a este tipo de fallas. En este tipo de flujos los materiales de suelo suelen ser muy finos y las humedades muy elevadas, pudiéndose hablar de viscosidad propiamente dicha, ya que el suelo se encuentra suspendido en el agua. La velocidad con que suele ocurrir este tipo de fenómenos es bastante rápida por lo que en este tipo de eventos no se distingue ninguna superficie de falla (16).

**2.2.3.6 Reptación de suelos.** La reptación es la deformación que sufre una masa de suelo como consecuencia de los desplazamientos lentos a extremadamente lentos (mm/año), prácticamente imperceptible a la vista; suelen manifestarse por la inclinación de los árboles, postes, deslizamiento de viviendas, carreteras, líneas férreas y la aparición de grietas (23) (ver Figura 7).

## Figura 7

### Indicadores de procesos de reptación



Fuente: (25)

### 2.2.4 Principales factores influyentes en la estabilidad de taludes

“La inestabilidad de un movimiento en masa en ladera, es el resultado de la interacción de factores condicionantes y del impacto de factores externos o desencadenantes” (23 p. 22). Los diferentes factores se muestran en la Tabla 1 y 2.

**Tabla 1**

#### Influencia de los factores condicionantes en la estabilidad de los taludes

Factores	Influencia y efectos	
Relieve (pendientes, geometría)	Distribución del peso del terreno	
Litología (composición, textura)	Densidad, resistencia	
	Comportamiento hidrogeológico	
Estructura geológica y estado tensional	Resistencia, deformabilidad	
	Comportamiento discontinuo y anisótropo	
Condicionantes	Zonas de debilidad	
	Propiedades geomecánicas de los materiales	Comportamiento hidrogeológico
		Generación de presiones intersticiales
	Deforestación	Modificación en el balance hídrico. Erosión.
Meteorización	Cambios físicos y químicos, erosión externa e interna, generación de zonas de debilidad	

Fuente: (19)

**Tabla 2***Influencia de los factores desencadenantes en la estabilidad de los taludes*

Factores	Influencia y efectos
Precipitaciones y aportes de agua	Variación de las presiones intersticiales y del peso del terreno
Cambio en las condiciones hidrogeológicas	Saturación en suelos Erosión
Aplicación de cargas estáticas o dinámicas	Cambio en la distribución del peso de los materiales y en el estado tensional de la ladera. Incremento de presiones intersticiales
Desencadenantes Cambios morfológicos y de geometría en las laderas	Variación de las fuerzas debido al peso cambio en el estado tensional Cambios geométricos en la ladera.
Erosión o socavación del pie	Cambios en la distribución del peso de los materiales y en el estado tensional de la ladera Cambio en el contenido de agua del terreno.
acciones climáticas (procesos de deshielo, heladas, sequías)	Generación de grietas y planos de debilidad Disminución de las propiedades resistentes

Fuente: (19)

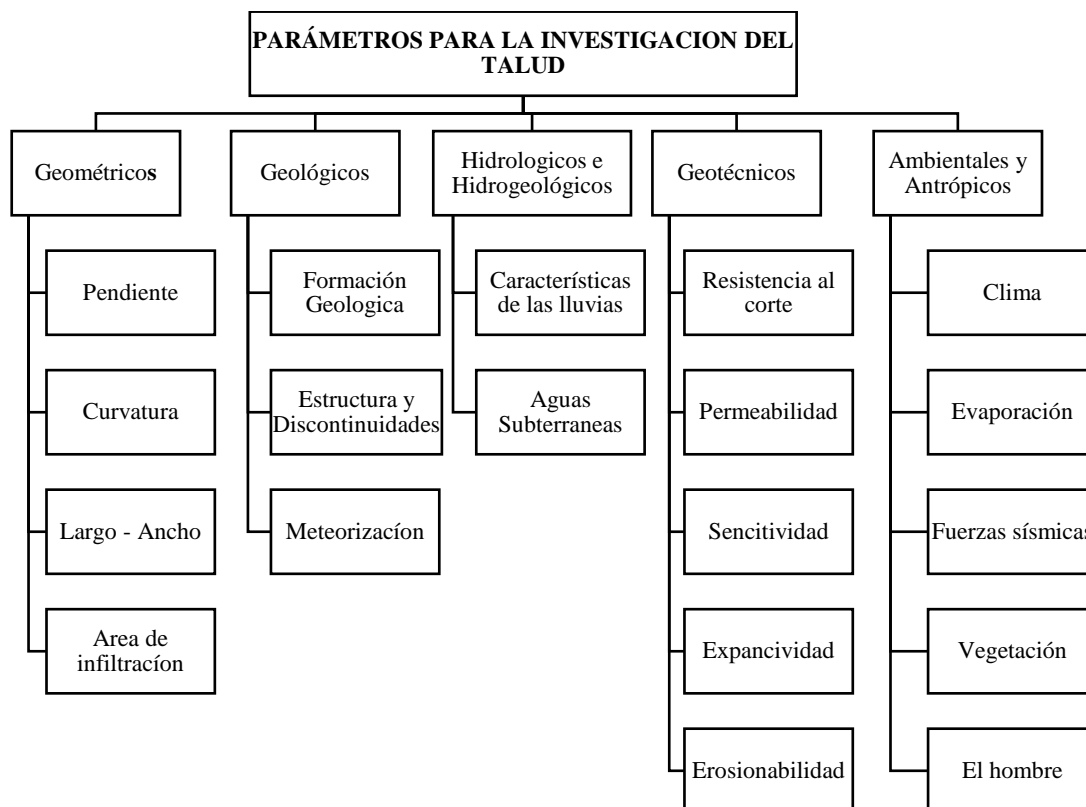
Los factores condicionantes llamados también pasivos, junto con los factores desencadenantes denominados también activos, provocan la falla o inestabilidad del talud una vez que se cumple una serie de condiciones que favorecen la inestabilidad (19).

### ***2.2.5 Metodología para el estudio de estabilidad de taludes***

La investigación de un talud o ladera consiste en conseguir toda la información posible de la zona de estudio, los datos topográficos, geológicos, geotécnicos y ambientales que permitirán realizar un análisis más preciso de los problemas y establecer los parámetros para la estabilización del talud (16). En la Figura 8 se muestra un mapa conceptual de los principales parámetros para tener en cuenta a la hora de realizar una investigación del talud.

**Figura 8**

*Parámetros para la investigación del talud*



Fuente: (27)

### **2.2.6 Análisis de estabilidad de taludes**

“Los análisis de estabilidad en el caso de los taludes y/o laderas tienen por objetivo estimar su nivel de seguridad y, según el resultado obtenido, implementar medidas correctivas o de estabilización adecuadas para evitar nuevos movimientos de masa (28 p. 20)”.

### **2.2.7 Métodos de análisis de estabilidad de taludes**

“Los métodos de análisis de estabilidad se basan en un planeamiento fisicomatemático en el que intervienen las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras que actúan sobre el talud y que determinan su comportamiento y condiciones de estabilidad” (19 p. 445). Los métodos de análisis de estabilidad se pueden clasificar en métodos determinísticos, los métodos numéricos y los métodos probabilísticos.

**2.2.7.1 Clasificación de los métodos de cálculo.** Los análisis de estabilidad de taludes por lo general se calculan por métodos determinísticos y se evalúan por medio de un factor de seguridad (FS). Aunque se sabe que los parámetros geotécnicos (ángulo de fricción, cohesión, peso unitario, etc.) son las que presentan mayor incertidumbre, estos

métodos los consideran fijos y conocidos. Por otra parte, los análisis de estabilidad probabilísticos permiten cuantificar las incertidumbres que surgen a partir de la variabilidad de los parámetros geotécnicos, con la determinación de un índice de confiabilidad y de una probabilidad de ocurrencia o falla (29). Los diferentes métodos de cálculo (se pueden visualizar en la Figura 9) se describen a continuación.

**2.2.7.1.1 Métodos numéricos.** Actualmente uno de los métodos más completos para el cálculo del factor de seguridad son los métodos numéricos. Al respecto, Bojorque (30) menciona que:

En las técnicas numéricas no es necesario imponer las condiciones empleadas tanto en los MEL y MAL, como son la ubicación y forma de la superficie de falla, y fuerzas interdovelas en el caso del MEL. Los métodos numéricos pueden considerarse, desde el punto de vista matemático, como aquellos que se aproximan mejor a la solución exacta. Los avances en el poder computacional y la disponibilidad de códigos numéricos de bajo costo han hecho que estas técnicas sean muy atractivas para la investigación de la estabilidad de pendientes (p. 9).

**2.2.7.1.2 Métodos probabilísticos.** “Los métodos probabilísticos son aplicados en estudios de estabilidad de taludes, con el objetivo de cuantificar algunas incertidumbres inherentes al factor de seguridad obtenido por métodos determinísticos” (31 p. 45).

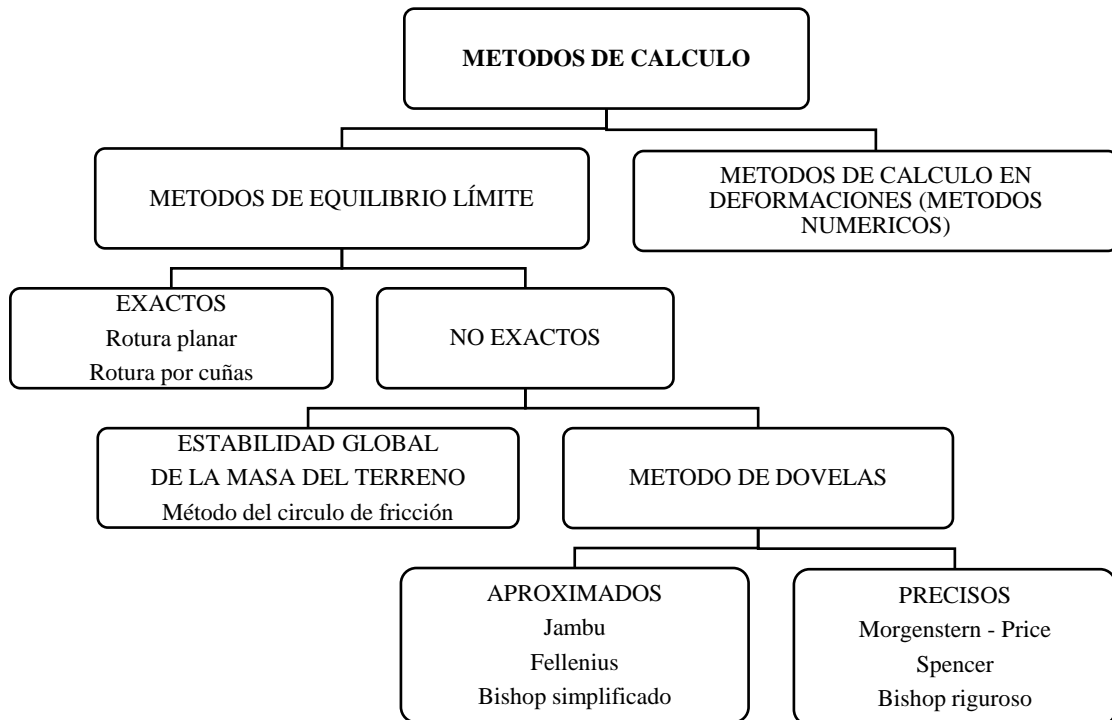
**2.2.7.1.3 Métodos de equilibrio límite.** Los métodos de equilibrio límite (LEM) radican en comparar las fuerzas que tienden a producir el deslizamiento, con las fuerzas que se resisten al deslizamiento a lo largo de una superficie de falla; los métodos de equilibrio límite en este momento son los que más se usan, y se fundamentan en la elección de una superficie de falla teórica o real, el criterio de rotura de Mohr-Coulomb aplicable únicamente para suelos y la definición del factor de seguridad (19).

Los métodos de equilibrio límite se pueden clasificar en métodos exactos y métodos no exactos. En los métodos exactos la aplicación de las leyes de la estática, facilitan una solución exacta del problema debido a la geometría sencilla que posee la superficie de falla. Por otra parte, en los métodos no exactos el uso de las leyes de la estática no proporciona una solución exacta, convirtiéndose en un problema hiperestático donde el número de incógnitas es mayor al número de ecuaciones disponibles, por lo que para su solución se realizan ciertas simplificaciones o hipótesis previas para llegar a una solución. Dentro de los métodos no exactos se puede diferenciar aquellos métodos que consideran como uno solo la masa de suelo deslizante,

y son conocidas como métodos de estabilidad global, prácticamente en desuso en la actualidad, y los métodos de las dovelas, las cuales dividen en una serie de fajas o debelas la masa deslizante (18).

**Figura 9**

*Clasificación de los métodos de cálculo de estabilidad de taludes*



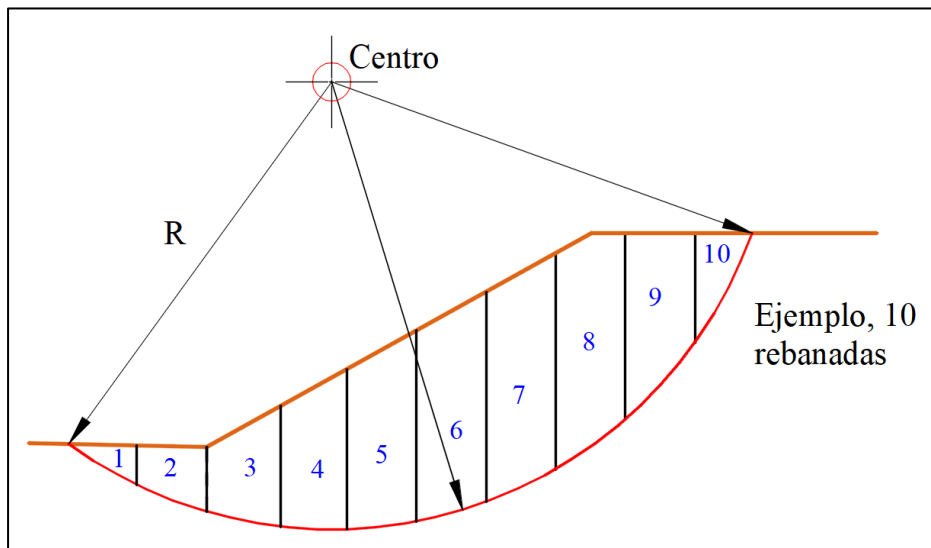
Fuente: (32)

### **2.2.8 Método de dovelas para el cálculo de estabilidad de taludes**

“Para suelos homogéneos, no uniformes, y taludes irregulares y/o proyectos más precisos, se emplea el método de las rebanadas o fajas” (15 p. 176). En la mayoría de los métodos que usan superficies de falla circulares o curvas, la masa de suelo deslizante superior suele dividirse en una serie de fajas o dovelas, pudiendo ser estas fajas verticales, horizontales o diagonales, siendo las más usuales y usadas en los cálculos y softwares de estabilidad los cortes verticales: se supone que entre mayor sea el número de fajas o dovelas el resultado será mucho más preciso (26) (ver Figura 10).

**Figura 10**

*División de la masa deslizante en una serie de fajas verticales*



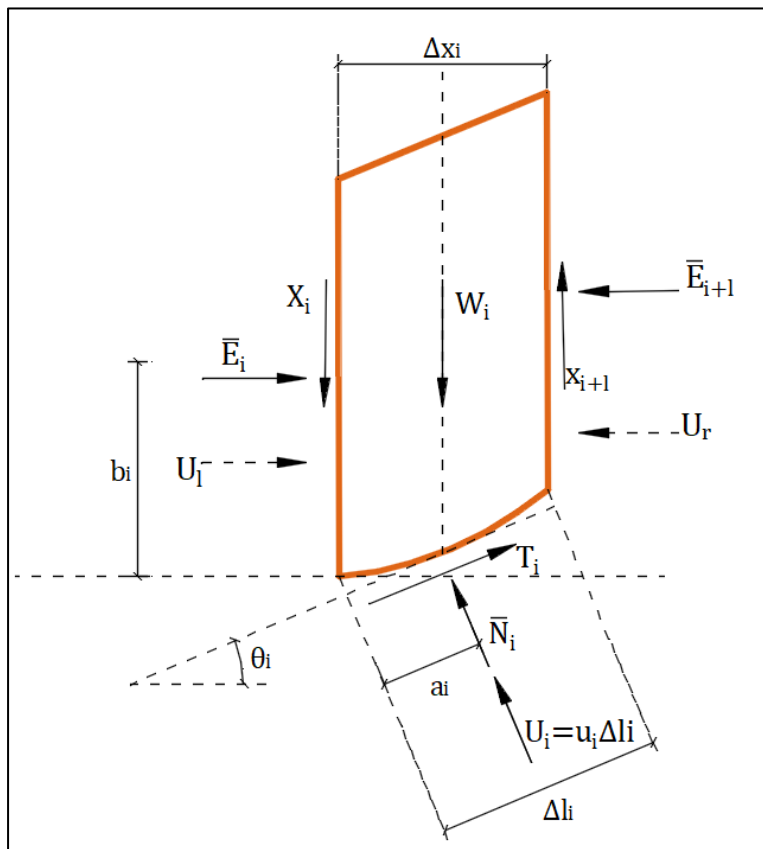
Fuente: (33)

En la Figura 11 se observa una dovela con el sistema de fuerzas que actúan sobre ella, si el número de dovelas es igual a  $n$ , el problema presenta las siguientes incógnitas (34):

- $n$  valores de las fuerzas normales  $\bar{N}_i$  en la base de cada dovela.
- $n$  valores de las fuerzas de corte en la base de la dovela  $T_i$ .
- $(n-1)$  fuerzas normales  $\bar{E}_i$  en la base de cada dovela.
- $(n-1)$  fuerzas tangenciales  $X_i$  en la base de cada dovela  $\bar{E}_i$ .
- $n$  valores de la coordenada del punto de aplicación de las.
- $(n-1)$  valores de la localización de la fuerza normal  $X_i$  en la base de la dovela.
- Una incógnita constituida por el factor de seguridad F.S.
- Por otra parte, el número de ecuaciones que se tienen son:
  - Equilibrio de momentos para cada dovela ( $n$ ).
  - Equilibrio de fuerzas en dirección horizontal ( $n$ ).
  - Equilibrio de fuerzas en dirección vertical ( $n$ ).
  - Ecuación del criterio de rotura ( $n$ ).

**Figura 11**

*Esquema de fuerzas y aspectos geométricos en una rebanada*



Fuente: (35)

Para que el problema sea estáticamente determinado, el número de ecuaciones debe ser igual al número de incógnitas, es decir que:

$$4n = 6n - 2$$

$$6n - 2 - 4n = 0$$

$$2n - 2 = 0$$

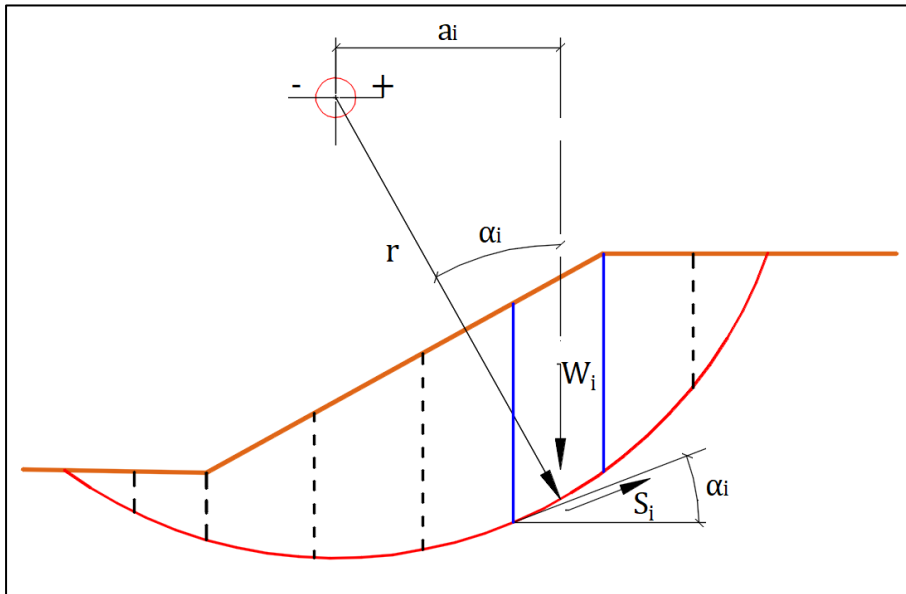
Queda claro que el problema de estabilidad de taludes es estáticamente indeterminado en el orden de  $(6n - 2) - 4n = 2n - 2$ . En otras palabras, tenemos que introducir supuestos adicionales  $(2n - 2)$  para resolver el problema (36). “Para llegar a una solución, es posible aumentar el número de ecuaciones, o bien disminuir el número de incógnitas mediante la realización de diferentes hipótesis” (18 p. 190).

**2.2.8.1 Método de dovelas: para superficies de falla circular.** Los procedimientos basados en superficies de falla circulares consideran el equilibrio de los momentos respecto al centro del círculo de falla, refiriéndose al talud y la superficie de deslizamiento circular mostrada en la Figura 12.



**Figura 12**

*Superficie de deslizamiento circular con la masa de suelo subdividida*



Fuente: (37)

Para comenzar con los cálculos, el momento de volteo se puede expresar como:

$$M_d = \sum W_i \cdot a_i \quad (1)$$

Donde  $W_i$  es el peso de la  $i$ -ésima dovela y  $a_i$  es la distancia horizontal entre el centro del círculo y el centro de gravedad de la dovela;  $a_i$  es positivo si es medido desde la cabeza del talud hacia el centro y negativo si es medido desde el pie del talud hacia el centro. El momento del brazo  $a_i$  puede expresarse en términos del radio del círculo de falla y la inclinación de la base de la dovela  $\alpha_i$ . Por la tanto:

$$a_i = r \cdot \sin(\alpha_i) \quad (2)$$

Así remplazando la ecuación 1 en la ecuación 2 el momento de volteo será:

$$M_d = r \sum W_i \cdot \text{sen}(\alpha_i) \quad (3)$$

Los esfuerzos cortantes ( $\tau$ ) en la base de cada dovela son los únicos que contribuyen al momento resistente ( $M_r$ ), ya que los esfuerzos normales ( $\sigma$ ) no producen

momentos por estar actuando en el centro de las dovelas. Por lo tanto, el momento resistente se expresa de la siguiente manera:

$$M_r = \sum r \cdot S_i \quad (4)$$

Donde  $S_i$  es la fuerza cortante en la base de cada dovela  $i$ . Además, se tiene que:

$$S_i = \tau_i \cdot \Delta l \cdot 1m \quad (5)$$

La fuerza cortante ( $S_i$ ), es el producto de la cortante ( $\tau_i$ ) y el área de la base de cada dovela de espesor unitario ( $\Delta l_i * 1$ ), por lo tanto, sustituyendo la ecuación 5 en la ecuación 4, tenemos que el  $M_r$  es igual a:

$$M_r = r \sum \tau_i \cdot \Delta l_i \quad (6)$$

El factor de seguridad está definido como la relación entre las fuerzas/momentos resistentes y fuerzas/momentos desequilibrantes. Para el caso de las dovelas se tiene que:

$$FS = \frac{M_r}{M_d} = \frac{r \sum \tau_i \cdot \Delta l_i}{r \sum W_i \cdot \text{sen}(\alpha_i)} \quad (7)$$

El esfuerzo de corte en la base de cada dovela ( $\tau_i$ ) no es más que el dado por la envolvente de resistencia ( $S_i$ ). Por lo tanto:

$$FS = \frac{\sum S_i \cdot \Delta l_i}{\sum W_i \cdot \text{sen}(\alpha_i)} \quad (8)$$

Para tensiones totales, la resistencia al corte del suelo se expresa por:

$$S_i = c + \sigma \cdot \tan(\phi) \quad (9)$$

Sustituyendo la ecuación 9 en la ecuación 8, se tiene que el factor de seguridad para taludes con superficie de falla circular es:

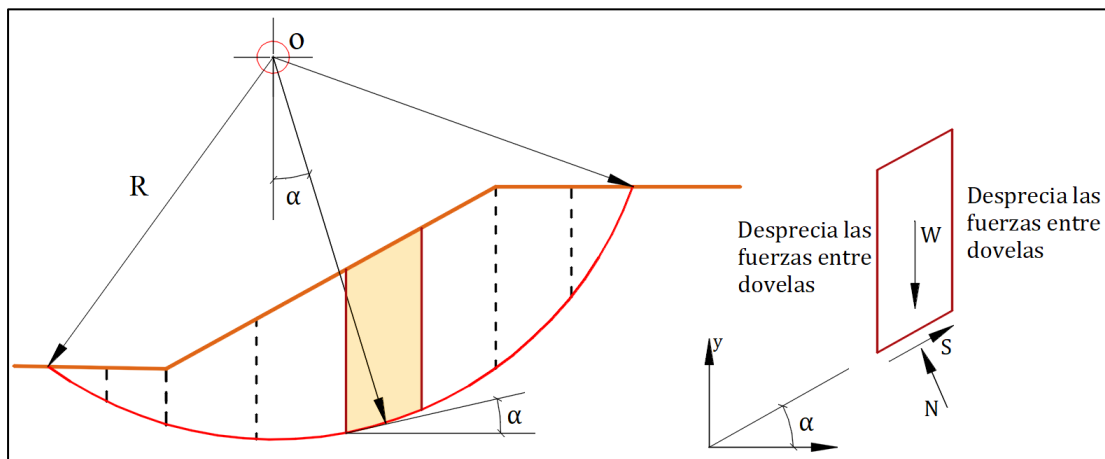
$$FS = \frac{\sum(c + \sigma \cdot \tan(\phi))}{\sum W \cdot \sin(\alpha)} \quad (10)$$

*Nota:* los subíndices (i), se suprimieron ya que la sumatoria se debe hacer para cada una de las dovelas (37).

**2.2.8.8.1 Método de Fellenius.** “Este método considera despreciables las fuerzas en las caras de las fajas por lo que no logra satisfacer el equilibrio de la masa deslizante ni de las fajas. Es, sin embargo, el más sencillo” (33 p. 394) (ver Figura 13).

**Figura 13**

*Fuerzas que actúan sobre una dovela en el método de Fellenius*



Fuente: (37)

El factor de seguridad en términos de esfuerzos efectivos mediante el método ordinario queda expresado en la siguiente ecuación (37):

$$FS = \frac{\sum[C' \cdot \Delta l + (W \cdot \cos(\alpha) - u \cdot \Delta l) \cdot \tan(\phi')]}{\sum W \cdot \sin(\alpha)} \quad (11)$$

Donde:

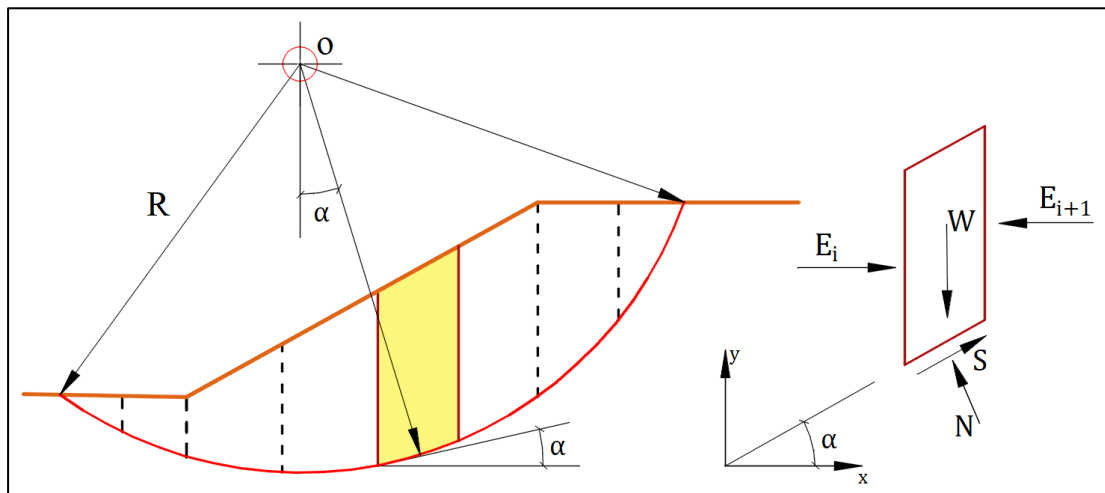
- $\alpha$  : Ángulo del radio del círculo de falla
- $W$  : Peso de cada dovela
- $u$  : Presión de poros
- $C', \phi'$  : Parámetros de resistencia del suelo

**2.2.8.8.2 Método de Bishop simplificado.** El método de Bishop simplificado, al igual que el método ordinario de Fellenius, se considera únicamente para el cálculo superficies de falla circulares. El método de Bishop simplificado satisface el equilibrio

de fuerzas verticales, mas no el de equilibrio de fuerzas horizontales en una de las dovelas, debido a que no tiene en cuenta las fuerzas cortantes o fuerzas tangenciales en las caras de las dovelas, convirtiéndolo en un sistema sobre determinado (33) (ver Figura 14).

**Figura 14**

*Fuerzas que actúan sobre una dovela en el método de Bishop*



Fuente: (37)

Estableciendo el equilibrio de momentos de toda la masa deslizante respecto al centro del círculo de falla se obtiene la ecuación del factor de seguridad en términos de esfuerzos efectivos para el procedimiento de Bishop simplificado (37):

$$FS = \frac{\sum \left[ \frac{C' \cdot \Delta l \cdot \cos(\alpha) + W \cdot \tan(\phi')}{\cos(\alpha) + (\text{sen}(\alpha) \cdot \tan(\phi') / F.S)} \right]}{\sum W \cdot \text{sen}(\alpha)} \quad (12)$$

Donde:

- $\alpha$  : Ángulo del radio del círculo de falla
- $W$  : Peso de cada dovela
- $u$  : Presión de poros
- $C', \phi'$  : Parámetros de resistencia del suelo

“Obsérvese que el termino F.S está presente en ambos lados de la ecuación. Por lo tanto, hay que adoptar un procedimiento de ensayo y error para encontrar el valor de FS” (38 p. 367).

**2.2.8.2 Método de dovelas: para superficies de falla no circular.** Existen en la actualidad gran cantidad métodos de rodajas, más modernos, y que pretenden imitar de

mejor manera la inestabilidad de los taludes, estableciendo diversas suposiciones entre las fuerzas existentes en los contactos entre las rebanadas. Incluso, consideran superficies de falla no circulares, sustituyéndola por una espiral logarítmica o una superficie poligonal (19). Los métodos que consideran superficies de falla no circulares se detallan a continuación:

**2.2.8.2.1 Método de Janbú simplificado.** El método de Janbú simplificado, a comparación a los métodos descritos anteriormente, considera cualquier forma de superficie de falla. La principal característica de este método es que asume que las fuerzas entre dovelas son solo horizontales, sin tener en consideración las fuerzas cortantes, la cual lleva a una solución indeterminada, ya que no satisface por completo las condiciones de equilibrio de momentos. Esta se ve reflejada en la aplicación de un factor de corrección ( $f_0$ ) para tener en cuenta este posible error (28); para calcular la estabilidad de un talud, Janbú considera el cálculo del FS de la siguiente manera (34):

$$FS = \frac{f_0 \cdot \sum \{C' \cdot b + (W - u \cdot b \cdot \Delta l) \cdot \tan \phi'\} \cdot \frac{\sec^2 \alpha}{1 + \tan \alpha_i \cdot \tan \phi_i / FS}}{\sum W \cdot \tan \alpha} \quad (13)$$

“sumiendo  $\Delta l = 0$  se obtiene el método ordinario, Janbú propuso además un método para la corrección del factor de seguridad obteniendo con el método ordinario según la siguiente expresión” (34):

$$FS_{\text{Janbu simplificado corregido}} = f_0 * F \cdot S_{\text{Janbu simplificado}} \quad (14)$$

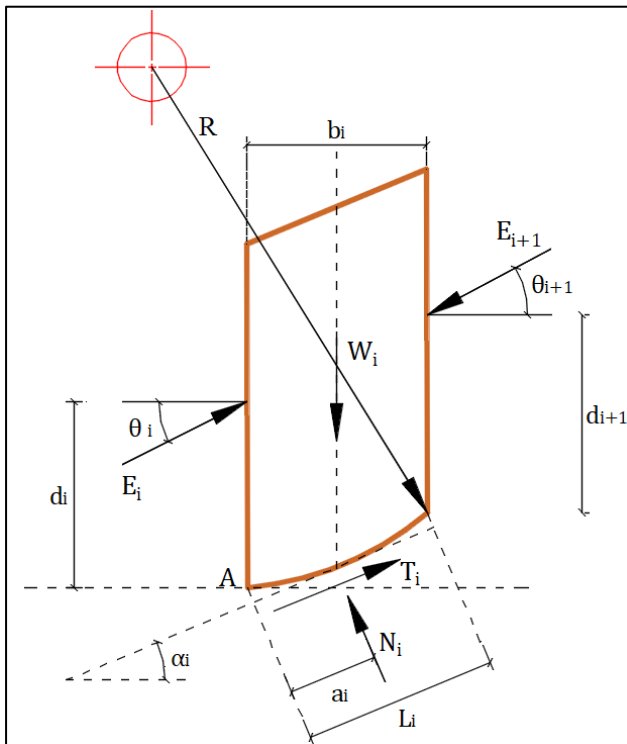
Donde  $f_0$  Depende la geometría y de los parámetros resistentes del suelo.

**2.2.8.2.2 Método de Spencer.** El método de Spencer es un método que satisface totalmente el equilibrio, tanto de momentos como de fuerzas. El procedimiento de Spencer se basa en el supuesto de que las fuerzas entre dovelas son paralelas, es decir, todas las fuerzas entre las dovelas tienen la misma inclinación. La inclinación específica de las fuerzas entre dovelas se calcula como una de las incógnitas en la solución de las ecuaciones de equilibrio. El método de Spencer también asume que la fuerza normal actúa en el centro de la base de cada dovela. Esta suposición tiene una influencia insignificante en los valores calculados para las incógnitas, siempre que se utilice una cantidad razonablemente de dovelas. Spencer presentó originalmente su procedimiento para superficies de deslizamiento circulares, pero el procedimiento se extiende

fácilmente a superficies de deslizamiento no circulares. En el procedimiento de Spencer, primero se resuelven dos ecuaciones: una de equilibrio de fuerzas y otra de equilibrio de momentos. Las ecuaciones representan el equilibrio total de fuerza y momento para toda la masa del suelo deslizante. Las dos ecuaciones de equilibrio se resuelven para el factor seguridad y la fuerza de inclinación entre devalas  $\theta$  (26) (ver Figura 15).

**Figura 15**

*Fuerzas sobre una dovela en el método de Spencer*



Fuente: (34)

De la Figura 15, estableciendo el equilibrio de momentos respecto al centro del arco descrito por la superficie de deslizamiento se tiene (34):

$$\sum Q_i \cdot \cos(\alpha - \theta) \cdot R = 0 \quad (15)$$

$$Q_i = \frac{\frac{C}{FS} \left( W \cdot \cos(\alpha) - \gamma_w \cdot h_l \cdot \sec(\alpha) \cdot \frac{\tan(\alpha)}{FS} - W \cdot \sin(\alpha) \right)}{\cos(\alpha - \theta) \cdot \left[ \frac{FS + \tan(\alpha - \theta)}{FS} \right]} \quad (16)$$

Donde:

- $\theta$  : Ángulo de inclinación de fuerza  $Q_i$  con respecto a la horizontal
- $R$  : Radio del arco circular
- $Q_i$  : Resultante de las fuerzas de intersección,  $Z_i$  y  $Z_{i+1}$

Estableciendo el equilibrio de las fuerzas horizontales y verticales se tiene que:

$$\sum (Q_i \cdot \cos(\theta)) = 0 \quad (17)$$

$$\sum (Q_i \cdot \sin(\theta)) = 0 \quad (18)$$

Asumiendo que las fuerzas  $Q_i$  son paralelas entre ellas, se puede escribir:

$$\sum Q_i = 0 \quad (19)$$

El método de Spencer propone el cálculo de dos factores de seguridad: el primero ( $F_{sm}$ ) se obtiene de la ecuación 15, ligado al equilibrio de momentos; el segundo ( $F_{sf}$ ) se obtiene de la ecuación 19 ligado al equilibrio de fuerzas. En la práctica se procede resolviendo las ecuaciones 15 y 19 para un intervalo dado de valores de ángulo  $\theta$ , considerando como FS aquel para el cual satisfaga la igualdad:  $F_{sm} = F_{sf}$ .

**2.2.8.2.3 Método de Morgenstern y Price.** El procedimiento de Morgenstern y Price es similar al procedimiento de Spencer. La única diferencia en términos de incógnitas es que el procedimiento de Spencer, tal como se implementa en la mayoría de los programas de computadora, involucra una sola inclinación de fuerza entre dovelas desconocida, mientras que el procedimiento de Morgenstern y Price involucra un patrón supuesto de inclinaciones de fuerzas laterales y un único parámetro de escala desconocido,  $\lambda$ . Si se supone que la función  $f(x)$  es constante en el procedimiento de Morgenstern y Price, produce resultados esencialmente idénticos a los logrados con el procedimiento de Spencer. El procedimiento de Morgenstern y Price supone que las fuerzas cortantes entre dovelas están relacionadas con las fuerzas normales a manera de:

$$X = \lambda \cdot f(x) \cdot E \quad (20)$$

Donde X y E son las fuerzas verticales y horizontales entre cortes,  $\lambda$  es un factor de escala desconocido que se evalúa junto con las otras incógnitas, y  $f(x)$  es una función asumida que tiene valores prescritos en cada límite de dovela. En el procedimiento de Morgenstern y Price, la ubicación de la fuerza normal en la base de la dovela también se asume explícita o implícitamente.

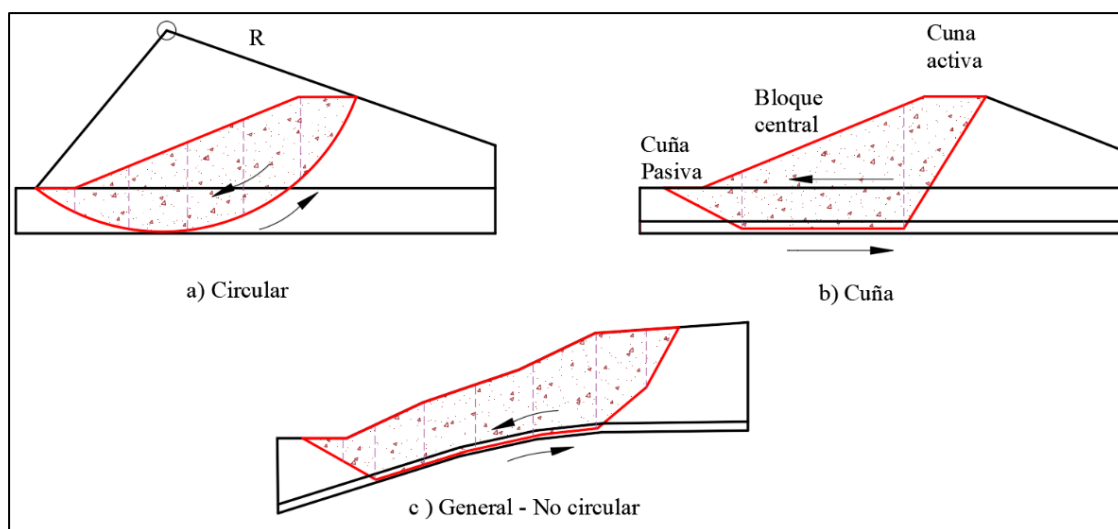
En la formulación original del procedimiento de Morgenstern y Price, las tensiones se integraron en cada dovela suponiendo que  $f(x)$  variaba linealmente a lo largo del segmento. Esto fijaba implícitamente la distribución de las tensiones normales, incluida la ubicación de la fuerza normal en la base de la dovela. En implementaciones más recientes del procedimiento de Morgenstern y Price, se han utilizado valores discretos de  $f(x)$  y se ha asumido la ubicación de la fuerza normal. Normalmente, se supone que la fuerza normal actúa en el punto medio de la base de cada dovela (37).

### 2.2.9 Superficie de falla

“El término de superficie de falla se utiliza para referirse a una superficie asumida a lo largo de la cual puede ocurrir el deslizamiento o la rotura del talud” (16 p. 131). Las diferentes formas de superficie de falla se muestran en la Figura 16.

**Figura 16**

*Formas de superficie de falla*



Fuente: (26)

### 2.2.10 Factor de seguridad en taludes

El factor de seguridad para el análisis de estabilidad de taludes se precisa generalmente como la relación de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo dividida entre el esfuerzo cortante desarrollada a lo largo de la superficie potencial de rotura.



Hay varias formas de indicar el factor de seguridad. La formulación más común para el FS asume que es constante a lo largo de la superficie de deslizamiento, y se define con respecto al equilibrio de fuerzas o momentos (36).

Equilibrio de Fuerzas: Generalmente se aplica a fallas traslacionales o rotacionales compuestas de superficies de falla planas o poligonales. El factor de seguridad definido con respecto a la fuerza está dado por la siguiente ecuación (36):

$$F. S = \frac{\sum \text{Fuerzas Resistentes}}{\sum \text{Fuerzas Desestabilizadoras}} \quad (21)$$

Equilibrio de Momentos: Generalmente se utiliza para el análisis de fallas rotacionales. El factor de seguridad (FS) definido con respecto al momento viene dado por la siguiente ecuación (36):

$$F. S = \frac{\sum \text{Momentos Resistentes}}{\sum \text{Momentos actuantes}} \quad (22)$$

**2.2.10.1 ¿para qué sirve el factor de seguridad?** “El factor de seguridad sirve para conocer cuál es el factor de amenaza para que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña” (26 p. 130). Cuanto mayor sea el valor del factor de seguridad, mayor será la seguridad, pero también los será el costo para garantizar dicha seguridad. En el caso de estabilización de un talud, un valor de factor de seguridad alto implica llevar a cabo un número mayor de medidas de estabilización como drenajes, anclajes, muros, etc., que inevitablemente aumenta el coste del proyecto (39).

**2.2.10.2 Factor de seguridad en el marco del Reglamento Nacional de Edificaciones.** “El profesional responsable deberá evaluar la condición de estabilidad del talud para solicitaciones estáticas y sísmicas. El factor de seguridad mínimo de un talud deberá de ser 1.50 para solicitaciones estáticas y 1.25 para solicitaciones sísmicas” (40 p. 13). En el Perú actualmente existen varias normativas nacionales como internacionales que regulan los valores mínimos del factor de seguridad a emplearse en los taludes, las cuales están ampliamente aceptadas. La selección del factor de seguridad debe de realizarse considerando la duración de la obra y la situación de análisis (14). En la Tabla 3 se puede consultar una recopilación de los valores del factor de seguridad según las diferentes normativas.

**Tabla 3***Factores de seguridad a emplear en el análisis de estabilidad de taludes*

Normativa	Talud temporal		Talud permanente	
	Estática	Sísmica	Estática	Sísmica
AASHTO LRFD	1,33-1,53	1,10	1,33-1,53	1,10
NAVAFAC-DM7	1,30-1,25	1,20-1,15	1,50	1,20-1,15
FHWA-NHI-11-032	-	1,10	-	1,10
CE.020	-	-	1,50	1,25

Fuente: (14)

Adicionalmente el factor de seguridad se puede interpretar de la siguiente manera (41):

- $FS < 1$  : Talud inestable (falla).
- $FS = 1$  : Talud en equilibrio (inseguro).
- $FS > 1$  pero  $< 1.5$  : Talud estable pero inseguro.
- $FS > 1.5$  : Talud estable y seguro.

Otra interpretación del factor de seguridad es referida en función de la velocidad del desplazamiento:

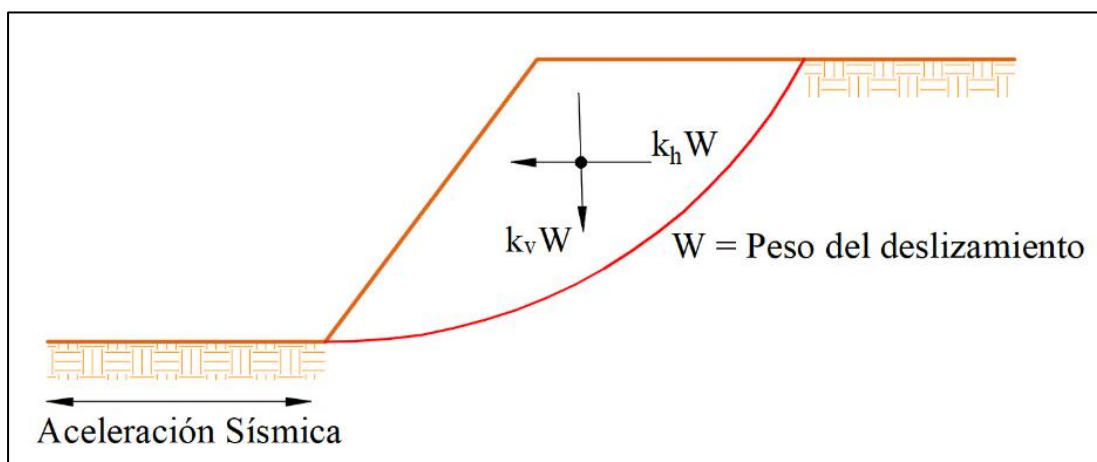
- $FS > 1.5$  : Talud inmóvil, no se presenta deslizamiento.
- $FS = 1.0$  a  $1.5$  : Puede presentarse ligeros desplazamientos.
- $FS = 0.9$  a  $1.0$  : Movimientos lentos, cm al año.
- $FS = 0.8$  a  $0.9$  : Movimientos grandes, pero no violentos.
- $FS = 0.6$  a  $0.8$  : Falla rápida, puede ser violenta.

### **2.2.11 Análisis sísmico en taludes**

“Comenzado en los años 1920, la estabilidad sísmica de estructuras de tierra ha sido analizadas usando una forma pseudoestática, en la cual los efectos de un terremoto son representados por aceleraciones constantes horizontales y/o verticales” (42) (ver Figura 17).

**Figura 17**

*Análisis pseudoestático de equilibrio límite para una falla curva*



Fuente: (26)

Para evaluar las acciones sísmicas en el análisis de estabilidad de taludes se consideran las siguientes fuerzas (34):

$$F_h = K_h \cdot W \quad (23)$$

$$F_v = K_v \cdot W \quad (24)$$

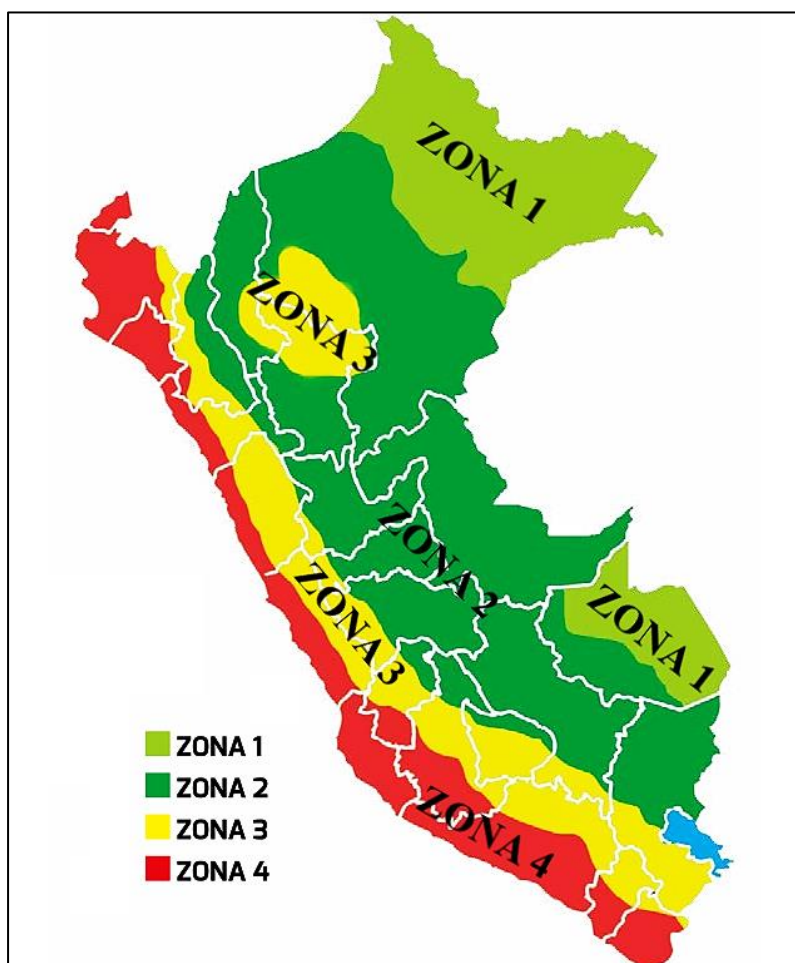
Donde:

- $F_h$  y  $F_v$  : Componente horizontal y vertical de la fuerza de inercia.
- $W$  : Peso de la rebanada.
- $K_h$  : Coeficiente sísmico horizontal.
- $K_v$  : Coeficiente sísmico vertical.

**2.2.11.1 Coeficiente sísmico.** En la última actualización de la normativa diseño sismo resistente del Reglamento Nacional de Edificaciones (E-0.30), el Perú se divide en cuatro zonas sísmicas, como se muestra en la Figura 18; a cada zona se le establece un factor de aceleración pico del terreno (*peak ground acceleration*), según se indica en la Tabla 4. “Este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en un suelo rígido con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años” (43 p. 8).

**Figura 18**

*Zonificación sísmica del Perú*



Fuente: (43 p. 7)

**Tabla 4**

*Factor de PGA en Perú (E.030)*

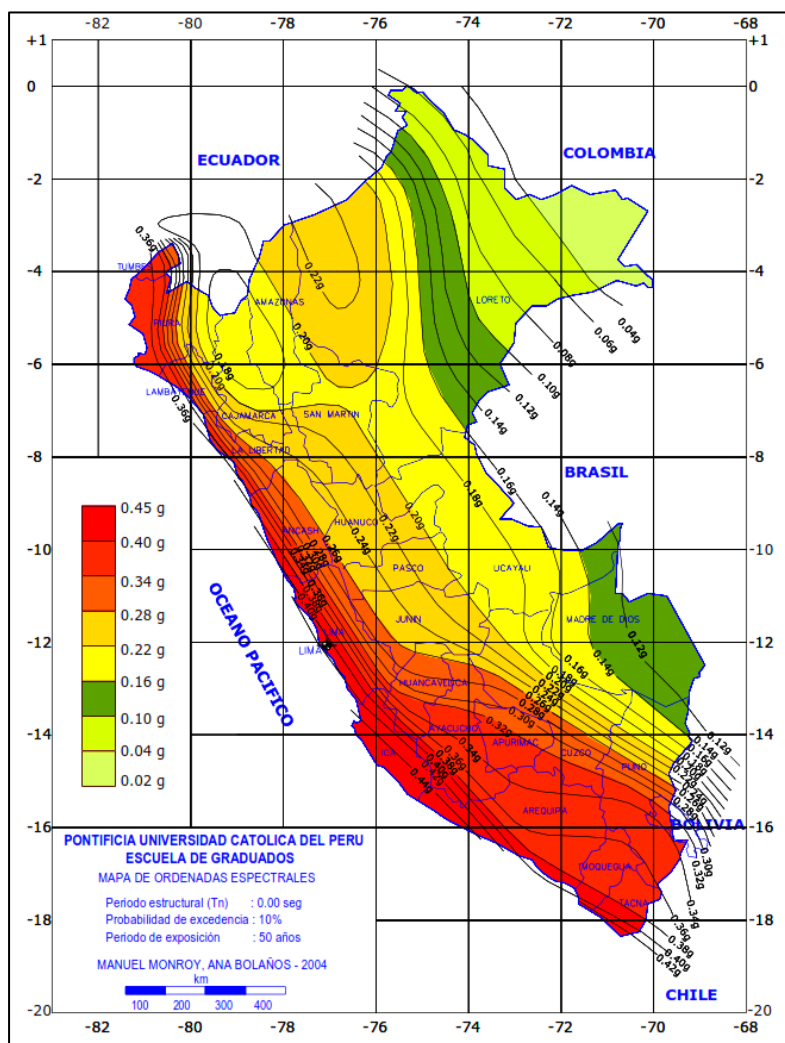
Zona	PGA
1	0.10
2	0.25
3	0.35
4	0.45

Fuente: (43)

**2.2.11.2 Mapa de isoaceleraciones del Perú.** El mapa de peligro sísmico o isoaceleraciones para el Perú corresponden a las máximas aceleraciones del suelo o PGA que muestran las aceleraciones esperadas para diferentes periodos de retorno y periodos estructurales (44). En la Figura 19 se presenta el mapa de isoaceleraciones del Perú para un periodo de expansión de 50 años y 10% de probabilidad de excedencia.

**Figura 19**

*Mapa de peligro sísmico o isoaceleraciones del Perú*



Fuente: (45)

### **2.2.12 Medidas de estabilización de taludes**

“Cuando un talud ha sufrido rotura, o deformaciones que impliquen riesgo de inestabilidad, deben de adoptarse métodos o medidas de estabilización” (19 p. 470).

Para diseñar y aplicar estas medidas es necesario conocer:

- Las propiedades y el comportamiento geomecánico del suelo.
- El mecanismo y tipo rotura o falla del talud, incluyendo la velocidad y dirección de la falla, así como la forma de la superficie de falla.
- Los factores geológicos, geotécnicos, hidrológicos, topográficos, etc., que puedan determinar las causas de la falla del talud y, por lo tanto, las medidas de corrección, prestando mayor atención a los datos referentes de nivel freático, presión de agua y permeabilidad del suelo.

### **2.2.13 Métodos de estabilización de talud**

Las medidas de estabilización de taludes en la actualidad son muy variadas, pero pueden quedar clasificadas de la siguiente manera (19):

- Transformación de la geometría del talud.
- Sistemas de drenajes.
- Uso de anclajes para aumentar la resistencia del suelo.
- Edificar muros de contención u otros elementos de contención.

“El gran número y variedad de técnicas de estabilización de taludes son una evidencia de que no existe un único método correcto para el tratamiento de inestabilidad de taludes” (46 p. 43).

**2.2.13.1 Modificación de la geometría del talud.** “Mediante la modificación de la geometría de los taludes se logra redistribuir las fuerzas debido al peso del material, obteniéndose una nueva configuración más estable” (19 p. 471); en este contexto, se menciona que existen diferentes métodos para realizar la modificación de la geometría del talud, siendo estas:

- Reducir la pendiente del talud.
- Disminuir la masa de suelo ubicada en la cabecera del talud.
- Aumentar el peso en el pie del talud.
- Construir bancos o bermas.

**2.2.13.2 Medidas de drenaje.** La estabilización de taludes mediante sistemas de drenaje tiene por objetivo reducir o disminuir el agua presente en el talud, las cuales actúan como principal factor detonante de inestabilidad; las medidas de drenaje pueden ser superficiales o profundas. Las medidas de drenaje superficial pueden ser cunetas de coronación o zanjas drenantes, mientras que las medidas de drenaje profundas pueden consistir en pozos o drenes horizontales, galerías de drenaje, pantallas drenantes, etc. (19).

**2.2.13.3 Muros y elementos de contención.** Los muros de contención son “estructuras que proveen apoyo lateral para una masa de suelo y que deben su estabilidad fundamentalmente a su propio peso y al peso del suelo ubicado directamente sobre su base” (47 p. 20). El inconveniente que presentan los muros de contención es que hay que realizar una excavación previa para su realización, la cual ayuda a generar inestabilidad en el talud y provocar deslizamientos; en la gran mayoría de los

casos, los muros de contención no evitan posibles deslizamientos a merced de superficie de falla que pasen por debajo o encima del muro (19).

**2.2.13.4 Elementos estructurales resistentes.** El propósito de incrustar elementos resistentes en el suelo, tienen por objetivo aumentar la resistencia al corte del suelo mediante alguno de los siguientes sistemas (19):

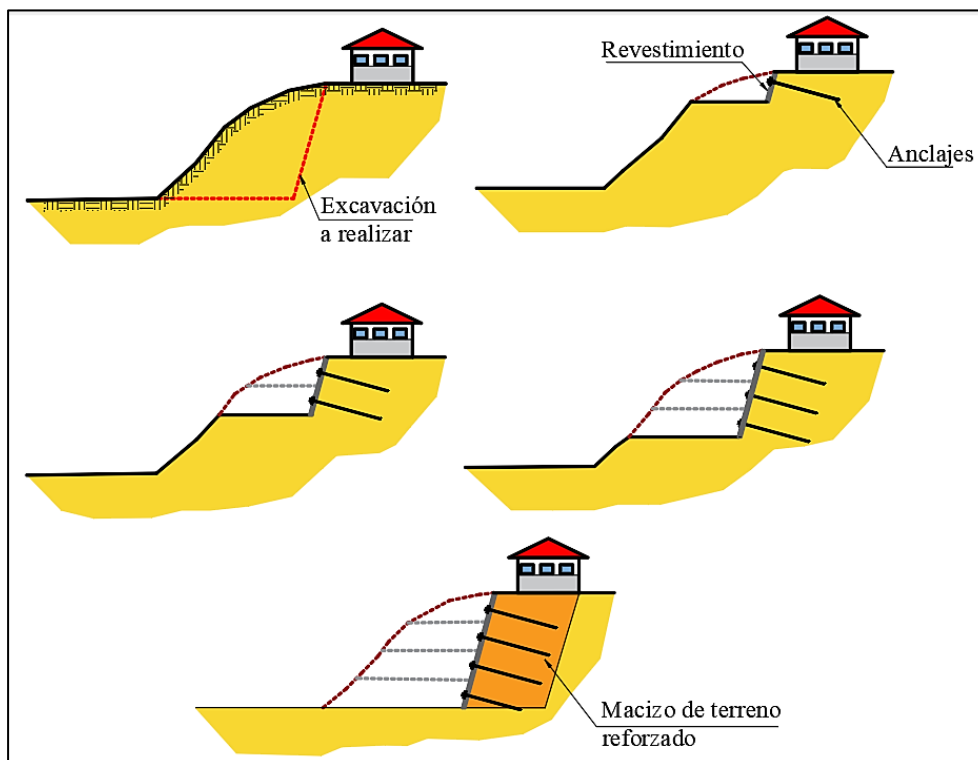
- Enterrando elementos que aumenten la resistencia al cortante del suelo en la superficie de falla (pilotes o micropilotes).
- Enterrando elementos que aumentan las fuerzas tangenciales de rozamiento en la superficie de rotura (anclajes y bulones).

#### 2.2.14 Sistema soil nailing

La técnica del *soil nailing*, cuya traducción del inglés significa claveteado de suelo, clavado de suelo, suelo enclavado, muro de suelo enclavado o cosido de suelo. Consiste en reforzar un talud o suelo, a medida que se desciende en la excavación, mediante la perforación e introducción de anclajes de refuerzo pasivos o activos, generalmente sub – horizontales; estos anclajes trabajan principalmente a tensión, pero también pueden tomar cargas de flexión y corte (48) (ver Figura 20).

**Figura 20**

*Esquema básico del claveteado de taludes*



Fuente: (49)

El sistema *soil nailing* “se diferencia de los pilotes en cuanto que los clavos no resisten cargas laterales a flexión, y de los anclajes pretensados en que son pasivos” (40 p. 175).

### 2.2.15 Funcionamiento del sistema *soil nailing*

Para conseguir la estabilidad de un talud, una estructura claveteada se basa en los siguientes factores (46):

- Desarrollo de fricción o adhesión en la interfaz suelo-clavo.
- Resistencia pasiva desarrollada a lo largo de la superficie perpendicular a la dirección del clavo.
- Tránsito de cargas a través de suelos sueltos o blandos a un material más competente.

### 2.2.16 Aplicabilidad del sistema *soil nailing*

El sistema *soil nailing* suele aplicarse en una gran cantidad de obras de contención de suelos, siendo alguno de ellos los siguientes (46):

- Excavaciones semiverticales en cortes de carreteras.
- Estribos de puentes.
- Estructuras provisionales para reparación de otras estructuras.
- Estabilización de taludes en rocas fracturadas y meteorizadas, suelos residuales y saprolitos.
- Estructuras de contención para la protección de cimientos sobre taludes.

**2.2.16.1 Tipos de suelo para la aplicación del sistema *soil nailing*.** La técnica del *soil nailing*, puede aplicarse en suelos, así como también en otro tipo de materiales como rocas blandas o meteorizadas; los diferentes tipos de suelos que son recomendables para la aplicación del sistema *soil nailing* (50), se detallan en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Aplicación del sistema *soil nailing* para diferentes tipos de suelo*

Aplicable	No aplicable
Arcillas	Arcillas plásticas blandas
Suelos Granulares	Suelos orgánicos, turba
Rocas alteradas, depósitos de piemonte	Suelos granulares sueltos (N<10)
Suelos heterogéneos y estratigráficos	Suelos saturados

Fuente: (50)



### **2.2.17 Ventajas y desventajas del sistema soil nailing**

**2.2.17.1 Ventajas del sistema soil nailing.** Algunas de las ventajas de la aplicación del sistema *soil nailing* son (51):

- Bajo costo, debido a que las varillas de acero son más económicas a comparación de los torones o cables.
- La instalación de los clavos es relativamente rápida y utiliza típicamente menos material de construcción que los muros anclados.
- Se pueden hacer ajustes fáciles de la inclinación y ubicación del clavo cuando se encuentran obstrucciones, por ejemplo, cantos rodados, cables, tuberías, etc.
- Debido a que se utilizan significativamente más clavos, los ajustes en el diseño se logran más fácilmente en el campo sin comprometer el nivel de seguridad.
- Suelen ser ventajosos en lugares de acceso reducido debido a que generalmente se usan equipos pequeños.
- El sistema *soil nailing* se ha desempeñado bien durante eventos sísmicos debido a la flexibilidad que tiene el sistema.
- El revestimiento de concreto proyectado (*shotcrete*) suele ser menos costoso que el revestimiento estructural requerido para otros sistemas de muros.

**2.2.17.2 Desventajas del sistema soil nailing.** Algunas de las potenciales desventajas del uso del sistema *soil nailing* son (51):

- Se requiere un número mayor de refuerzos que en un muro anclado.
- Los taludes deben de ser lo suficientemente resistentes para resistir las excavaciones sin fallar (sufrir deslizamiento).
- El uso del sistema *soil nailing* puede no ser apropiada para aplicaciones donde se requiere un control de deformaciones muy estricto, ya que este sistema requiere cierta deformación del suelo para movilizar la resistencia de los clavos.
- Los sistemas de suelo claveteado no son adecuados cuando grandes cantidades de agua subterránea se filtran en la excavación debido a que agua aflorante en la superficie del talud puede provocar arrastres del suelo.

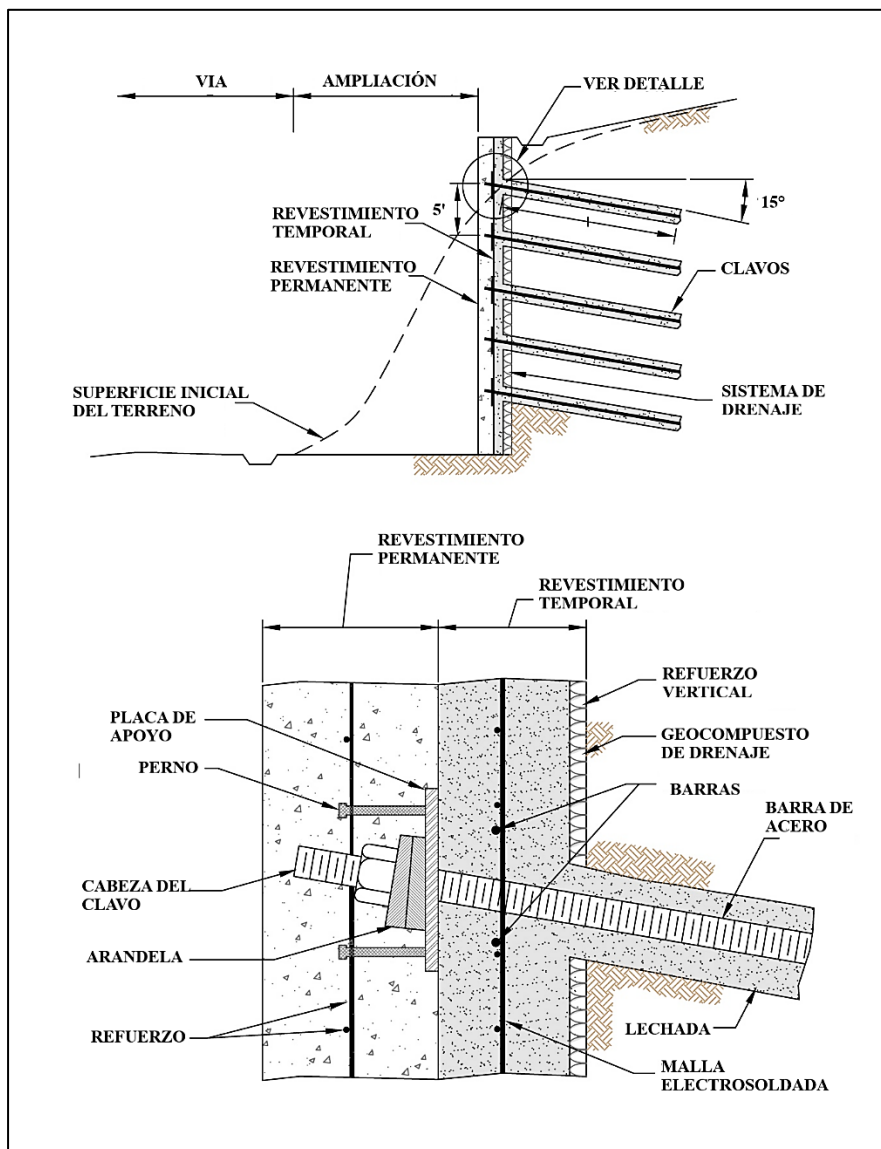
- La construcción de sistemas de suelo claveteado requiere contratistas especializados y experimentados.

### 2.2.18 Elementos básicos que componen el sistema soil nailing

Los elementos básicos del sistema *soil nailing* son los que se muestran en la Figura 21, los cuales se describen en los párrafos siguientes.

**Figura 21**

*Principales componentes básicos de un sistema soil nailing*



Fuente: (52)

**2.2.18.1 Barras de acero.** Las barras de acero son el principal elemento de un sistema *soil nailing*, se utilizan varillas con diámetros entre 19 y 43 milímetros y con una resistencia a la fluencia de 420MPa a 520MPa, las longitudes del refuerzo son variables,

ajustándose en mucho de los casos a longitudes meramente comerciales (6, 12 y 18 m); la principal función de las barras de acero es proporcionar resistencia a la tracción (46).

**2.2.18.2 Revestimiento temporal y permanente.** Las barras de acero están conectados a un sistema de revestimiento en la cara de la excavación o superficie del talud. Los revestimientos generalmente consisten en un revestimiento temporal (inicial) y un revestimiento final (permanente) de concreto proyectado (*shotcrete*). El objetivo del revestimiento temporal es soportar el suelo durante la excavación y la instalación del clavo, y proporcionar una conexión inicial entre los clavos y la placa de apoyo además de proporcionar protección contra el desprendimiento del suelo. El revestimiento permanente realiza las mismas funciones que el revestimiento temporal y cumple con los requisitos estéticos del proyecto (52). El revestimiento aplicado al sistema *soil nailing* no debe ser considerado como un elemento estructural que soporte cargas, si no como un elemento que asegura la estabilidad local del suelo entre los niveles de refuerzo, y además de proteger la cara del talud expuesta a los efectos de la erosión y la intemperie de la naturaleza (50).

**2.2.18.3 Lechada o mortero de cemento.** “La lechada de cemento se coloca en la perforación después de instalar el refuerzo. La lechada actúa como el elemento que trasfiere el esfuerzo del suelo al refuerzo. Igualmente, la lechada actúa como protección contra la corrosión” (46 p. 181).

**2.2.18.4 Protección contra la corrosión.** Los clavos del sistema *soil nailing* necesitan ser protegidos contra la corrosión. Existen diferentes métodos de protección contra la corrosión según el tipo de estructura diseñada (temporal o permanente) y la agresividad del suelo. Las medidas más comunes de protección contra la corrosión son el galvanizado por inmersión en caliente y el revestimiento de plástico corrugado (53).

**2.2.18.5 Cabeza de clavo.** La cabeza del clavo está compuesta por los siguientes elementos: la placa de apoyo, la tuerca hexagonal, las arandelas y la cabeza de perno. La cabeza de clavo es el extremo roscado de la varilla de acero que sobresale del muro. La tuerca hexagonal, la arandela y la placa de apoyo se unen a la cabeza de clavo para proporcionar unión entre el clavo y la pantalla de revestimiento (51).

**2.2.18.6 Centralizadores.** “Los centralizadores son elementos de PVC u otro tipo de plástico que se instala a lo largo de la varilla. El objeto de estos centralizadores es evitar el contacto del refuerzo con el suelo” (46 p. 180) (ver Figura 22).

**Figura 22**

*Centralizadores de PVC unidos a una barra sólida*

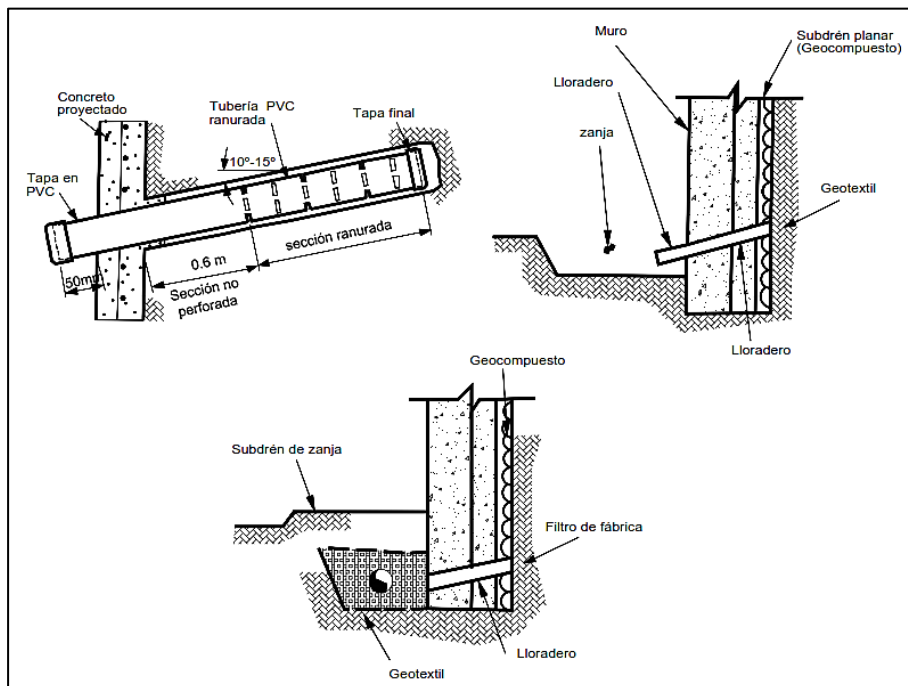


Fuente: (52)

**2.2.18.7 Sistema de drenaje.** Los sistemas de drenaje más usados en el sistema *soil nailing* para controlar la presencia de agua son: geodren planar, lloraderos, subdrenes horizontales y sistemas de control superficial de agua (46) (ver Figura 23).

**Figura 23**

*Detalles del sistema de subdrenaje en el sistema soil nailing*



Fuente: (46)

### **2.2.19 Estados límite en el sistema soil nailing**

En el análisis y diseño de sistemas *soil nailing* deben de tenerse en cuenta dos condiciones límites: estado límite de resistencia o llamado también estado límite ultimo (ELU) y el estado límite de servicio (ELS) (51).

**2.2.19.1 Estado límite de resistencia.** El estado límite de resistencia o estado límite ultimo hace referencia a los modos de falla o colapso en los cuales las cargas aplicadas inducen esfuerzos que son mayores que la fuerza de resistencia de todo el sistema o los componentes individuales del sistema, y la estructura se vuelve inestable. Los estados

límite de resistencia surgen cuando uno o más modos potenciales de falla se presentan. En el diseño de muros *soil nailing* se debe de garantizar que el sistema sea seguro contra todas las condiciones posibles de falla (51). Los modos de falla que se consideran en el análisis del *soil nailing* son los siguientes:

- Modos de falla externos.
- Modos de falla internos.
- Modos de falla en la pantalla de revestimiento.

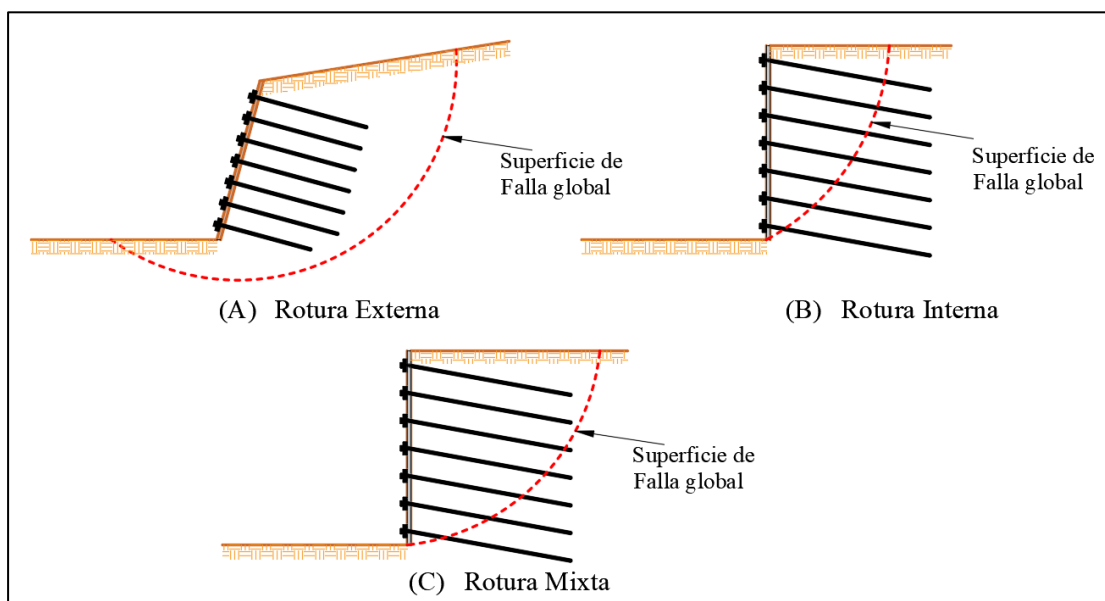
**2.2.19.2 Estado límite de servicio.** El estado límite de servicio hace referencia a condiciones que no implican colapso, sino que dificultan el funcionamiento normal y seguro de la estructura. El estado límite de servicio principal asociado al sistema *soil nailing* es la deformación excesiva del muro (51).

### 2.2.20 Modos de falla externos

Los modos de falla externos hacen referencia al desarrollo o aparición de posibles superficies de falla que pasan a través o por detrás de los clavos, es decir, superficies de falla que pueden o no intersectar con los clavos (51). En este contexto, existen tres posibles modos de falla externos por falta de resistencia del suelo que son los siguientes: superficies de falla que no intersectan a los clavos, superficies de falla que intersectan a los clavos y superficies de falla mixta que intersectan con algunos clavos (47) (ver la Figura 24).

### Figura 24

*Modos de rotura principal en sistemas soil nailing*



Fuente: (54)

Los factores que controlan la estabilidad externa incluyen la altura del revestimiento, estratigrafía del suelo por detrás y debajo del revestimiento, la longitud de clavos de anclaje y la interacción suelo – anclaje (51). Los siguientes modos de falla externos se consideran en el análisis de sistemas *soil nailing*:

- Falla por estabilidad global.
- Falla por deslizamiento.
- Falla por capacidad de carga.

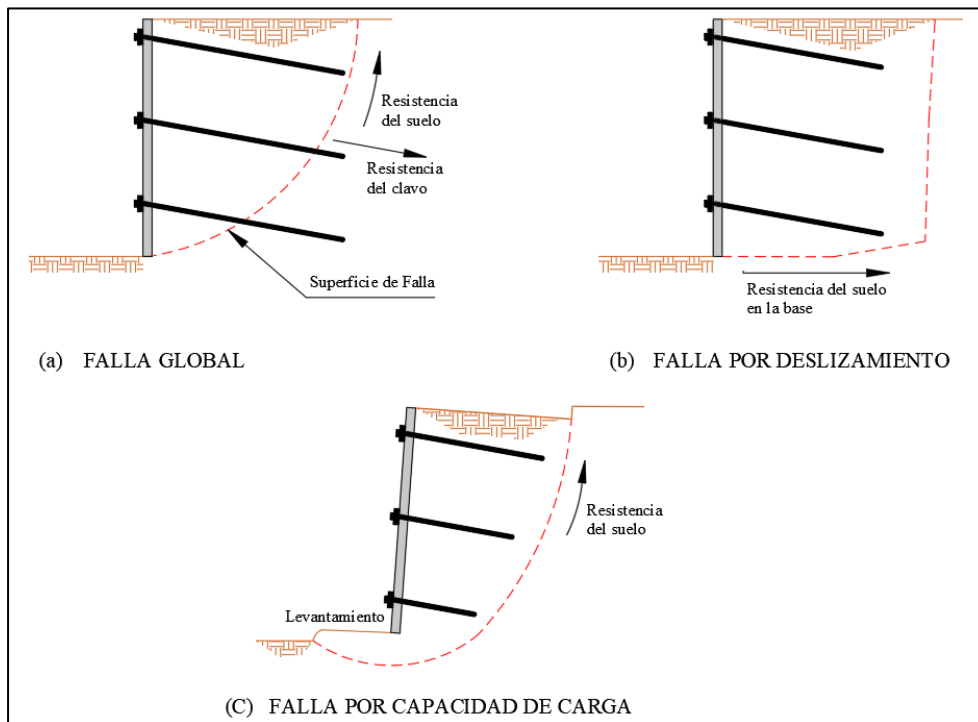
**2.2.20.1 Falla por estabilidad global.** La falla por estabilidad global de un sistema *soil nailing* ocurre cuando la superficie de falla real o supuesta pasa por detrás y por debajo del sistema *soil nailing*, y a través de algunos o todos los clavos. En este modo de falla, la masa retenida excede las fuerzas resistentes proporcionadas por el suelo y por los clavos a lo largo de la superficie de falla, pudiendo provocar que los clavos se desprendan y causen problemas en el sistema (51).

**2.2.20.2 Falla por deslizamiento.** El análisis de estabilidad por deslizamiento considera la capacidad del sistema *soil nailing* para resistir el deslizamiento a lo largo de la base, en respuesta a los empujes laterales del suelo que pueden ser empujes pasivos y empujes activos (51). El deslizamiento lateral puede surgir cuando una capa de suelo débil se encuentra por debajo del sistema *soil nailing*, y cuando los clavos de anclaje no contribuyen a la estabilidad del sistema (52). “Las teorías de Rankin y Coulomb sobre presiones laterales de suelo son usados para la aplicación al análisis de estabilidad al deslizamiento de sistemas *soil nailing*” (55 p. 44).

**2.2.20.3 Falla por capacidad de carga.** Aunque no es muy frecuente la ocurrencia de este tipo de falla, se necesita realizar su evaluación. La falla por capacidad de carga puede ser una preocupación cuando el sistema *soil nailing* se construye en suelos blandos y de grano fino. Debido a que el revestimiento del muro no se construye por debajo de este, la carga desequilibrada causada por la excavación puede hacer que la parte inferior de la excavación se levante y desencadene una falla (51). Los diferentes modos de falla externos mencionados con anterioridad se muestran en la Figura 25.

## Figura 25

### Modos de falla externos en sistemas soil nailing



Fuente: (51)

#### 2.2.21 Modos de falla internos

Los estados límite estructurales o últimos, ocasionalmente también llamados modos de falla internos, surgen cuando se alcanzan la resistencia nominal máxima en los elementos estructurales de un sistema *soil nailing* como las barras de acero, concreto lanzado y otros elementos del revestimiento (56). Los modos de falla internos relacionados con el sistema *soil nailing* son los siguientes (44):

- Falla por desprendimiento del clavo.
- Falla de adherencia entre el clavo y la lechada.
- Falla por tensión en el clavo.
- Falla de los clavos por flexión y cortante.

**2.2.21.1 Falla por desprendimiento del clavo.** Es una falla que se desarrolla a lo largo del interfaz suelo-lechada, debido a que la fuerza de adherencia entre el suelo y la lechada es defectuosa y/o la longitud del clavo es insuficiente (51).

**2.2.21.2 Falla de adherencia entre el clavo y la lechada.** “Este tipo de falla ocurre cuando se presentan desplazamientos relativos entre el acero de anclaje y el mortero inyectado en la perforación” (57 p. 266). “El mecanismo de falla de la unión entre el clavo y la lechada incluyen problemas de adherencia, fricción e integración mecánica

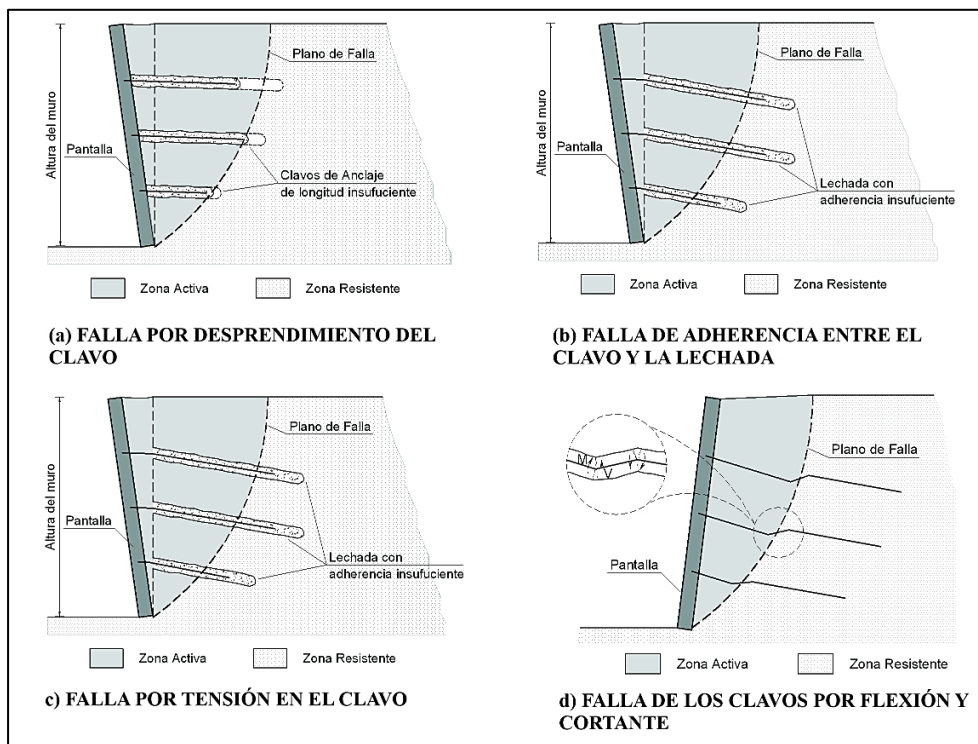
entre el acero de cable o varilla y la lechada” (46 p. 153). En la práctica común se sugiere el uso de barras de acero roscadas o corrugadas, para reducir el potencial de deslizamiento entre el clavo y la lechada (51).

**2.2.21.3 Falla por tensión en clavo.** “Esta falla ocurre cuando la resistencia a la tensión de la barra de acero usada como parte del clavo de anclaje es insuficiente para soportar las cargas que ejerce el suelo entre el muro” (58 p. 39).

**2.2.21.4 Falla de los clavos por flexión y cortante.** Los clavos trabajan predominante a tensión, pero también movilizan esfuerzos debido a las fuerzas de corte y momentos flectores en la intersección de la superficie de falla con los clavos. La resistencia al corte y el momento de volteo de los clavos solo se dan después de que se hayan producido desplazamientos relativamente grandes a lo largo de la superficie de falla. Algunos investigadores han descubierto que la falla por flexión y cortante de los clavos contribuyen aproximadamente al 10% de la estabilidad global del muro. Debido a esta contribución relativamente modesta, la resistencia al corte y la flexión de los clavos se ignoran (51). Los diferentes modos de falla internos mencionados con anterioridad se muestran en la Figura 26.

**Figura 26**

*Modos de falla interno en el sistema soil nailing*



Fuente: (58)



### **2.2.22 Fallas en la pantalla de revestimiento**

Los modos de falla en la pantalla de revestimiento son los que afectan al hormigón proyectado, el refuerzo del hormigón proyectado (barras o mallas electrosoldadas), la placa de apoyo y los conectores en la cabeza del clavo (56). Los modos de falla en la pantalla de revestimiento más comunes incluyen son:

- Falla por flexión.
- Falla por punzonamiento.
- Falla por tensión en los pernos.

**2.2.22.1 Falla por flexión.** La pantalla de revestimiento del sistema *soil nailing* puede considerarse como una losa continua de concreto armado, donde las cargas que actúan sobre el revestimiento son los empujes laterales del suelo y los soportes son las fuerzas de tensión producto de los clavos insertados en el suelo. Las cargas de los empujes laterales del suelo (empuje activo) y la reacción en los clavos inducen momentos de flexión en la pantalla. Se generan momentos positivos (es decir, tensión en el exterior de la sección de la pantalla) en el espacio medio entre los clavos; se generan momentos negativos (es decir, tensión en el interior de la sección de la pantalla) alrededor de la cabeza de los clavos. Si estos momentos son excesivos, puede ocurrir una falla de flexión en el revestimiento (51).

**2.2.22.2 Falla por punzonamiento.** La falla por punzonamiento ocurre alrededor de la cabeza del clavo y debe de evaluarse en:

- La conexión de la placa de apoyo (utilizada en revestimientos temporales).
- La conexión cabeza – perno (comúnmente utilizada en revestimientos permanentes).

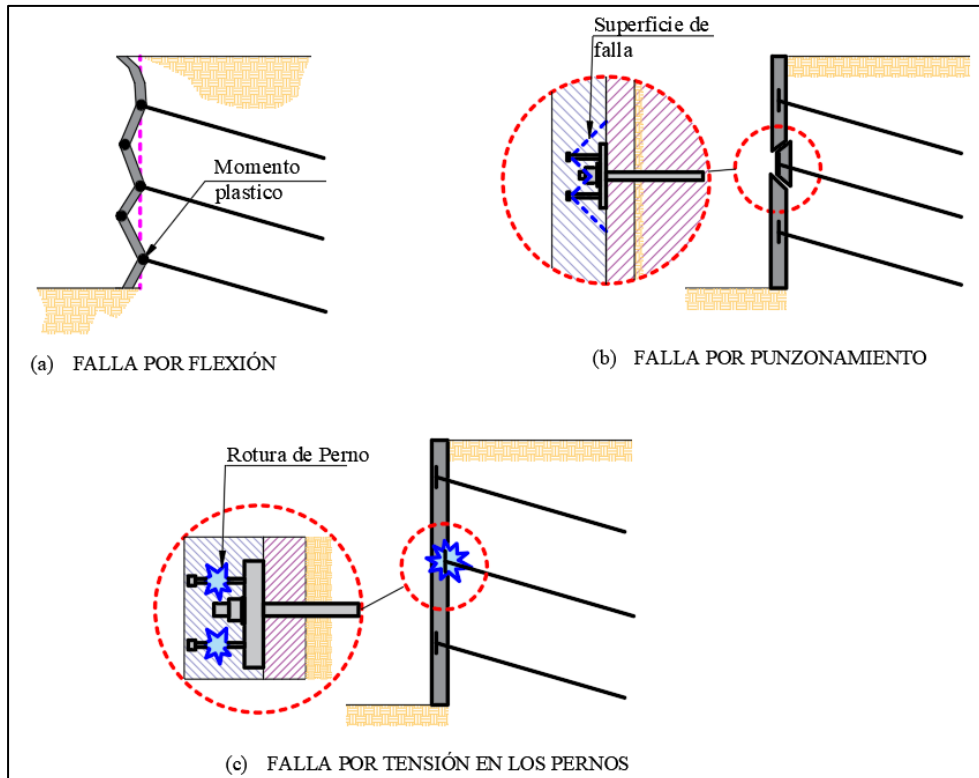
A medida que la fuerza de tracción de la cabeza de clavo aumenta a un valor crítico, las fracturas pueden formar un mecanismo de falla local alrededor de la cabeza del clavo. Esto da como resultado una superficie de falla cónica. Esta superficie de falla se extiende hasta por detrás de la placa de apoyo o de los pernos y atraviesa a través del revestimiento con una inclinación de aproximadamente 45°. El tamaño del cono depende del grosor del revestimiento y del tipo de conexión de clavo, es decir, placa de apoyo o pernos de anclaje (51).

**2.2.22.3 Falla por tensión en los pernos.** Esta falla ocurre en los pernos debido a la tensión. Este modo de falla es solo una preocupación para revestimientos permanentes

(51). Los diferentes modos de falla que se presentan en la pantalla de revestimiento se mencionados anteriormente se esquematizan en la Figura 27.

### Figura 27

*Modos de falla en la pantalla de revestimiento en muros soil nailing*



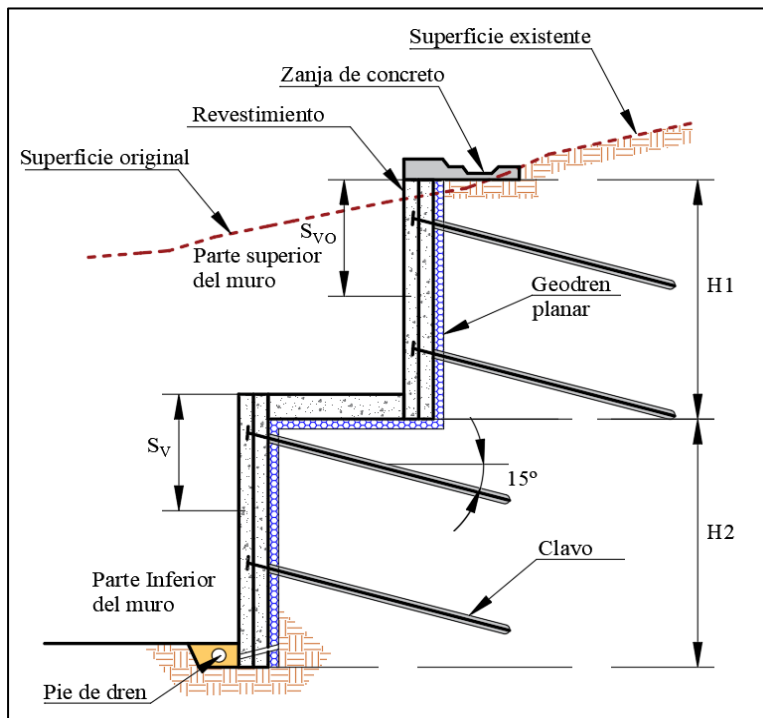
Fuente: (51)

#### 2.2.23 Uso del sistema soil nailing en taludes de altura considerable

Existen muchas veces taludes que poseen alturas considerables, en este caso el uso del sistema *soil nailing* podría no resultar atractiva económicamente debido a la complejidad y la tecnología que esta conllevaría, ya que la superficie de falla se encontraría a mayor profundidad. Esta situación hace que los clavos tengan una longitud mayor para unir la superficie de falla con el estrato más competente. La solución más efectiva a este caso es la construcción de estructuras escaladas (bermas) junto con el sistema de suelo claveteado y reducir considerablemente la longitud de los clavos (59) tal como se muestra en la Figura 28. “En este caso se debe realizar un análisis independiente de cada una de las secciones del muro o bermas y el análisis general total de la estructura” (46 p. 184).

**Figura 28**

*Estructura de clavos en gradas*



Fuente: (51)

#### **2.2.24 Proceso constructivo del sistema soil nailing**

La secuencia de construcción del sistema *soil nailing* se puede apreciar en la Figura 29, la secuencia de construcción comprende, en esencia los siguientes pasos (52):

**Paso 1. Excavación:** La profundidad de la excavación inicial puede variar entre 2.5ft a 7ft de altura, pero generalmente se realizan excavaciones de 3ft a 5ft con el objetivo de sobrepasar ligeramente la ubicación donde se instalará la primera fila de clavos. La viabilidad de este paso es crítica debido a que la cara de excavación debe de tener la suficiente capacidad de permanecer sin soporte, hasta que se instalen los clavos y el revestimiento inicial, generalmente uno o dos días. La plataforma excavada debe tener el ancho suficiente para proporcionar un acceso seguro a los equipos que se usaran.

**Paso 2. Perforación:** Se perforan los agujeros en la cara del talud utilizando equipos de perforación especializados que son operados desde la plataforma excavada. Las perforaciones se realizan con la inclinación, diámetro y longitud de los clavos determinados en el diseño.

Paso 3. Instalación del refuerzo y vertido de la lechada: Se colocan los refuerzos en los agujeros ya realizados anteriormente para luego proceder a inyectar la lechada; la lechada puede ser inyectada a gravedad o aplicando una presión baja. Si se utilizan anclajes inyectados, la perforación y la colocación de la lechada se realizan en una sola operación. Cabe mencionar que en este paso debe realizarse la colocación de los centralizadores de plástico en las barras de refuerzo para evitar el contacto directo con el suelo y mantener el refuerzo en el centro de la perforación. Antes del paso 4, se coloca el geodren planar en la cara de la excavación, aproximadamente en la mitad del espaciamiento entre cada conjunto de varillas adyacentes.

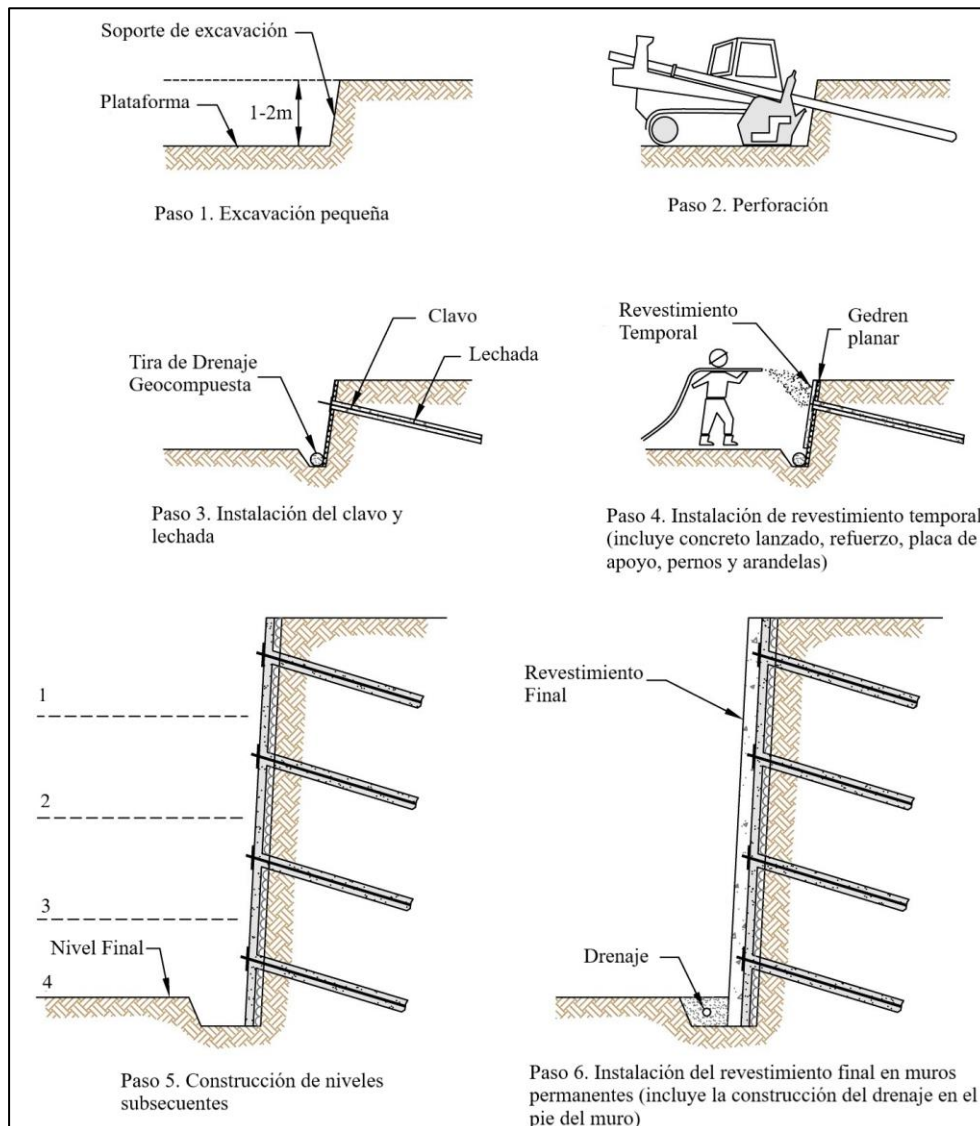
Paso 4. Construcción del revestimiento temporal de concreto lanzado: Antes de excavar el siguiente nivel de suelo, se aplica un revestimiento temporal en la cara del talud. El revestimiento temporal generalmente consiste en una capa de 100 mm de espesor de concreto lanzado, la cual está ligeramente reforzada. El refuerzo normalmente se compone de una malla electrosoldada que se coloca a la mitad del espesor del revestimiento. Adicionalmente, se colocan barras de refuerzo horizontal y vertical alrededor de la cabeza de los clavos para ayudar a resistir las fuerzas por flexión. Cuando el hormigón proyectado comienza a curarse, una placa de apoyo de acero se coloca sobre el clavo que sobresale del orificio de la perforación. La placa de apoyo se presiona ligeramente en el hormigón proyectado aún fresco. Luego se instalan las tuercas hexagonales y las arandelas para asegurar la cabeza del clavo contra la placa del apoyo. La tuerca hexagonal se aprieta con una llave dentro de las 24 horas posteriores a la colocación del hormigón proyectado inicial. Antes de continuar con las siguientes excavaciones se pueden realizar pruebas en algunos de los clavos instalados para verificar su capacidad de carga o medir las deflexiones. Para continuar realizando las siguientes excavaciones, el hormigón proyectado ha de alcanzar su resistencia a la compresión mínima especificada de tres días (usualmente 21MPa). Para fines de planificación, el periodo de curado del hormigón proyectado debe de considerarse 72 horas.

Paso 5. Construcción de los niveles posteriores: Los pasos 1 a 4 se repiten para los niveles de excavación restantes. En cada nivel de excavación, el geodren planar se desenrolla hacia abajo a la elevación posterior. Luego, se coloca un nuevo panel de malla electrosoldada solapando al menos una celda de malla completa con el panel anterior de malla electrosoldada. El hormigón proyectado se continúa con una junta fría con el nivel de hormigón proyectado anterior.

Paso 6. Construcción de revestimiento permanente: Una vez que se alcanza el fondo de la excavación, se instalan los clavos y realizan las pruebas de carga, se puede construir el revestimiento permanente. El revestimiento permanente puede consistir en hormigón armado in situ, hormigón proyectado o muros prefabricados.

**Figura 29**

*Pasos para la construcción de un sistema soil nailing*



Fuente: (52)

### 2.3 Definición de términos básicos

- Talud: “Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana, sino que posee pendiente o cambios de altura significativos” (16 p. 1).
- Análisis de estabilidad de taludes: “Los análisis de estabilidad en el caso de los taludes y/o laderas tienen por objetivo estimar su nivel de seguridad y, según el resultado obtenido, implementar medidas

correctivas o de estabilización adecuadas para evitar nuevos movimientos de masa” (28 p. 4).

- Soil nailing: “El soil nailing es una técnica de refuerzo de suelos in-situ, que se ha utilizado desde los 1970’s, principalmente en Francia y Alemania, para la contención de excavaciones y estabilización de taludes” (50 p. 337)
- Deslizamiento: “Los deslizamientos son movimientos que se producen al superarse la resistencia al corte del material y tiene lugar a lo largo de una o varias superficies o a través de una franja relativamente estrecha del material” (18 p. 16).
- Superficie de falla: “El termino de superficie de falla se utiliza para referirse a una superficie asumida a lo largo de la cual puede ocurrir el deslizamiento o la rotura del talud” (26 p. 131).
- Factor de seguridad: “El factor de seguridad es empleado por los ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza para que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña” (16 p. 130).
- Centralizador: “Los centralizadores son elementos de PVC u otro tipo de plástico que se instala a lo largo de la varilla. El objeto de estos centralizadores es evitar el contacto del refuerzo con el suelo” (46 p. 180).

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Método y alcance de la investigación**

##### ***3.1.1 Método de investigación***

Para la presente investigación se utilizó el método inductivo, debido a que “este método utiliza el razonamiento para obtener conclusiones que parten de hechos particulares aceptados como válidos, para llegar a conclusiones cuya aplicación sea de carácter general” (60 p. 59).

##### ***3.1.2 Alcance de investigación***

El presente proyecto de investigación tiene un alcance descriptivo - correlacional. Descriptivo porque “busca especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice” (61 p. 95) y correlacional porque se “busca mostrar la posible asociación o la relación (no causal) entre dos variables o resultado de variables, conceptos o categorías con el fin de conocer su comportamiento a partir de dicha relación” (62 p. 43).

#### **3.2 Diseño de la investigación**

El diseño es el plan o estrategia que se desarrollara para obtener la información que requiere la investigación. La presente investigación, es de tipo no experimental - transversal, correlacional - causal.

- El diseño es no experimental porque “[...] se realiza sin manipular deliberadamente variables, es decir, se trata de estudios en los que no hacemos variar de forma intencional las variables para ver su efecto sobre otras variables” (61 p. 152).
- El diseño transeccional o transversal es debido a que “un estudio transversal o transeccional ocurre cuando se mide o se obtiene información del fenómeno en una sola oportunidad y una fecha determinada” (62 p. 53).

- El diseño de investigación es trasversal correlativo - causal porque “[...] tienen como objetivo describir relaciones entre dos o más variables en un momento dado. Se trata también de descripciones, pero no de variables individuales sino de sus relaciones, sean estas puramente correlacionales o relaciones casuales” (63 p. 248).

### 3.3 Población y muestra

#### 3.3.1 Población

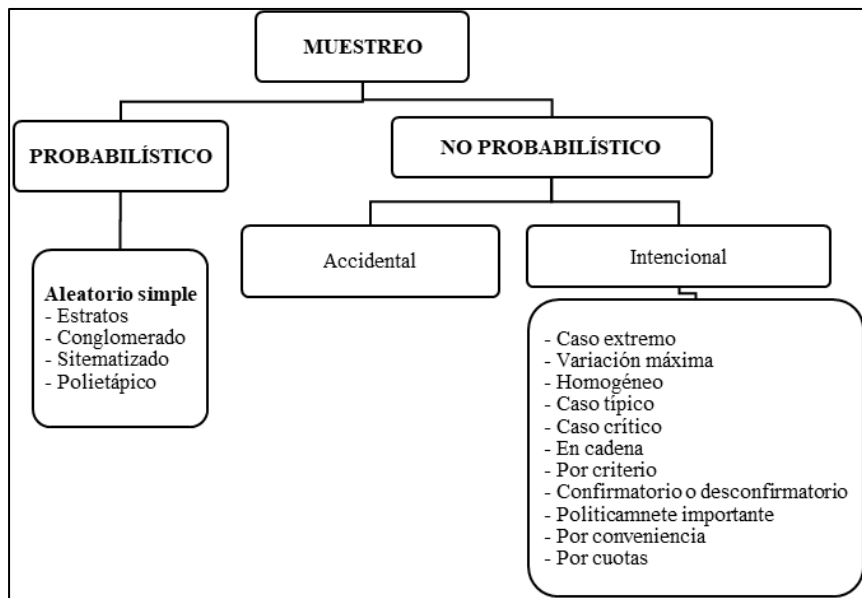
La población hace referencia a todos los sujetos o unidades que participan de una investigación, obtenidas en base a criterios de inclusión y exclusión; no se refiere necesariamente a personas, ya que pueden tratarse de objetos, años, instituciones, eventos, documentos, etcétera (64). La población de la investigación está establecida por la carretera PE-3S, distrito de Santa María de Chicmo, provincia de Andahuaylas del departamento de Apurímac.

#### 3.3.2 Muestra

La muestra será no probabilista y con un muestreo intencional. Este tipo de muestra no utiliza la probabilidad ni fórmula matemática, dentro del muestreo no probabilístico se encuentran las muestras intencionales, las que están realizadas a juicio propio del investigador (61) (ver Figura 30). En este trabajo de investigación, la muestra está conformada por el kilómetro 628+330 al 628+450, sector Yahuarí, distrito de Santa María de Chicmo, provincia de Andahuaylas del departamento de Apurímac.

**Figura 30**

*Tipos de muestro*



*Nota:* En la figura se muestran los diferentes tipos de muestro. Fuente: (65 p. 199).



### 3.4 Operacionalización de las variables

El proceso de operacionalización de las variables y dimensiones se muestran en la Tabla 6.

**Tabla 6**

*Variables e indicadores - operacionalización de variables*

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Escala	Rango de valores esperados
<b>“ Y=VD”</b> <b>VARIABLE DEPENDIENTE</b> Y = Talud	Se denomina talud a cualquier masa de suelo que se encuentre inclinada con respecto al plano horizontal. Cuando los taludes son formados por la naturaleza se le nombra ladera natural o directamente ladera. De lo contrario, se indica talud de corte o talud artificial cuando fueron edificados por los humanos, según sea su origen de formación.	El factor de seguridad se determina mediante análisis de equilibrio limite, en condiciones estáticas y pseudoestáticas mediante softwares de estabilidad de taludes.	Factor de seguridad	Inestable	Adimensional	Intervalo	< 1.5
				Equilibrio	Adimensional	Intervalo	= 1
				Estable pero inseguro	Adimensional	Intervalo	1 – 1.5
				Estable y seguro	Adimensional	Intervalo	> 1.5
		Las propiedades mecánicas del suelo se obtienen mediante estudios geotécnicos al suelo tanto en campo como laboratorio.	Propiedades geotécnicas del suelo	Angulo de fricción	Angulo sexagesimal	Intervalo	≥ 0
				Cohesión	kPa	Intervalo	≥ 0
				Densidad	gm/cm <sup>3</sup>	Intervalo	≥ 0
				Peso Unitario	kN/m <sup>3</sup>	Intervalo	≥ 0
				Altura	m	Intervalo	≥ 0
				Longitud	m	Intervalo	≥ 0
Los parámetros geométricos del talud se consiguen mediante estudios topográficos en campo.	Parámetros geométricos del talud	Ancho	m	Intervalo	≥ 0		
		Inclinación del anclaje	°	Intervalo	≥ 0		
		Longitud del anclaje	m	Intervalo	≥ 0		
<b>“ X=VI”</b> <b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b> X = Soil nailing	El soil nailing es una técnica de refuerzo que se emplea para estabilizar los taludes a medida que se realiza la excavación, mediante la perforación e incrustación de anclajes pasivos, los cuales unen las superficies de falla. Trabajan fundamentalmente a tracción y secundariamente al corte.	Se lleva a cabo el diseño del sistema <i>soil nailing</i> , verificando los modos de falla interno y externo variado las propiedades del elemento de refuerzo, para obtener los nuevos factores de seguridad en condiciones estáticas y pseudoestáticas.	Propiedades del elemento de refuerzo	Separación del anclaje	m	Intervalo	≥ 0
				Máxima Fuerza de tracción admisible del anclaje	kN	Intervalo	≥ 0
				Máxima fuerza admisible entre el anclaje y lechada	kPa	Intervalo	≥ 0
		Modos de falla interno	Modos de falla interno	Modos de falla interno	Modos de falla interno		

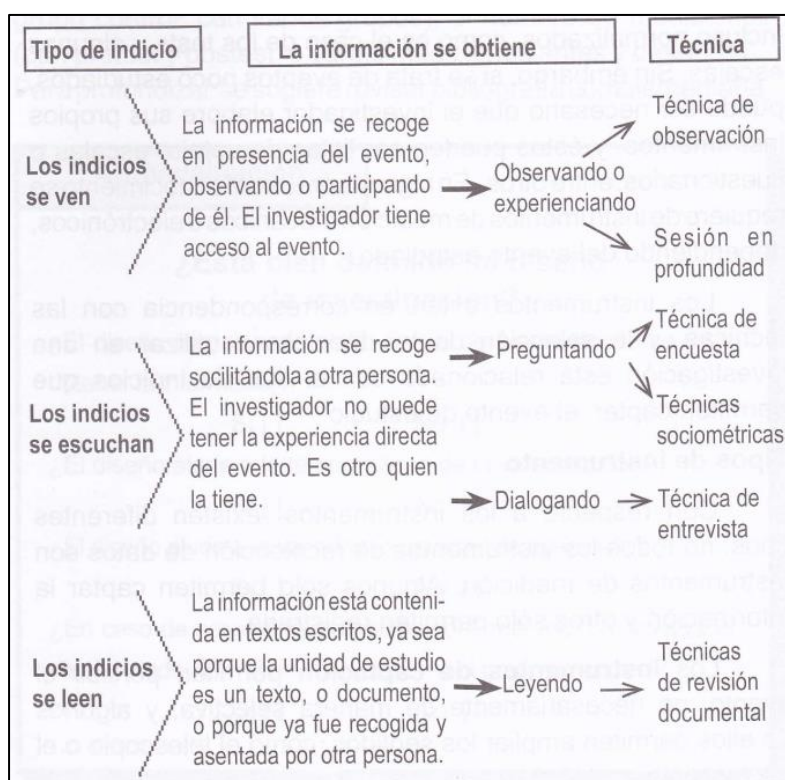
### 3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 3.5.1 Técnicas de recolección de datos.

Según lo manifestado por Sánchez y Reyes (2015), “Las técnicas son los medios por los cuales se procede a recoger información requerida de una realidad o fenómeno en función a los objetivos de la investigación. Las técnicas varían y se seleccionan considerando el método de investigación que se emplee”. La Figura 31 se muestran los criterios para la elección de la técnica de recolección de datos.

**Figura 31**

*Esquema para seleccionar las técnicas*



*Nota:* La figura muestra los criterios para tener en cuenta para la elección de la técnica de recolección de datos. Fuente: (66 p. 162).

En la presente investigación se emplearon las técnicas de observación científica y la revisión documental las cuales se detallan a continuación:

**3.5.1.1 Observación Científica.** “Observar científicamente significa observar con un objetivo claro, definido y preciso: el investigador sabe que es lo que desea observar y para que quiere hacerlo, lo cual implica que debe preparar cuidadosamente la observación” (67 p. 15). Dentro de la observación científica tenemos las siguientes modalidades que se aplicaron en el presente proyecto de investigación:

- La observación directa
- La observación indirecta.

- La observación de campo.
- La observación de laboratorio.
- La observación individual.
- La observación grupal.

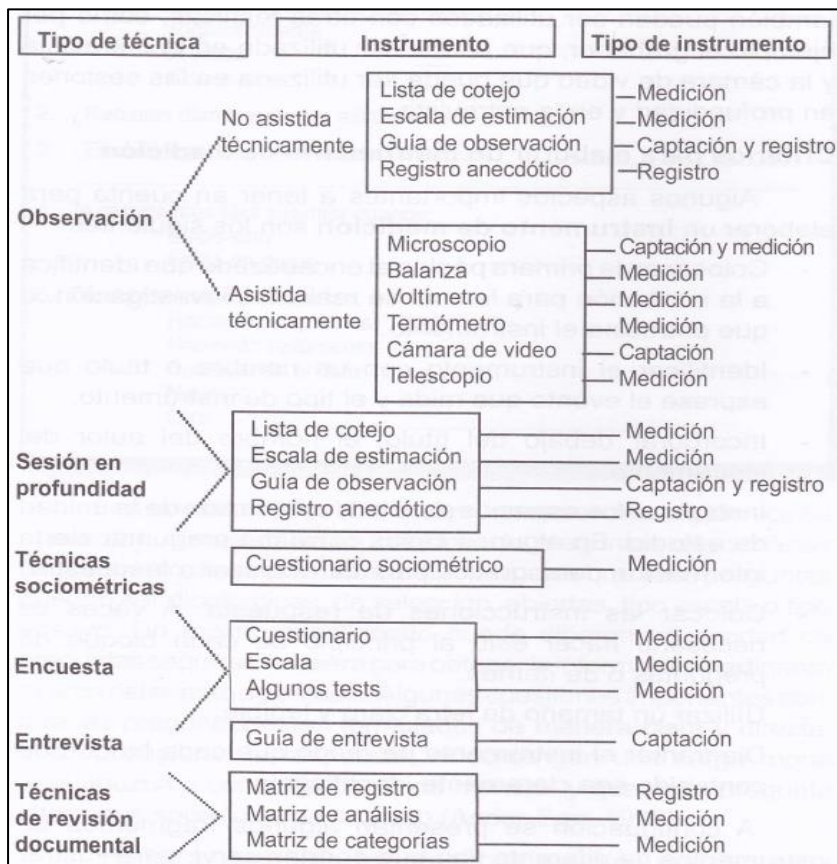
**3.5.1.2 La revisión documental.** Para obtener información sobre la aplicación del sistema *soil nailing* en la estabilidad de taludes, se recopiló información existente en fuentes bibliográficas (para analizar temas generales sobre la investigación a tratar), apelando en lo posible a fuentes originales como libros escritos por autores conocidos y expertos en el área, artículos científicos, tesis, recortes, páginas web y notas de prensa.

### 3.5.2 Instrumentos de recolección de datos

Un instrumento de medición es un “recurso que utiliza el investigador para registrar información o datos sobre las variables que tiene en mente” (61 p. 199). Ver Figura 32.

**Figura 32**

*Esquema para seleccionar los instrumentos de recolección de datos*



*Nota:* La figura muestra los diferentes tipos de instrumentos de recolección de registro en función de la técnica de recolección de datos. Fuente: (66 p. 163).

Los instrumentos que se usaron en la presente investigación fueron fichas de observación, fichas de registro de campo y laboratorio.

**3.5.2.1 Fichas de registro de laboratorio.** Se obtuvieron a través de las Normas Técnicas Peruanas (NTP): NTP 339.129 (límites de consistencia del suelo), NTP 339.128 (granulometría), NTP 339.171 (corte directo), NTP 339.150 (identificación de suelos), MTC C- 117 (densidad en el sitio); de esta forma, los datos fueron suministrados por el laboratorio donde se realizaron los análisis siguiendo las normas correspondientes (ver Anexo C).

**3.5.2.2 Fichas de observación de campo.** La ficha de observación visual del talud fue la siguiente:

- Nombre: Informe de inspección de talud.
- Año: 2021.
- Procedencia: Asociación Costarricense de Geotecnia.
- Numero de ítems: 6 ítems.
- Tiempo de aplicación: Indeterminado.
- La ficha de observación visual se muestra en el Anexo B.

**3.5.2.3 Instrumentos de recolección de campo.** Los instrumentos de recolección de campo fueron:

- Herramientas manuales (pico, pala y sacos).
- Esclerómetro.
- Cono de arena.
- Balanza.
- Equipos topográficos (dron, cinta métrica, GPS).
- Brújula tipo Brunton Azimutal.

**3.5.2.4 Instrumentos de laboratorio (Observación asistida técnicamente).** Los instrumentos de recolección de laboratorio fueron:

- Juego de tamices para clasificación de suelos.
- Balanza.
- Equipo de corte directo.
- Horno de secado.

## CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

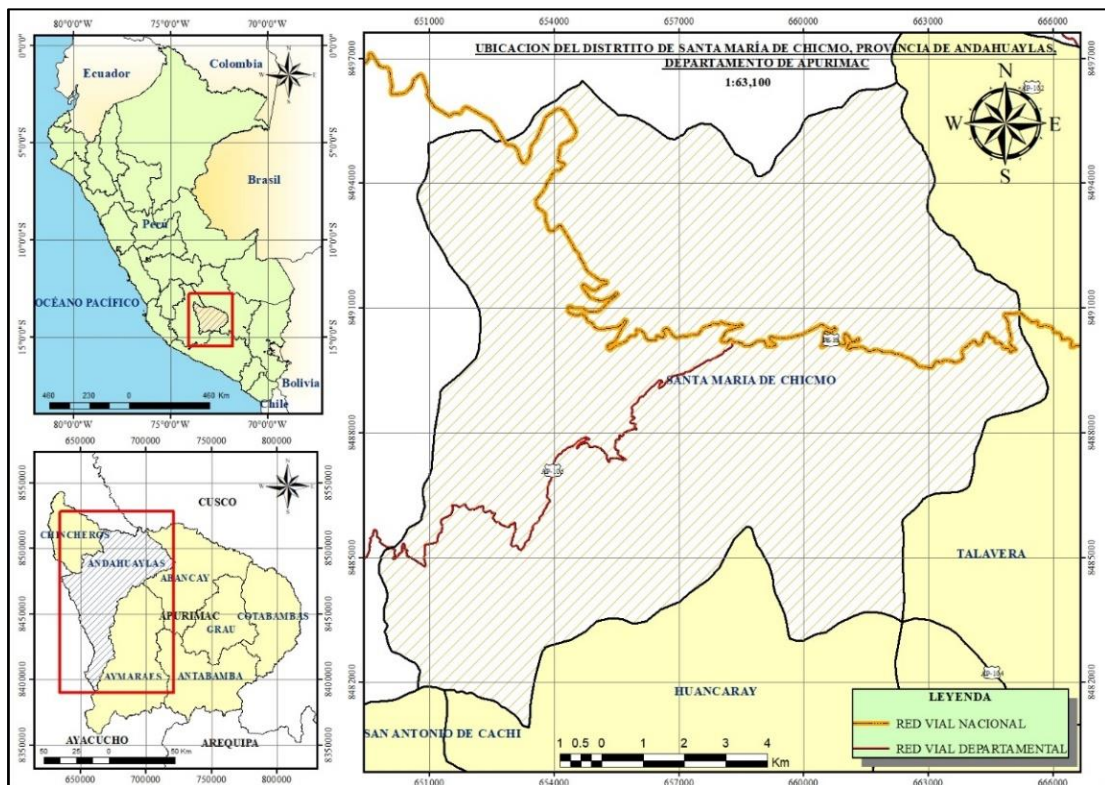
### 4.1 Marco geográfico

#### 4.1.1 Ubicación política

- Departamento : Apurímac
- Provincia : Andahuaylas
- Distrito : Santa María de Chicmo
- Sector : Yahuari

**Figura 33**

*Ubicación política del área de estudio*



#### 4.1.2 Ubicación geográfica

- Altitud : 2994 m s. n. m. a 3063 msnm
- Coordenada norte : 8'489,944 m a 8'490,047 m

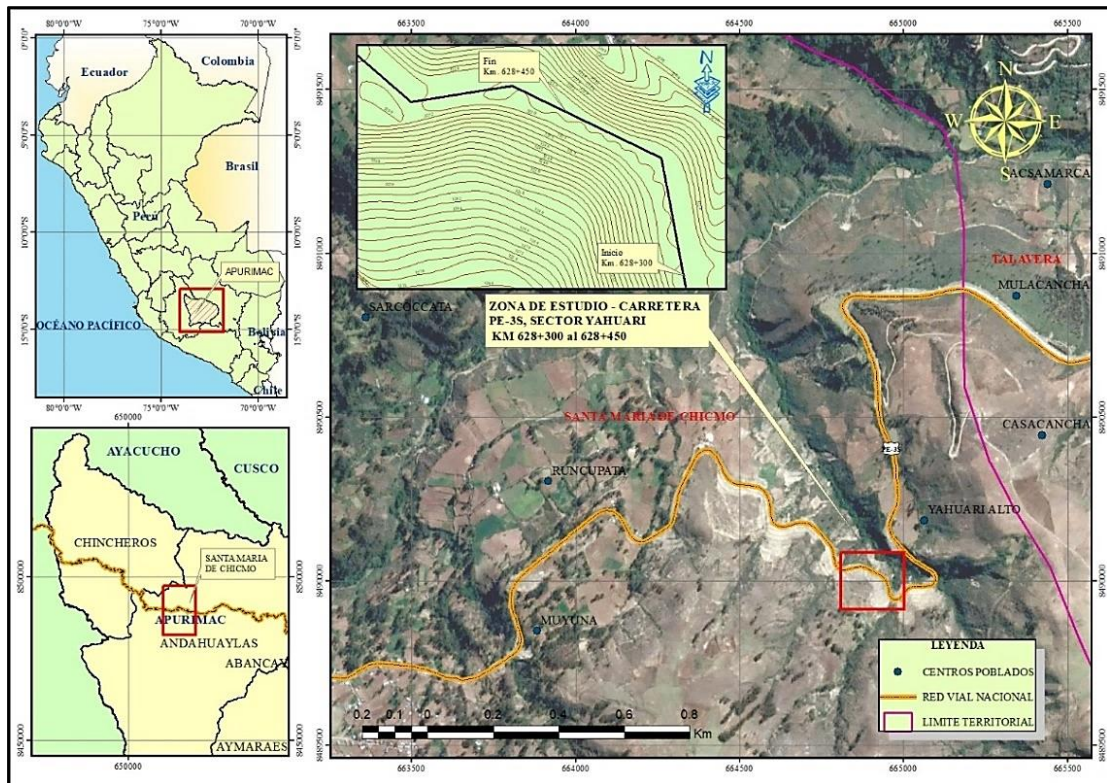
- Coordenada este : 664,971 m a 664,867 m

#### 4.1.3 Delimitación

- Por el norte : Con el centro poblado Ucuchupa
- Por el sur : Con el centro poblado Yahuari Alto
- Por el este : Con el distrito de Talavera
- Por el oeste : Con el centro poblado Pachacca

**Figura 34**

*Localización del área estudio en el sector de Yahuari*



#### 4.1.4 Accesibilidad

El acceso a la zona de estudio es posible por vía terrestre siguiendo la ruta nacional PE-3S (Andahuaylas – Chincheros). El acceso es el siguiente: por carretera asfaltada, partiendo desde la ciudad de Andahuaylas con dirección al distrito de Talavera (5.6 km), hasta llegar a la Av. Manco Cápac e ingresar a la ruta nacional PE-3S y recorrer 11 km para llegar al km 628+300, la cual se ubica en el distrito de Santa María de Chicmo. Este último trayecto es corto, por lo que se puede realizar caminando o en vehículo; la distancia desde la ciudad de Andahuaylas hasta la zona de estudio es aproximadamente de 16.6 km y el tiempo de viaje estimado en vehículo es de 25 minutos.

## 4.2 Información previa

### 4.2.1 Aspectos geológicos

**4.2.1.1 Geomorfología local.** Las unidades geomorfológicas presentes en la ciudad de Andahuaylas son el producto de la geodinámica externa (meteorización, erosión, sedimentación, acción biológica, etc.) y la geodinámica interna (tectónica de placas, erupciones volcánicas, terremotos), las cuales han estado modificando la superficie terrestre a lo largo de los miles de años, y esto se ve reflejado en la variada topografía de la zona. En la presente investigación, los estudios de geomorfología local se realizaron con los estudios previos ejecutados por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMET) e inspecciones visuales en el área de estudio con profesionales expertos en la materia, lográndose identificar la unidad de montaña y colina. Dentro de la unidad de montaña y colina se encontró la subunidad de montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria (ver la Figura 35).

#### Figura 35

*Montañas estructurales en roca sedimentaria (RMCE-rs)*



**4.2.1.1.1 Subunidad de montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria.** En la zona de estudio se pudo identificar la subunidad geomorfológica de montaña-colina estructural desarrollada en rocas sedimentarias (RMCE-rs). Litológicamente lo comprenden rocas sedimentarias del Grupo Yura. “Las rocas que conforman este grupo

consisten en cuarzarenitas, areniscas, lutitas y calizas. En base a sus características litológicas y algunas evidencias fósiles se ha diferenciado 5 unidades geológicas, que son las formaciones Puente, Cachíos, Labra, Gramadal y Hualhuani” (68 p. 5).

**4.2.1.2 Estratigrafía regional.** En la Figura 36 se muestra estratigrafía regional del cuadrángulo de Andahuaylas la cual está conformada por depósitos sedimentarios que van desde el triásico superior al cuaternario reciente.

**Figura 36**

*Columna estratigráfica generalizada del cuadrángulo de Andahuaylas*

Eratema	Sistema	Serie	Unidades Litoestratigráficas	Columna Estratigráfica	Grosor en Metros	Descripción	
CENOZOICA	CUATERNARIO	Holocena	Depósitos fluviales			Depósitos acumulados en los ríos, constituidos por gravas, arenas y limos.	
			Depósitos coluviales			Depósitos de material fragmentario heterogéneo transportado y acumulado en pendientes o taludes.	
			Depósitos bofedales			Depósitos de pantanos con detritos.	
		Depósitos aluviales	Depósitos de gravas y arenas gruesas				
		Depósitos glaciofluviales	Depósitos acumulados con clastos heterogéneos y matriz compuesta por arena, limos y arcillas.				
	Pleistocena	Depósitos morrénicos	Depósitos constituido por bloques heterométricos angulosos en matriz limoarenosa y clastos menores.				
		Gco. Barroso	Complejo Volcánico Carhuarazo (Formación Yacotingo)			Tobas de cristales, tobas vitrocrystalinas.	
	NEÓGENO	Pliocena	Grupo Puno			Complejo Volcánico Indiferenciado	Andesitas de color gris violácea con fenocristales de plagioclasas englobados en una matriz vítrea.
		Miocena				Fm. Soncco	Conglomerados polimicticos con matriz arenosa, en estratos de areniscas deliznables con clastos elongados de arcillas.
	PALEÓGENO	Oligocena	Eocena			Paleocena	
				Areniscas arcóscas pardo rojizas y grises con niveles conglomerádicos e intercaladas con lutitas rojizas en igual proporción que las areniscas.			
MESOZOICA	CRETÁCEO	Superior	Fm. Muñani			Areniscas pardo rojizas, se intercalan con lutitas y limoarcillitas rojas.	
			Fm. Auzangate			Lutitas, limoarcillitas, limolitas pardo rojizas laminadas alternadas intercaladas algunas veces por gruesos estratos de areniscas marrones.	
			Fm. Viquechico			Limolitas calcáreas pardo amarillentas, areniscas cuarzosas y arcosas gris blanquecinas de grano medio, intercaladas con limoarcillitas laminadas, calizas laminadas gris verdosas a violáceas y lutitas grises.	
			Fm. Arcuquina			Miembro C	Calizas grises en estratos gruesos presenta una grosera estratificación
						Miembro B	Calizas grises en estratos delgados, bien estratificadas.
		Miembro A				Calizas negras bien estratificadas en estratos gruesos, nódulos calcáreos de diversas dimensiones y fósiles mal conservados	
		Inferior	Fm. Murco			Areniscas y lutitas rojizas, en algunos casos gris verdosas con capas de yeso.	
			JURÁSICO			Superior	Fm. Hualhuani
		Fm. Gramadal					Areniscas gris blanquecinas intercaladas con areniscas calcáreas marrones
		Fm. Labra					Cuarciarenitas y areniscas gris blanquecinas con tonos verde amarillentos, intercaladas por niveles lutáceos.
	Medio	Fm. Cachíos		Lutitas grises intercaladas con delgados niveles de areniscas y limolitas grises.			
		Fm. Puente		Cuarciarenitas y areniscas gris claras, intercaladas con delgados niveles centimétricos de lutitas negras.			
	Inferior	Fm. Socosani	Calizas grises macizas con fósiles mal conservados, con diseminaciones de pirita, hacia el tope intercalaciones de calizas arenosas.				
		TRIÁSICO	Superior	Grupo Pucará	Algunas calizas grises macizas con fósiles mal conservados, hacia el tope con intercalaciones de calizas arenosas, en algunos casos intercalaciones de capas de yeso.		
	Plutón metamórfico de Abancay(?)			Probable granodiorita metamorfozada, gneis con bandeamiento de feidepastos.			
Inferior	Grupo Mitu		Brechas volcánicas con clastos de rocas intrusivas, volcánicas, derrames lávicos andesíticos y conglomerados con clastos de rocas volcánicas, intrusivas y areniscas de dimensiones variables.				
PALEOZOICA	PÉRMICO	Superior	Grupo Copacabana	Calizas macizas gruesas de color gris pardusco con evidencia fósil. La Unidad superior está constituida por una secuencia lutácea, intercalada con delgadas capas de calizas grises.			
		Inferior	Grupo Tama	Calizas grises, areniscas gris verdosas con estructuras sedimentarias e intercalaciones de lutitas verdes.			
CARBÓNIFERO	Pensilvaniano	Grupo Tama			Calizas grises, areniscas gris verdosas con estructuras sedimentarias e intercalaciones de lutitas verdes.		

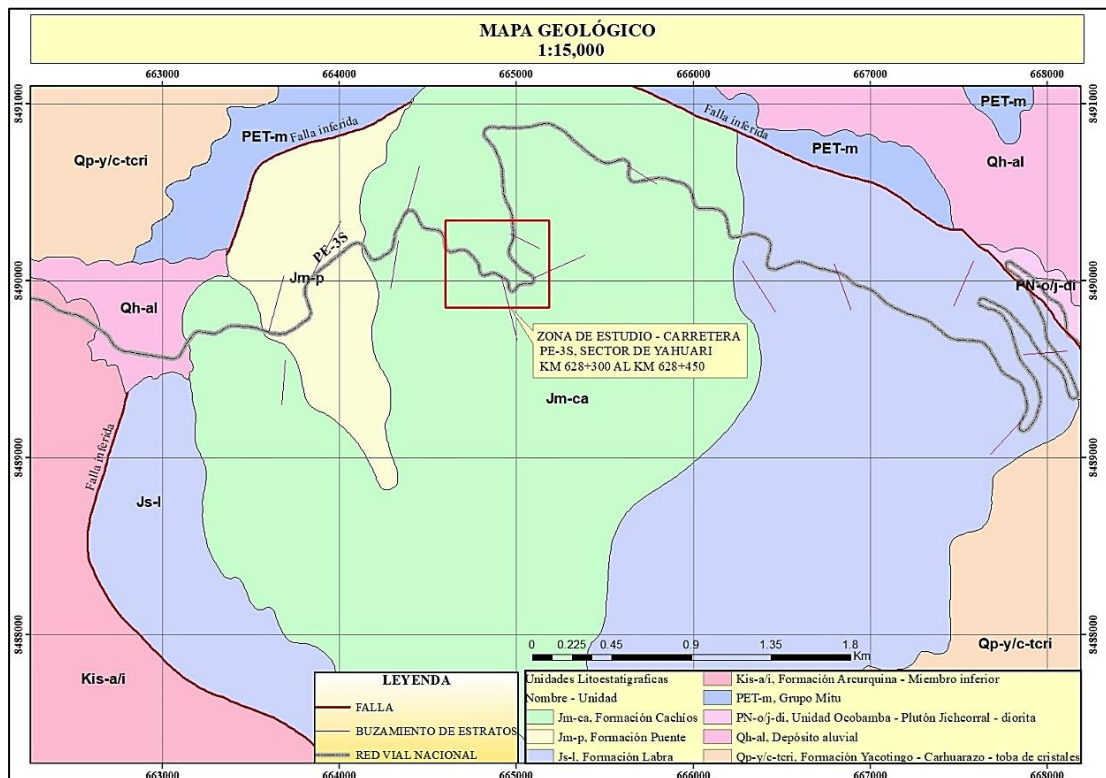
Fuente: (68)



En la Figura 37 se muestran las diferentes unidades litológicas presentes en la zona de estudio, la cual fue elaborada en base al mapa geológico presentado por el INGEMET. Debido a los fenómenos de geodinámica interna y geodinámica externa presentes en el área de estudio, muchas veces se hace difícil la identificación de estas unidades, debido a la presencia de depósitos cuaternarios recientes que cubren en gran parte de manera superficial estas unidades.

**Figura 37**

*Plano geológico de la zona de estudio*



**4.2.1.2.1 Grupo Yura.** Este grupo está cubierto en concordancia por calizas de la formación Ferrobamba del cretácico medio, encontrándose buenos afloramientos en la carretera Andahuaylas – Santa María de Chicmo, la carretera Huancarama y en los valles del río Apurímac y Pachachaca. Las formaciones del grupo Yura presentes en la zona de estudio se describen a continuación:

- Formación Cachíos (Jm-ca): Litológicamente la formación Cachíos es materia de estudio dentro del marco del presente trabajo de investigación, donde esta formación aflora ampliamente sobre el área de estudio (sector de Yahuari). “[...] consistiendo en una gruesa secuencia lutácea, eventualmente alternada con estratos de areniscas y limolitas grises” (68 p. 5).

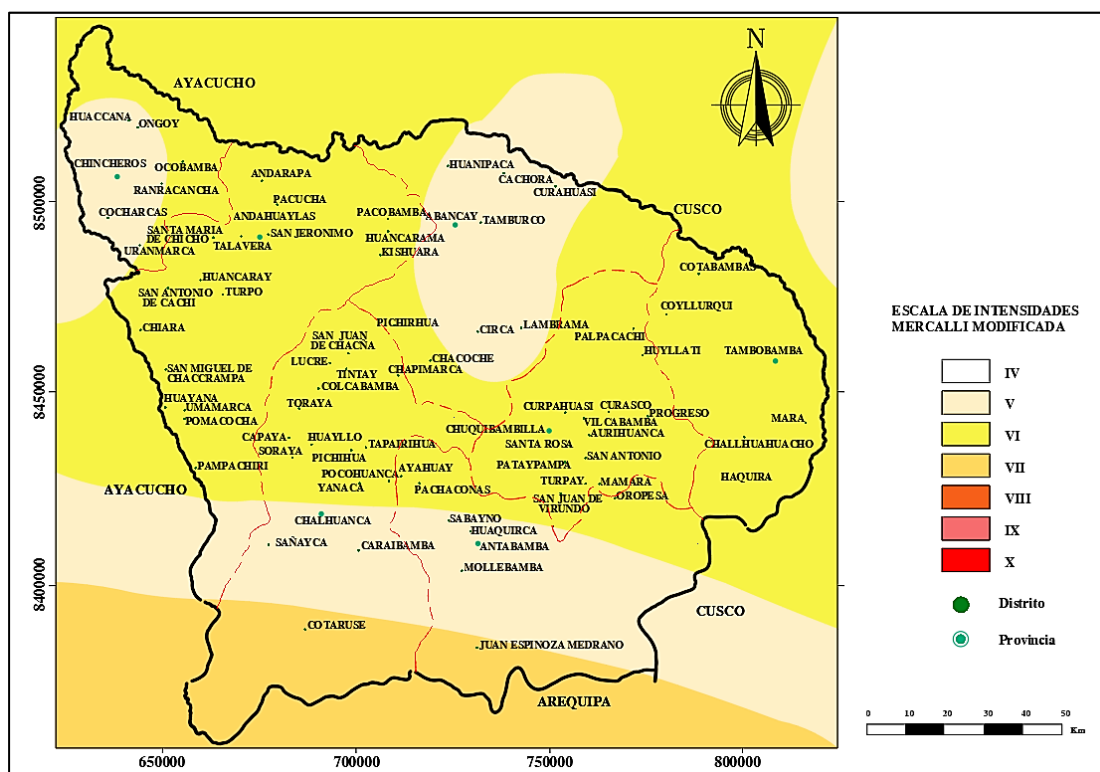
- Formación Puente (Jm-p): En estos afloramientos “[...] se observa una secuencia de cuarciarenitas grises, areniscas y limolitas grises intercaladas por escasos niveles de lutitas negras, encima yacen una secuencia lutácea correspondiente a la Formación Cachíos” (68 p. 5).

#### 4.2.2 Aspectos sísmicos

De acuerdo con el Instituto Geofísico del Perú (IGP): “Los sismos en la región Apurímac están relacionadas a la actividad de las fallas regionales. Según el mapa de zonificación sísmica del Perú (Figura 38). Se esperan para Apurímac intensidades máximas entre VI y VII en la escala Mercalli” (69 p. 26).

**Figura 38**

*Mapa de distribución de intensidades sísmicas de la región Apurímac*



Fuente: (69)

### 4.3 Programa de investigación

#### 4.3.1 Estudio topográfico

El estudio topográfico realizado en la ruta nacional PE-3S entre los kilómetros 627+995 al 628+600, sector de Yahuari, tuvieron como objetivo principal determinar las características geométricas actuales del terreno y poder representarlo mediante curvas de nivel. El estudio topográfico se dividió en dos fases, la primera fase consistió

en la recolección de datos de campo, mientras que la segunda fase se trató principalmente del procesamiento de los datos obtenidos en el campo.

**4.3.1.1 Trabajos de campo.** El levantamiento topográfico en la zona de estudio se realizó por el método de la fotogrametría mediante el uso de aeronaves pilotadas a distancia (RPA, por sus siglas en inglés). Se usó este método de levantamiento debido a las ventajas que presenta en comparación a un levantamiento topográfico tradicional realizado con una estación total y miras topográficas. Los equipos usados para levantamiento fotogramétrico se muestran en la Figura 39 y fueron los siguientes:

- Dron modelo Dji Phantom 4 Pro.
- Software controlador de vuelo (Pix4D Mapper App).

**Figura 39**

*Equipos usados para el levantamiento fotogramétrico*



Cabe mencionar que levantamiento fotogramétrico fue realizado por un profesional en el área. Los pasos seguidos en el levantamiento fotogramétrico se detallan a continuación:

- Primero, se realizó una inspección visual al área de estudio con el objetivo de ubicar un punto estratégico que esté libre de arbustos u objetos que perjudiquen el funcionamiento correcto del dron, para a

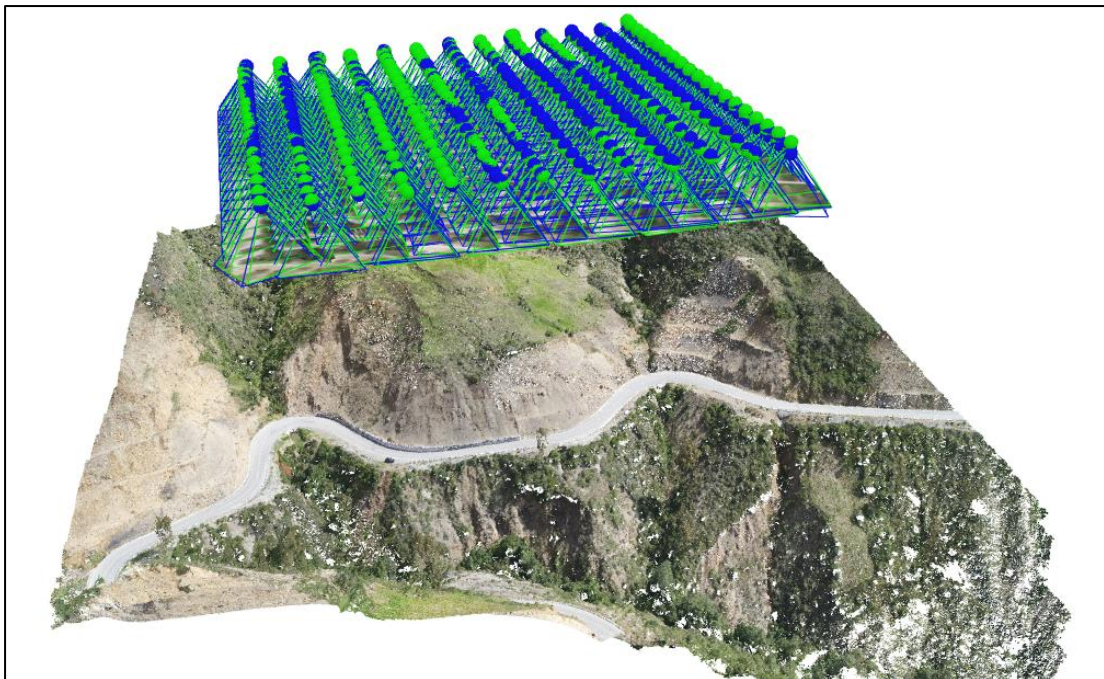
partir de este punto poder realizar el levantamiento fotogramétrico. Una vez ubicado el punto estratégico se procedió a programar el área y la ruta del vuelo del dron, teniendo siempre en cuenta la altura de vuelo, la inclinación de la cámara y la duración de la batería.

- Una vez programado el área y ruta de vuelo del dron se procedió a realizar el levantamiento fotogramétrico con el objetivo adquirir los datos del campo mediante la obtención de fotografías aéreas georreferenciadas, lográndose obtener un total de 271 imágenes aéreas.

**4.3.1.2 Trabajo de gabinete.** Una vez realizado el levantamiento fotogramétrico del área de estudio, las fotografías aéreas fueron procesadas mediante el software Pix4D v.4.3.33, como se muestra en la Figura 40.

**Figura 40**

*Procesamiento digital fotogramétrico en el programa Pix4D*



El software Pix4D toma la información de la calibración de la cámara, el punto donde se tomó la foto y las coincidencias entre las múltiples fotos, las interpreta y genera una nube de puntos. Una vez generada y agrupada los diferentes puntos se prosiguió a la generación y texturización de la malla de triángulos, la cual no es otra cosa que el modelo digital 3D del terreno tal como se muestra en la Figura 41.

### **Figura 41**

*Modelo digital 3D del terreno generado en el programa Pix4D*



Por otra parte, se obtuvo también la ortofoto u ortomosaico del terreno levantado, es decir, una imagen georreferenciada y a escala del terreno, la cual se usó como base y apoyo para la generación de los planos en planta del terreno, tal como se muestra en la Figura 42.

### **Figura 42**

*Ortofoto del área de estudio, sector de Yahuari*



Una vez obtenida la malla de triángulos, la nube de puntos y la ortofoto del programa Pix4D, se prosiguió con la generación de los planos topográficos en planta mediante la utilización de software de diseño asistido por computadora (CAD); en este caso se usó el software Autodesk AutoCAD Civil 3D en su versión 2019.

#### **4.3.2 Estudios geotécnicos**

##### **4.3.2.1 Estudios geotécnicos en campo.**

**4.3.2.1.1 Calicatas y trincheras.** Las muestras de suelo para el presente trabajo de investigación se obtuvieron mediante la exploración y excavación de calicatas y trincheras, que fueron realizadas con el objetivo de obtener muestras representativas de las propiedades y características del suelo, para posteriormente ser analizadas y evaluadas en el laboratorio. Se realizaron un total de dos (02) calicatas y una (01) trinchera para la obtención de las muestras de suelo. La primera muestra de suelo se obtuvo de la calicata N° 01 (Figura 43), ubicada en el corte del talud, la cual tuvo una profundidad de 1.50 metros, lográndose obtener una muestra de suelo alterada de 25 kg aproximadamente. Asimismo, se realizó la obtención de datos adicionales de la calicata N° 01, tales como la estratigrafía del suelo, ubicación y presencia de aguas subterráneas.

#### **Figura 43**

*Excavación y toma de muestra de suelo en la calicata N° 01*



La segunda muestra de suelo se extrajo de la fracción inestable del talud, a la que denominamos calicata N° 02, la cual estuvo ubicada en el corte de talud, con una profundidad de 1.00 metro, lográndose obtener una muestra de suelo alterada de 25 kg

aproximadamente, tomándose respectivamente apuntes sobre la estratigrafía del suelo, la ubicación y presencia de aguas subterráneas. Asimismo, la trinchera se realizó en la cabeza del talud, para obtener más información del suelo y la estratigrafía del talud.

Una vez efectuado las respectivas excavaciones y extraído las muestras de suelo de las calicatas y trincheras, se procedió a protegerlas en bolsas plásticas impermeables, para luego traspórtalas y analizarlas en el laboratorio. En la Tabla 7 se presentan algunas de las características de las calicatas y trincheras efectuadas.

**Tabla 7**

*Características de las calicatas y trincheras realizadas*

Calicata	Progresiva	Muestra	Profundidad	Nivel Freático	Referencia
C-01	628+310	M-01	1.50m	NP	Corte de talud
C-02	628+420	M-02	1.00m	NP	Corte de talud
T-02	628+310	M-04	1.70m	NP	Cabeza de talud

*Nota:* C= Calicata y T= Trinchera

**4.3.2.1.2 Ensayo de cono de arena.** El ensayo de densidad *in-situ* mediante el método del cono de arena se realizó en las diferentes excavaciones de calicata y trinchera, para poder determinar la densidad natural y el peso específico del suelo, usando de guía las normativas MTC E-117 y NTP 339.143, obteniéndose los siguientes resultados que se muestran en la Tabla 8.

**Tabla 8**

*Resumen de los resultados del ensayo de cono de arena*

Calicata	Densidad suelo húmedo <i>in-situ</i> (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad suelo seco <i>in-situ</i> (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso unitario húmedo (kN/m <sup>3</sup> )	Peso unitario seco (kN/m <sup>3</sup> )	Contenido de humedad (%)
C-01	1.61	1.38	15.78	13.49	17.01
C-02	1.57	1.43	15.43	14.06	9.74
T-02	1.52	1.38	14.91	13.52	10.27

**4.3.2.1.3 Clasificación geomecánica RMR.** La clasificación geomecánica empleada para caracterizar el macizo rocoso en el área de estudio fue mediante el método del índice de calidad de la roca (RMR), el cual permite determinar los diferentes parámetros geomecánicos del macizo rocoso y, a su vez, relacionarlos con parámetros geotécnicos ( $\phi$ , c). En la Tabla 9 se presenta el resumen de los valores obtenidos. El índice de

resistencia geológica GSI se obtuvo mediante la correlación RMR, considerando la afirmación dada por Ferrer que el “GSI es igual al RMR-5” (19 p. 196).

**Tabla 9**

*Resultado de valores de RMR para el tramo de estudio*

Descripción	Valor
Ubicación	Km 628+425
Sector	Yahuari
Coordenadas	8490031(N); 664898 (E)
RMR	52
Clase	III
Calidad	Media
Litología	Lutita
GSI	47

**4.3.2.2 Estudios geotécnicos en laboratorio.** Con las muestras de suelo conseguidas en el campo se realizaron los diferentes ensayos que se muestran en la Tabla 10.

**Tabla 10**

*Ensayos de laboratorio realizados*

Ensayo	Norma Aplicable	
	NTP	ASTM
Contenido de humedad del suelo	NTP 339.127	ASTM D – 2216
Análisis granulométrico por tamizado	NTP 339.128	ASTM D – 422
Clasificación unificada de los suelos	NPT 339.134	ASTM D – 2487
Límites de consistencia	NTP 339.129	ASTM D – 4318
Densidad mediante el cono de arena	NTP 339.143	ASTM D – 2487
Corte directo	NTP 339.171	ASTM D – 3080
Martillo Schmidt	---	ASTM 45 – D562/A

Se pudo identificar mediante los ensayos de granulometría y límites de consistencia, que el área de estudio se emplaza de manera superficial por gravas mal gradadas y gravas arcillosas, tal y como se muestra en Tabla 11.



**Tabla 11***Resumen de ensayos estándar realizados en laboratorio*

Calicata	Granulometría			Límites de consistencia		Humedad natural (%)	Clasificación SUCS
	Gravas (%)	Arenas (%)	Finos (%)	L.L (%)	I.P (%)		
C-01	51.88	33.78	14.34	42.86	13.75	17.05	GC
C-02	54.34	36.03	9.63	27.52	7.99	9.76	GP-GC
T-02	47.48	35.66	16.85	33.81	12.53	10.22	GC

*Nota:* L.L = límite líquido, I.P = índice de plasticidad

Asimismo, de los ensayos de corte directo se puede estimar los parámetros de resistencia del suelo, en términos de cohesión y ángulo de fricción interna ( $\phi$ , C); cabe precisar que el ensayo de corte directo fue realizado en muestras remodeladas del suelo. En la Tabla 12 se muestra el resumen de los ensayos de corte directo.

**Tabla 12***Resumen de ensayos especiales realizados en laboratorio*

Calicata	Clasificación SUCS	Ángulo de fricción interna	Cohesión (kgf/cm <sup>2</sup> )	Cohesión (kPa)
C-01	GC	31.75°	0.10	9.81
C-02	CP-GC	31.63°	0.10	9.81
T-02	GC	30.14°	0.06	5.88

**4.3.2.3 Ensayos en roca.** Los ensayos que se practicaron a las diferentes muestras de roca que se obtuvieron en el campo fueron las de gravedad específica aparente (Gs), absorción y la resistencia a la compresión simple de la roca. Los resultados obtenidos se muestran en Tabla 13.

**Tabla 13***Resumen de las propiedades físicas de la roca*

Descripción	Valor
Litología	Lutita
Absorción	1.48%
Gravedad específica aparente	2.50gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario	24.52kN/m <sup>3</sup>
Resistencia a compresión	35.00MPa

Cabe aclarar que el valor de la resistencia a la compresión simple de la roca se obtuvo a partir del procedimiento del martillo Schmidt practicado a la roca *in-situ*.

#### 4.3.3 Criterio de rotura para el macizo rocoso

El criterio de rotura empleado fue el de Hoek y Brown para macizos rocosos fracturados de mala calidad, el cual está definido por la siguiente expresión:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left( m_b \cdot \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + S \right)^a \quad (25)$$

Donde:

- $\sigma'_1$  : Tensión principal mayor durante el fallo de roca.
- $\sigma'_3$  : Tensión principal menor durante el fallo de roca.
- $\sigma_{ci}$  : Fuerza de la roca intacta en compresión simple.
- $m_b, S$  : Constante del material no lineal dependiendo de la roca.
- $a$  : Coeficiente en función de la ruptura de la roca.

Además, se tiene que:

$$m_b = m_i * \exp \left[ \frac{GSI - 100}{28 - 14D} \right] \quad (26)$$

$$S = \exp \left[ \frac{GSI - 100}{9 - 3D} \right] \quad (27)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} (e^{-GSI/15} - e^{-20/3}) \quad (28)$$

Donde:

- GSI : Índice de estructuras geológicas.
- D : Coeficiente de masa de roca dañado.
- $m_i$  : Constante de material de rigidez en la roca intacta.

**4.3.3.1 Cálculo de los parámetros resistentes del macizo rocoso.** A continuación, se presenta el procedimiento de obtención de los diferentes parámetros mostrados en las ecuaciones 25, 26, 27 y 28:

- Resistencia a compresión ( $\sigma_{ci}$ ): El valor de la resistencia a la compresión uniaxial de la roca se obtuvo a partir del ensayo de martillo

Schmidt practicado a la roca in-situ, donde se obtuvo un valor de  $\sigma_{ci} = 37$  MPa.

- Constante de Hoek y Brown ( $m_i$ ): Se acogió un valor de  $m_i = 4$ , debido a que según los estudios geológicos y de caracterización geomecánica *in-situ*, se determinaron que en el área de estudio afloran en su gran mayoría lutitas.
- Índice de resistencia geológica para el macizo rocoso (GSI): El valor del GSI se obtuvo a partir del apartado de 4.3.2.1.3 Clasificación geomecánica **RMR.**, obteniéndose un valor de GSI = 47.
- Grado de alteración del macizo rocoso (D): El factor D “es un parámetro que depende del grado de perturbación al que haya sido sometido el macizo rocoso debido a los daños originados por la voladura y relajación tensional” (33 p. 109). Este parámetro puede oscilar entre valores de 1 para macizos intactos a 0 para macizos muy meteorizado. En el presente estudio, debido a los trabajos de excavación mecánica que fueron realizados en el macizo rocoso en el ámbito de las obras civiles, se consideró un  $D = 0.70$ .
- Constante de Hoek y Brown  $m_b$ : La constante  $m_b$  es un valor que se deduce de la constante de la roca intacta  $m_i$  y se calcula a partir de la ecuación 26:

$$m_b = m_i * \exp\left(\frac{47 - 100}{28 - 14(0.7)}\right) = 0.21744$$

- La constante de resistencia de Hoek y Brown (s y a): Las constantes de resistencia de Hoek y Brown s y a son propias macizo rocoso, y se obtienen a partir de las ecuaciones 27 y 28 respectivamente:

$$S = \exp\left(\frac{47 - 100}{9 - 3(0.7)}\right) = 0.00046$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}(e^{-47/15} - e^{-20/3}) = 0.5070$$

**4.3.3.2 Estimación de los parámetros de Mohr – Coulomb del macizo rocoso a partir de los criterios de rotura de Hoek – Brown.** Debido a que la mayoría de los programas geotécnicos actuales suelen utilizar el criterio de rotura de Mohr – Coulomb, y adicionalmente que la mayoría de los ingenieros suelen estar más familiarizados con los parámetros de cohesión y ángulo de fricción interna de los suelos, que con los parámetros propios de la rotura de Hoek – Brown, resulta ineludible determinar estos parámetros de cohesión y ángulo de fricción correspondientes al macizo rocoso. El ángulo de fricción interna y la cohesión, según el criterio no lineal de Hoek y Brown, están definidos por las ecuaciones 29 a 33:

$$C = \frac{\sigma_{ci}[(1 + 2a)S + (1 - a) \cdot m_b \cdot \sigma'_{3n}] \cdot (S + m_b \cdot \sigma'_{3n})^{a-1}}{(1 + a) \cdot (2 + a) \cdot \sqrt{\frac{1 + (6 \cdot a \cdot m_b) \cdot (S + m_b \cdot \sigma'_{3n})^{a-1}}{(1 + a) \cdot (2 + a)}}} \quad (29)$$

$$\phi = \sin^{-1} \left[ \frac{(6 \cdot a \cdot m_b) \cdot (S + m_b \cdot \sigma'_{3n})^{a-1}}{(2(1 + a) \cdot (2 + a) + (6 \cdot a \cdot m_b) \cdot (S + m_b \cdot \sigma'_{3n})^{a-1})} \right] \quad (30)$$

$$\sigma'_{3n} = \frac{\sigma'_{3max}}{\sigma_{ci}} \quad (31)$$

$$\frac{\sigma'_{3max}}{\sigma'_{cm}} = 0.72 \left( \frac{\sigma'_{cm}}{\gamma \cdot H} \right)^{-0.91} \quad (32)$$

$$\sigma'_{cm} = \sigma_{ci} \frac{(m_b + 4S - a(m_b - 8S)) \left( \frac{m_b}{4} + S \right)^{a-1}}{2(1 + a) \cdot (2 + a)} \quad (33)$$

**4.3.3.2.1 Cálculo de la cohesión.** Para determinar la cohesión del suelo se hará el uso de la ecuación 29:

$$C = \frac{37[(1 + 2(0.507)) * 0.0028 + (1 - 0.507) * 0.603 * \sigma'_{3n}] * (0.0028 + 0.603 * \sigma'_{3n})^{0.507-1}}{(1 + 0.507) * (2 + 0.507) \sqrt{\frac{1 + (6 * 0.507 * 0.603) * (0.0028 + 0.603 * \sigma'_{3n})^{0.507-1}}{(1 + 0.507) * (2 + 0.507)}}}$$

$$\sigma'_{cm} = 37 \frac{(0.217 + 4(0.0005) - 0.507(0.217 - 8(0.0005))) \left( \frac{0.217}{4} + 0.005 \right)^{0.507-1}}{2(1 + 0.507) \cdot (2 + 0.507)} = 2.276$$

$$\sigma'_{3\max} = 2.276 * 0.72 \left( \frac{2.276}{24.52 * 43} \right)^{-0.91} = 0.8135$$

$$\sigma'_{3n} = \frac{0.8135}{37} = 0.02198$$

Por lo tanto, se obtiene que la cohesión es igual C=0.235 MPa

**4.3.3.2 Cálculo del ángulo de fricción interna.** Para determinar la cohesión se hará el uso de la ecuación 30:

$$\phi = \sin^{-1} \left[ \frac{(6 * 0.507 * 0.603) * (0.028 + 0.603 * \sigma'_{3n})^{0.507-1}}{(2(1 + 0.507) * (2 + 0.507) + (6 * 0.507 * m_b) * (0.0028 + 0.603 * \sigma'_{3n})^{0.507-1})} \right]$$

Por lo tanto, se obtiene que la cohesión es igual  $\phi=32.56^\circ$ . Los parámetros presentados en la Tabla 14, obtenidos mediante cálculos manuales con las formulaciones de Hoek – Brown, fueron verificados y comparados con el software Rock Data v.3.0.

**Tabla 14**

*Parámetros de resistencia del macizo rocoso*

Descripción	Valor
RMR	52.00
Índice geológico de resistencia GSI	47.00
Resistencia a compresión simple	$\sigma_{ci}$ 35MPa
Grado de alteración por voladura	D 0.70
Constante de Hoek y Brown	$m_i$ 4.00
Constante de Hoek y Brown	$m_b$ 0.21744
Constante de Hoek y Brown	S 0.00046
Constante de Hoek y Brown	a 0.5070
Cohesión de la roca	C 0.235MPa
Angulo de fricción interna	$\phi$ 32.56°

#### **4.3.4 Análisis de estabilidad**

Antes de diseñar cualquier elemento de solución pasiva, activa y/o de prevención, es indispensable estudiar el talud mediante las metodologías ya establecidas y conocidas por el hombre para, de esta manera, poder definir los niveles de riesgo y/o amenaza al deslizamiento que estos poseen. La obtención de los niveles de riesgo al deslizamiento se realiza mediante la obtención del factor de seguridad

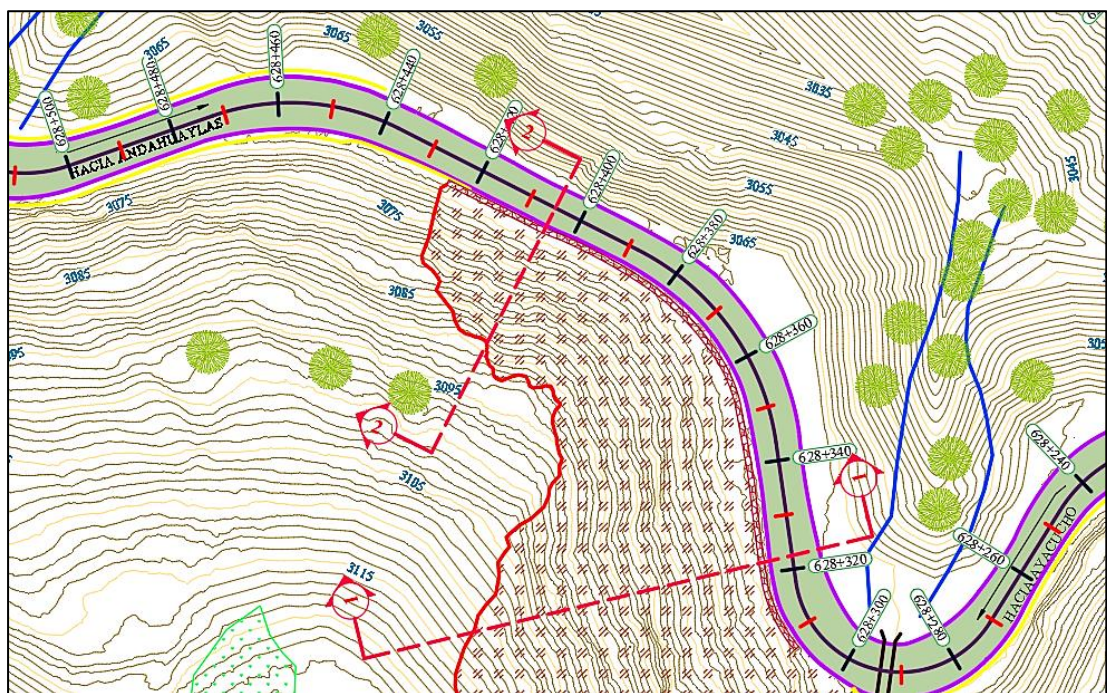
determinístico y/o probabilístico, según sea el caso. Para el cálculo del factor de seguridad determinístico, en la presente investigación se partieron de las siguientes consideraciones básicas.

**4.3.4.1 Consideraciones básicas del análisis de estabilidad.** Para llevar a cabo el análisis de estabilidad de talud se tomaron en cuenta los aspectos como la sección más crítica del talud, los perfiles estratigráficos obtenidos de los estudios geológicos-geotécnicos, la presencia de aguas subterráneas, las condiciones sísmicas de la zona de estudio y la existencia de sobrecargas externas que pudieran influenciar en cálculo del factor de seguridad del talud.

**4.3.4.1.1 Geometría de análisis.** Para llevar a cabo el respectivo análisis de estabilidad de talud, se ha considerado dos perfiles longitudinales, los cuales se denominaron Corte 1 y Corte 2 respectivamente, tal como se muestra en la Figura 44, los cuales fueron seleccionados en base a criterios de observación tomados en el campo, como son los taludes que presentan evidencia de deslizamiento y/o que poseen pendientes pronunciadas. El Corte 1 se ubica en la progresiva 628+322 y se usaron los parámetros geotécnicos del suelo de la calicata 1; por otro lado, el Corte 2 se encuentra ubicado en la progresiva 628+405, y para el cual se usaron los parámetros geotécnicos del suelo de la calicata 2.

**Figura 44**

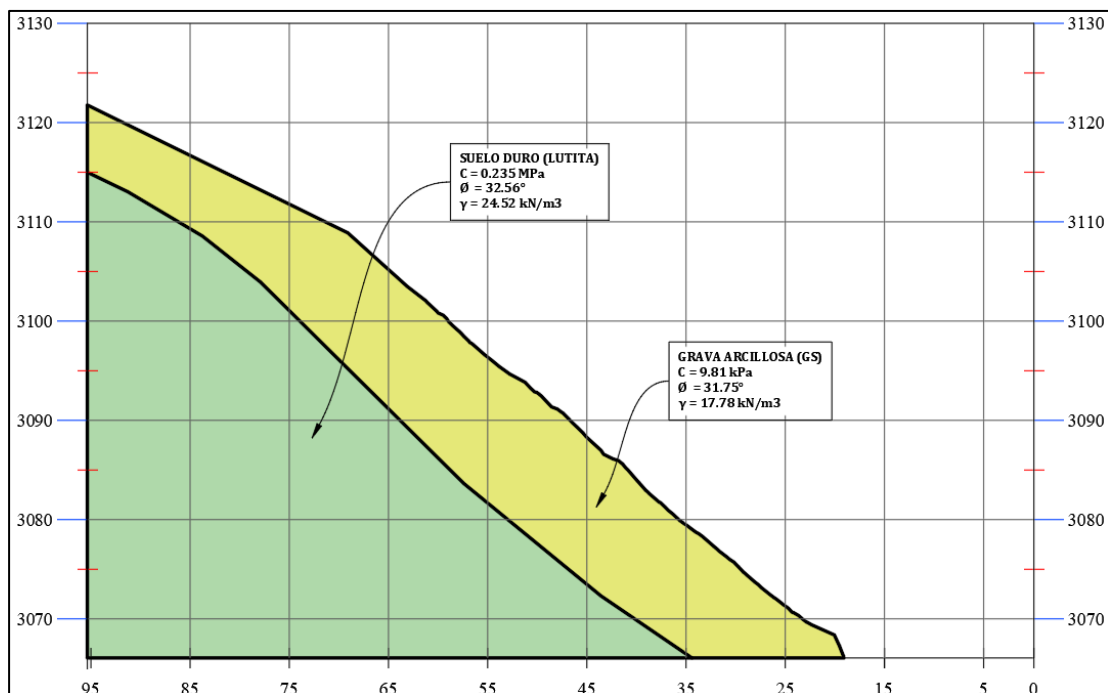
*Ubicación de las secciones a ser analizadas*



**4.3.4.1.2 Perfil estratigráfico del talud.** El perfil estratigráfico del talud se obtuvo a partir de los estudios geológicos y geotécnicos, los cuales muestran que el talud cuenta con un material de cobertura tipo coluvial altamente meteorizado en la parte superficial de esta y, que de acuerdo con los estudios geotécnicos, se tratan principalmente de grabas mal gradadas y grabas arcillosas y bajo esta cobertura se encuentra el macizo rocoso que consta de estratos de lutitas pertenecientes al grupo Yura, los cuales se encuentra medianamente meteorizados, tal como se muestra en la Figura 45.

**Figura 45**

*Perfil estratigráfico del corte 1-1*



**4.3.4.1.3 Cargas exteriores.** No se tomó en cuenta las cargas externas en el cálculo del factor de seguridad del talud, puesto que en la zona de estudio no se presenció la existencia de estructuras civiles que pudiesen causar inestabilidad en el talud y alterar el factor de seguridad.

**4.3.4.1.4 Parámetros geotécnicos.** En la Tabla 15 se muestran los resultados de los parámetros geotécnicos que se tomaron en cuenta para el cálculo del factor de seguridad determinístico del talud, los cuales fueron conseguidos en base a los ensayos realizados en campo y laboratorio.

**Tabla 15***Parámetros geotécnicos de las secciones de análisis*

Sección	Estrato	Descripción	Peso unitario (kN/m <sup>3</sup> )	Cohesión (kPa)	Ángulo de fricción interna
Corte 1-1	Estrato 1	GC	15.78	9.81	31.75°
	Estrato 2	Lutita	24.52	219.67	32.56°
Corte 2-2	Estrato 1	GP-GC	15.43	9.81	31.63°
	Estrato 2	Lutita	24.52	219.67	32.56°

**4.3.4.1.5 Métodos para el cálculo del factor de seguridad.** Para el cálculo del factor de seguridad del talud se empleó el software Slide, el cual emplea los métodos de equilibrio límite para llegar a una solución. Los métodos que se emplearon para la obtención del factor de seguridad determinístico fueron los de Bishop Simplificado, Spencer y Morgenstern-Price y empleándose una superficie de falla circular por tratarse de un suelo meteorizado.

**4.3.4.1.6 Agua subterránea.** De acuerdo con las exploraciones geotécnicas y geologías realizadas en la zona de estudio, no se identificó la presencia de aguas subterráneas que pudiesen alterar el cálculo del factor de seguridad, por lo que no se incluirá este elemento en el análisis.

**4.3.4.1.7 Aceleración sísmica.** Uno de los parámetros que tienen mayor influencia en el cálculo del factor de seguridad del talud son los sismos por lo que los valores de aceleración sísmica horizontal (PGA) deben de ser los más acertados en lo posible. Según la norma peruana E.30, el tramo en análisis se encuentra dentro de la zona sísmica 2 y el factor Z es de 0.25g el cual representa la máxima aceleración esperada para la zona de estudio con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años. Asimismo, de acuerdo con el mapa de isoaceleraciones del Perú (ver Figura 19) se tiene un valor para el factor Z de 0.32g, el cual es un 28% mayor a lo establecido por la norma peruana E.30, por lo que en la presente investigación se empleó el valor más crítico de ambos. Marcunson (1981) recomienda “utilizar valores entre 1/3 a 1/2 de la aceleración máxima esperada con las respectivas amplificaciones” (26 p. 298), por lo que se empleara un valor de aceleración sísmica horizontal promedio de 0.12g.

#### **4.3.4.2 Cálculo de los factores de seguridad para el corte 1.**

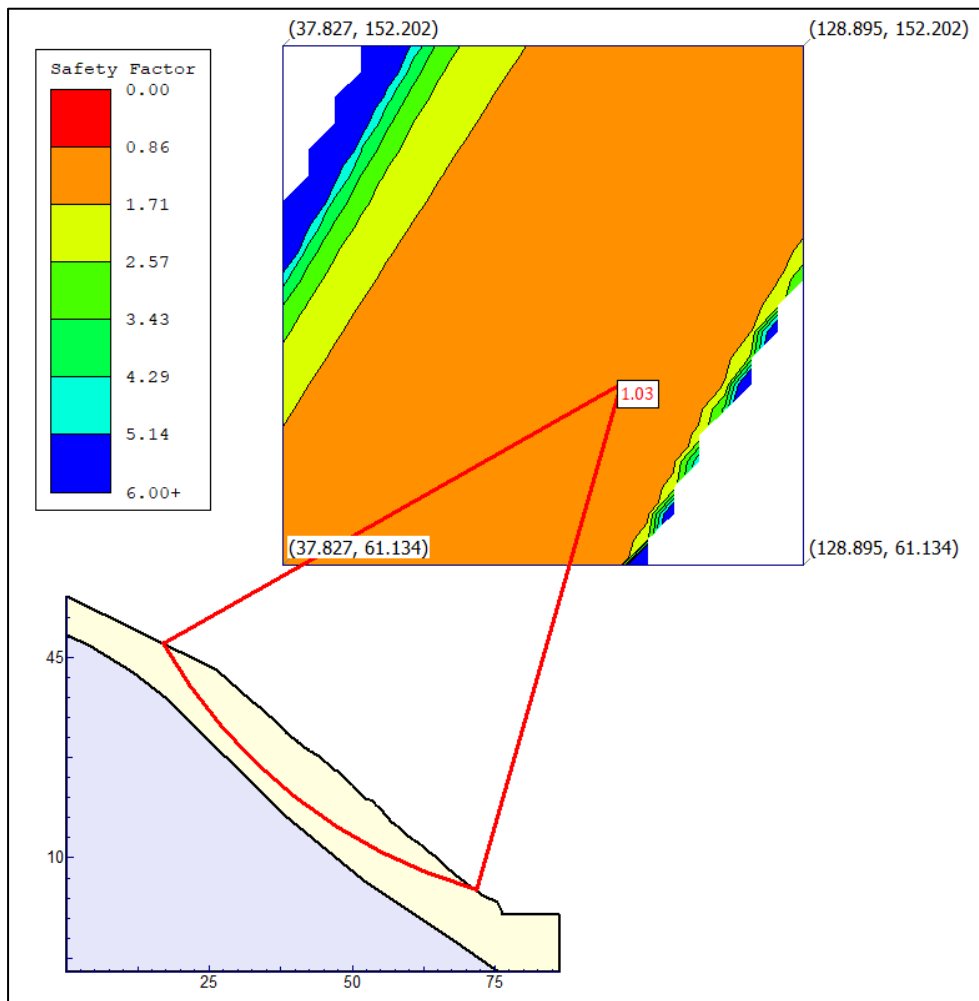
**4.3.4.2.1 Análisis en condiciones estáticas actuales.** En la Figura 46 se puede observar, entre otros, el factor de seguridad mínimo y la superficie de falla más desfavorable para



el corte 1 en condiciones estáticas. De acuerdo con análisis de estabilidad del corte 1 en condiciones estáticas se obtiene un factor de seguridad igual a 1.03, este factor de seguridad se puede interpretar como un talud en equilibrio, pero inseguro, debido a que un cambio en las fuerzas y/o momentos desestabilizantes pueden generar un deslizamiento en el talud. Asimismo, el factor de seguridad obtenido de 1.03 es un valor inferior a lo establecido de 1.50 por el Reglamento Nacional de Edificaciones.

**Figura 46**

*FS del corte 1 en condiciones estáticas*



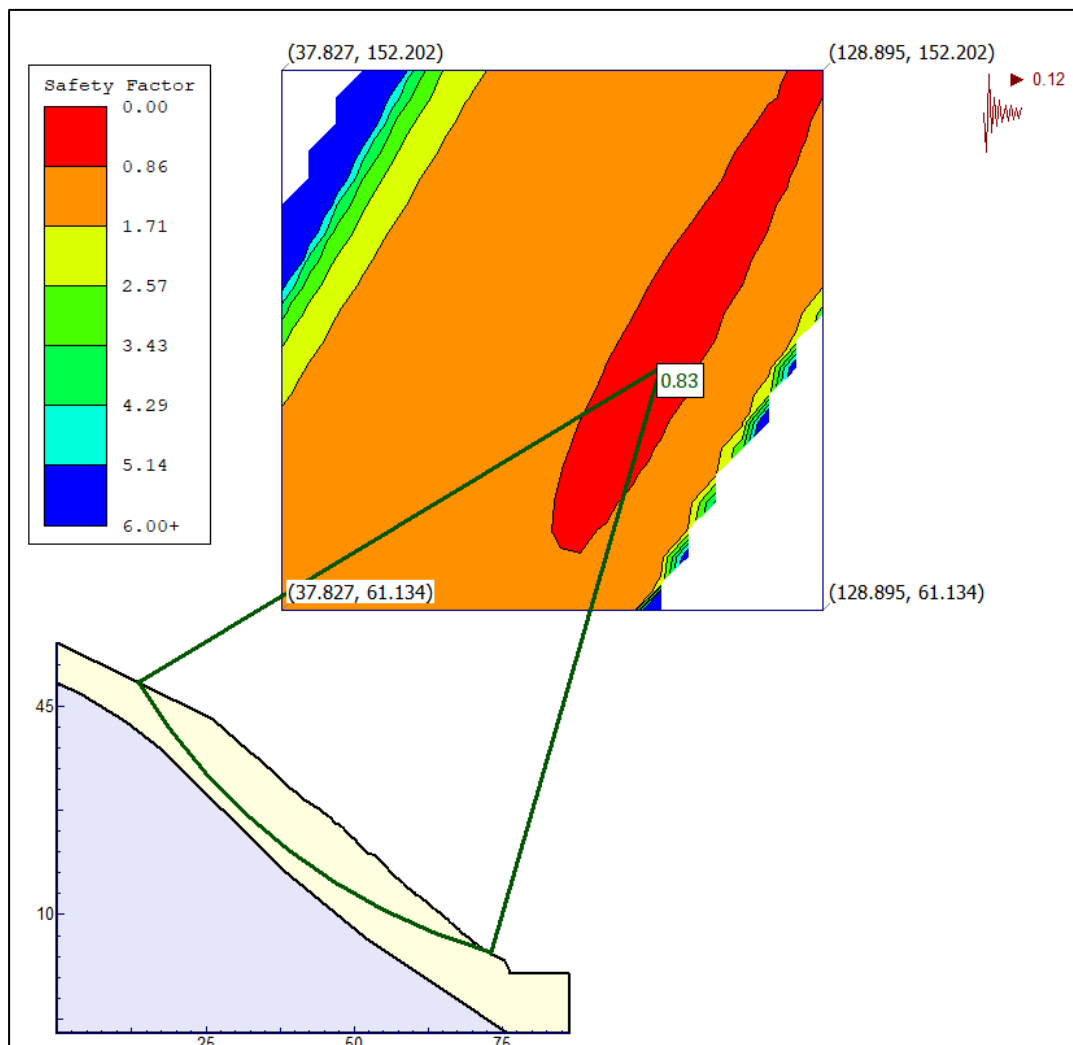
*Nota:* FS obtenido por el método de Spencer.

**4.3.4.2 Análisis en condiciones pseudoestáticas.** En la Figura 47 se puede observar entre otros el factor de seguridad mínimo y la superficie de falla más desfavorable para el corte 1 en condiciones pseudoestáticas. De acuerdo con análisis de estabilidad del corte 1 en condiciones pseudoestáticas se obtiene un factor de seguridad igual a 0.83; este factor de seguridad se puede interpretar como un talud inestable, el cual puede deslizarse con un sismo leve, ya que son los sismos que se registra con mayor frecuencia.

Asimismo, el factor de seguridad obtenido de 0.83 es un valor inferior a lo establecido de 1.25 por el Reglamento Nacional de Edificaciones.

**Figura 47**

*FS del corte 1 en condiciones pseudoestáticas*



*Nota:* FS obtenido por el método de Bishop simplificado.

En la Tabla 16 se muestra el resumen de los factores de seguridad obtenidos para el Corte 1, analizados por los diferentes métodos de cálculo.

**Tabla 16**

*Resumen de los factores de seguridad para el Corte 1*

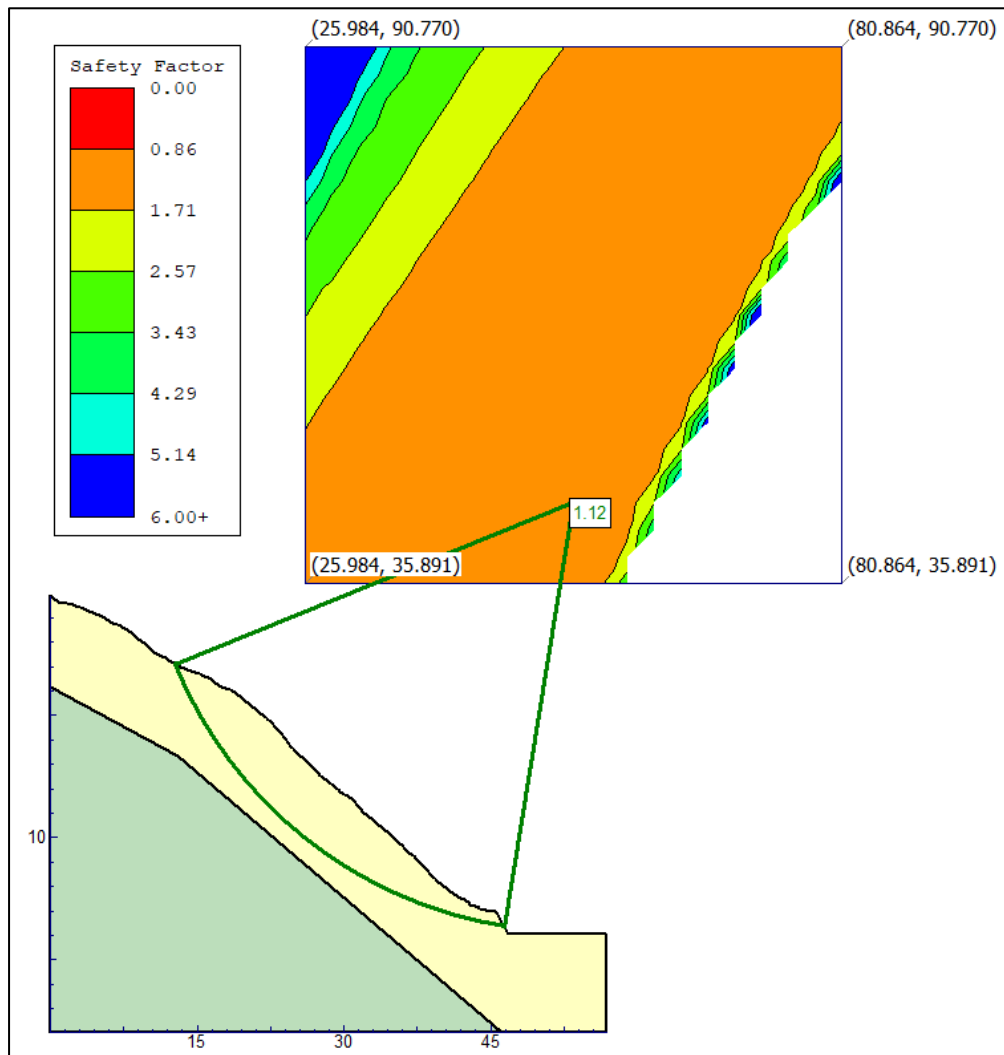
Método de cálculo	Estabilidad de talud	Tipo de rotura	Factor de seguridad	
			Estático	Pseudoestático
Bishop simplificado	Global	Circular	1.03	0.83
Spencer	Global	Circular	1.02	0.83
Morgenstern – Price	Global	Circular	1.02	0.83

#### 4.3.4.3 Cálculo de los factores de seguridad para el corte 2.

4.3.4.3.1 *Análisis en condiciones estáticas actuales.* En la Figura 48, se puede observar, entre otros, el factor de seguridad mínimo y la superficie de falla más desfavorable para el corte 2 en condiciones estáticas.

**Figura 48**

*FS del corte 2 en condiciones estáticas*



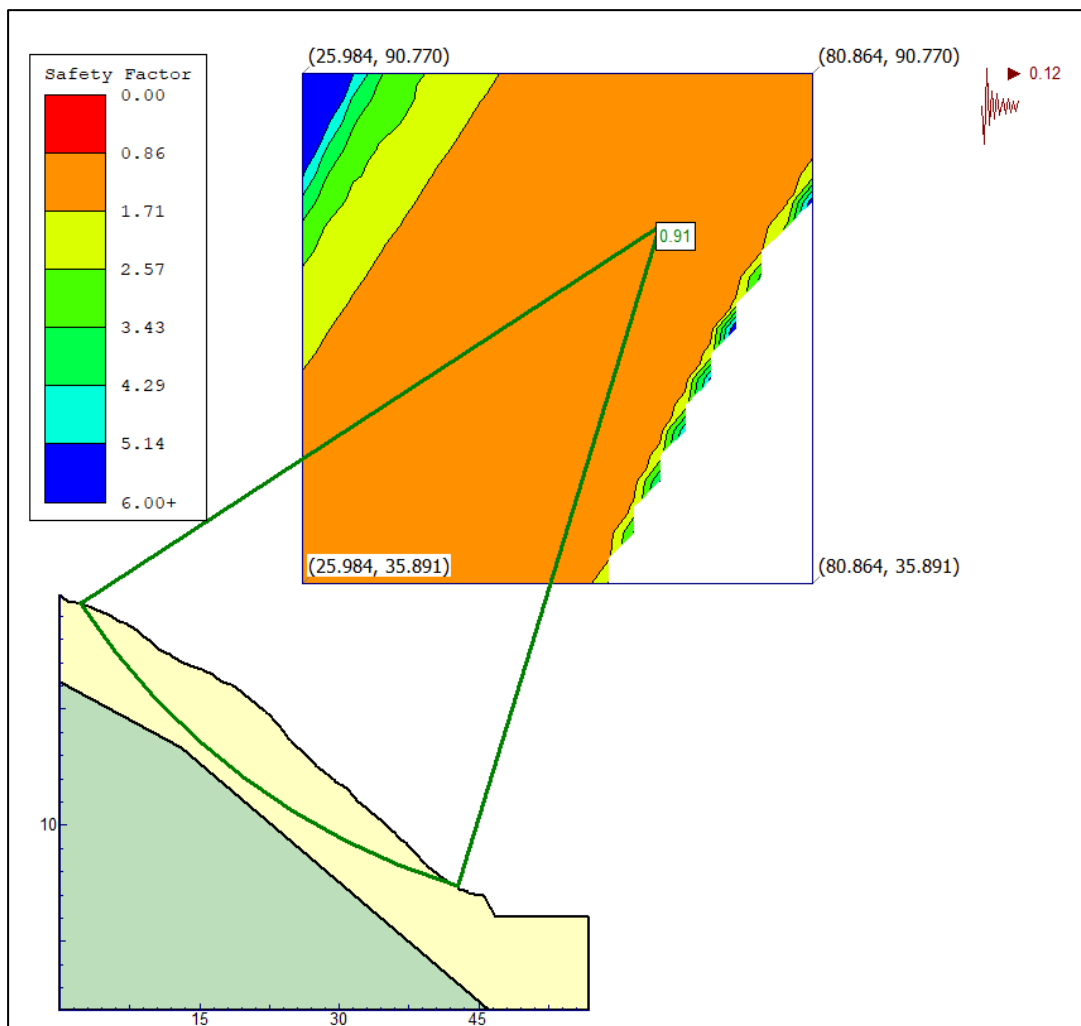
*Nota:* FS obtenido por el método de Morgenstern – Price.

De acuerdo con análisis de estabilidad del corte 2 en condiciones estáticas se obtiene un factor de seguridad igual a 1.12; este factor de seguridad se puede interpretar como un talud en equilibrio, pero inseguro, debido a que un cambio en las fuerzas y/o momentos desestabilizantes pueden generar un deslizamiento en el talud. Asimismo, el factor de seguridad obtenido de 1.12 es un valor inferior a lo establecido por Reglamento Nacional de Edificaciones.

**4.3.4.3.2 Análisis pseudoestático.** En la Figura 49 se puede observar, entre otros, el factor de seguridad mínimo y la superficie de falla más desfavorable para el corte 2 en condiciones pseudoestáticas. De acuerdo con análisis de estabilidad del corte 2 en condiciones pseudoestáticas se obtiene un factor de seguridad igual a 0.91; este factor de seguridad se puede interpretar como un talud inestable el cual puede deslizar con un sismo leve, ya que son los sismos que se registra con mayor frecuencia. Asimismo, el factor de seguridad obtenido de 0.91 es un valor inferior a lo establecido por Reglamento Nacional de Edificaciones.

**Figura 49**

*FS del corte 2 en condiciones pseudoestáticas*



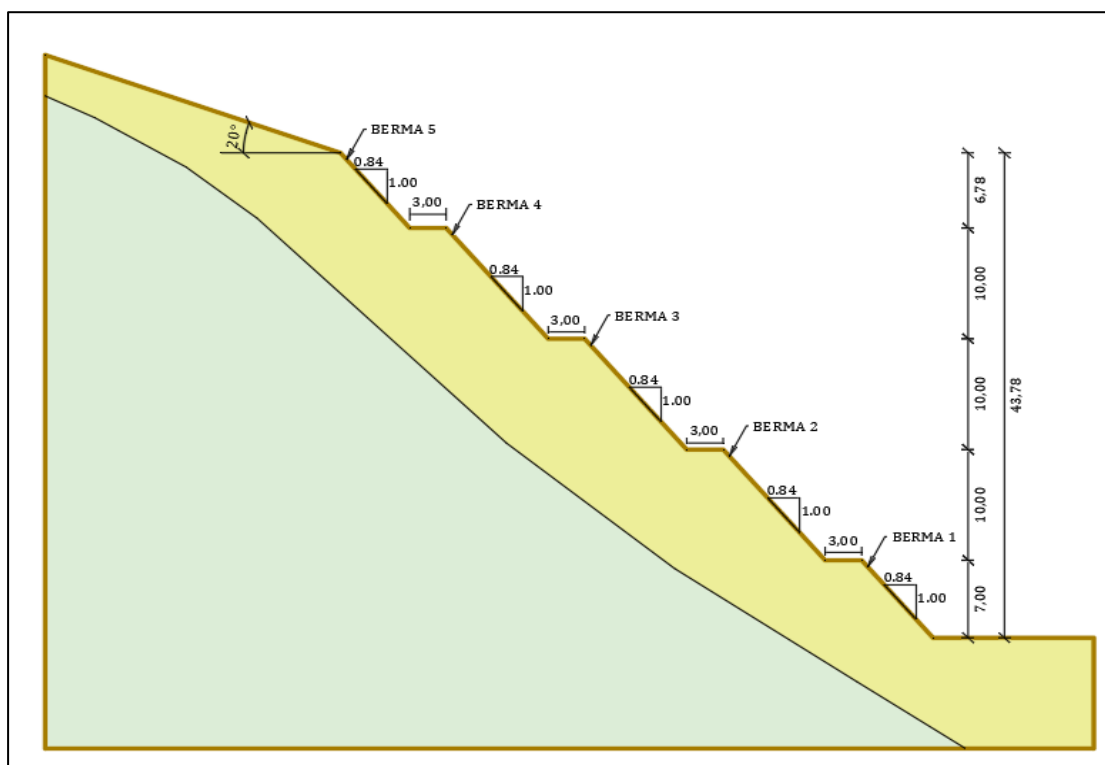
*Nota:* FS obtenido por el método de Morgenstern – Price.

En la Tabla 17 se muestra el resumen de los factores de seguridad obtenidos para el Corte 2, analizadas por los diferentes métodos de cálculo.

**Tabla 17***Resumen de los factores de seguridad mínimos para el Corte 2*

Método de cálculo	Estabilidad de talud	Tipo de rotura	Factor de seguridad	
			Estático	Pseudoestático
Bishop simplificado	Global	Circular	1.12	0.91
Spencer	Global	Circular	1.12	0.91
Morgenstern – Price	Global	Circular	1.12	0.91

**4.3.4.4 Alternativa de solución mediante modificación de la geometría.** Debido a que el talud en estudio posee una altura considerable y está expuesta a procesos externos como la meteorización, se modificará la geometría del talud mediante el uso de bermas como se muestra en la Figura 50. La modificación propuesta al talud radica en cambiar la relación de corte a 0.84H:1.0V, y adicionar un sistema de anclajes pasivos junto con una pantalla de revestimiento, la cual se usará para controlar los procesos de meteorización del talud.

**Figura 50***Reconformación de la geometría del talud*

En las Figuras 51 y 52 se muestran el factor de seguridad mínimo en condiciones estáticas y pseudoestáticas del talud con la geometría modificada. En la Tabla 18 se

presenta el resumen de los F.S del talud obtenidos mediante el empleo de bermas, observándose que el talud sigue siendo inestable con el sistema de banquetas, requiriendo sistemas adicionales de estabilización.

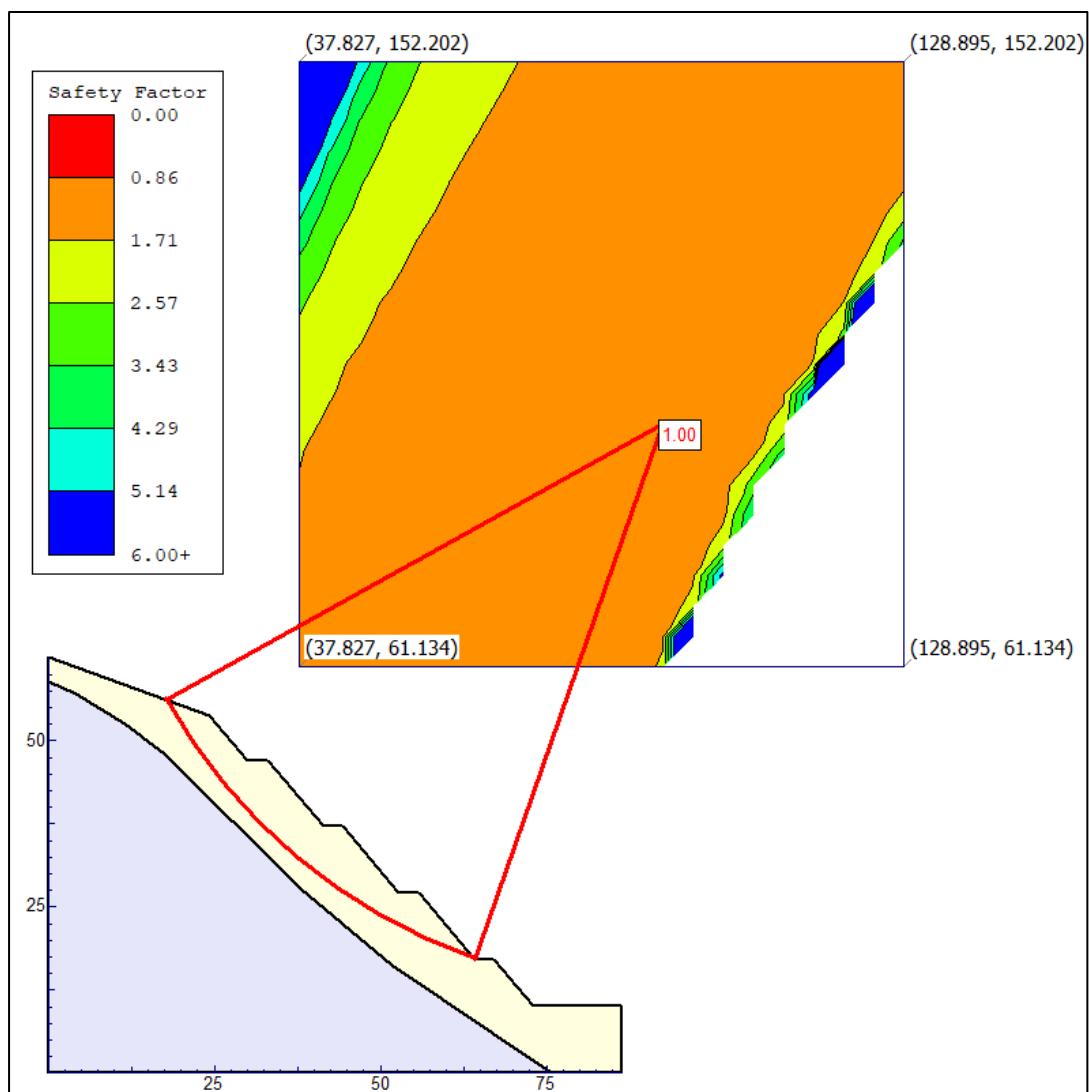
**Tabla 18**

*Resumen de los factores de seguridad mínimos con bermas*

Método de cálculo	Estabilidad de talud	Tipo de rotura	Factor de seguridad	
			Estático	Pseudoestático
Bishop simplificado	Global	circular	1.00	0.82
Spencer	Global	circular	0.99	0.81
Morgenstern – Price	Global	circular	1.00	0.81

**Figura 51**

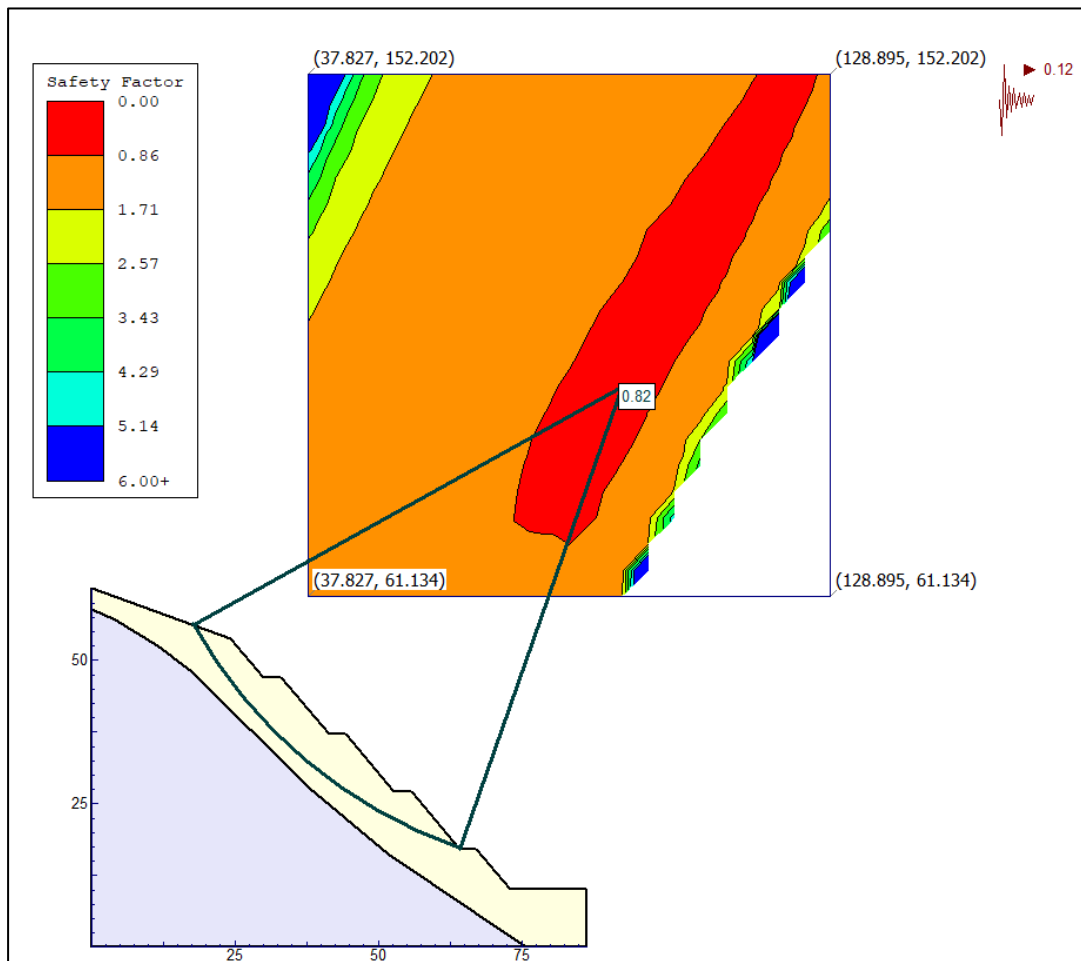
*FS estático del talud con la geometría modificada*



*Nota:* FS obtenido por el método de Bishop simplificado.

**Figura 52**

*FS pseudoestático del talud con la geometría modificada*



*Nota:* FS obtenido por el método de Bishop simplificado.

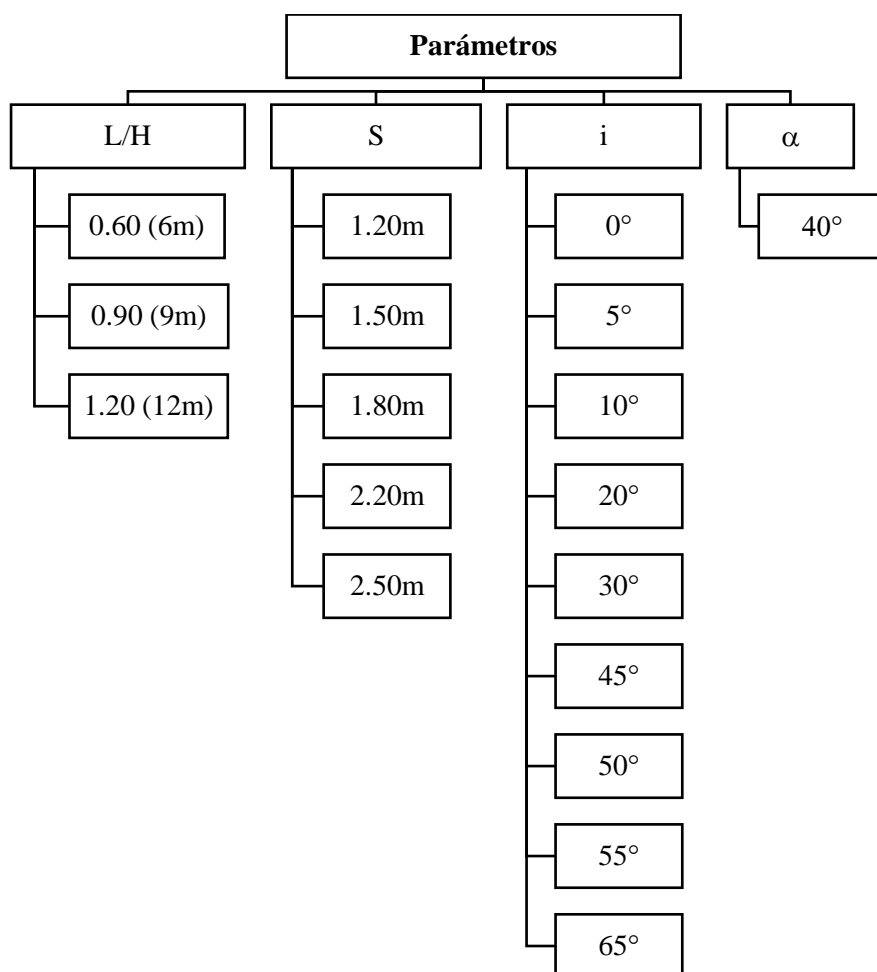
#### **4.3.5 Estudio paramétrico**

Para realizar el diseño final del sistema *soil nailing* se realizó un estudio paramétrico variando la inclinación, espaciamiento y la longitud de los clavos, para observar su efecto en el factor de seguridad global del talud. El estudio paramétrico se realizó en la sección de corte más crítica, en consecuencia, se empleó la sección 1.

**4.3.5.1 Variables del modelo paramétrico.** La Figura 53 ilustra las variables consideradas para cada parámetro. Se analiza el efecto individual de cada parámetro sobre el factor de seguridad global del talud.

**Figura 53**

*Variables consideradas en el análisis paramétrico*



*Nota:* L/H = relación entre la longitud del clavo y altura del muro, S = espaciamiento vertical y horizontal del clavo, i = inclinación del clavo y  $\alpha$  = Angulo de inclinación del talud.

Las propiedades que se emplearon para el clavo se presentan en la Tabla 19.

**Tabla 19**

*Propiedades de resistencia del clavo*

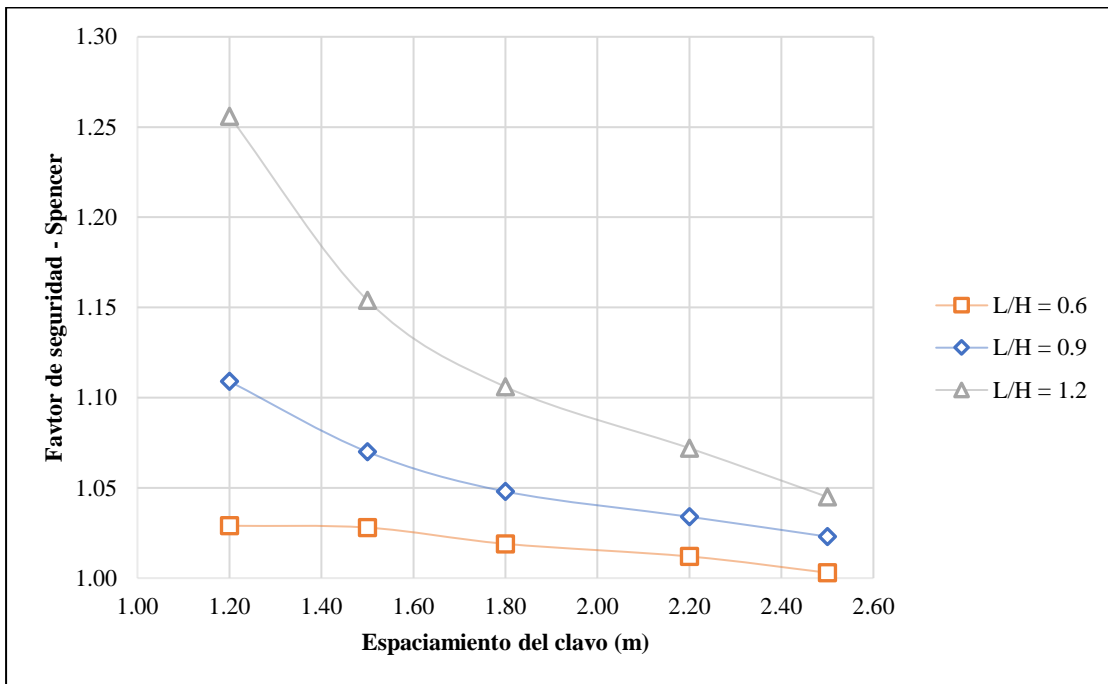
Nombre	Tipo de clavo	Resistencia a la tensión $R_t$	Resistencia al arrancamiento $T_p$	Resistencia de la cabeza del clavo $R_f$
Nail	GEWI 25mm, Grado 60	115kN	28kN/m	74kN

**4.3.5.1.1 Efecto del espaciamiento del clavo.** Para estudiar el efecto de la separación de los clavos de anclaje, la separación vertical y horizontal se varió en distancias iguales de 1.20 m, 1.50 m, 1.80 m, 2.20 m y 2.50 m respectivamente. Las Figuras 54 a 61 ilustran el efecto de la separación de los clavos en el factor de seguridad global del talud.



**Figura 54**

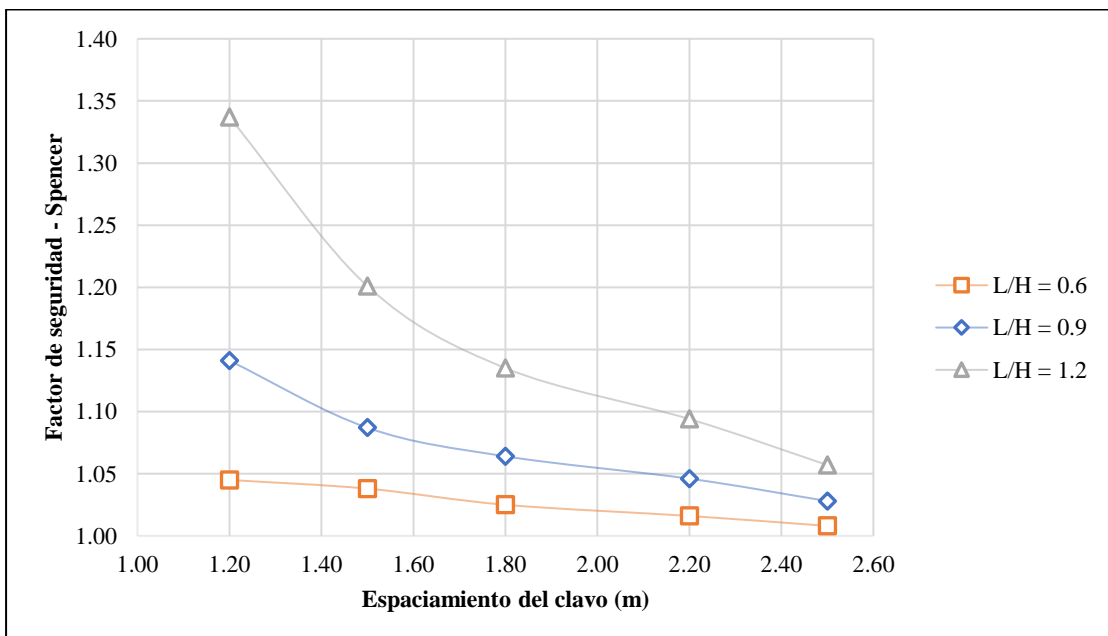
*Efecto de la separación del clavo en el factor de seguridad,  $i=0^\circ$*



*Nota:* Efecto de la separación de los clavos en el FS con las siguientes características:  $\alpha=40^\circ$ ,  $c=6.28\text{kPa}$ ,  $\phi=30.13^\circ$ , diámetro de perforación  $D=100\text{mm}$ , diámetro del clavo  $d=25\text{mm}$ .

**Figura 55**

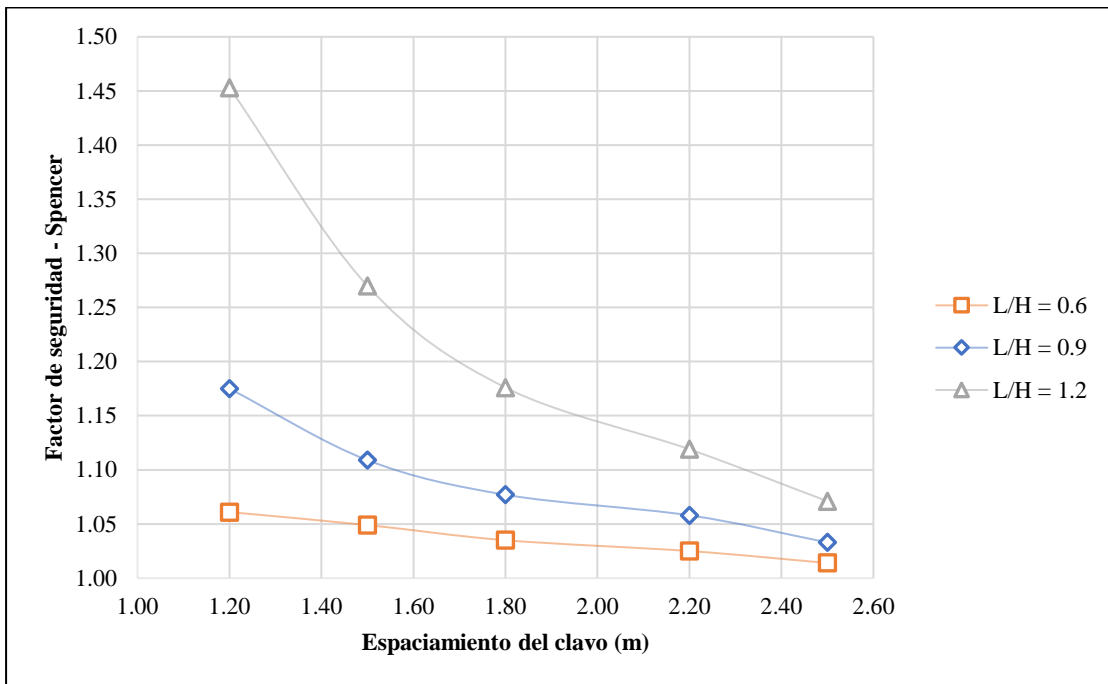
*Efecto de la separación del clavo en el factor de seguridad,  $i=5^\circ$*



*Nota:* Efecto de la separación de los clavos en el FS con las siguientes características:  $\alpha=40^\circ$ ,  $c=6.28\text{kPa}$ ,  $\phi=30.13^\circ$ , diámetro de perforación  $D=100\text{mm}$ , diámetro del clavo  $d=25\text{mm}$ .

**Figura 56**

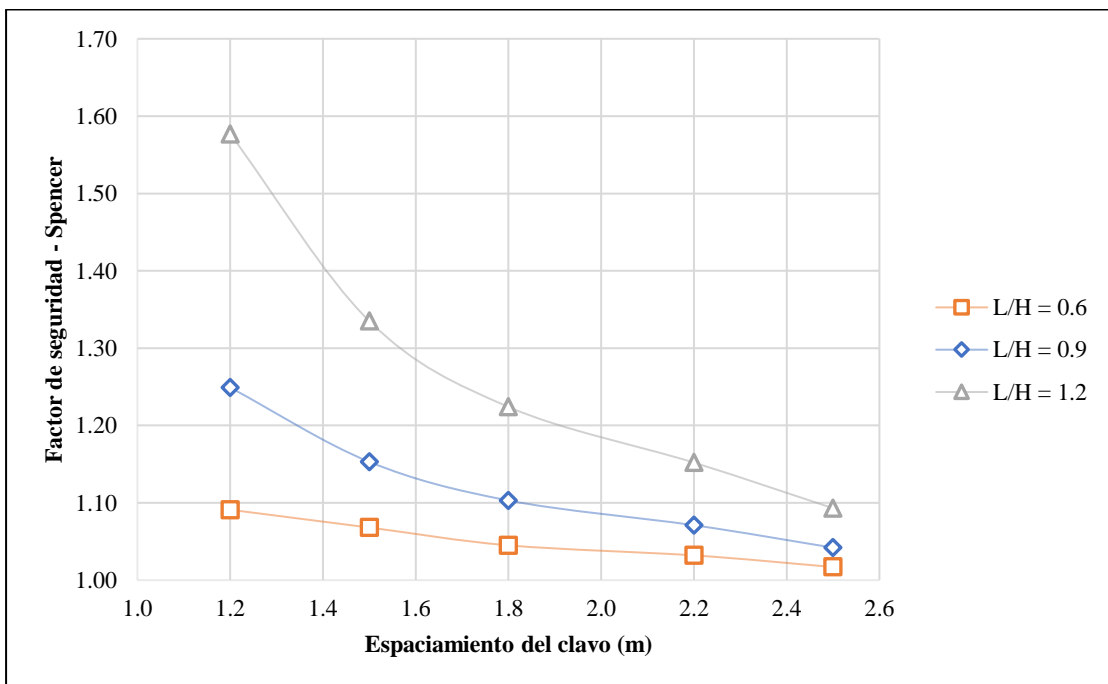
*Efecto de la separación del clavo en el factor de seguridad,  $i=10^\circ$*



*Nota:* Efecto de la separación de los clavos en el FS con las siguientes características:  $\alpha=40^\circ$ ,  $c=6.28\text{kPa}$ ,  $\phi=30.13^\circ$ , diámetro de perforación  $D=100\text{ mm}$ , diámetro del clavo  $d=25\text{ mm}$ .

**Figura 57**

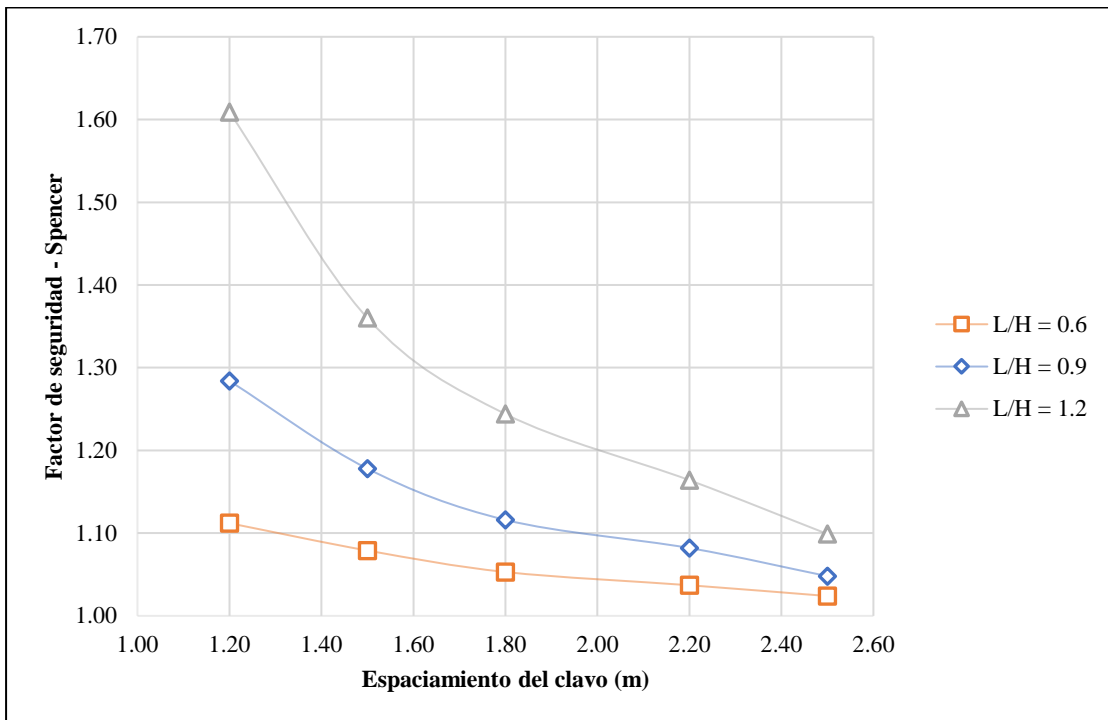
*Efecto de la separación del clavo en el factor de seguridad,  $i=20^\circ$*



*Nota:* Efecto de la separación de los clavos en el FS con las siguientes características:  $\alpha=40^\circ$ ,  $c=6.28\text{kPa}$ ,  $\phi=30.13^\circ$ , diámetro de perforación  $D=100\text{ mm}$ , diámetro del clavo  $d=25\text{ mm}$ .

**Figura 58**

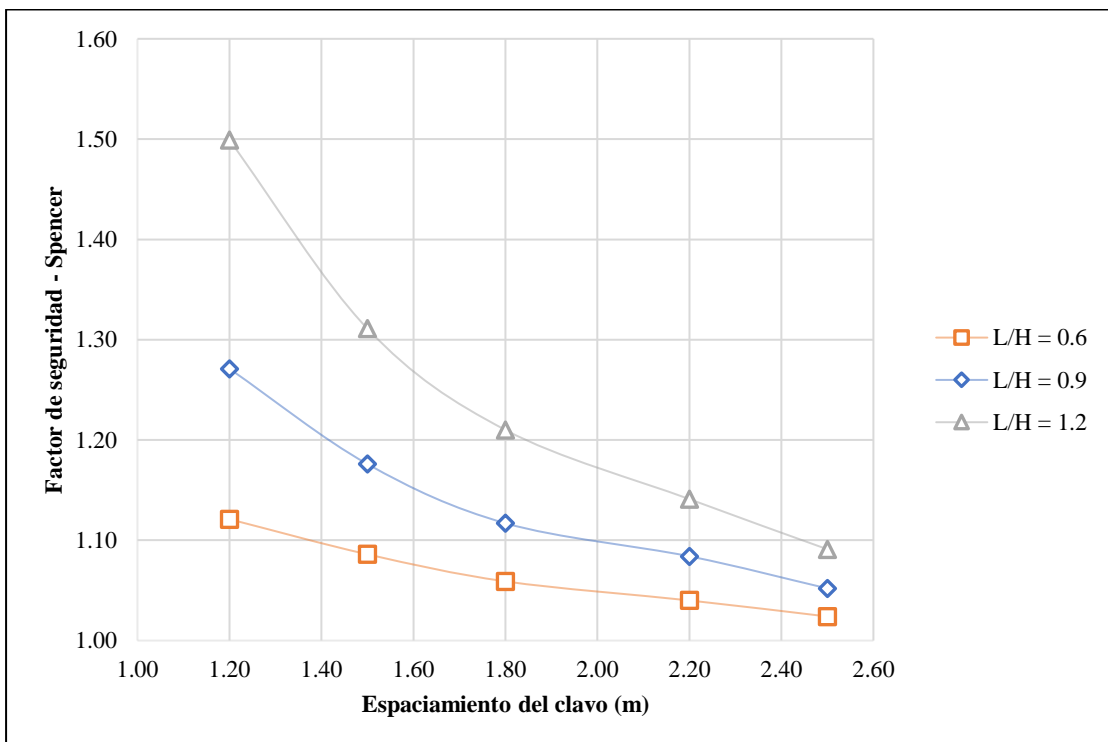
*Efecto de la separación del clavo en el factor de seguridad,  $i=30^\circ$*



*Nota:* Efecto de la separación de los clavos en el FS con las siguientes características:  $\alpha=40^\circ$ ,  $c=6.28\text{kPa}$ ,  $\phi=30.13^\circ$ , diámetro de perforación  $D=100\text{ mm}$ , diámetro del clavo  $d=25\text{ mm}$ .

**Figura 59**

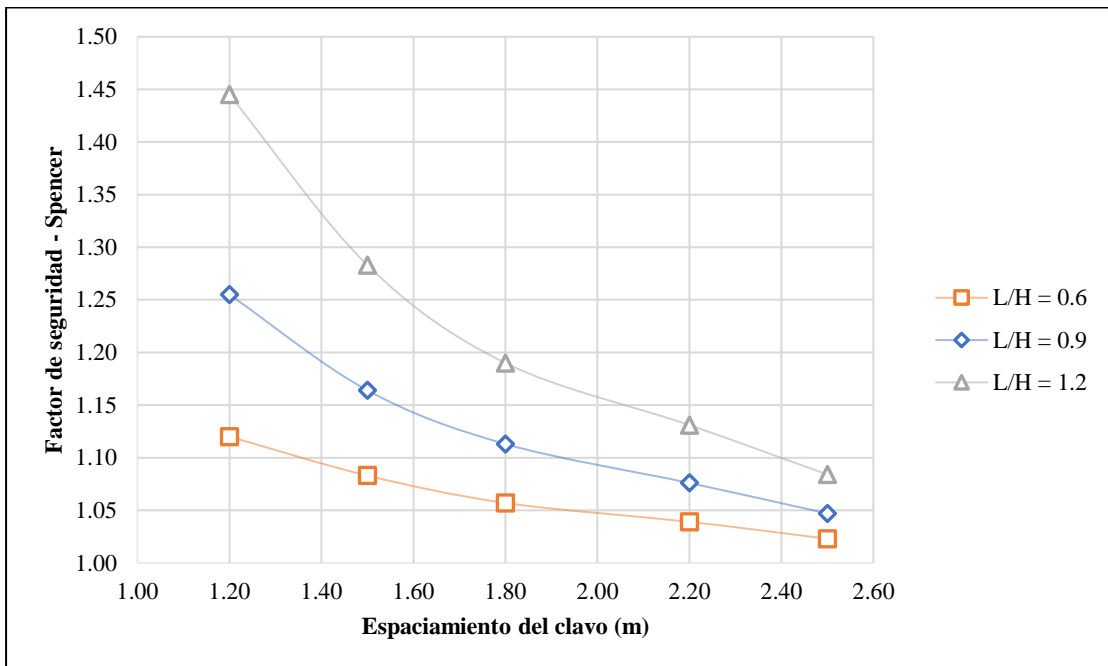
*Efecto de la separación del clavo en el factor de seguridad,  $i=45^\circ$*



*Nota:* Efecto de la separación de los clavos en el F.S con las siguientes características:  $\alpha=40^\circ$ ,  $c=6.28\text{kPa}$ ,  $\phi=30.13^\circ$ , diámetro de perforación  $D=100\text{ mm}$ , diámetro del clavo  $d=25\text{ mm}$ .

**Figura 60**

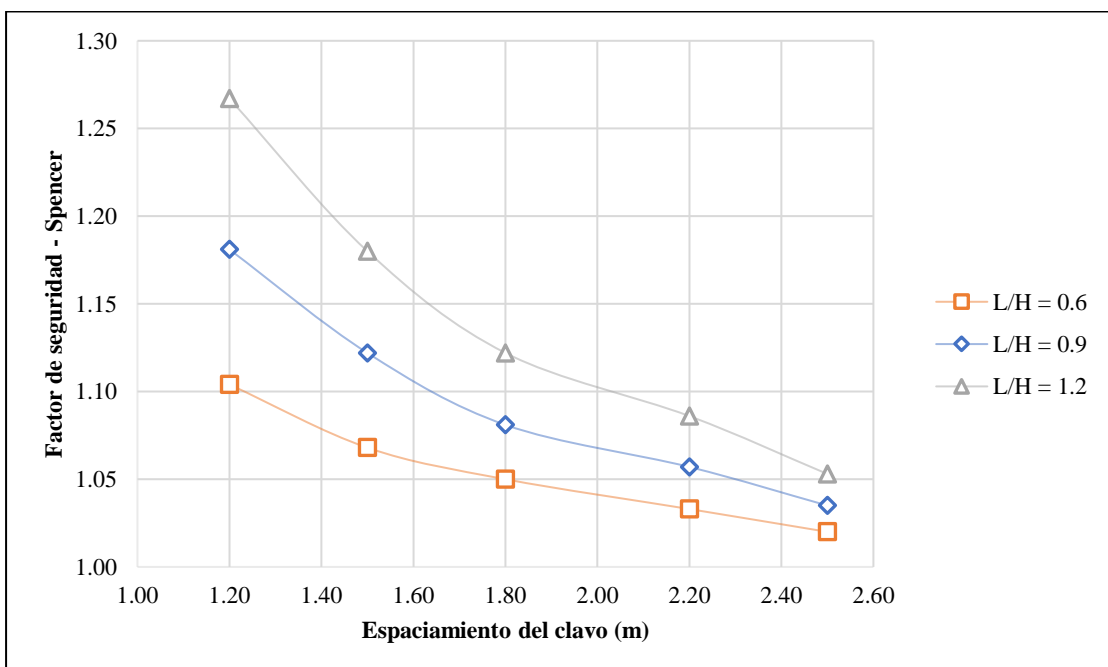
*Efecto de la separación del clavo en el factor de seguridad,  $i=50^\circ$*



*Nota:* Efecto de la separación de los clavos en el F.S con las siguientes características:  $\alpha=40^\circ$ ,  $c=6.28\text{kPa}$ ,  $\phi=30.13^\circ$ , diámetro de perforación  $D=100\text{ mm}$ , diámetro del clavo  $d=25\text{ mm}$ .

**Figura 61**

*Efecto de la separación del clavo en el factor de seguridad,  $i=65^\circ$*

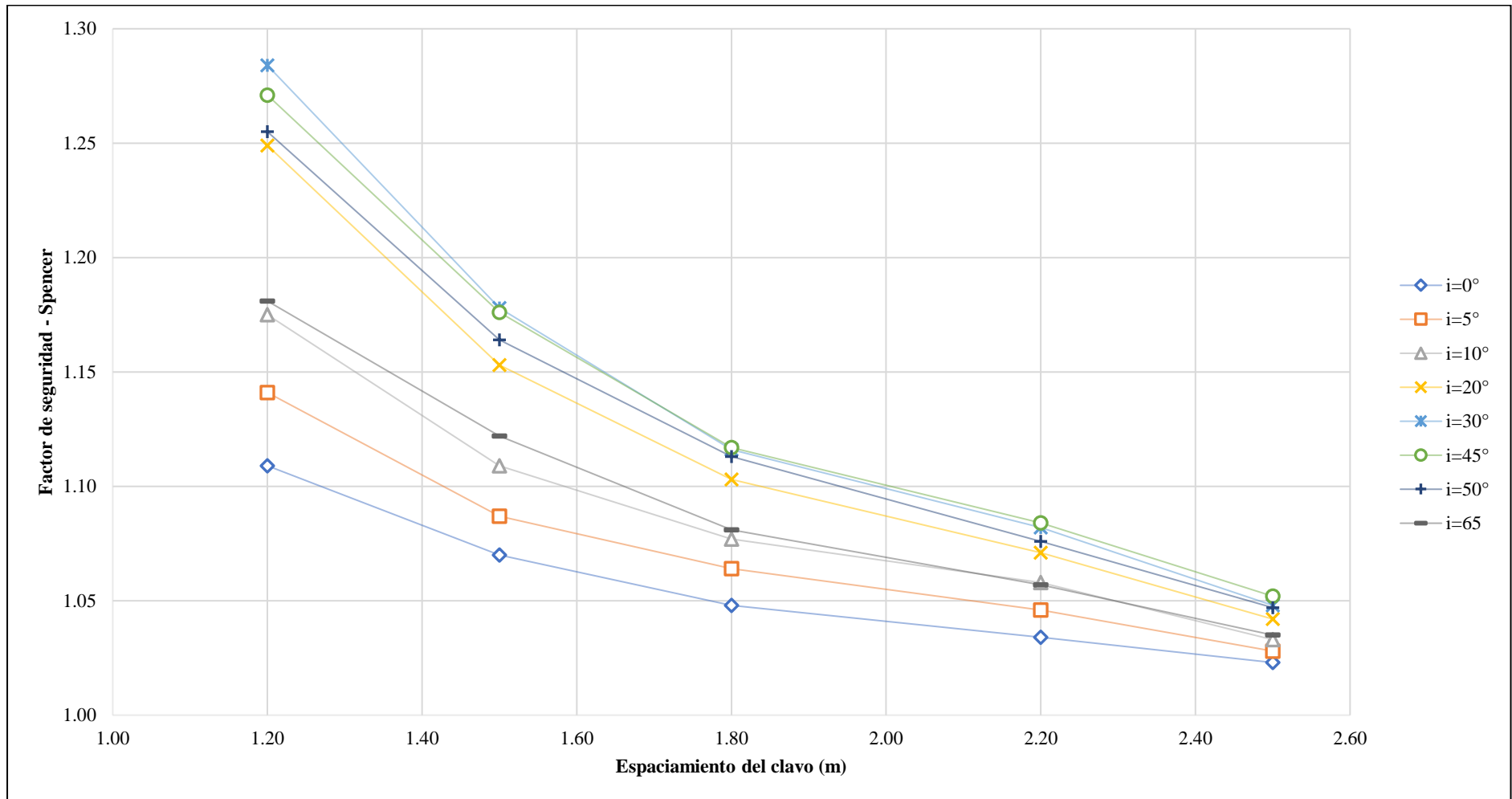


*Nota:* Efecto de la separación de los clavos en el F.S con las siguientes características:  $\alpha=40^\circ$ ,  $c=6.28\text{kPa}$ ,  $\phi=30.13^\circ$ , diámetro de perforación  $D=100\text{ mm}$ , diámetro del clavo  $d=25\text{ mm}$ .

En la Figura 62 se muestra el gráfico de factor seguridad en función de la separación de los anclajes.

**Figura 62**

*Efecto de la separación del clavo en el factor de seguridad  $H/L=0.90$*

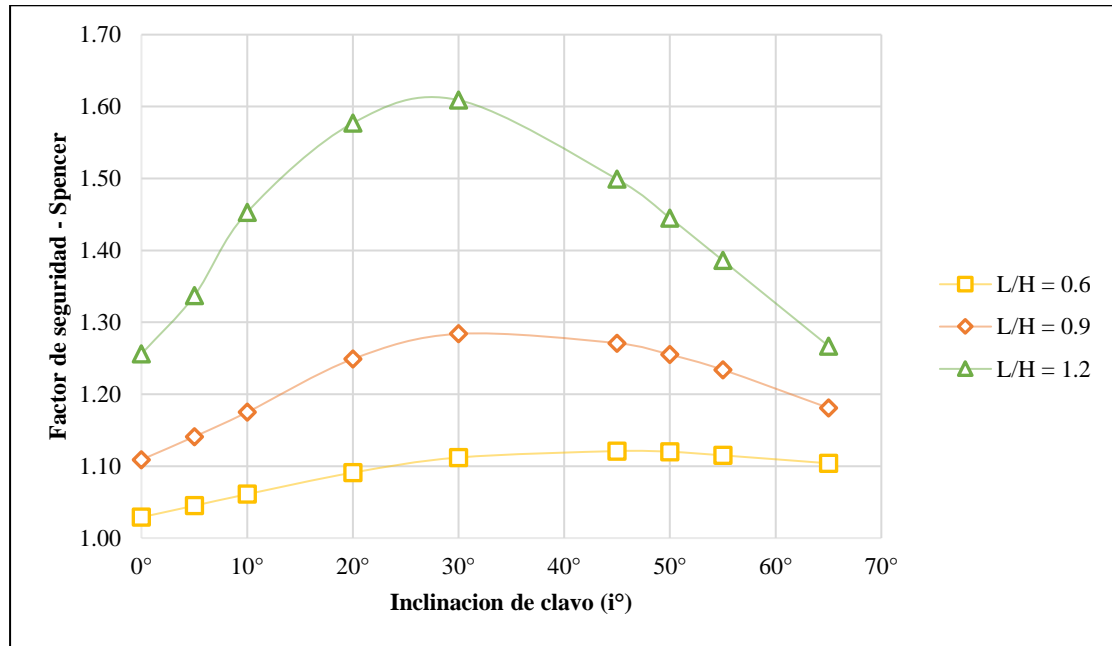


*Nota:* Efecto de la separación de los clavos en el FS con las siguientes características:  $\alpha=40^\circ$ ,  $c=6.28\text{kPa}$ ,  $\phi=30.13^\circ$ , diámetro de perforación  $D=100\text{mm}$ , diámetro del clavo  $d=25\text{mm}$ .

**4.3.5.1.2 Efecto de la inclinación del clavo.** Para investigar el efecto de la inclinación de los clavos en el factor de seguridad del talud, la inclinación de los estos se varió desde los  $0^\circ$  hasta los  $65^\circ$ . Las Figuras 63 a 67 muestran el efecto de la inclinación del clavo en el factor de seguridad global del talud.

**Figura 63**

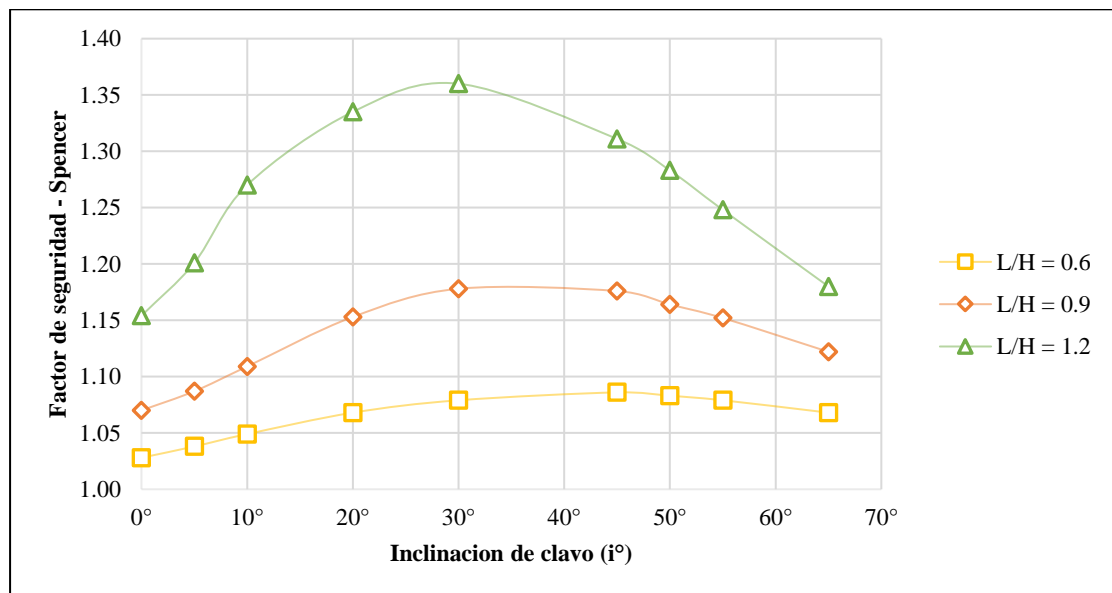
*Efecto de la inclinación del nail en el factor de seguridad,  $S=1.20\text{ m}$*



*Nota:* Efecto de la inclinación de los clavos en el FS con las siguientes características:  $\alpha=40^\circ$ ,  $c=6.28\text{kPa}$ ,  $\phi=30.13^\circ$ , diámetro de perforación  $D=100\text{ mm}$ , diámetro del clavo  $d=25\text{ mm}$ .

**Figura 64**

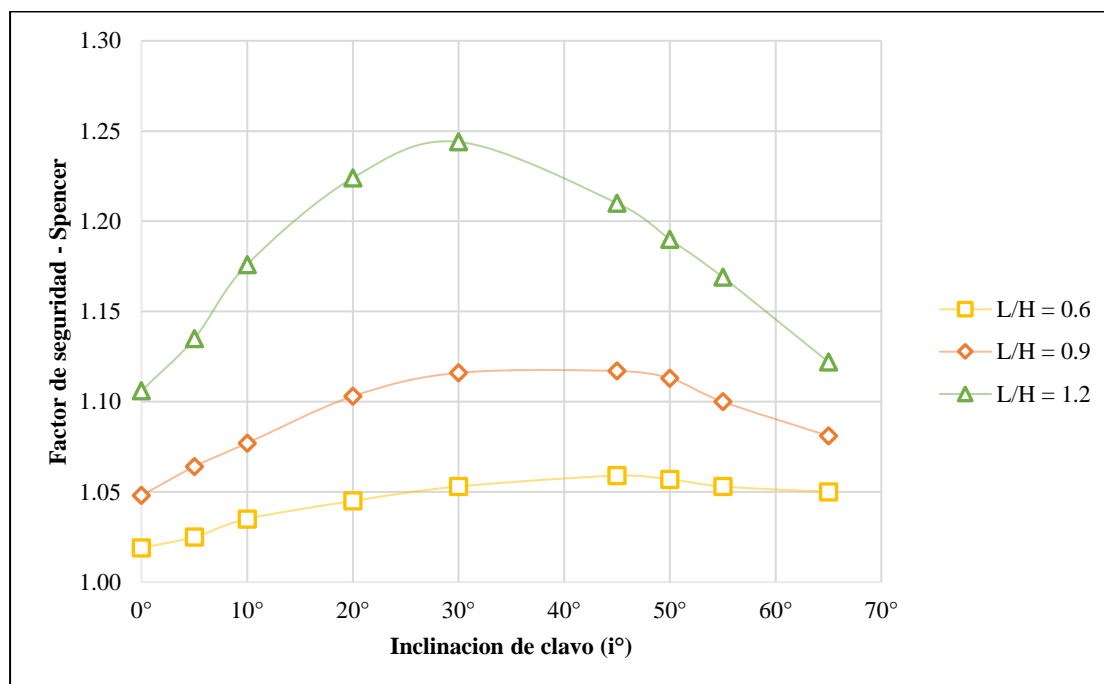
*Efecto de la inclinación del nail en el factor de seguridad,  $S=1.50\text{ m}$*



*Nota:* Efecto de la inclinación de los clavos en el FS con las siguientes características:  $\alpha=40^\circ$ ,  $c=6.28\text{kPa}$ ,  $\phi=30.13^\circ$ , diámetro de perforación  $D=100\text{ mm}$ , diámetro del clavo  $d=25\text{ mm}$ .

**Figura 65**

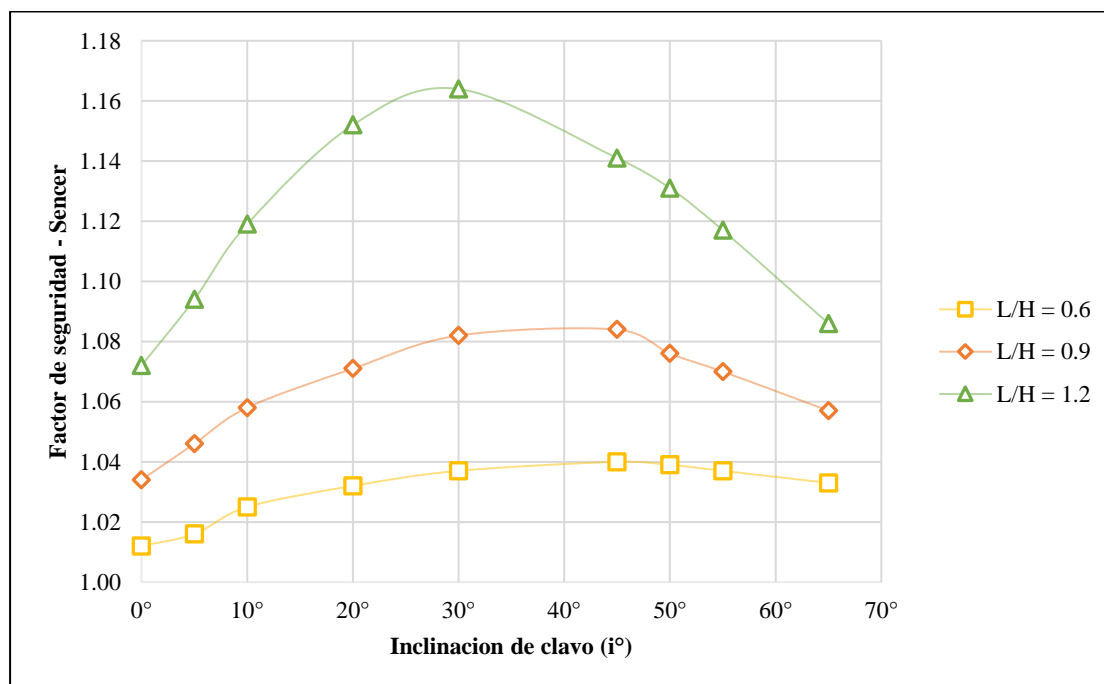
Efecto de la inclinación del nail en el factor de seguridad,  $S=1.80\text{ m}$



Nota: Efecto de la inclinación de los clavos en el FS con las siguientes características:  $H/L=0.7H$ ,  $\alpha=40^\circ$ ,  $c=6.28\text{kPa}$ ,  $\phi=30.13^\circ$ , diámetro de perforación  $D=100\text{ mm}$ , diámetro del clavo  $d=25\text{ mm}$ .

**Figura 66**

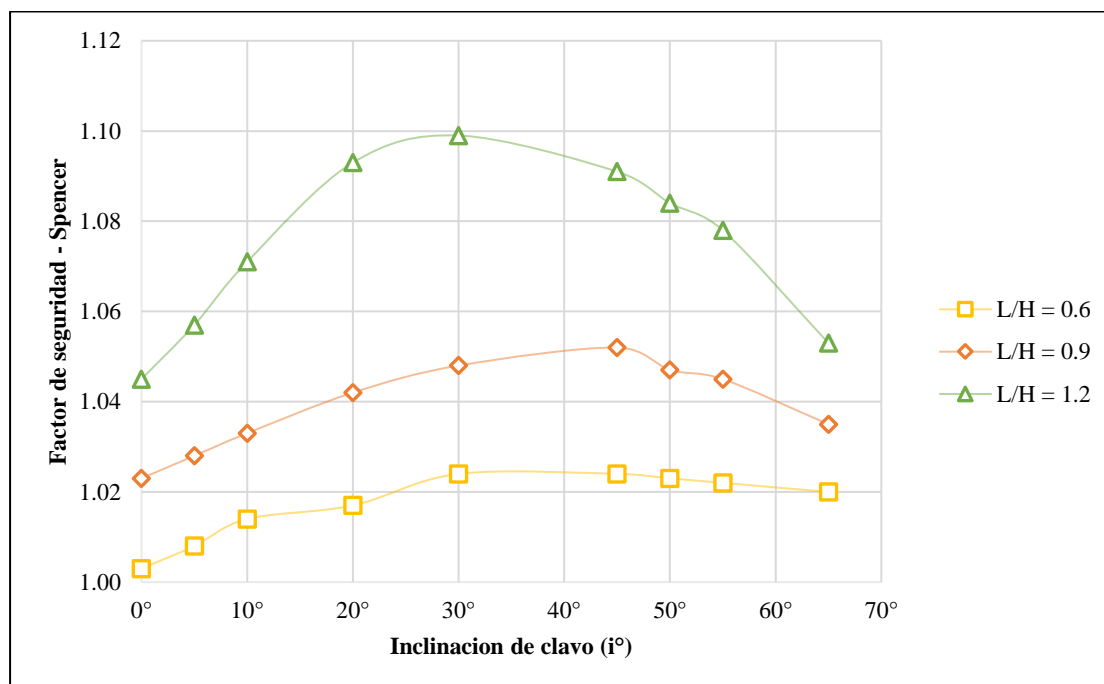
Efecto de la inclinación del nail en el factor de seguridad,  $S=2.20\text{ m}$



Nota: Efecto de la inclinación de los clavos en el FS con las siguientes características:  $H/L=0.7H$ ,  $\alpha=40^\circ$ ,  $c=6.28\text{kPa}$ ,  $\phi=30.13^\circ$ , diámetro de perforación  $D=100\text{ mm}$ , diámetro del clavo  $d=25\text{ mm}$ .

**Figura 67**

*Efecto de la inclinación del nail en el factor de seguridad, S=2.50 m*



*Nota:* Efecto de la inclinación de los clavos en el FS con las siguientes características: H/L=0.7H,  $\alpha=40^\circ$ ,  $c=6.28\text{kPa}$ ,  $\phi=30.13^\circ$ , diámetro de perforación D= 100 mm, diámetro del clavo d= 25mm.

En la Tabla 20 se muestra los factores de seguridad para la evaluación de la inclinación del clavo en el factor de seguridad del talud.

**Tabla 20**

*Influencia de la inclinación de los clavos en el factor de seguridad*

S <sub>v</sub>	Inclinación del clavo (i)								
	0	5	10	20	30	45	50	55	65
1.20 m	1.11	1.14	1.18	1.25	1.28	1.27	1.26	1.23	1.18
1.50 m	1.07	1.09	1.11	1.15	1.18	1.18	1.16	1.15	1.12
1.80 m	1.05	1.06	1.08	1.10	1.12	1.12	1.11	1.10	1.08
2.20 m	1.03	1.05	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07	1.06
2.50 m	1.02	1.03	1.03	1.04	1.05	1.05	1.05	1.05	1.04

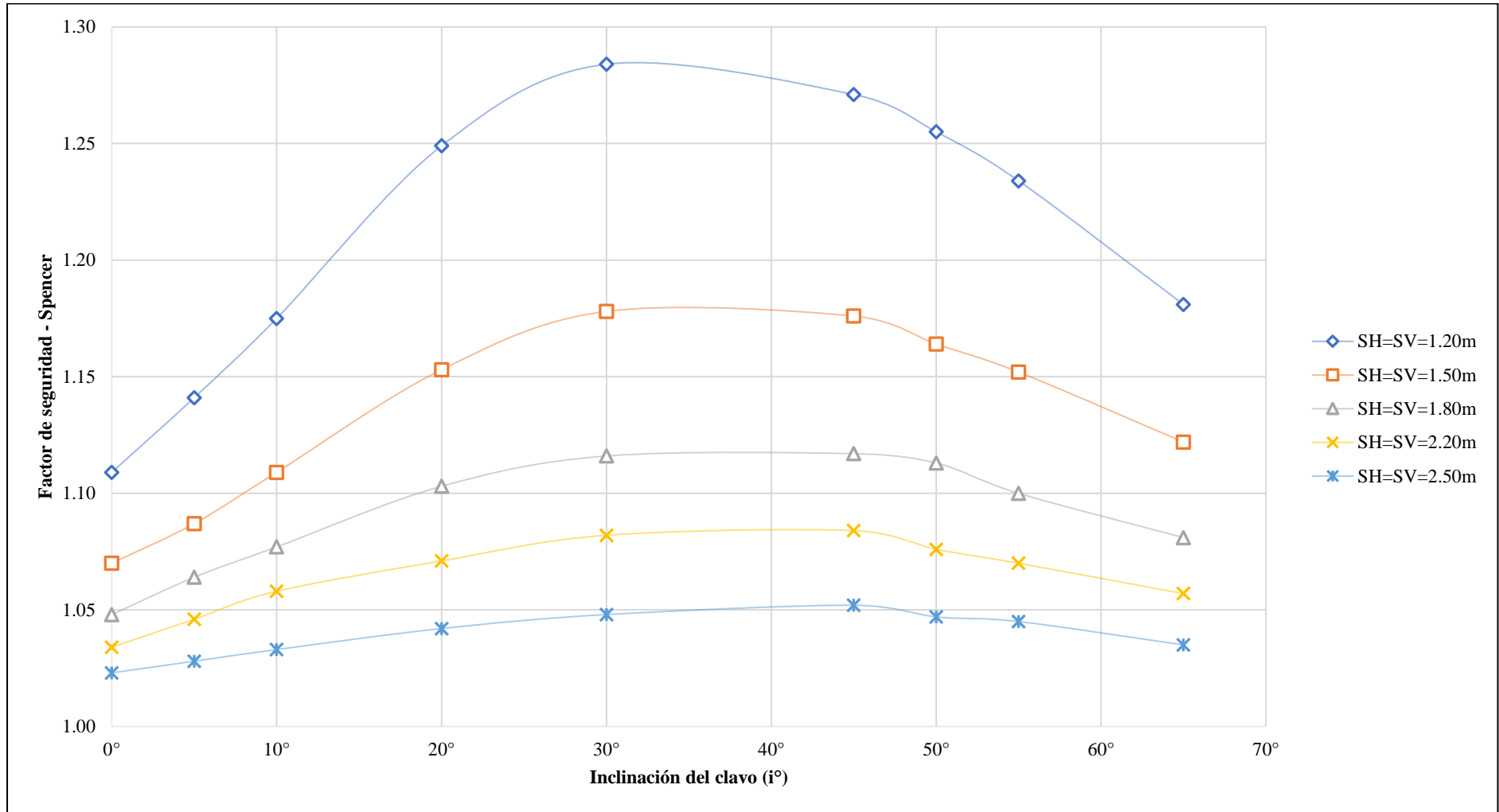
*Nota:* En la tabla se muestran los diferentes factores de seguridad obtenidos para una relación H/L=0.9

En la Figura 68 se muestra los resultados mostrados en la Tabla 20, considerando todos los parámetros como la separación de los clavos (S), la inclinación del muro ( $\alpha$ ), las propiedades del suelo ( $\phi$ , c) y las constantes de relación longitud de los clavos y altura del muro (L/H).



**Figura 68**

*Efecto de la inclinación del nail en el factor de seguridad  $H/L = 0.90$*

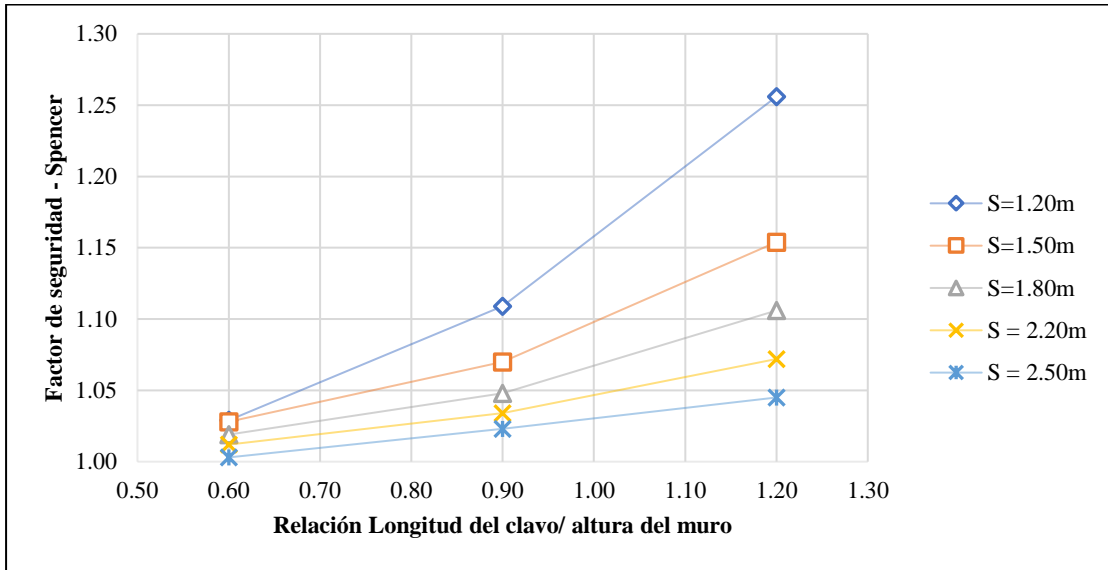


*Nota:* Efecto de la inclinación de los clavos en el FS con las siguientes características:  $\alpha=40^\circ$ ,  $c=6.28\text{kPa}$ ,  $\phi=30.13^\circ$ , diámetro de perforación  $D=100\text{mm}$ , diámetro del clavo  $d=25\text{mm}$ .

**4.3.5.1.3 Efecto de la Relación de la longitud del clavo / altura del muro.** Para evaluar el efecto de la relación longitud del clavo entre la altura del muro en el factor de seguridad global del talud, se tomaron valores de 0.6H, 0.9H y 1.2H; los valores obtenidos se muestran en las Figuras 69 al 73 respectivamente.

**Figura 69**

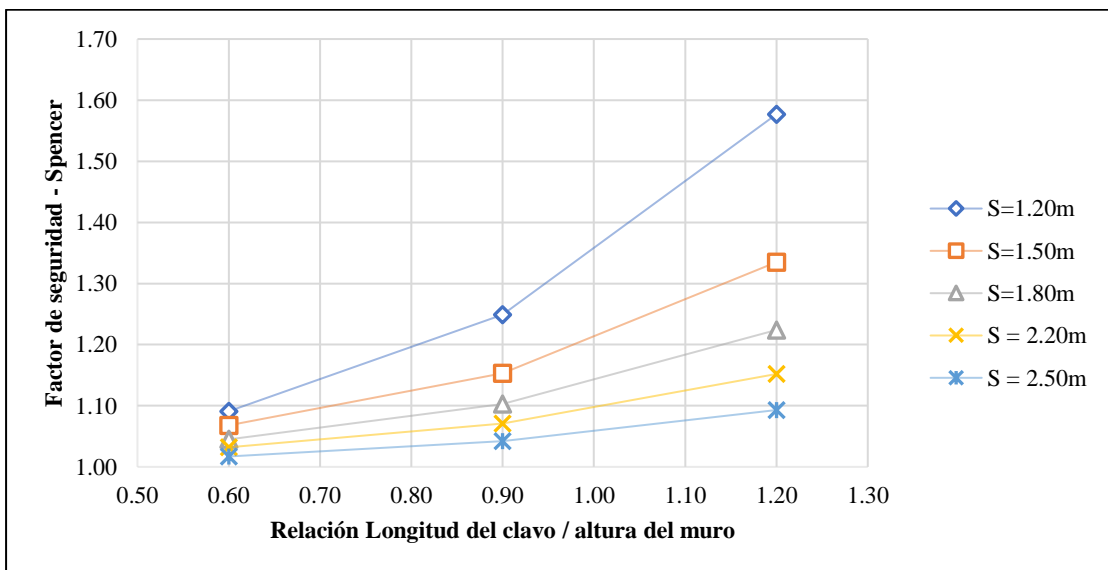
*Efecto de la relación entre la longitud del nail y la altura del muro (L/H) en el factor de seguridad,  $i=0^\circ$*



*Nota:* Efecto de la relación L/H en el FS con las siguientes características:  $\alpha=40^\circ$ ,  $c=6.28\text{kPa}$ ,  $\phi=30.13^\circ$ , diámetro de perforación  $D=100\text{mm}$ , diámetro del clavo  $d=25\text{mm}$ .

**Figura 70**

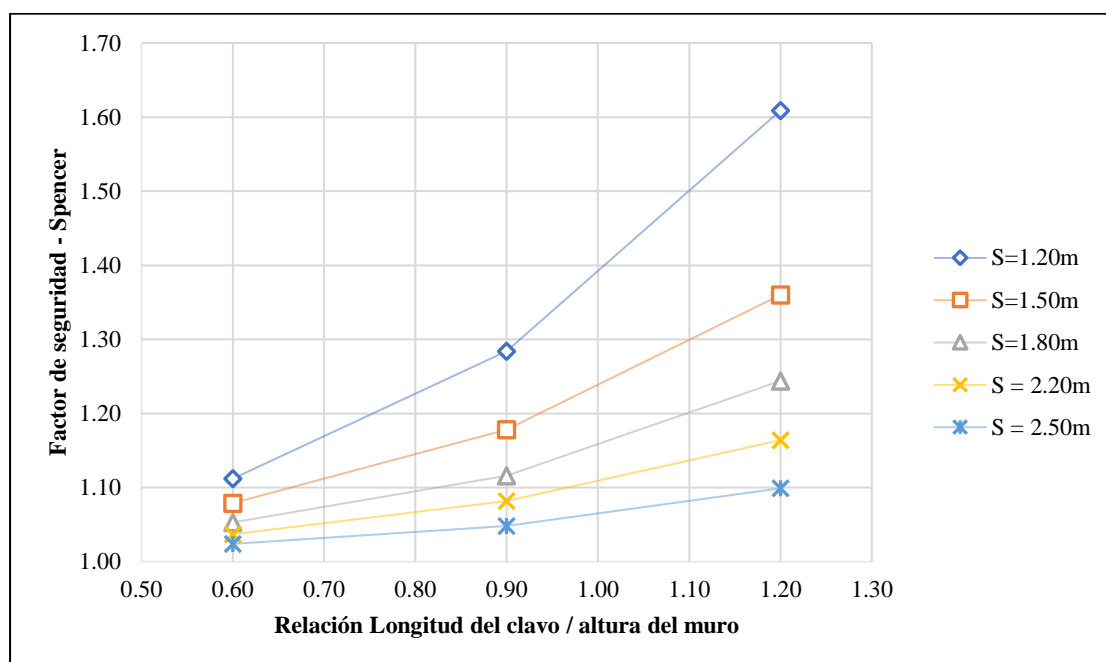
*Efecto de la relación entre la longitud del nail y la altura del muro (L/H) en el factor de seguridad,  $i=20^\circ$*



*Nota:* Efecto de la relación L/H en el FS con las siguientes características:  $\alpha=40^\circ$ ,  $c=6.28\text{kPa}$ ,  $\phi=30.13^\circ$ , diámetro de perforación  $D=100\text{mm}$ , diámetro del clavo  $d=25\text{mm}$ .

**Figura 71**

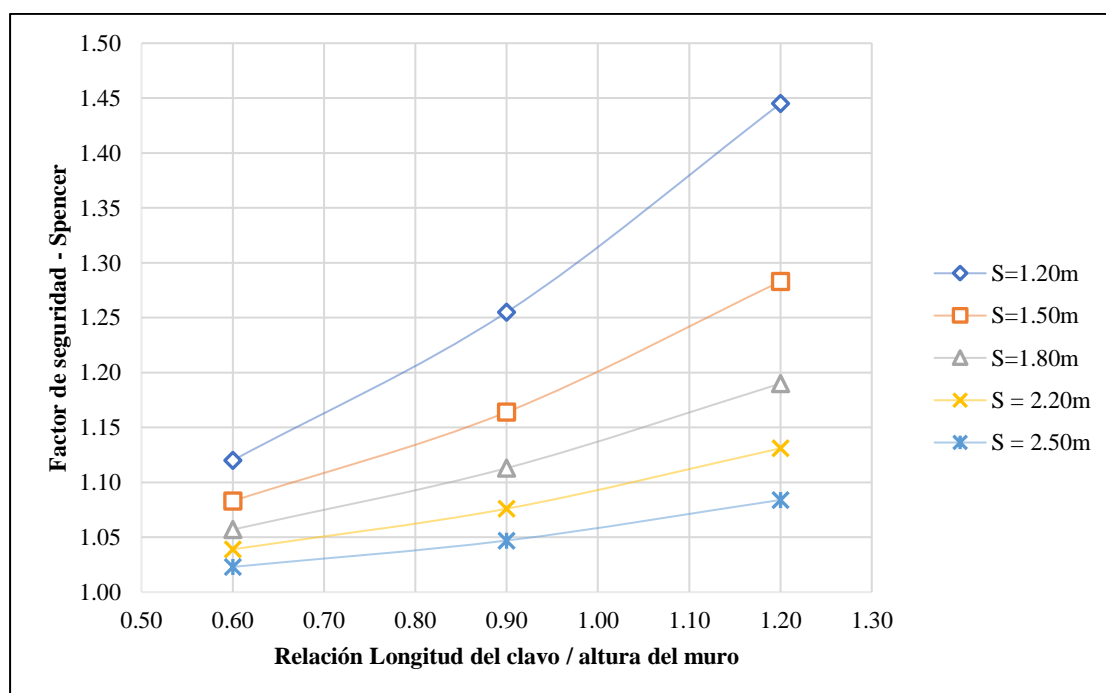
*Efecto de la relación entre la longitud del nail y la altura del muro (L/H) en factor de seguridad,  $i=30^\circ$*



*Nota:* Efecto de la relación L/H en el F.S con las siguientes características:  $\alpha=40^\circ$ ,  $c=6.28\text{kPa}$ ,  $f=30.13^\circ$ , diámetro de perforación  $D=100\text{mm}$ , diámetro del clavo  $d=25\text{mm}$ .

**Figura 72**

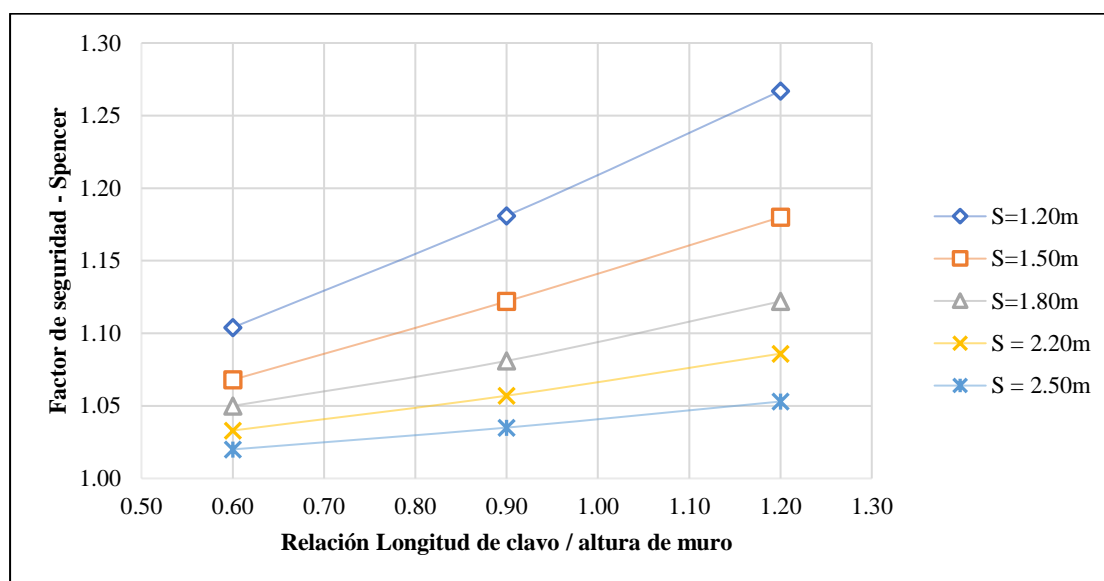
*Efecto de la relación entre la longitud del nail y la altura del muro (L/H) en factor de seguridad,  $i=50^\circ$*



*Nota:* Efecto de la relación L/H en el F.S con las siguientes características:  $\alpha=40^\circ$ ,  $c=6.28\text{kPa}$ ,  $\phi=30.13^\circ$ , diámetro de perforación  $D=100\text{mm}$ , diámetro del clavo  $d=25\text{mm}$ .

**Figura 73**

*Efecto de la relación entre la longitud del nail y la altura del muro (L/H) en factor de seguridad,  $i=65^\circ$*



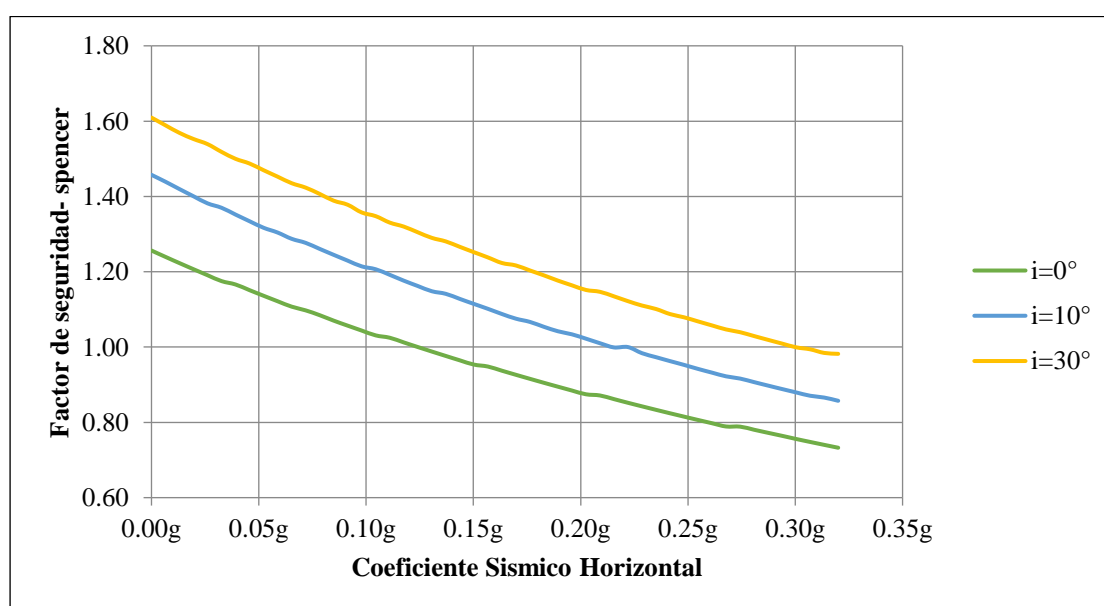
*Nota:* Efecto de la relación L/H en el F.S con las siguientes características:  $\alpha=40^\circ$ ,  $c=6.28\text{kPa}$ ,  $\phi=30.13^\circ$ , diámetro de perforación  $D=100\text{mm}$ , diámetro del clavo  $d=25\text{mm}$ .

#### 4.3.6 Efecto sísmico en el factor de seguridad

Para ver el efecto de la aceleración sísmica horizontal en el factor de seguridad global del talud se realizó un análisis de sensibilidad considerando aceleraciones de 0g a 0.32g. En las figuras 74, 75 y 76 se presentan los resultados.

**Figura 74**

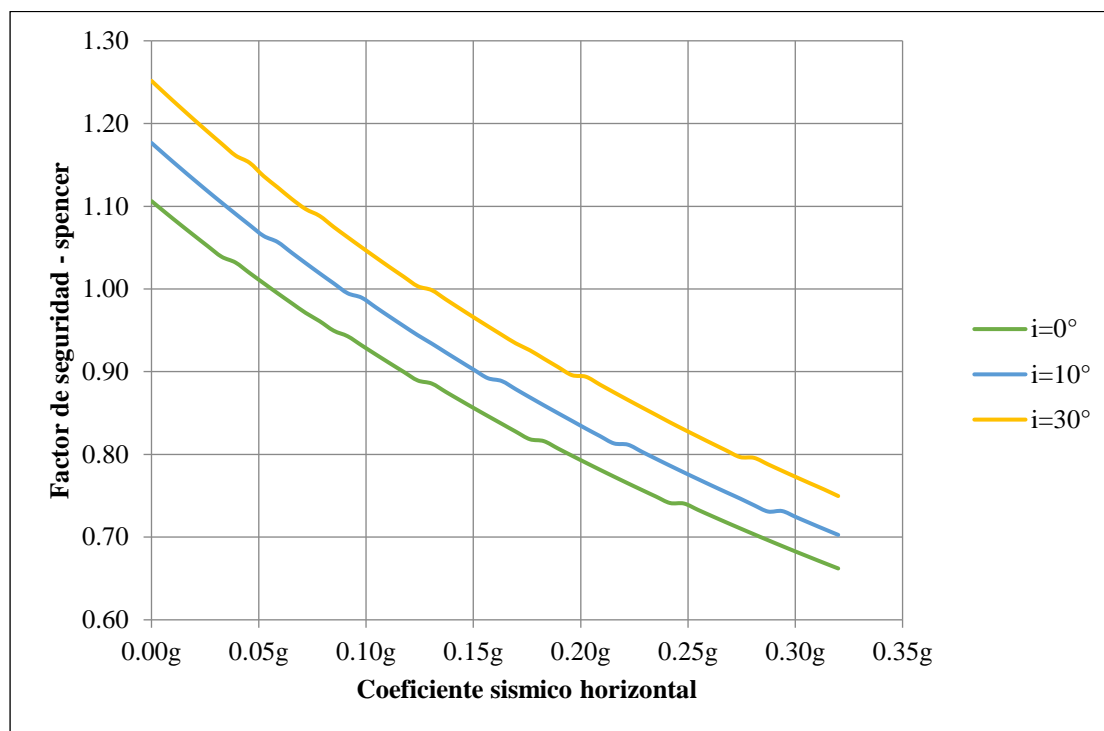
*Efecto de la aceleración sísmica en el factor de seguridad,  $S = 1.20\text{ m}$*



*Nota:* Efecto de la aceleración sísmica en el FS con las siguientes características:  $H/L=1.2H$ ,  $c=6.28\text{kPa}$ ,  $\phi=30.13^\circ$ , diámetro de perforación  $D=100\text{ mm}$ , diámetro del clavo  $d=25\text{mm}$ .

**Figura 75**

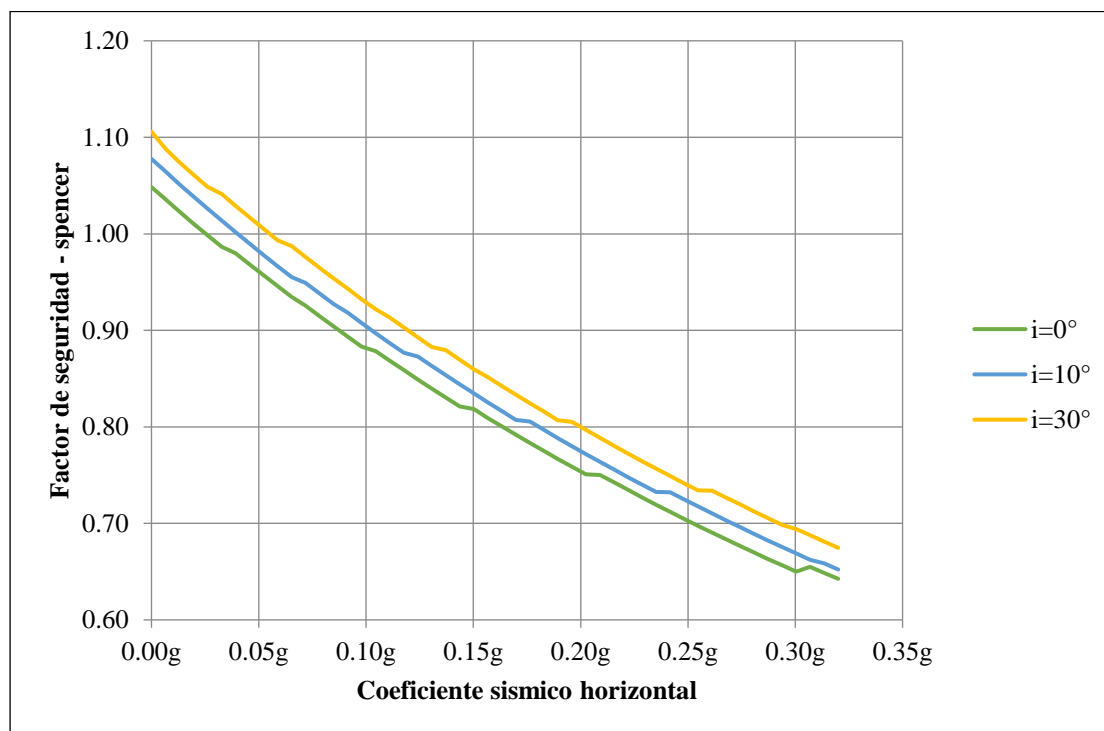
Efecto de la aceleración sísmica en el factor de seguridad,  $S = 1.80\text{ m}$



Nota: Efecto de la aceleración sísmica en el FS con las siguientes características:  $H/L=1.2H$ ,  $c=6.28\text{kPa}$ ,  $\phi=30.13^\circ$ , diámetro de perforación  $D=100\text{ mm}$ , diámetro del clavo  $d=25\text{ mm}$ .

**Figura 76**

Efecto de la aceleración sísmica en el factor de seguridad,  $S = 2.50\text{ m}$



Nota: Efecto de la aceleración sísmica en el F.S con las siguientes características:  $H/L=1.2H$ ,  $c=6.28\text{kPa}$ ,  $\phi=30.13^\circ$ , diámetro de perforación  $D=100\text{ mm}$ , diámetro del clavo  $d=25\text{ mm}$ .

### 4.3.7 Medida de estabilización del talud

**4.3.7.1 Parámetros del soil nailing.** Las variables del nail como la resistencia a la tensión ( $R_t$ ), Resistencia al arrancamiento ( $T_p$ ) y la resistencia de la cabeza del clavo ( $R_f$ ) pueden ir variando en un rango valores. Se optó por realizar un análisis de sensibilidad variando dichos parámetros, y ver su influencia en el factor de seguridad global del talud. En la Figura 77 se puede observar los datos ingresados inicialmente al software Slide.

**Figura 77**

*Parámetros iniciales del soil nailing*

The screenshot shows the 'SOIL NAIL' dialog box in the Slide software. On the left is a list of support types from 'SOIL NAIL' to 'Support 20'. The main area is titled 'SOIL NAIL' and contains the following fields and options:

- Name: SOIL NAIL
- Support Colour: (Blue)
- Support Type: Soil Nail
- Used for: Soil Nails
- Force Application:  Active (Method A),  Passive (Method B)
- Capacity and Spacing:
  - Out-of-plane spacing: 1.2 m
  - Tensile Capacity: 115 kN
  - Plate Capacity: 74 kN
  - Shear Capacity: 0 kN
  - Compression Capacity: 0 kN
- Pullout Strength:
  - Bond Strength: 28 kN/m
  - Material Dependent: Define...

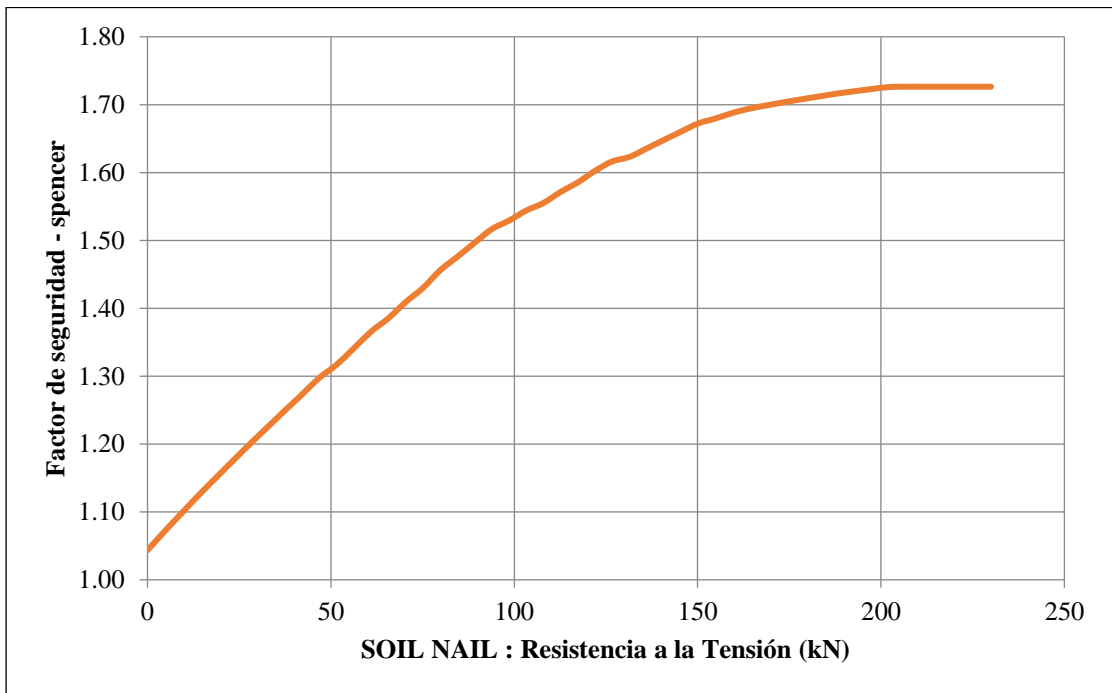
At the bottom, there is a 'Copy To...' button, a checkbox for 'Show only properties used in model', and 'OK' and 'Cancel' buttons.

Con los resultados obtenidos de los análisis de paramétricos y sensibilidad se tendrá un mejor panorama para realizar el dimensionamiento final del muro *soil nailing*.

Como se puede observar en la Figura 78, a medida que se aplica una mayor fuerza de tensado al clavo, el factor de seguridad global del talud también aumenta. Para poder mencionar que el talud es estable y seguro se necesitan factores de seguridad superiores a 1.50, por lo que de acuerdo con la Figura 78, se necesitaría una fuerza de tensado mínima de 100 kN (10.2tonf) para obtener un factor de seguridad superior a 1.50, por lo que para poder soportar esta fuerza de tensado se necesita un diámetro mínimo de clavo de 25 mm, como se puede observar en la Figura 79.

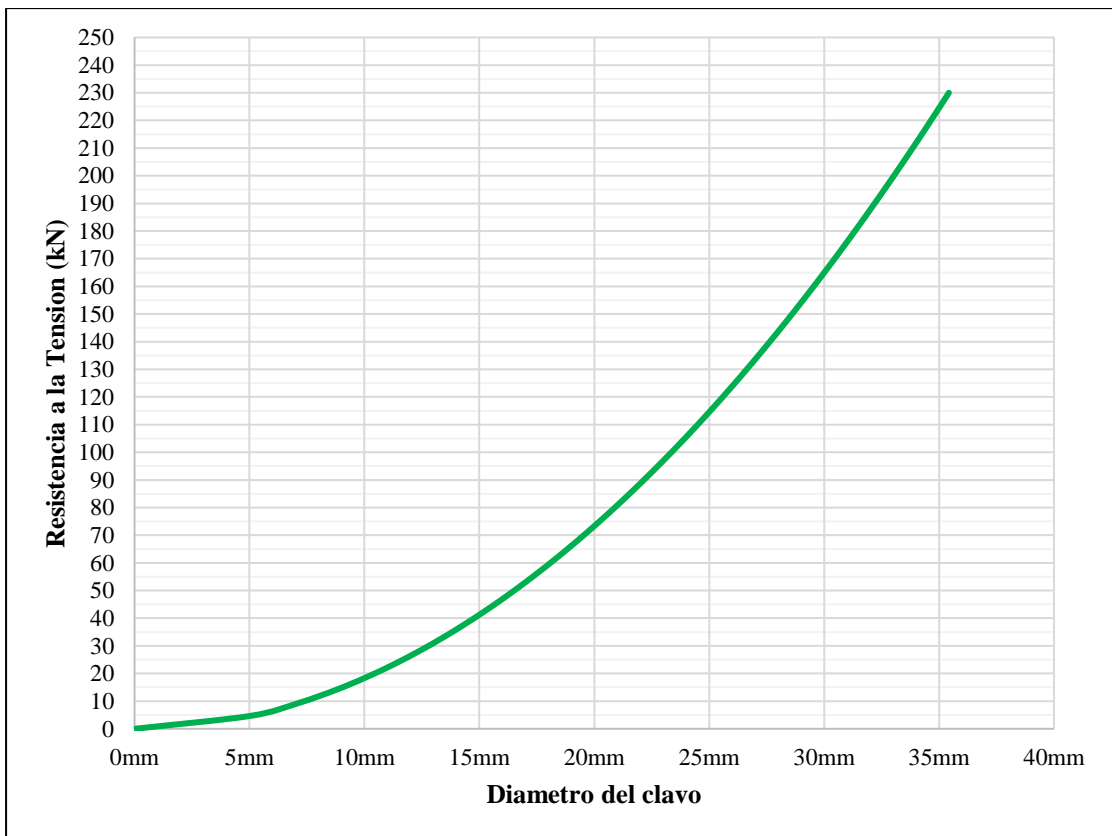
**Figura 78**

*Variación del factor de seguridad respecto a la resistencia de tensión del clavo*



**Figura 79**

*Resistencia a la tensión para diferentes diámetros de clavo*

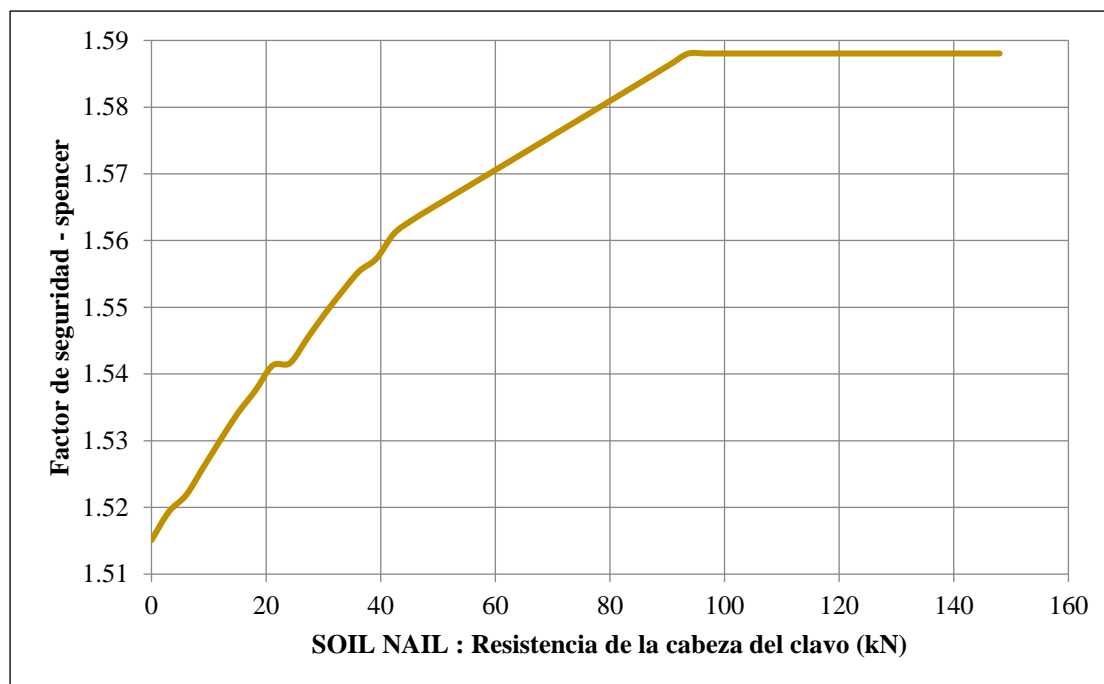


Nota:  $f_y$  clavo=420MPa,  $FS_T=1.80$  (Factor de seguridad contra tracción del clavo).

En la Figura 80 se puede observar cómo el factor de seguridad aumenta a medida que fuerza de la cabeza del clavo también lo hace, hasta llegar a un pico y luego se mantienen constante, por lo que este valor se mantendrá igual a 74kN.

**Figura 80**

*Variación del factor de seguridad respecto a la resistencia de cabeza del clavo*



Como se puede observar en la Figura 81 la resistencia al arrancamiento del clavo puede variar de acuerdo con el tipo de suelo y tipo de perforación por lo que se puede tener una amplia abanico de valores.

**Figura 81**

*Valores de esfuerzo ultimo de unión estimada para clavos en suelos y rocas*

Material	Método de construcción	Suelo/Roca	Fuerza de adherencia qu [Kpa]
Suelos no cohesivos	Perforación rotativa	Arena / grava	100 - 180
		Arena limosa	100 - 150
		Limo	60 - 75
		Piamonte residual	40 - 20
		Coluvial	75 - 150
	Perforación de carcaza	Arena/Grava (sobrecarga baja)	190 - 240
		Arena/Grava (sobrecarga Alta)	280 - 430
		Densa morena	380-490
		Coluvial fino	100 - 180
	Taladrar	Relleno de arena limosa	20 - 40
		Arena limosa fina	55 - 90
Arena limosa arcillosa		60 - 140	

Fuente: (56)

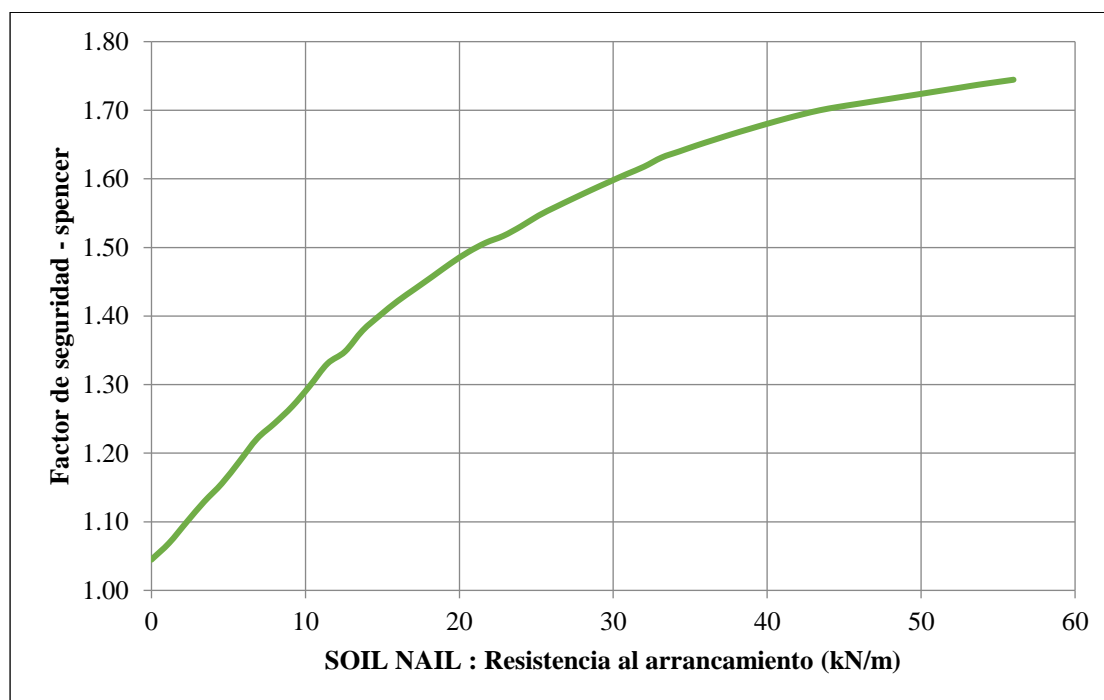
De acuerdo con las exploraciones geotécnicas realizadas en el área de estudio, el material predominante son gravas, por lo que se empleará la fuerza de adherencia



para gravas empleado un método de construcción con perforación rotativa. Como se puede observar en la Figura 82, a medida que se tiene una fuerza de adherencia mayor el factor de seguridad global aumenta, por lo que para obtener un factor de seguridad de 1.50 se deberá de emplear una fuerza de adherencia mínima de 20kN/m.

**Figura 82**

*Variación del factor de seguridad respecto a la resistencia al arrancamiento del nail*



Nota: diámetro de perforación D = 15 cm.

En la Tabla 21 se muestran los diferentes parámetros adoptados para el diseño final del sistema *soil nailing*, las cuales fueron obtenidas de acuerdo con el estudio paramétrico y de sensibilidad realizado anteriormente.

**Tabla 21**

*Parámetros de diseño del sistema soil nailing*

Descripción	Valor adoptado
Diámetro de la barra de clavo (d)	Ø 25.4mm (1"), $f_y=420\text{MPa}$
Longitud del clavo (L)	12.00 m
Espaciamiento de los clavos	$S_H = S_V = 1.20\text{ m}$
Angulo de inclinación de los clavos	20°
Diámetro de perforación de los clavos (D)	150 mm
$f_c$ lechada	21MPa
$f_c$ pantalla de revestimiento	21MPa

Espesor del revestimiento (h)	10.00cm
Dimensiones de la placa	22.5 x 22.5 x 2.5cm
Malla electrosoldada	WWM 102x102 – MW 13x13
Bastones de refuerzo	2 Ø 1/2", f'y=420MPa
Resistencia a la tensión (RT)	115kN
Resistencia al arrancamiento (TP)	28kN/m
Resistencia de la cabeza del clavo	74kN
Fuerza de unión suelo - refuerzo (qu)	120kPa

#### 4.3.7.2 Verificación del sistema soil nailing.

**4.3.7.2.1 Verificación a los modos de falla internos.** Los modos de falla internos limitan la capacidad funcional, estético o de otro tipo del sistema *soil nailing*.

- Factor de seguridad contra la falla de la resistencia a tracción del clavo (FS<sub>T</sub>)

$$FS_T = \frac{\frac{\pi * d^2}{4} * f_{y_{nail}}}{R_T} = \frac{\frac{\pi * 25.40mm^2}{4} * 420MPa}{115kN}$$

$$FS_T = 1.85 > 1.80 \quad (\text{seguro})$$

- Factor de seguridad contra el arrancamiento del clavo (FS<sub>P</sub>)

$$FS_P = \frac{\pi * D * q_u}{T_P} = \frac{\pi * 150mm * 120kPa}{28 \frac{kN}{m}}$$

$$FS_P = 2.02 > 2 \quad (\text{seguro})$$

- Factor de seguridad a flexión del muro (FS<sub>SS</sub>)

$$a_{vn} = a_{vm} + \frac{A_{VW}}{S_H} = 338.13 \frac{mm^2}{m}$$

$$a_{hn} = a_{vn} = 338.13 \frac{mm^2}{m}$$

$$C_F = 2$$

$$T_{max} = 95.83kN$$

$$T_0 = T_{max} * (0.6 + 0.2 * (S_V - 1)) = 61.33kN$$

$$R_{FF} = 3.8 * C_F * (a_{vn} + a_{vm}) * \left( \frac{S_H * h}{S_V} \right) * f_{y_{ref}}$$

$$R_{FF} = 148.47kN$$

$$FS_{SS} = \frac{R_{FF}}{T_0} = \frac{148kN}{61.33kN}$$

$$FS_{SS} = 2.42 > 1.50 \quad (\text{seguro})$$

- Factor de seguridad al punzonamiento (FS<sub>FP</sub>)

$$D'c = L_{BP} + h = 350\text{mm}$$

$$h_c = h = 0.10\text{m}$$

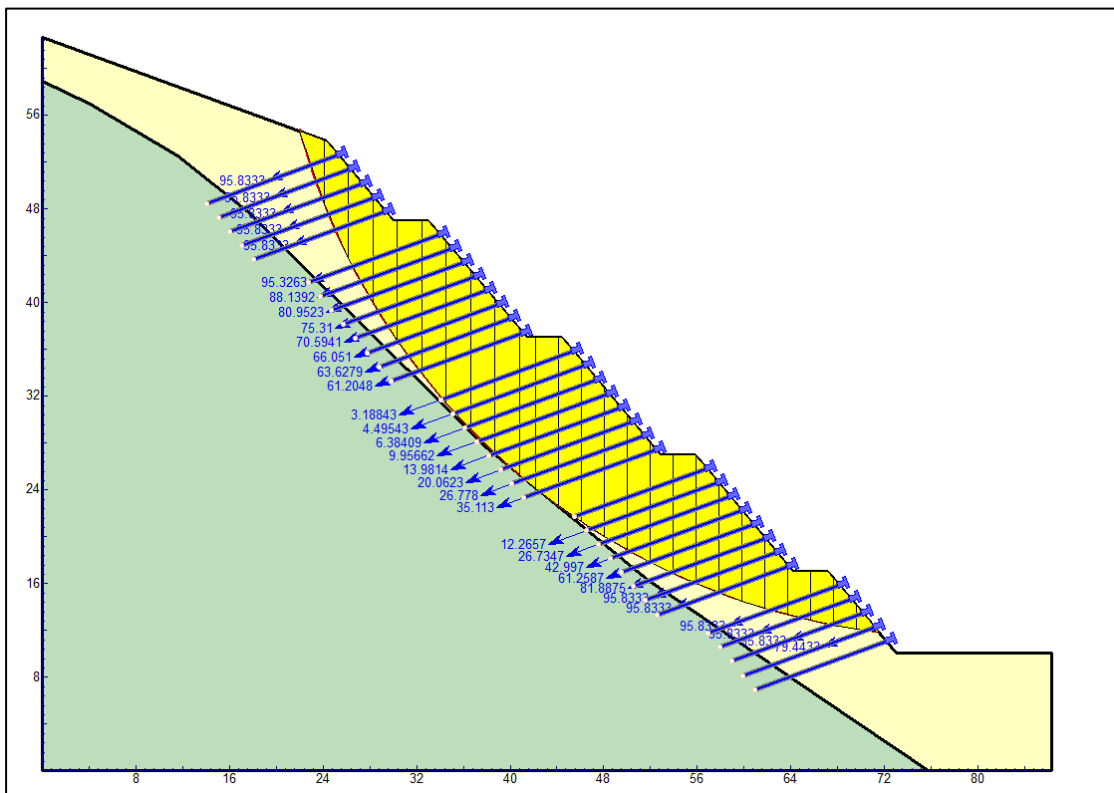
$$R_{FP} = 0.33 * \sqrt{f'_c} * \pi * D'c * h_c = 166.28\text{kN}$$

$$FS_{FP} = \frac{R_{FP}}{T_0} = \frac{166.28\text{kN}}{61.33\text{kN}}$$

$$FS_{SP} = 2.71 > 1.50 \text{ (seguro)}$$

**Figura 83**

*Fuerza de máxima de tracción en el clavo (T<sub>max</sub>)*

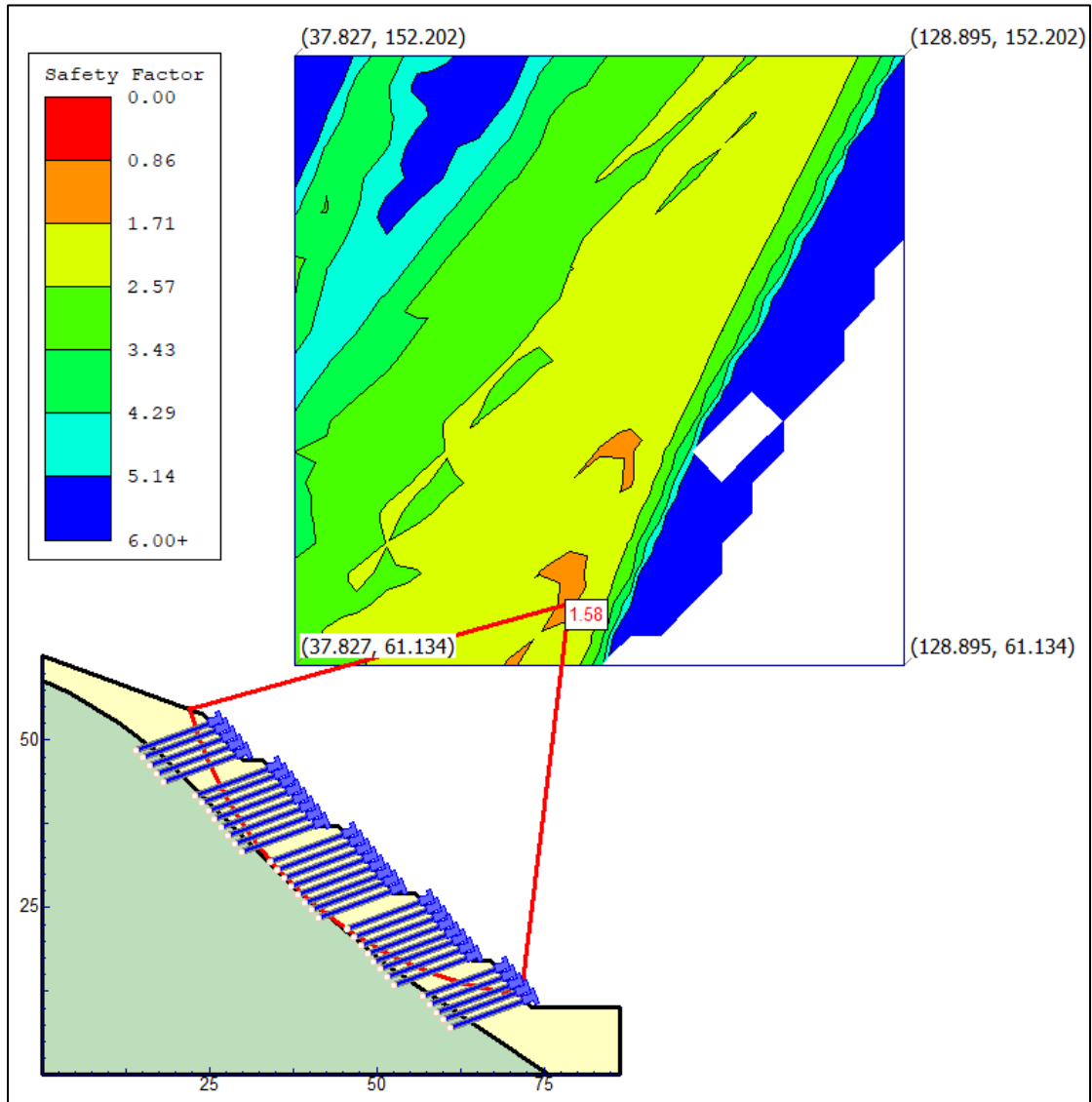


El cálculo detallado del sistema *soil nailing* se presentan en el anexo H de este documento.

**4.3.7.2 Verificación a los modos de falla externos.** Los modos de falla externos hacen alusión a la aparición de posibles superficies de falla que pasan por algunos o detrás de los clavos, llevando a la estructura a una situación de ruina; se estudia aquí la estabilidad global del talud (ver Figuras 84 y 85).

**Figura 84**

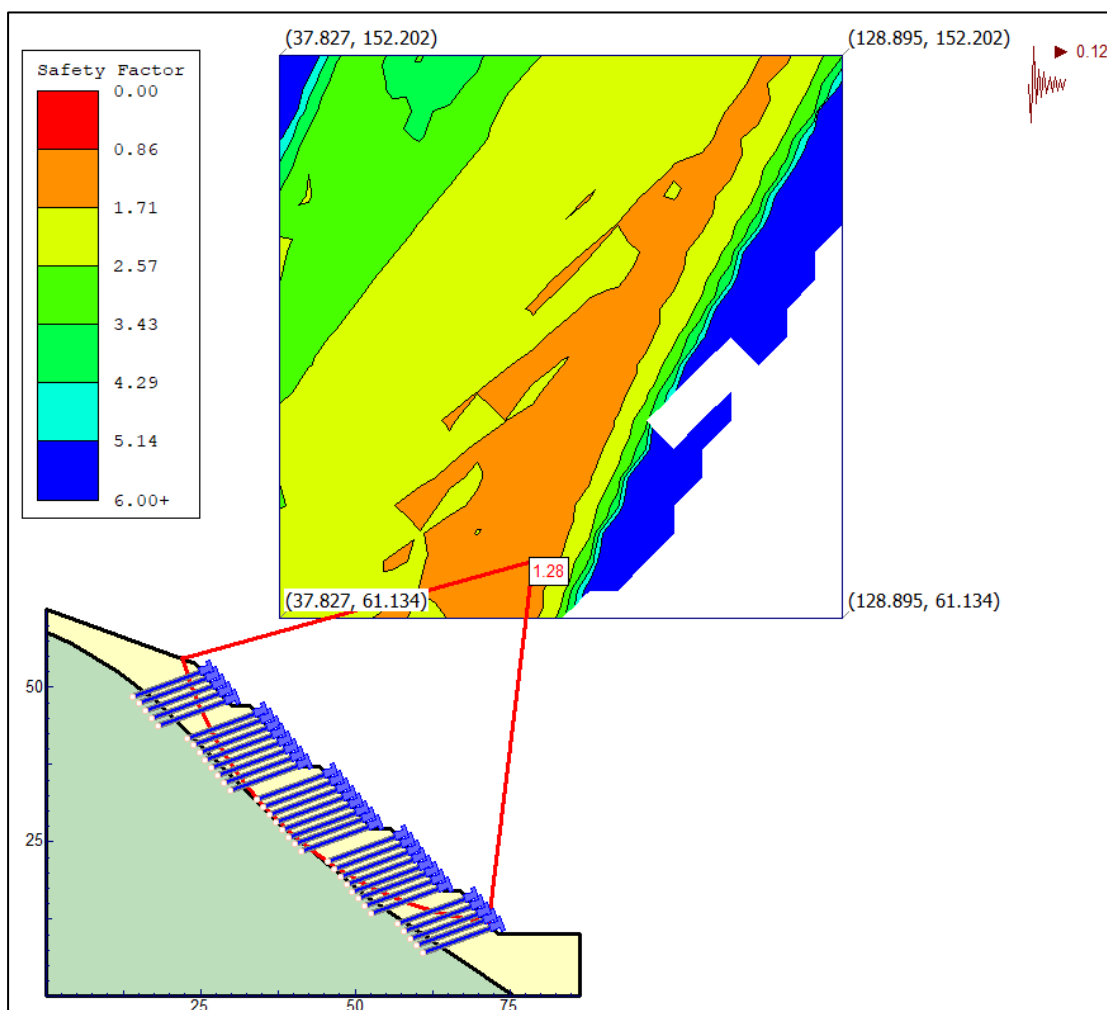
*FS estático global mínimo del talud con el sistema soil nailing*



*Nota: FS obtenido por el método de Morgenstern – Price*

**Figura 85**

*FS pseudoestático global mínimo del talud con el sistema soil nailing*



*Nota:* FS obtenido por el método de Morgenstern – Price.

El factor de seguridad global del talud obtenidos por los diferentes métodos con la inclusión del sistema *soil nailing* se presentan en la Tabla 22.

**Tabla 22**

*Resumen del FS global mínimo del talud con el sistema soil nailing*

Método de cálculo	Estabilidad de talud	Tipo de rotura	Factor de seguridad	
			Estático	Pseudoestático
Bishop simplificado	Global	Circular	1.59	1.28
Spencer	Global	Circular	1.58	1.28
Morgenstern – Price	Global	Circular	1.58	1.28

A partir de los cálculos realizados, se pueden observar en la Tabla 23 el resumen de los diferentes factores de seguridad internos y externos obtenidos.

**Tabla 23***Resultado de los factores de seguridad del sistema soil nailing*

Modo de falla	Componente de resistencia	Símbolo	FS mínimo	FS obtenido
Estabilidad externa	Estabilidad global	FS <sub>G</sub>	1.50	1.58
	Resistencia a la tracción del clavo	FS <sub>T</sub>	1.80	1.85
Estabilidad interna	Resistencia a la extracción	FS <sub>P</sub>	2.00	2.02
	Flexión del muro	FS <sub>SS</sub>	1.50	2.42
	Punzonamiento del muro	FS <sub>SP</sub>	1.50	2.71

#### 4.4 Discusión de resultados

El presente trabajo de investigación se realizó con la finalidad de establecer si el uso del sistema *soil nailing*, conseguirá solucionar la inestabilidad del talud en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450 sector Yahuarí, concluyendo que mediante el uso del sistema *soil nailing* sí se consigue solucionar la inestabilidad del talud, debido a que los factores de seguridad determinísticos obtenidos de 1.58 en condiciones estáticas y 1.28 en condiciones pseudoestáticas son superiores a los que se recomienda en el Reglamento Nacional de Edificaciones. Mendo (2018), coincide con nuestros hallazgos, al señalar que el sistema de suelo claveteado es un método que mejora la estabilidad de los taludes, debido a que los factores de seguridad obtenidos en los análisis fueron superiores a la unidad.

Así mismo, Elahi et al (2022), concluye que, mediante el aumento de la inclinación de los clavos, se observa un aumento inicial en el factor de seguridad llegando a un pico máximo y seguido de un descenso en el factor de seguridad global del talud, la inclinación más óptima de los clavos se encuentran entre los rangos de 10° a 25° con respecto a la horizontal. Nuestros resultados determinaron que la inclinación de los anclajes si influyen en el factor de seguridad del talud y que cuando los clavos poseen una longitud pequeña ( $\leq 6m$ ), este parámetro es prácticamente insignificante cobrando mayor relevancia cuanto mayor sea la longitud de estos y el factor de seguridad aumenta inicialmente hasta llegar a una inclinación de 30°, el aumento más allá de este valor provoca el descenso del factor de seguridad, por lo que los ángulos de inclinación óptimos son aquellos que oscilan en los rangos de 10° a 30°.

Alsubal et al (2017), concluye que los parámetros del clavo como la inclinación, el espaciamiento y la longitud tienen un efecto significativo en el factor de seguridad

global del talud y que el factor de seguridad disminuye con el aumento de la separación de los clavos. Asimismo, Mendo (9) refiere que la separación entre clavos influye decisivamente en el factor de seguridad del talud. Nuestros hallazgos señalan que la separación de los anclajes si influyen en el factor de seguridad del talud mediante la inclusión del sistema *soil nailing*; esto se debe a que entre más separados estén los anclajes aumentará inevitablemente el área tributaria y la carga en los clavos de manera individual, por lo que la separación de los clavos debe de ser lo más corto posible ( $\geq 1\text{m}$ ), de forma que se logre superar el factor de seguridad mínimo de 1.50 en condiciones estáticas y 1.25 en condiciones pseudoestáticas.

En los resultados del trabajo se pudo apreciar que la relación de la longitud del clavo sobre la altura del muro ( $L/H$ ) sí influyen significativamente en el factor de seguridad global del talud, mediante la inclusión del sistema *soil nailing*. Esto se debe que entre mayor sea la longitud de los clavos, estos podrán intersecar y atravesar la superficie de falla, traduciéndose en un aumento de la resistencia a la extracción del clavo. Asimismo, los clavos con una longitud pequeña necesitan de una mayor inclinación ( $>15^\circ$ ) para poder transferir de mejor manera las cargas admisibles al suelo. Entre mayor sea la separación y se tengan inclinaciones mayores a  $30^\circ$  de los clavos, la relación  $L/H$  no influirá de manera significativa en el factor de seguridad global del talud. Esto coincide con las investigaciones de Elahi et al. (5), afirmando que mediante el aumento de la longitud del clavo  $L/H$  (Longitud del clavo/altura del talud), aumenta el factor de seguridad del talud; sin embargo, la influencia de la longitud del clavo se ve reducida cuando el valor de  $L/H$  es menor que 0.90.

La investigación concluyó que la aceleración sísmica horizontal tiene una influencia muy alta sobre el factor de seguridad global del talud, puesto que si se emplean valores de aceleración sísmica horizontal muy altas ( $>0.20g$ ) se obtendrán factores de seguridad menores a la unidad (1). Entre menor sea la separación de los anclajes ( $\leq 1,20\text{ m}$ ) y se tengan ángulos de inclinación que van desde los  $10^\circ$  hasta los  $30^\circ$  con relaciones  $L/H=1$ , se obtendrán mejores resultados en el factor de seguridad pseudoestático del talud, garantizando de esta manera su permanencia. A medida que la separación de los clavos aumenta entre sí, los parámetros de inclinación y longitud serán poco relevantes y causarán poco efecto en el factor de seguridad, debido a que aportarán poca resistencia al talud para contrarrestar las fuerzas sísmicas. Similares conclusiones plantean Rawat y Chatterjee (6), mencionado que el factor de seguridad

global del talud disminuye a medida que se aumentan los coeficientes de aceleración sísmica, debido a que las fuerzas desestabilizantes superan a las fuerzas estabilizantes.



## CONCLUSIONES

1. En este trabajo se determinó que mediante el uso del sistema *soil nailing* se consigue solucionar la inestabilidad del talud en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450 sector Yahuarí, distrito de Santa María de Chicmo, debido a que los factores de seguridad determinísticos obtenidos son de 1.58 en condiciones estáticas y 1.28 en condiciones pseudoestáticas, considerándose como un talud seguro y estable. La estabilización se consigue con una separación de 1.20 m entre clavos y una longitud de 12 m.
2. Se concluye que el ángulo de inclinación de los anclajes sí influye en el factor de seguridad del talud mediante la inclusión del sistema *soil nailing*, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450, sector de Yahuarí distrito de Santa María de Chicmo - 2021. El factor de seguridad aumenta inicialmente hasta llegar a una inclinación de 30° y el aumento más allá de este valor provoca el descenso del factor de seguridad, por lo que los ángulos de inclinación óptimos son aquellos que oscilan en los rangos de 10° a 30° con respecto a la horizontal. En estos rangos de inclinación transfirieren de mejor manera las resistencias del clavo al suelo, mejorando la estabilidad global del talud. Se determinó, asimismo, que cuando los clavos poseen una longitud pequeña ( $\leq 6$  m), este parámetro es prácticamente insignificante cobrando mayor importancia cuanto mayor sea la longitud de estos, como se puede observar en la Figura 68.
3. Se concluye que la separación de los anclajes sí influye en el factor de seguridad del talud mediante la inclusión del sistema *soil nailing*, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450, sector de Yahuarí distrito de Santa María de Chicmo - 2021. Esto se debe a que, entre más separados estén los anclajes entre sí, aumentará inevitablemente el área tributaria y la carga en los clavos de manera individual. Cuando el clavo posee un ángulo de inclinación de 20° y una longitud de 12 m con una separación horizontal y vertical de 1.20 m, el factor de seguridad es igual a 1.577, como se muestra en la Figura 57; cuando el espaciamiento incrementa a 1.80 m, el factor de seguridad disminuye a 1.244. De igual manera, cuando la separación alcanza los 2.50 m, el factor de seguridad se ve reducido a 1.093. Por lo tanto, el talud se considera como estable pero inseguro. Por lo que la separación de los clavos debe de ser lo más corto posible ( $\geq 1$  m), de forma que se logre superar el factor de seguridad mínimo de 1.50 en condiciones estáticas y 1.25 en condiciones pseudoestáticas.

4. Se concluye que la relación de la longitud del clavo sobre la altura del muro ( $L/H$ ) sí influyen significativamente en el factor de seguridad global del talud, mediante la inclusión del sistema *soil nailing*, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450, sector de Yahuarí distrito de Santa María de Chicmo -2021. Esto se debe a que entre mayor sea la longitud de los clavos, estos podrán intersecar y atravesar la superficie de falla del talud, traduciéndose en un aumento de la resistencia a la extracción del clavo. Asimismo, los clavos con una longitud pequeña necesitan de una mayor inclinación ( $>15^\circ$ ) para poder transferir de mejor manera las cargas admisibles al suelo. Entre mayor sea la separación y se tengan inclinaciones mayores a  $30^\circ$  de los clavos, la relación  $L/H$  no influirá de manera significativa en el factor de seguridad global del talud.
5. La aceleración sísmica horizontal tiene una influencia muy alta sobre el factor de seguridad del talud, mediante la inclusión del sistema *soil nailing*, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450, sector de Yahuarí distrito de Santa María de Chicmo -2021, puesto que si se emplean valores de aceleración sísmica horizontal muy altas ( $>0.20g$ ), se obtendrán factores de seguridad menores a la unidad (1). Entre menor sea la separación de los anclajes ( $\leq 1,20$  m) y se tengan ángulos de inclinación que van desde los  $10^\circ$  hasta los  $30^\circ$  con relaciones  $L/H=1.0$ , se obtendrán mejores resultados en el factor de seguridad del talud. A medida que la separación de los clavos aumenta entre sí, los parámetros de inclinación y longitud serán poco relevantes y causarán poco efecto en el factor de seguridad, debido a que aportarán poca resistencia al talud para contrarrestar las fuerzas sísmicas; por lo que emplear valores de aceleración sísmica mayores a  $0.20$  g en el análisis de estabilidad de taludes, resultarán en obras más costosas por la cantidad de clavos a emplear. Valores de aceleración sísmica de  $0.10$  g a  $0.15$  g resultan ser más adecuados en este tipo de análisis, puesto que garantizan mejores soluciones técnicas y financieras.

## RECOMENDACIONES

- A. Se recomienda realizar exploraciones geotécnicas más profundas en la zona de estudio, para conocer a mayor detalle cómo es que se encuentran dispuestos los estratos de suelo a mayor profundidad en el talud y poder disminuir el grado de incertidumbre por la variación espacial de los materiales que conforman el talud.
- B. El uso del software Slide es únicamente para verificar los modos de fallas externos del talud, en este caso, la estabilidad global del sistema, mas no como diseño y verificación de los modos de falla internos. Por ello, se recomienda realizar el análisis estructural del revestimiento, sus esfuerzos y deformaciones con otros softwares especializados en el diseño de muros de suelo claveteado como el SNAP-2, SNAIL, GEO5, etc.
- C. Realizar nuevas investigaciones acerca del diseño del sistema *soil nailing*, esto debido a que la normativa de la Administración Federal de Carreteras (FHWA) se actualiza constantemente y establecen nuevos lineamientos para el diseño y construcción de sistemas suelo claveteado.
- D. Para realizar el análisis y diseño de sistemas *soil nailing* se recomienda tener conocimientos básicos acerca de mecánica de suelos, mecánica de rocas, así como nociones de diseño por el método de Esfuerzos Permisibles (ASD) y Factores de Carga y Resistencia (LRFD).
- E. Para tener mayor confiabilidad en el factor de seguridad obtenido por medio de los métodos de equilibrio límite, se recomienda realizar análisis de estabilidad de taludes por medio de métodos numéricos como los elementos finitos (FEM) y/o elementos discretos (DEM).
- F. Para controlar la erosión, producto de las aguas superficiales provenientes de las precipitaciones pluviales, se recomienda la construcción de sistemas de drenaje, como cuentas de coronación en las partes más altas del talud.
- G. Para determinar los parámetros resistentes del suelo ( $C$  y  $\phi$ ), se recomienda realizarlos por medio de ensayos triaxiales.

## BIBLIOGRAFÍA

1. MINISTERIO DE TRASPORTE. *Actualización del Clasificador de Rutas del Sistema Nacional De Carreteras – SINAC* [en línea]. Perú: MTC, 2016 [fecha de consulta: 12 de mayo de 2021]. Disponible en:  
<https://busquedas.elperuano.pe/download/url/actualizacion-del-clasificador-de-rutas-del-sistema-nacional-anexo-ds-n-011-2016-mtc-1408989-1>.
2. PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO: GEOCIENCIAS PARA LAS COMUNIDADES ANDINAS. *Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas* [en línea]. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 2007 [fecha de consulta: 12 de mayo de 2021]. ISSN 0717-3733. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2830>.
3. RUIZ, Faustino. Criterios para el proyecto de estructura de suelo reforzado. *Informes de construcción* [en línea]. 2002, vol. 54, n.º 479, pp. 29-41 [fecha de consulta: 12 de mayo de 2021]. DOI  
<https://doi.org/10.3989/ic.2002.v54.i479.618>.
4. ALSUBAL, Shamsas y otros. A typical design of soil nailing system for stabilizing a soil slope: Case study. *Indian Journal of Science and Technology* [en línea]. 2017, vol. 10, n.º 4, pp. 1-7 [fecha de consulta: 12 de mayo de 2021]. DOI 10.17485/ijst/2017/v10i4/110891.
5. ELAHI, Tausif y otros. Parametric assessment of soil nailing on the stability of slopes using numerical approach. *Geotechnics* [en línea]. 2022, 2, pp. 615-634 [fecha de consulta: 12 de mayo de 2021]. DOI 10.3390/geotechnics2030030.
6. RAWAT, Pankaj y CHATTERJEE, Kaustav. Seismic Stability Analysis of Soil Slopes Using Soil Nails. *Geotechnical Special Publication* [en línea]. 2018, pp. 79 - 87 [fecha de consulta: 12 de mayo de 2021]. DOI  
<https://doi.org/10.1061/9780784481486.009>.
7. CAMPOS, Vallejo. *Diseño de propuestas constructivas soil nailing para estabilidad de taludes en sitios de la Red Nacional de Telecomunicaciones del ICE* [en línea]. Tesis de Licenciatura, Tecnológico de Costa Rica, 2017 [fecha de consulta: 28 de mayo de 2021]. Disponible en:  
<https://hdl.handle.net/2238/6904>.

8. BRAVO, Didio y LUMBI, Washington. *Análisis de la estabilidad de talud en la carretera Guanujo – Echeandía en el sector Agua Blanca* [en línea]. Tesis de Ingeniero Civil, Universidad de Guayaquil, 2020 [fecha de consulta: 31 de mayo de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/49577>.
9. MENDO, Daniel. *Análisis de estabilidad del talud del Megacentro comercial 30 de enero y propuesta de solución con el sistema soil nailing – Jicamarca* [en línea]. Tesis de Ingeniero Civil, Universidad César Vallejo, 2018 [fecha de consulta: 31 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/24266>.
10. PACCINI, Jean. *Análisis de alternativas técnico – económicas para estabilizar el talud ubicado en el km 3+310 al km 3+490 de la vía Chontayoc – Tinyash, distrito de Independencia – Huaraz – Ancash* [en línea]. Tesis de Ingeniero Civil, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, 2018 [fecha de consulta: 31 de mayo de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2471>.
11. ÁVILA, Ronald. *Análisis sísmico – dinámico en taludes para aseguramiento de estructuras de irrigación Sangallaya – Huarochirí – Región Lima 2017* [en línea]. Tesis de Ingeniero Civil Universidad César Vallejo, 2017 [fecha de consulta: 1 de junio de 2021]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/13322>.
12. SACKSCHEWSKI, Carlos. *Soluciones para la estabilidad de taludes de la carretera Canta – Huayllay entre las progresivas del km 102 al km 110* [en línea]. Tesis de Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2017 [fecha de consulta: 1 de junio de 2021]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12672/5743>.
13. ARTEAGA, Nora. *Análisis geológico – geotécnico en los taludes de la carretera Choropampa – Magdalena* [en línea]. Tesis de Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional de Cajamarca, 2017 [fecha de consulta: 1 de junio de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1668>.
14. VALIENTE, Ricardo, SOBRECASAS, Salvador y DÍAZ, Aníbal. *Estabilidad de taludes: conceptos básicos, parámetros de diseño y métodos de cálculo* [en línea]. Lima: Civilizate, 2015, n.º 7, pp. 50-54 [fecha de consulta: 14 de mayo de 2021]. Disponible en: <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/civilizate/issue/view/1332>.

15. GONZALES, Matilde. *El terreno*. España: UPC, 2001. ISBN 84-8301-5307-7.
16. SUAREZ, Jaime. *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales* [en línea]. Colombia: Ingeniería de suelos, 1998 [fecha de consulta: 15 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://www.erosion.com.co/category/libros/>
17. ALCÁNTARA, Irasema y otros. *Inestabilidad de laderas* [en línea]. México: CENAPRED, 2001 [fecha de consulta: 15 mayo de 2021]. ISBN 970-628-615-2. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/288369167\\_Inestabilidad\\_de\\_Laderas](https://www.researchgate.net/publication/288369167_Inestabilidad_de_Laderas).
18. AYALA, Fráncico y otros. *Manual de ingeniería de taludes* [en línea]. España: IGME, 2006 [fecha de consulta: 15 mayo de 2021]. ISBN 978-84-7840-626-5. Disponible en: <http://www.igme.es/Publicaciones/Consulta>.
19. GONZALES, Luis y otros. *Ingeniería Geológica*. España: Pearson Educación, 2002. ISBN 84-205-3104-9.
20. REDACCIÓN EC [en línea]. Junín: así se encuentra el ingreso a Pichanaki y Satipo por caída de rocas. *El Comercio*, Lima, 2018 [fecha de consulta: 24 de junio de 2021]. Disponible en: <https://elcomercio.pe/peru/junin/derrumbe-rocas-bloquea-ingreso-satipo-anoche-noticia-531276-noticia/?foto=7>.
21. SALCEDO, Daniel. *Caracterización y acondicionamiento del terreno*. Venezuela, FUNVISIS, 2014. ISBN 978-980-6069-24-4.
22. MINISTERIO DE DEFESA [en línea]. Ministro Kisic llevó ayuda a damnificados por deslizamiento de tierra en Cusco [publicación en Flickr]. 2018 [fecha de consulta: 24 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.flickr.com/photos/ministeriodedefensaperu/39935939755/in/dateposted/>.
23. INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL. *Manual de estimación del riesgo ante movimientos en masa en laderas* [en línea]. Perú: Instituto Nacional de defensa civil (INDECI), 2011 [fecha de consulta: 17 de mayo de 2021]. Disponible en: <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc1744/doc1744-contenido.pdf>.
24. SERVICIO GEOLÓGICO BRITÁNICO [en línea]. Landslide details. *BGS*, 2019 [fecha de consulta: 24 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.bgs.ac.uk/case-studies/holbeck-hall-scarborough-landslide-case-study/>.

25. LARIO, Javier y BARDAJÍ, Teresa. *Introducción a los Riesgos Geológicos*. España: UNED, 2017. ISBN 9788436270143.
26. SUAREZ, Jaime. *Deslizamientos: Análisis geotécnico* [en línea]. Colombia: Universidad Industrial de Santander UIS, 2009 [fecha de consulta: 17 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico.html>.
27. MORALES, Byron, BETÚN, Luis y QUISHPE, Gabriela. *Análisis de alternativas para la estabilidad del talud con el programa Geo-Slope en el sector El Prado Cantón Piñas, Provincia de El Oro* [en línea]. Tesis de Ingeniero Civil, Universidad Central del Ecuador, 2016 [fecha de consulta: 24 de junio de 2021]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/8006>.
28. SANHUEZA, C. y RODRÍGUEZ, L. Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales. *Revista de la Construcción* [en línea]. 2013. Vol. 12, n.º 1, pp. 17-29 [fecha de Consulta: 17 de mayo de 2021]. ISSN: 0717-7925. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=127628890003>.
29. FLORES, Marco y DE CAMARGO, José. *Análisis probabilístico de estabilidad de taludes por el método de Monte Carlo* [En línea] 15 de febrero de 2015. [fecha de consulta: 18 de mayo de 2021]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/272492305\\_Analise\\_Probabilistica\\_de\\_Estabilidad\\_de\\_Taludes\\_pelo\\_Metodo\\_de\\_Monte\\_Carlo](https://www.researchgate.net/publication/272492305_Analise_Probabilistica_de_Estabilidad_de_Taludes_pelo_Metodo_de_Monte_Carlo).
30. BOJORQUE, Jaime. Métodos para el análisis de la estabilidad de pendientes. *Maskana* [en línea]. Ecuador: Universidad de Cuenca, 2011. Vol. 2, n.º 2, pp. 1-16 [fecha de consulta: 18 de mayo de 2021]. DOI 10.18537/mskn.02.02.01. Disponible en: <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/379>.
31. MORALES, Byron. *Metodología de estabilización de taludes de carreteras* [en línea]. Tesis de Magister en ingeniería vial, Pontificia Católica del Ecuador, 2012 [fecha de consulta: 18 de mayo de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/7878>.
32. FERRER, Mercedes. *Reducción de riesgos geológicos en España*. España: IGME, 1995. ISBN 978-84-7840-226-7.

33. RAMÍREZ, Pedro y ALEJANO, Leandro. *Mecánica de rocas: fundamentos e ingeniería de taludes* [en línea]. Madrid: UPM, 2004 [fecha de consulta: 18 de mayo de 2021]. Disponible en: <http://oa.upm.es/14183/>.
34. CATANZARITI, Filippo. *Estabilidad de taludes* [en línea]. GeoStru, 13 de junio de 2016 [fecha de consulta: 18 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://www.geostru.eu/es/blog/2016/06/13/estabilidad-de-taludes/>.
35. ALVA, Jorge. *Diseño de cimentaciones*. Perú: ICG, 2012.
36. CHENG, Y.M y LAU, C.K. *Slope Stability Analysis and Stabilization New Methods and Insight*. Vol. 2. Londres: CRC Press, 2013. ISBN 9780429166457.
37. DUNCAN, Michael, WRIGHT, Stephen y BRANDON, Thomas. *Soil Strength and Slope Stability*. Vol. 2. New Jersey: Wiley, 2014. ISBN 978-1-118-91795-4.
38. DAS, Braja. *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. Vol. 4. México: Cengage Learnig: 2015. ISBN 978-1-111-57675-2.
39. INGENIO XYZ. *Factor de seguridad en taludes y laderas inestables: orden de magnitud* [en línea]. 2019 [fecha de consulta: 19 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://ingenio.xyz/articulos/20190509-factor-deseguridad-en-taludes>.
40. REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES. *Norma Técnica CE.020 estabilización de suelos y taludes*. Perú: RNE, 2012.
41. INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL. *Mapa de peligros de la ciudad de Abancay*. Apurímac: INDECI, 2007.
42. MARTINEZ, Rafael, BARRERA, Sergio y GOMEZ, Patricio. El método pseudoestático de estabilidad en presas: un análisis crítico. *Obras y proyectos* [en línea]. 2011, n.º 9 [fecha de consulta: 19 de mayo de 2021], pp. 30-37. ISSN 0718-2813. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S07182813201100010004&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S07182813201100010004&lng=es&nrm=iso).
43. REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES. *Norma Técnica E.030 diseño sismorresistente*. Perú: RNE, 2018.
44. TAVERA, Hernando y otros. *Re-evaluación del peligro sísmico probabilístico para el Perú*. Perú: IGP, 2014.



45. BOLAÑOS, Ana, MONROY, Omar. *Espectro de peligro sísmico uniforme* [en línea]. Tesis de magíster en Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2012 [fecha de consulta: 24 de junio de 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/1331>.
46. SUAREZ, Jaime. *Deslizamientos: Técnicas de remediación* [en línea]. Colombia: Universidad Industrial de Santander UIS, 2009 [fecha de consulta: 19 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-ii-tecnicas-de-remediacion.html>.
47. MINISTERIO DE TRASPORTE Y COMUNICACIONES. *Manual de carreteras túneles, muros y obras complementarias volumen II* [en línea]. Perú: MTC, 2014 [fecha de consulta: 19 de mayo de 2021]. Disponible en: [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/p\\_recientes/5800.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/p_recientes/5800.pdf).
48. YEPES, Víctor. *Soil nailing o suelo claveteado* [en línea]. España: Universitat Politècnica de València, 2019 [fecha de consulta: 19 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/07/05/soil-nailing-o-suelo-claveteado/>.
49. ORTUÑO, Luis. *Claveteado del terreno* [en línea]. Madrid, España: [s.n], 2010 [fecha de consulta: 24 de junio de 2021]. Disponible: <http://www.urielyasociados.es/en/img/formacion/ponencia2.pdf>.
50. PANIAGUA, Walter. *Soil nailing*. En: SCHMITTER, Juan y otros. *Manual de construcción geotécnica*. México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, 2002, pp. 337-35. ISBN 968-5350-05-1.
51. LAZARTE, Carlos y otros. *Geotechnical engineering circular n.º 7 Soil Nail Walls*. Washington, DC: FHWA, 2003.
52. LAZARTE, Carlos y otros. *Geotechnical engineering circular n.º 7 soil nail walls – reference manual*. Washington, DC: FHWA, 2015.
53. GEOTECHNICAL ENGINEERING OFFICE. *Guide to soil nail design and construction* [en línea]. Hong Kong: Geotechnical Engineering Office, 2017 [fecha de consulta: 21 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://www.cedd.gov.hk/eng/publications/geo/geoguides/geo-g7/index.html>.
54. BYRNE, R.J y otros. *Manual for design and construction monitoring of soil nail walls*. Washington, DC: FHWA, 1996.

55. MUÑOS, Andrés. *Manual para el proceso de diseño y construcción de muros anclados de concreto lanzado* [en línea]. Tesis de tecnólogo en administración de proyectos de construcción, Escuela Politécnica Nacional, 2011 [fecha de consulta: 21 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4392>.
56. LAZARTE, Carlos. *Proposed specifications for LRFD soil-nailing design and construction*. Washington, DC: National Academy of Sciences, 2011. ISN 0077-5614.
57. LÉON, Héctor, MIÑO, José. *Análisis experimental de los anclajes en un muro claveteado* [en línea]. Tesis de Ingeniero Civil, Escuela Politécnica Nacional, 2014 [fecha de consulta: 24 de junio de 2021]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/8017>.
58. OVANDO, Efraín y HOLGUÍN, Ernesto. Sistemas de anclajes en suelo. En: SCHMITTER, Juan y otros. *Manual de construcción geotécnica*. México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, 2002, pp. 237-321. ISBN 968-5350-05-1.
59. VALDÉZ, Pedro. *Manual de diseño y construcción de muros anclados de hormigón proyectado* [en línea]. Tesis de Ingeniero Civil, Universidad San Francisco de Quito, 2011 [fecha de consulta: 21 de mayo de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/753>.
60. BERNAL, César. *Metodología de la investigación*. 3.<sup>a</sup> ed. Colombia: Pearson Educación, 2010. ISBN 978-958-699-128-5.
61. HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. *Metodología de la investigación*. 6.<sup>a</sup> ed. México: McGraw Hill, 2014. ISBN 978-1-4562-2396-0.
62. ARBAIZA, Lydia. *Como elaborar una tesis de grado*. Lima: UNIVERSIDAD ESSAN, 2014. ISBN 978-612-4110-34-4.
63. HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill, 1991. ISBN 968-422-931-3.

64. SUPO, Felipe y CAVERO, Hugo. *Fundamentos teóricos y procedimentales de la investigación científica en Ciencias sociales: como diseñar y formular tesis de maestría y doctorado [en línea]*. Perú, 2014 [fecha de consulta: 24 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.felipesupo.com/wp-content/uploads/2020/02/Fundamentos-de-la-Investigaci%C3%B3n-Cient%C3%Adfica.pdf>.
65. KASENG, Freddy. *Guía práctica para elaborar plan de tesis y tesis de post grado (maestrías y/o doctorados) [en línea]*. Perú, 2017 [fecha de consulta: 25 de junio de 2021]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/406763545/Guia-para-elaborar-Tesis-Freddy-Kaseng-Pag92-pdf#>.
66. HURTADO, Jacqueline. *El proyecto de investigación comprensión holística de la metodología y la investigación*. 8.<sup>a</sup> ed. Caracas: Quirón ediciones, 2015. ISBN 978-95844-3440-1.
67. GUILLERMO, Héctor. *Manual de técnicas de investigación conceptos y aplicaciones*. Lima: IPLADEES S.A.C, 2005.
68. LIPA, Víctor, ZULOAGA, Andrés, LINARES, Edilberto. *Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Andahuaylas (28-p)*. Lima: INGEMMET, 2003.
69. VILLACORTA, Sandra y otros. *Segundo reporte de zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos en la región Apurímac [en línea]*. Lima: INGEMMET, 2013 [fecha de consulta: 24 de junio de 2021]. Disponible en: [http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//5480\\_informe-tecnico-n0-a6624-segundo-reporte-de-zonas-criticas-por-peligros-geologicos-y-geo-hidrologicos-en-la-region-apurimac.pdf](http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//5480_informe-tecnico-n0-a6624-segundo-reporte-de-zonas-criticas-por-peligros-geologicos-y-geo-hidrologicos-en-la-region-apurimac.pdf).

# **ANEXOS**

## **ANEXO A. MATRIZ DE CONSISTENCIA**

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	
<p><b><u>Problema principal:</u></b> ¿En qué medida el uso del sistema soil nailing, conseguirá solucionar la inestabilidad del talud, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450 sector Yahuarí, distrito de Santa María de Chicmo-2021?</p> <p><b><u>Problemas secundarios:</u></b> 1.- ¿Cómo influye el ángulo de inclinación de los anclajes en el factor de seguridad del talud mediante la inclusión del sistema soil nailing, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450, sector de Yahuarí distrito de Santa María de Chicmo -2021? 2.- ¿Cómo influye la separación de los anclajes en el factor de seguridad del talud mediante la inclusión del sistema soil nailing, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450, sector de Yahuarí distrito de Santa María de Chicmo -2021? 3.- ¿Cómo influye la relación de longitud del clavo entre la altura del muro en el factor de seguridad del talud mediante la inclusión del sistema soil nailing, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450, sector de Yahuarí distrito de Santa María de Chicmo -2021? 4.- ¿Cómo influye la aplicación de cargas sísmicas en el factor de seguridad del talud mediante la inclusión del sistema soil nailing, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450, sector de Yahuarí distrito de Santa María de Chicmo -2021?</p>	<p><b><u>Objetivo general:</u></b> Determinar si el uso del sistema soil nailing, conseguirá solucionar la inestabilidad del talud, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450 sector Yahuarí, distrito de Santa María de Chicmo-2021.</p> <p><b><u>Objetivo específico:</u></b> 1.- Determinar la influencia del ángulo de inclinación de los anclajes en el factor de seguridad del talud mediante la inclusión del sistema soil nailing, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450, sector de Yahuarí distrito de Santa María de Chicmo -2021. 2.- Determinar la influencia de la separación de los anclajes en el factor de seguridad del talud mediante la inclusión del sistema soil nailing, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450, sector de Yahuarí distrito de Santa María de Chicmo -2021. 3.- Determinar la influencia de la relación longitud del clavo entre la altura del muro en el factor de seguridad del talud mediante la inclusión del sistema soil nailing, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450, sector de Yahuarí distrito de Santa María de Chicmo -2021. 4.- Determinar la influencia de la aplicación de cargas sísmicas en el factor de seguridad del talud, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450, sector de Yahuarí distrito de Santa María de Chicmo -2021.</p>	<p><b><u>Hipótesis general:</u></b> El uso del sistema soil nailing, si conseguirá solucionar la inestabilidad del talud, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450 sector Yahuarí, distrito de Santa María de Chicmo – 2021.</p> <p><b><u>Hipótesis específica:</u></b> 1.- La inclinación de los anclajes si influye en el factor de seguridad del talud mediante la inclusión del sistema soil nailing, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450, sector de Yahuarí distrito de Santa María de Chicmo -2021. 2.- La separación de los anclajes si influye en el factor de seguridad del talud mediante la inclusión del sistema soil nailing, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450, sector de Yahuarí distrito de Santa María de Chicmo -2021. 3.- La relación longitud del clavo entre la altura del muro si influye en el factor de seguridad del talud mediante la inclusión del sistema soil nailing, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450, sector de Yahuarí distrito de Santa María de Chicmo -2021. 4.- La aplicación de cargas sísmicas si influye en el factor de seguridad del talud, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450, sector de Yahuarí distrito de Santa María de Chicmo -2021.</p>	<b>Variable dependiente: Talud</b>	
			<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
			<b>D1:</b> Factor de seguridad del talud	Inestable Equilibrio Estable pero inseguro Estable y seguro
			<b>D2:</b> Propiedades mecánicas del suelo	Angulo de fricción Cohesión Densidad Peso unitario
			<b>D3:</b> Parámetros geométricos	Altura Longitud Ancho
			<b>Variable independiente: Soil nailing</b>	
			<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
			<b>D1:</b> Propiedades del elemento de refuerzo	Inclinación del anclaje Longitud del anclaje Separación del anclaje
			<b>D2:</b> Modos de falla interno	Máxima Fuerza de tracción admisible del anclaje  Máxima fuerza admisible entre el anclaje y lechada

TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	POBLACIÓN Y MUESTRA	TECNICAS E INSTRUMENTOS
<p><b>MÉTODO</b></p> <p>El metodo de investigación es inductivo. Al respecto Bernal (2010), menciona que “este método utiliza el razonamiento para obtener conclusiones que parten de hechos particulares aceptados como válidos, para llegar a conclusiones cuya aplicación sea de carácter general” (p. 59).</p> <p><b>ALCANCE</b></p> <p>El nivel de la investigación es descriptivo – correlacional.</p> <p><b>DISEÑO DE ESTUDIO</b></p> <p>El diseño es tipo no experimental – trasversal, correlacional - causal.</p>	<p><b>POBLACIÓN</b></p> <p>La población de la investigación está establecida por la carretera PE-3S, distrito de Santa María de Chicmo, provincia de Andahuaylas del departamento de Apurímac.</p> <p><b>MUESTRA</b></p> <p>En este trabajo de investigación la muestra está conformada por el kilómetro 628+330 al kilómetro 628+450, sector Yahuarí, distrito de Santa María de Chicmo, provincia de Andahuaylas del departamento de Apurímac.</p>	<p><b>Técnica de recolección de datos</b></p> <p>1. Observación científica</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La observación directa</li> <li>• La observación indirecta</li> <li>• La observación de campo</li> <li>• La observación de laboratorio</li> <li>• La observación individual</li> <li>• La observación grupal</li> </ul> <p>2. La revisión documental</p> <p><b>Instrumentos de recolección de datos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fichas de registro de laboratorio</li> <li>• Fichas de observación de campo</li> <li>• Instrumentos de recolección de campo <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Herramientas manuales (pico, pala)</li> <li>➤ Esclerómetro</li> <li>➤ Cono de arena</li> <li>➤ Balanza</li> <li>➤ Equipos topográficos</li> <li>➤ Brújula tipo Brunton Azimutal</li> </ul> </li> <li>• Instrumentos de laboratorio <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Juego de tamices</li> <li>➤ Balanza</li> <li>➤ Equipo de corte directo</li> <li>➤ Horno de secado</li> </ul> </li> </ul>

## **ANEXO B. FICHA DE OBSERVACIÓN DE CAMPO**



**Informe de inspección de talud**

**1. Datos generales**

1.1 Fecha de inspección: <u>10-05-2021</u>		1.2 Ubicación general: <u>Andahuaylas, Arequipa</u>	
1.3 Profesional responsable	Nombre: _____	<input type="checkbox"/> Deslizamiento identificado	
	CIP: _____	<input type="checkbox"/> Talud con potencial de deslizamiento	
	Institución/Empresa: _____	<input checked="" type="checkbox"/> Talud estable	

**2. Localización**

2.1 Ubicación del talud	Departamento: <u>Arequipa</u>	Provincia: <u>Andahuaylas</u>	Distrito: <u>Santa María de Arequipa</u>
2.2 Coordenadas	Norte: <u>8489959</u>	Este: <u>664955</u>	Elevación: <u>3230</u> msnm

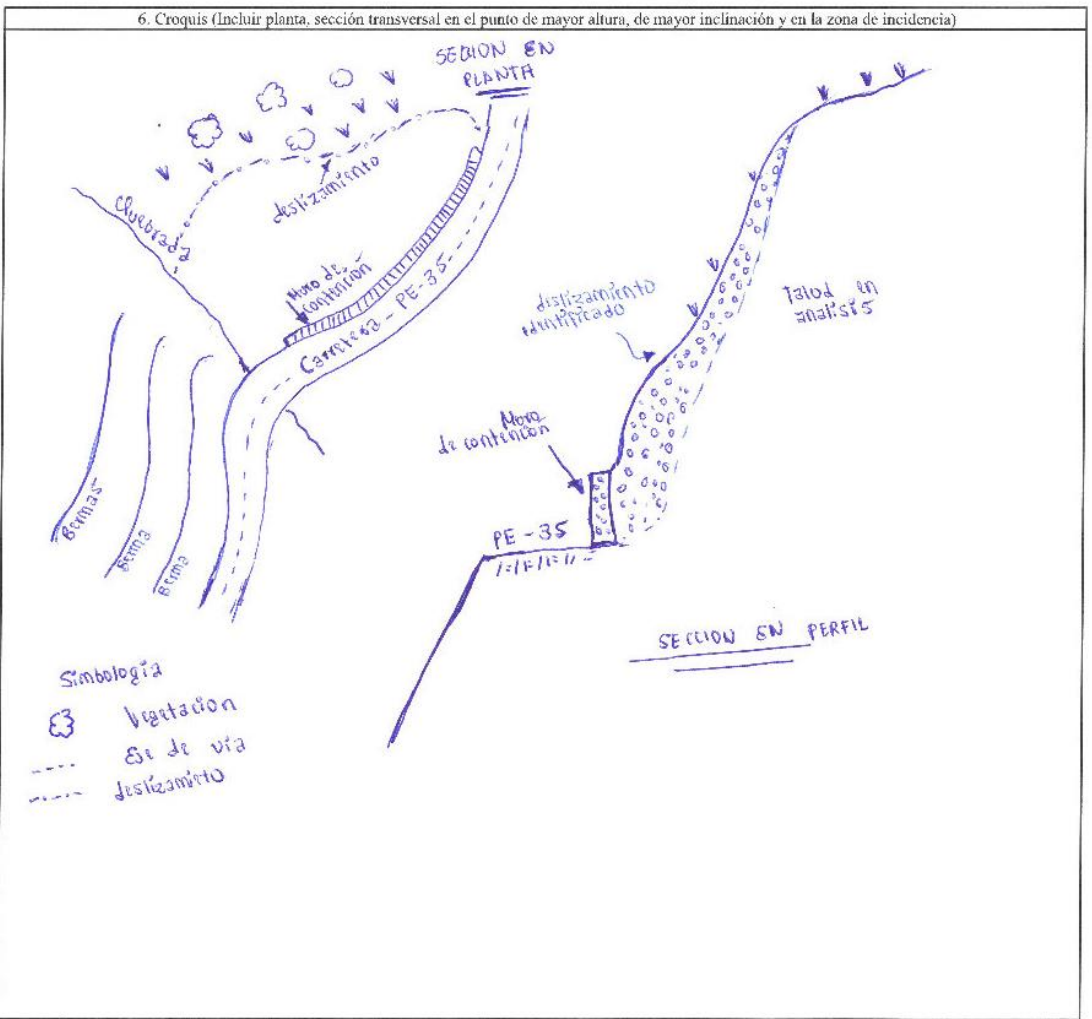
**3. Características generales**

3.1 Uso del suelo		3.2 Densidad de población	
<input type="checkbox"/> Área urbanizada	<input checked="" type="checkbox"/> Camino, carretera	<input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Media
<input type="checkbox"/> Terreno natural	<input type="checkbox"/> Otro: _____	<input type="checkbox"/> Baja	<input checked="" type="checkbox"/> Nula
3.3 Tipo de vegetación		3.4 Condición de la vegetación	
<input type="checkbox"/> Árboles	<input type="checkbox"/> Pasto	<input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Media
<input checked="" type="checkbox"/> Arbustos	<input type="checkbox"/> Ninguna	<input checked="" type="checkbox"/> Dispersa	
3.5 Manejo de aguas		3.6 Condiciones del sistema de drenaje	
<input type="checkbox"/> Natural	<input checked="" type="checkbox"/> Inexistente	<input type="checkbox"/> Buena	<input type="checkbox"/> Obstruida
<input type="checkbox"/> Artificial		<input checked="" type="checkbox"/> Mala	<input type="checkbox"/> Insuficiente
3.7 Tipo de relieve		3.8 Perfil de la ladera	
<input type="checkbox"/> Escarpado	<input type="checkbox"/> Ondulado	<input type="checkbox"/> Cóncavo	<input type="checkbox"/> Uniforme
<input checked="" type="checkbox"/> Montañoso	<input type="checkbox"/> Suave	<input checked="" type="checkbox"/> Convexo	

**4. Características generales**

4.1 Tipo de talud visitado		4.2 Geometría de talud	
<input type="checkbox"/> Ladera natural	<input checked="" type="checkbox"/> Talud en corte	Altura media (m) <u>35</u>	Inclinación (°) <u>30°</u>
<input type="checkbox"/> Talud de relleno	<input type="checkbox"/> Otro: _____	Altura máx (m) <u>51</u>	Longitud (m) <u>120</u>
4.3 Condición de saturación		4.4 Obras de contención existentes	
<input type="checkbox"/> Seco	<input type="checkbox"/> Flujo de agua en corona	<input checked="" type="checkbox"/> Sí	
<input checked="" type="checkbox"/> Humedo	<input type="checkbox"/> Flujo de agua al pie	<input type="checkbox"/> No	
<input type="checkbox"/> Saturado	<input type="checkbox"/> Flujo de agua intermedio	Tipo: <u>Muro de contención</u>	
<input type="checkbox"/> Otro: _____			
4.5 Evidencias de movimientos o deterioro			
<input checked="" type="checkbox"/> Grietas en el terreno	<input type="checkbox"/> Levantamiento del pie del talud	<input type="checkbox"/> Grietas en estructuras	
<input type="checkbox"/> Árboles inclinando	<input type="checkbox"/> Basculamiento de bloques	<input type="checkbox"/> Otros	
<input type="checkbox"/> Coronas	<input type="checkbox"/> Lagunas sin afluentes visibles		
4.6 Naturaleza del material		4.7 Origen del material	
<input checked="" type="checkbox"/> Suelo	Descripción: <u>gravas oscuras</u>	<input checked="" type="checkbox"/> Suelo residual	<input type="checkbox"/> Relleno
<input checked="" type="checkbox"/> Roca	Descripción: <u>lutitas</u>	<input type="checkbox"/> Deposito aluvial	<input type="checkbox"/> Escombros
		<input type="checkbox"/> Coluvio	<input type="checkbox"/> Basura
		<input type="checkbox"/> Otro: _____	

5. Informe de inspección de talud con posible deslizamiento identificado			
5.1 Tipología identificada para el posible deslizamiento en suelo			
<input type="checkbox"/> Rotacional	<input checked="" type="checkbox"/> Traslacional	<input type="checkbox"/> Compuesto	<input type="checkbox"/> Hundimiento
<input type="checkbox"/> Otro _____			<input type="checkbox"/> reptacion
5.2 Tipología identificada para el posible deslizamiento en roca			
<input type="checkbox"/> Planar	<input type="checkbox"/> Cuña	<input type="checkbox"/> Volcamiento	<input type="checkbox"/> Caidos
			<input type="checkbox"/> Otros
5.3 Posible superficie de deslizamiento			
<input type="checkbox"/> Suelo - Suelo	<input checked="" type="checkbox"/> Suelo - Roca	<input type="checkbox"/> Roca - Roca	<input type="checkbox"/> No identificado
5.4 Grado de riesgo		5.5 Número de elementos en riesgo	
<input checked="" type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Vidas (menos de 10)	<input type="checkbox"/> Viviendas	<input type="checkbox"/> Edificio privado
<input type="checkbox"/> Medio	<input type="checkbox"/> Vidas (entre 10 y 30)	<input type="checkbox"/> Hospita / Escuela	<input checked="" type="checkbox"/> Camino
<input type="checkbox"/> Bajo	<input type="checkbox"/> Vidas (mas de 30)	<input type="checkbox"/> Edificio público	<input type="checkbox"/> Otros



## **ANEXO C. ENSAYOS DE LABORATORIO**



## INGENIERÍA, GEOLOGÍA Y LABORATORIOS S.R.L.

Realizamos trabajos en: Elaboración y ejecución de proyectos de Ingeniería (edificaciones, carreteras, puentes, represas, reservorios, canales de irrigación, etc), Geología, Minería, geotecnia, Impacto Ambiental, Consultoría y asesoría en general.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

QUE SUSCRIBE, JEFE DE LABORATORIO DE LA EMPRESA INGENIERÍA,  
GEOLOGÍA Y LABORATORIO INGEOLAB S.R.L

### HACE COSTAR:

Que el señor(a) DÍAZ PEZUA CRISTIAN, identificado con DNI N°70265336; ha realizado los trabajos de laboratorio de mecánica de suelos, en el marco de desarrollo de su trabajo de investigación para optar el título profesional de ingeniero civil, intitulada "USO DEL SISTEMA SOIL NAILING PARA SOLUCIONAR LA INESTABILIDAD DEL TALUD, EN LA CARRETERA PE-3S KILÓMETRO 628+300 AL 628+450 SECTOR YAHUARÍ, DISTRITO DE SANTA MARÍA DE CHICMO - 2021", en cual se desarrollo de manera regular en esta empresa, por lo que doy fe de los resultados obtenidos.

En tal sentido se expide el presente certificado a solicitud del interesado para los fines que por conveniente.

Andahuaylas, 27 de mayo de 2021

  
INGEOLAB S.R.L.  
Ing. Guido Fortín Quispitupa  
CIP. 78016  
GERENTE

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**  
(NORMA MTC E-107, AASHTO T-27, ASTM D-422)

**LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS**

<b>PROYECTO</b>	: Uso del sistema soil Nailing para solucionar la inestabilidad del talud. en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450 sector de Yahuarí, distrito de Santa María de Chicmo - 2021.
<b>UBICACIÓN</b>	: Santa María de Chicmo - Andahuaylas - Apurímac
<b>TESISTA</b>	: Bach. Díaz Pezua Cristian Juaneco
<b>FECHA</b>	: 12/05/2021

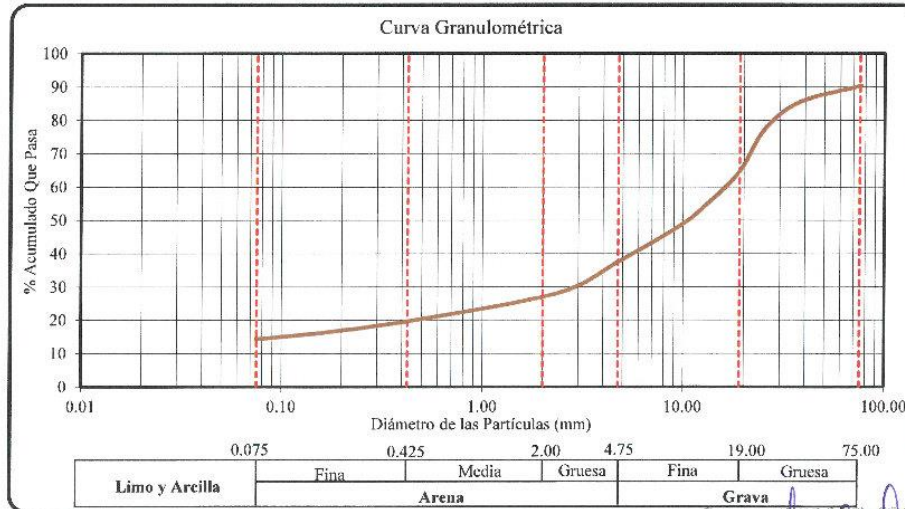
**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>CALICATA</b>	: C-1	<b>TIPO DE MUESTRA</b>	: ALTERADA
<b>MUESTRA</b>	: M-01	<b>TAMAÑO MÁXIMO</b>	: 3"
<b>PROF. (m)</b>	: 0.00 - 1.50m	<b>PESO DE LA MUESTRA</b>	: 4734 gr

Tamiz		Peso Parcial Retenido (gr)	Peso Parcial Corregido (gr)	% Parcial Retenido (%)	% Acumulado Retenido (%)	% Acumulado Que Pasa (%)	Datos de la muestra Observaciones	
in	mm							
3"	76.200	456.00	456.00	9.63	9.63	90.37	<i>Datos Para Clasificación</i>	
1 1/2"	38.100	224.00	224.00	4.73	14.36	85.64	Pasa N° 4	37.56
1"	25.400	385.00	385.00	8.13	22.50	77.50	Pasa N° 10	28.12
3/4"	19.050	598.00	610.00	12.89	35.38	64.62	Pasa N° 40	19.67
1/2"	12.700	502.00	502.00	10.60	45.99	54.01	Pasa N° 200	14.34
3/8"	9.525	279.00	279.00	5.89	51.88	48.12	Retiene N° 4	62.44
N° 04	4.750	500.00	500.00	10.56	62.44	37.56		
N° 10	2.360	447.00	447.00	9.44	71.88	28.12	D10	0.05
N° 40	0.425	400.00	400.00	8.45	80.33	19.67	D30	2.84
N° 100	0.150	173.00	173.00	3.65	83.99	16.01	D60	16.28
N° 200	0.075	79.00	79.00	1.67	85.66	14.34	Cu	> 99
Platillo		679.00	679.00	14.34	100.00	0.00	Cc	9.45
<b>TOTAL</b>		<b>4722.00</b>	<b>4734.00</b>	<b>100.00</b>	-	-		-

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA MUESTRA**

Limite Líquido (%)	42.86	Max. Dens. Seca (gr./cc)	-	Abrasion (%)	-
Limite Plástico (%)	29.11	Humedad óptima (%)	-	Durabilidad Grava	-
Índice Plástico (%)	13.75	CBR.: al 100%	-	Durabilidad Arcena	-
Clasificación		CBR.: al 95%	-	Salcs	-
<b>SUCS</b>	<b>GC</b>	Expansion (%)	-	Peso Especifico (gr/cc)	-
<b>AASHTO</b>	<b>A-2-7</b>	Equivalente de arena (%)	-	% Absorción	-



**LIMITES DE CONSISTENCIA - PASA LA MALLA N°40**  
(NORMA MTC E-110, AASHTO T89, T-90, ASTM D-4318)

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS**

**PROYECTO** :Uso del sistema soil Nailing para solucionar la inestabilidad del talud, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450 sector de Yahuari, distrito de Santa María de Chichno - 2021.

**UBICACIÓN** :Santa María de Chichno - Andahuaylas - Apurímac

**FECHA** :13/05/2021

**TESISTA** :Bach. Díaz Pezua Cristian Juaneco

**DATOS DE LA MUESTRA**

**CALICATA** :C-1

**TIPO DE MUESTRA** :Alterada

**MUESTRA** :M-01

**PROF. (m)** :0.00 - 1.50m

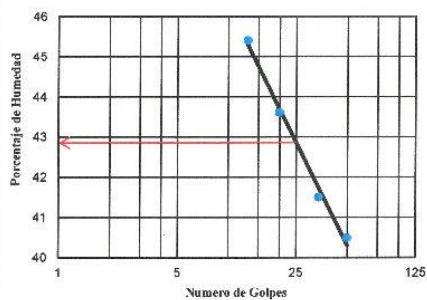
**LÍMITE LÍQUIDO**

N° De Recipiente		4	3	2	1
Peso Recipiente	gr	13.92	13.64	13.36	13.40
Peso Recipiente + Suelo Humedo	gr	23.22	23.46	23.70	23.84
Peso Recipiente + Suelo Seco	gr	20.54	20.58	20.56	20.58
Peso del Agua	gr	2.68	2.88	3.14	3.26
Peso Suelo Seco	gr	6.62	6.94	7.20	7.18
Contenido de Humedad	%	40.48	41.50	43.61	45.40
N° De Golpes		50	34	20	13

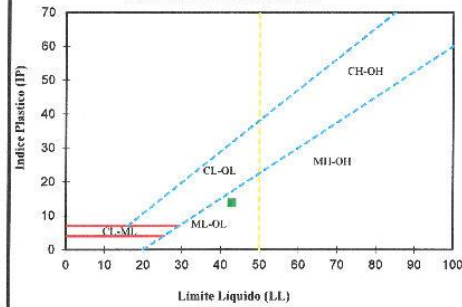
**LÍMITE PLÁSTICO**

N° De Recipiente		3	4	5	
Peso Recipiente	gr	13.52	13.46	13.44	
Peso Recipiente + Suelo Humedo	gr	22.42	22.36	22.34	
Peso Recipiente + Suelo Seco	gr	20.40	20.38	20.32	
Peso del Agua	gr	2.02	1.98	2.02	
Peso Suelo Seco	gr	6.88	6.92	6.88	
Contenido de Humedad	gr	29.36	28.61	29.36	
Límite Plástico	%				29.11

**DIAGRAMA DE FLUIDEZ**



**CARTA DE PLASTICIDAD**



**Constantes Físicas De La Muestra**

Límite Líquido (LL)	42.86
Límite Plástico (LP)	29.11
Índice de Plasticidad	13.75


**ING. JUAN PABLO DIAZ PEZUA**  
 Ing. Civil (MTC) - Perú  
 JEFE DE LABORATORIO

**CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO**  
(NORMA MTC E-108, ASTM D-2216)

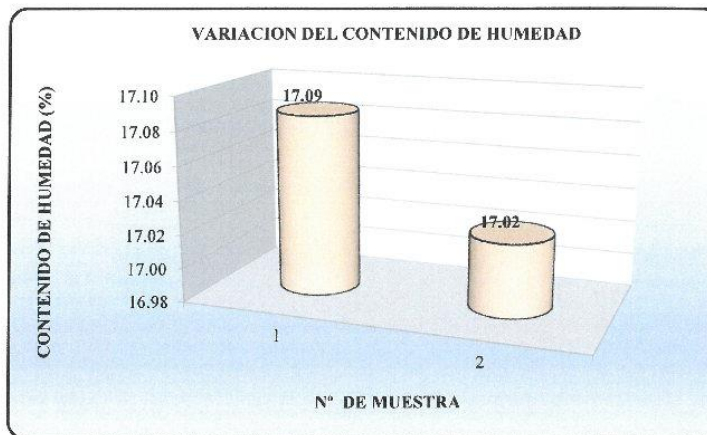
**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS**

**PROYECTO** : Uso del sistema soil Nailing para solucionar la inestabilidad del talud, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450 sector de Yahuarí, distrito de Santa María de Chicmo - 2021.  
**UBICACIÓN** : Santa María de Chicmo - Andahuylas - Apurímac **FECHA** : 10/05/2021  
**TESISTA** : Bach. Díaz Pezua Cristian Juaneco

**DATOS DE LA MUESTRA**

**CALICATA** : C-1 **TIPO DE MUESTRA** : Natural  
**MUESTRA** : M-01  
**PROF. (m)** : 0.00 - 1.50m

CARACTERISTICAS		M1	M2	M3
Recipiente N°		01	02	
Peso de Recipiente	gr	15.24	14.66	
Peso de Recipiente + Muestra Humeda	gr	53.34	54.60	
Peso de Recipiente + Muestra Seca	gr	47.78	48.79	
Peso de Agua	gr	5.56	5.81	
Peso de la Muestra Seca	gr	32.54	34.13	
Contenido de Humedad	(%)	17.09	17.02	
Contenido de Humedad Promedio	(%)	17.05		



Ing. Cristian Juaneco Díaz Pezua  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO**  
(NORMA ASTM D-3080)

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS**

**PROYECTO** Uso del sistema soil nailing para solucionar la inestabilidad del talud, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450 sector yahuarí, distrito de Santa María de Chicmo - 2021

**UBICACIÓN** Santa María de Chicmo - Andahuaylas - Apurímac

**TESISTA** Bach. Díaz Pezua Cristian

**FECHA** :18/05/2021

**DATOS DE LA MUESTRA**

**CALICATA** : C-1

**MUESTRA** : M-01

**PROF. (m)** : 0.00 - 1.50m

**CONST ANILLO 0.001"** : 0.00254 cm

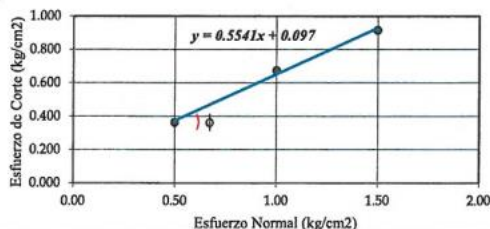
**TIPO DE MUESTRA** : Remoldeada

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

Capsula N°	gr	1.00	Ancho de la sección b	cm	6.00
Suelo húmedo + capsula	gr	115.00	Altura H	cm <sup>2</sup>	2.00
Suelo seco + capsula	gr	100.00	Área de la sección A <sub>0</sub>	cm <sup>3</sup>	36.00
Peso del agua	gr	15.00	Volumen	cm <sup>3</sup>	72.00
peso de la capsula	gr	0.00	Peso Humedo	gr	115.00
Peso del suelo seco	gr	100.00	Densidad Natural Humeda	gr/cm <sup>3</sup>	1.60
porcentaje de humedad	%	15.00	Densidad Natural Seca	gr/cm <sup>3</sup>	1.39

DEFORMACION	ACORTAMIENTO	AREA CORREGIDA	FUERZA DE CORTE HORIZONTAL			ESFUERZO CORTANTE		
			Ph : Kg			Ph/A' : kg/cm <sup>2</sup>		
			N° 1	N° 2	N° 3	N° 1	N° 2	N° 3
Horizontal D 0.001"	Horizontal AD d*0.00254	A' = A <sub>0</sub> -b*AD cm <sup>2</sup>						
20	0.0508	35.70	1.31	3.06	4.85	0.037	0.086	0.136
40	0.1016	35.39	2.20	4.55	6.83	0.062	0.129	0.193
60	0.1524	35.09	3.33	5.74	7.61	0.095	0.164	0.217
80	0.2032	34.78	4.65	6.23	8.64	0.134	0.179	0.248
100	0.254	34.48	5.04	8.73	10.26	0.146	0.253	0.298
120	0.3048	34.17	6.98	10.05	12.95	0.204	0.294	0.379
140	0.3556	33.87	8.44	12.63	15.96	0.249	0.373	0.471
160	0.4064	33.56	11.26	14.21	18.15	0.336	0.423	0.541
180	0.4572	33.26	12.06	16.98	20.95	0.363	0.511	0.630
200	0.508	32.95		18.23	22.94	0.000	0.553	0.696
220	0.5588	32.65		22.00	24.74	0.000	0.674	0.758
240	0.6096	32.34			26.91	0.000	0.000	0.832
260	0.6604	32.04			28.07	0.000	0.000	0.876
280	0.7112	31.73			29.09	0.000	0.000	0.917
300	0.762	31.43				0.000	0.000	0.000
320	0.8128	31.12				0.000	0.000	0.000

**ESFUERZO NORMAL - RESISTENCIA AL CORTE**



**Cohesion** = 0.10 kg/cm<sup>2</sup>

**Angulo de Fricion Interna** = 31.75 °


**INGEODABA S.R.L.**  
*Edwin Miravalles Palomino*  
 Ing. Edwin Miravalles Palomino  
 CIP. 77317  
 JEFE DE LABORATORIO



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**  
(NORMA MITC E-107, AASHTO T-27, ASTM D-422)

**LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS**

<b>PROYECTO</b>	: Uso del sistema soil Nailing para solucionar la inestabilidad del talud, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450 sector de Yahuarí, distrito de Santa María de Chichno - 2021.	
<b>UBICACIÓN</b>	: Santa María de Chichno - Andahuylas - Apurímac	<b>FECHA</b> : 12/05/2019
<b>TESISTA</b>	: Bach. Díaz Pezua Cristian Juaneco	

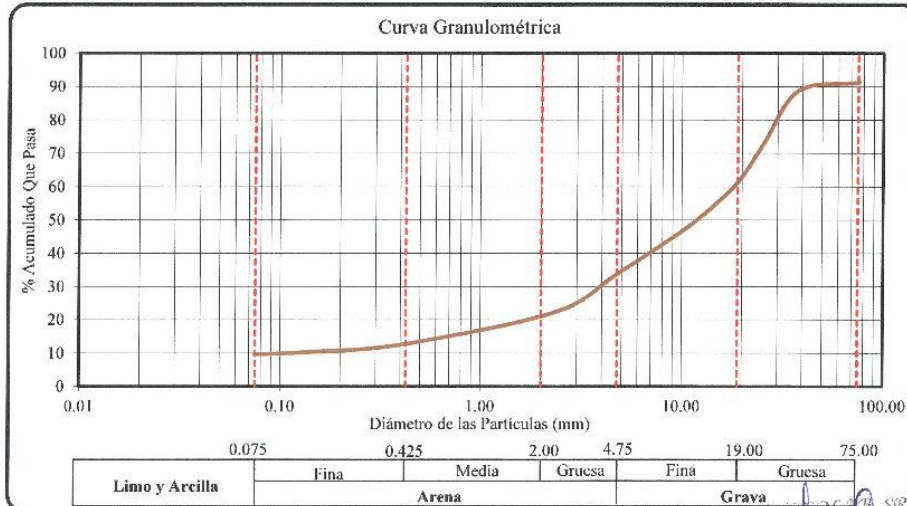
**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>CALICATA</b>	: C-2	<b>TIPO DE MUESTRA</b>	: ALTERADA
<b>MUESTRA</b>	: M-02	<b>TAMAÑO MÁXIMO</b>	: 2"
<b>PROF. (m)</b>	: 0.00 - 1.00m	<b>PESO DE LA MUESTRA</b>	: 2659 gr

Tamiz		Peso Parcial Retenido (gr)	Peso Parcial Corregido (gr)	% Parcial Retenido (%)	% Acumulado Retenido (%)	% Acumulado Que Pasa (%)	Datos de la muestra Observaciones	
in	mm							
3"	76.200	233.00	233.00	8.76	8.76	91.24	<i>Datos Para Clasificación</i>	
1 1/2"	38.100	66.00	66.00	2.48	11.24	88.76	Pasa N° 4	33.73
1"	25.400	428.00	432.00	16.25	27.49	72.51	Pasa N° 10	22.30
3/4"	19.050	301.00	301.00	11.32	38.81	61.19	Pasa N° 40	12.75
1/2"	12.700	264.00	264.00	9.93	48.74	51.26	Pasa N° 200	9.63
3/8"	9.525	149.00	149.00	5.60	54.34	45.66	Retiene N° 4	66.27
N° 04	4.750	317.00	317.00	11.92	66.27	33.73		
N° 10	2.360	304.00	304.00	11.43	77.70	22.30	D10	0.11
N° 40	0.425	254.00	254.00	9.55	87.25	12.75	D30	3.97
N° 100	0.150	62.00	62.00	2.33	89.58	10.42	D60	18.29
N° 200	0.075	21.00	21.00	0.79	90.37	9.63	Cu	> 99
	Platillo	256.00	256.00	9.63	100.00	0.00	Cc	7.81
<b>TOTAL</b>		<b>2655.00</b>	<b>2659.00</b>	<b>100.00</b>	-	-		

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA MUESTRA**

Limite Líquido (%)	27.52	Max. Dens. Seca (gr./cc)	-	Abrasion (%)	-
Limite Plástico (%)	19.53	Humedad óptima (%)	-	Durabilidad Grava	-
Índice Plástico (%)	7.99	CBR: al 100%	-	Durabilidad Arena	-
Clasificación		CBR: al 95%	-	Sales	-
<b>SUCS</b>	<b>GP-GC</b>	Expansion (%)	-	Peso Especifico (gr/cc)	-
<b>AASHTO</b>	<b>A-2-4</b>	Equivalente de arena (%)	-	% Absorción	-




  
 Ing. Edwin Miralanda
   
 Jefe de Laboratorio

**LIMITES DE CONSISTENCIA - PASA LA MALLA N°40**  
(NORMA MTC E-110, AASHTO T89, T-90, ASTM D-4318)

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS**

**PROYECTO** :Uso del sistema soil Nailing para solucionar la inestabilidad del talud, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450 sector de Yahuari, distrito de Santa María de Chicmo - 2021.

**UBICACIÓN** :Santa María de Chicmo - Andahuylas - Apurímac

**FECHA** : 13/05/2021

**TESISTA** :Bach. Díaz Pezua Cristian Juaneco

**DATOS DE LA MUESTRA**

**CALICATA** :C-2

**TIPO DE MUESTRA** :Alterada

**MUESTRA** :M-02

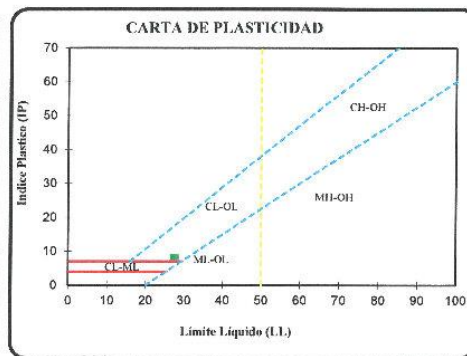
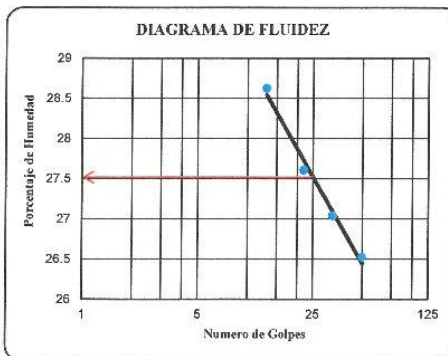
**PROF. (m)** :0.00 - 1.00m

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° De Recipiente		4	3	2	1
Peso Recipiente	gr	14.36	14.96	14.68	15.22
Peso Recipiente + Suelo Humedo	gr	28.48	28.54	28.64	28.88
Peso Recipiente + Suelo Seco	gr	25.52	25.65	25.62	25.84
Peso del Agua	gr	2.96	2.89	3.02	3.04
Peso Suelo Seco	gr	11.16	10.69	10.94	10.62
Contenido de Humedad	%	26.52	27.03	27.61	28.63
N° De Golpes		50	33	22	13

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° De Recipiente		3	4	5	
Peso Recipiente	gr	12.82	12.62	12.86	
Peso Recipiente + Suelo Humedo	gr	23.20	23.26	23.18	
Peso Recipiente + Suelo Seco	gr	21.50	21.52	21.50	
Peso del Agua	gr	1.70	1.74	1.68	
Peso Suelo Seco	gr	8.68	8.90	8.64	
Contenido de Humedad	gr	19.59	19.55	19.44	
Límite Plástico	%				19.53




**ANÁLISIS SUELOS**  
*Cristian Juaneco*  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS  
 URB. EL PARAISO, CAYMA, APURÍMAC

Constantes Físicas De La Muestra	
Límite Líquido (LL)	27.52
Límite Plástico (LP)	19.53
Índice de Plasticidad	7.99

**CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO**  
(NORMA MTC E-108, ASTM D-2216)

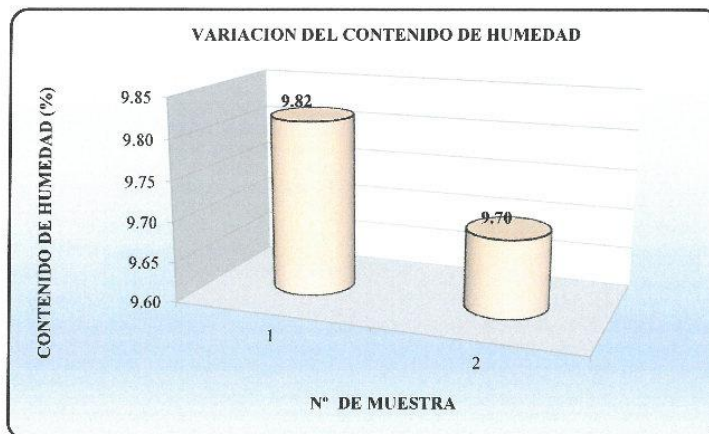
**LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS**

**PROYECTO** : Uso del sistema soil Nailing para solucionar la inestabilidad del talud, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450 sector de Yahuarí, distrito de Santa María de Chicmo - 2021.  
**UBICACIÓN** : Santa María de Chicmo - Andahuylas - Apurímac **FECHA** : 18/05/2021  
**TESISTA** : Bach. Díaz Pezua Cristian Juaneco

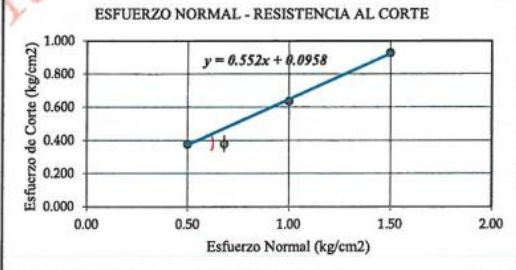
**DATOS DE LA MUESTRA**

**CALICATA** : C-2 **TIPO DE MUESTRA** : Natural  
**MUESTRA** : M-02  
**PROF. (m)** : 0.00 - 1.00m

CARACTERÍSTICAS		M1	M2	M3
Recipiente N°		01	02	
Peso de Recipiente	gr	14.98	14.34	
Peso de Recipiente + Muestra Humeda	gr	47.98	47.94	
Peso de Recipiente + Muestra Seca	gr	45.03	44.97	
Peso de Agua	gr	2.95	2.97	
Peso de la Muestra Seca	gr	30.05	30.63	
Contenido de Humedad	(%)	9.82	9.70	
Contenido de Humedad Promedio	(%)	9.76		




 Ing. *[Signature]*  
 Jefe de Laboratorio

ENSAYO DE CORTE DIRECTO (NORMA ASTM D-3080)								
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS								
PROYECTO Uso del sistema soil nailing para solucionar la inestabilidad del talud, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450 sector yahuarí, distrito de Santa María de Chicmo - 2021								
UBICACIÓN Santa María de Chicmo - Andahuaylas - Apurímac						FECHA :17/05/2021		
TESISTA Bach. Díaz Pezua Cristian								
DATOS DE LA MUESTRA								
CALICATA : C-2			CONST ANILLO 0.001" : 0.00254 cm					
MUESTRA : M-02			TIPO DE MUESTRA :Remoldeada					
PROF. (m) : 0.00 - 1.00m								
CONTENIDO DE HUMEDAD								
Capsula N°	gr	1.00	Ancho de la sección b	cm	6.00			
Suelo humedo + capsula	gr	113.00	Altura H	cm2	2.00			
Suelo seco + capsula	gr	104.00	Area de las sección A0	cm3	36.00			
Peso del agua	gr	9.00	Volumen	cm3	72.00			
peso de la capsula	gr	0.00	Peso Humedo	gr	113.00			
Peso del suelo seco	gr	104.00	Densidad Natural Humeda	gr/cm3	1.57			
porcentaje de humedad	%	8.65	Densidad Natural Seca	gr/cm3	1.44			
DEFORMACION	ACORTAMIENTO	AREA CORREGIDA	FUERZA DE CORTE HORIZONTAL			ESFUERZO CORTANTE		
Horizontal D 0.001"	Horizontal AD d*0.00254	A' = A0-b*AD cm2	Ph : Kg			Ph/A' : kg/cm2		
			N° 1	N° 2	N° 3	N° 1	N° 2	N° 3
20	0.0508	35.70	3.08	5.21	7.26	0.086	0.146	0.203
40	0.1016	35.39	5.87	8.11	11.00	0.166	0.229	0.311
60	0.1524	35.09	7.86	10.11	13.60	0.224	0.288	0.388
80	0.2032	34.78	8.76	11.91	15.40	0.252	0.342	0.443
100	0.254	34.48	9.36	12.27	16.68	0.271	0.356	0.484
120	0.3048	34.17	10.33	14.27	17.63	0.302	0.418	0.516
140	0.3556	33.87	11.55	15.38	18.50	0.341	0.454	0.546
160	0.4064	33.56	12.67	17.02	19.50	0.378	0.507	0.581
180	0.4572	33.26		18.73	20.72	0.000	0.563	0.623
200	0.508	32.95		19.65	23.45	0.000	0.596	0.712
220	0.5588	32.65		20.78	25.09	0.000	0.637	0.769
240	0.6096	32.34			27.04	0.000	0.000	0.836
260	0.6604	32.04			29.78	0.000	0.000	0.930
280	0.7112	31.73				0.000	0.000	0.000
300	0.762	31.43				0.000	0.000	0.000
320	0.8128	31.12				0.000	0.000	0.000
<b>ESFUERZO NORMAL - RESISTENCIA AL CORTE</b> 								
<b>Cohesion</b>			= 0.10 kg/cm2					
<b>Angulo de Fricion Interna</b>			= 31.63 °					


**ING. EDWIN MIRANDA PELEZUELA**  
 Ing. Edwin Miranda Pelezuella  
 CIP. 77317  
 JEFE DE LABORATORIO

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**  
(NORMA MTC E-107, AASHTO T-27, ASTM D-422)

**LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS**

<b>PROYECTO</b>	: Uso del sistema soil Nailing para solucionar la inestabilidad del talud, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450 sector de Yahuarí, distrito de Santa María de Chichno - 2021.	<b>FECHA</b>	: 12/05/2021
<b>UBICACIÓN</b>	: Santa María de Chichno - Andahuylas - Apurímac		
<b>TESISTA</b>	: Bach. Díaz Pezua Cristian Juaneco		

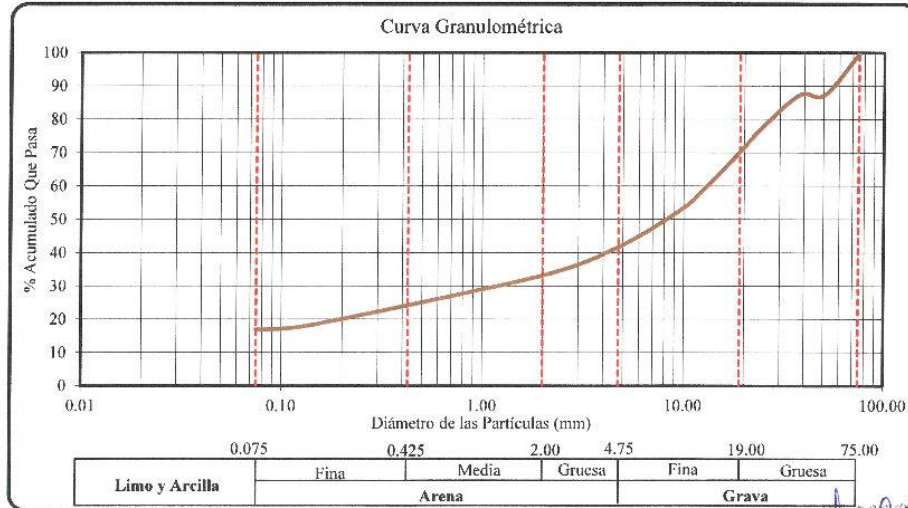
**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>TRINCHERA</b>	: T-02	<b>TIPO DE MUESTRA</b>	: ALTERADA
<b>MUESTRA</b>	: M-04	<b>TAMAÑO MÁXIMO</b>	: 2"
<b>PROF. (m)</b>	: 0.00 - 1.70m	<b>PESO DE LA MUESTRA</b>	: 1430 gr

Tamiz		Peso Parcial Retenido (gr)	Peso Parcial Corregido (gr)	% Parcial Retenido (%)	% Acumulado Retenido (%)	% Acumulado Que Pasa (%)	Datos de La muestra Observaciones	
in	mm						<i>Datos Para Clasificación</i>	
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.800	181.00	181.00	12.66	12.66	87.34	Pasa N° 4	41.68
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	12.66	87.34	Pasa N° 10	33.15
1"	25.400	128.00	128.00	8.95	21.61	78.39	Pasa N° 40	23.99
3/4"	19.100	117.00	117.00	8.18	29.79	70.21	Pasa N° 200	16.85
1/2"	12.700	158.00	158.00	11.05	40.84	59.16	Retiene N° 4	58.32
3/8"	9.520	95.00	95.00	6.64	47.48	52.52		
N°4	4.760	155.00	155.00	10.84	58.32	41.68	D10	0.04
N°10	2.000	122.00	122.00	8.53	66.85	33.15	D30	1.46
N°40	0.430	131.00	131.00	9.16	76.01	23.99	D60	13.19
N°100	0.140	83.00	83.00	5.80	81.82	18.18		
N° 200	0.075	19.00	19.00	1.33	83.15	16.85	Cu	> 99
Platillo		241.00	241.00	16.85	100.00	0.00	Cc	3.64
<b>TOTAL</b>		<b>1430.00</b>	<b>1430.00</b>	<b>100.00</b>				

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA MUESTRA**

Limite Líquido (%)	33.81	Max. Dens.Seca (gr./cc)	-	Abrasion (%)	-
Limite Plástico (%)	21.28	Humedad óptima (%)	-	Durabilidad Grava	-
Indice Plástico (%)	12.53	CBR.: al 100%	-	Durabilidad Arena	-
Clasificación		CBR.: al 95%	-	Sales	-
<b>SUCS</b>	<b>GC</b>	Expansion (%)	-	Peso Específico (gr/cc)	-
<b>AASHTO</b>	<b>A-2-6</b>	Equivalente de arena (%)	-	% Absorción	-



Ing. Cristian Juaneco Díaz Pezua
   
 C.O.P. 2711
   
 U.S. No. LA 8012-0019

**LIMITES DE CONSISTENCIA - PASA LA MALLA N°40**  
(NORMA MTC E-110, AASHTO T89, T-90, ASTM D-4318)

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS**

**PROYECTO** :Uso del sistema soil Nailing para solucionar la inestabilidad del talud, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450 sector de Yahuarí, distrito de Santa María de Chicmo - 2021.

**UBICACIÓN** :Santa María de Chicmo - Andahuaylas - Apurímac

**FECHA** :13/05/2021

**TESISTA** :Bach. Díaz Pezua Cristian Juaneco

**DATOS DE LA MUESTRA**

**TRINCHERA** : T-02

**TIPO DE MUESTRA** :Alterada

**MUESTRA** : M-04

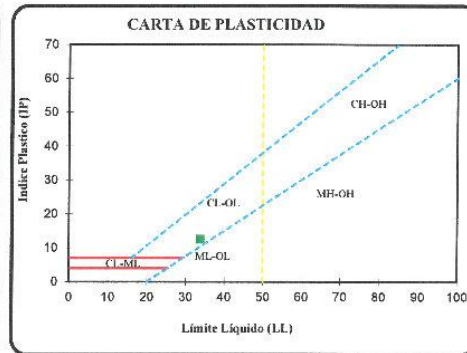
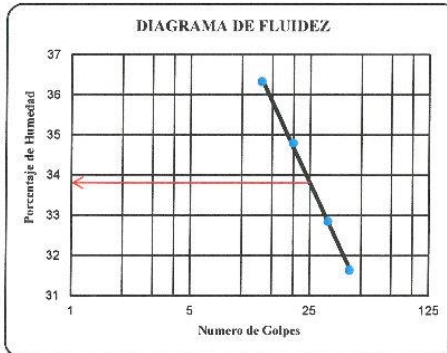
**PROF. (m)** : 0.00 - 1.70m

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° De Recipiente		4	3	2	1
Peso Recipiente	gr	13.88	13.64	13.36	13.38
Peso Recipiente + Suelo Humedo	gr	27.78	28.20	27.54	27.34
Peso Recipiente + Suelo Seco	gr	24.44	24.60	23.88	23.62
Peso del Agua	gr	3.34	3.60	3.66	3.72
Peso Suelo Seco	gr	10.56	10.96	10.52	10.24
Contenido de Humedad	%	31.63	32.85	34.79	36.33
N° De Golpes		43	32	20	13

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° De Recipiente		1	2	3	
Peso Recipiente	gr	13.52	13.46	13.85	
Peso Recipiente + Suelo Humedo	gr	26.10	26.32	25.70	
Peso Recipiente + Suelo Seco	gr	23.90	24.10	23.58	
Peso del Agua	gr	2.20	2.22	2.12	
Peso Suelo Seco	gr	10.38	10.64	9.73	
Contenido de Humedad	gr	21.19	20.86	21.79	
Límite Plástico	%			21.28	



**Constantes Físicas De La Muestra**

Limite Líquido (LL)	33.81
Limite Plástico (LP)	21.28
Índice de Plasticidad	12.53

Ing. Cristian Juaneco Díaz Pezua

**CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO**  
(NORMA MTC E-108, ASTM D-2216)

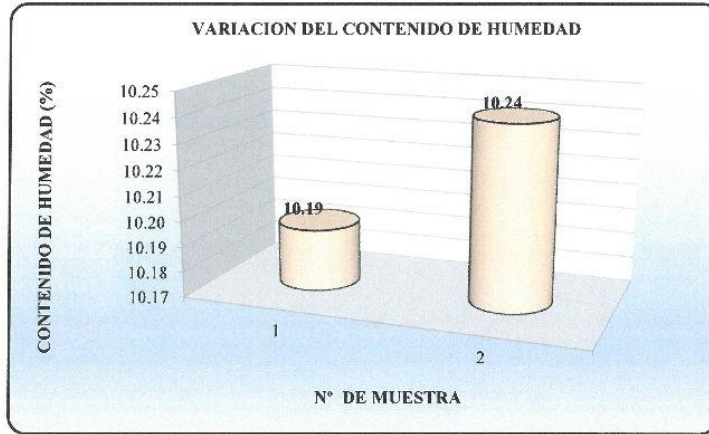
**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS**

**PROYECTO** :Uso del sistema soil Nailing para solucionar la inestabilidad del talud, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450 sector de Yahuarí, distrito de Santa María de Chicmo - 2021.  
**UBICACIÓN** :Santa María de Chicno - Andahuylas - Apurímac **FECHA** : 10/05/2021  
**TESISTA** :Bach. Díaz Pezua Cristian Juaneco

**DATOS DE LA MUESTRA**

**TRINCHERA** : T-02 **TIPO DE MUESTRA** : Natural  
**MUESTRA** : M-04  
**PROF. (m)** : 0.00 - 1.70m

CARACTERISTICAS		M1	M2	M3
Recipiente N°		01	02	
Peso de Recipiente	gr	15.20	16.54	
Peso de Recipiente + Muestra Humeda	gr	48.06	48.94	
Peso de Recipiente + Muestra Seca	gr	45.02	45.93	
Peso de Agua	gr	3.04	3.01	
Peso de la Muestra Seca	gr	29.82	29.39	
Contenido de Humedad	(%)	10.19	10.24	
Contenido de Humedad Promedio	(%)	10.22		




**LABORATORIO**  
*[Signature]*  
 Jefe de Laboratorio

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO**  
(NORMA ASTM D-3080)

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS**

**PROYECTO** Uso del sistema soil nailing para solucionar la inestabilidad del talud, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450 sector yahuari, distrito de Santa María de Chicmo - 2021

**UBICACIÓN** Santa María de Chicmo - Andahuaylas - Apurimac **FECHA** :17/05/2021

**TESISTA** Bach. Díaz Pezua Cristian

**DATOS DE LA MUESTRA**

**CALICATA** : T-02 **CONST ANILLO 0.001"** : 0.00254 cm

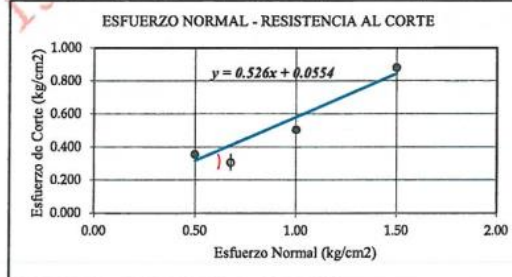
**MUESTRA** : M-04 **TIPO DE MUESTRA** : Remoldeada

**PROF. (m)** : 0.00 - 1.70m

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

Capsula N°	gr	1.00	Ancho de la sección b	cm	6.00
Suelo humedo + capsula	gr	110.00	Altura H	cm2	2.00
Suelo seco + capsula	gr	100.00	Area de las sección A <sub>o</sub>	cm3	36.00
Peso del agua	gr	10.00	Volumen	cm3	72.00
peso de la capsula	gr	0.00	Peso Humedo	gr	110.00
Peso del suelo seco	gr	100.00	Densidad Natural Humeda	gr/cm3	1.53
porcentaje de humedad	%	10.00	Densidad Natural Seca	gr/cm3	1.39

DEFORMACION	ACORTAMIENTO	AREA CORREGIDA	FUERZA DE CORTE HORIZONTAL			ESFUERZO CORTANTE		
			Ph : Kg			Ph/A' : kg/cm2		
			N° 1	N° 2	N° 3	N° 1	N° 2	N° 3
Horizontal D 0.001"	Horizontal AD d*0.00254	A' = A <sub>0</sub> -b*AD cm2						
20	0.0508	35.70	4.06	6.65	9.26	0.114	0.186	0.259
40	0.1016	35.39	6.88	8.46	11.85	0.194	0.239	0.335
60	0.1524	35.09	7.98	9.65	14.20	0.227	0.275	0.405
80	0.2032	34.78	8.84	10.56	15.90	0.254	0.304	0.457
100	0.254	34.48	9.60	11.25	17.48	0.278	0.326	0.507
120	0.3048	34.17	10.03	11.88	18.70	0.294	0.348	0.547
140	0.3556	33.87	10.46	12.10	19.70	0.309	0.357	0.582
160	0.4064	33.56	11.96	12.41	20.47	0.356	0.370	0.610
180	0.4572	33.26		12.70	21.61	0.000	0.382	0.650
200	0.508	32.95		13.00	22.89	0.000	0.395	0.695
220	0.5588	32.65		16.50	23.05	0.000	0.505	0.706
240	0.6096	32.34			23.78	0.000	0.000	0.735
260	0.6604	32.04			24.15	0.000	0.000	0.754
280	0.7112	31.73			28.00	0.000	0.000	0.882
300	0.762	31.43				0.000	0.000	0.000
320	0.8128	31.12				0.000	0.000	0.000



**Cohesion** = 0.06 kg/cm2

**Angulo de Fricion Interna** = 30.14 °


**LA TECNICA S.R.L.**  
  
 Ing. Edwin Miraflores Palomino  
 CIP 77517  
 JEFE DE LABORATORIO



## **ANEXO D. ENSAYOS IN-SITU**

**DENSIDAD Y PESO UNITARIO DEL SUELO INSITU MEDIANTE EL METODO DEL CONO DE ARENA**  
(NORMA MTC E-117, ASTM D-1556-64 y D-2167-66)

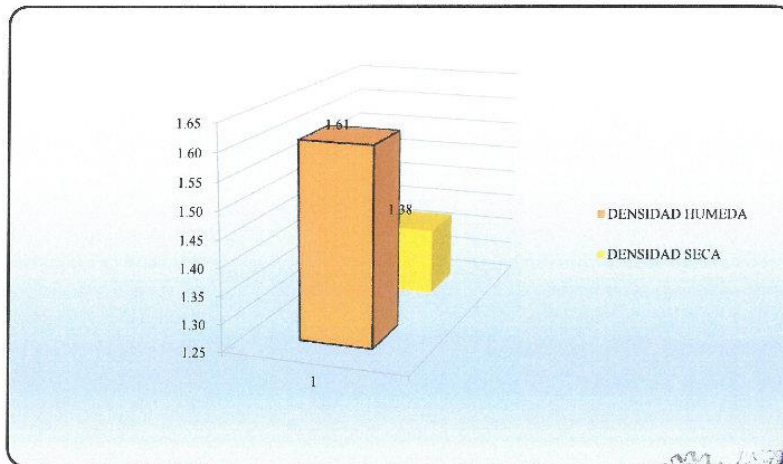
**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS**

**PROYECTO** :Uso del sistema soil Nailing para solucionar la inestabilidad del talud, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450 sector de Yahuarí, distrito de Santa María de Chicmo - 2021.  
**UBICACIÓN** :Santa María de Chicmo - Andahuylas - Apurímac **FECHA** : 10/05/2021  
**TESISTA** :Bach. Díaz Pezua Cristian Juaneco

**DATOS DE LA MUESTRA**

**CALICATA** :C-1 **TIPO DE MUESTRA** :In-situ  
**MUESTRA** :M-01  
**PROF. (m)** :0.00 - 1.50m

CARACTERISTICAS		M-1	M-2	M3
Peso Inicial Arena + Frasco (Wo)	gr	7,685.00		
Peso Final Arena + Frasco (Wf)	gr	3,029.00		
Peso de Arena en Cono y Placa (Wc)	gr	1,735.00		
Peso Unitario Arena (yd)	gr/cm <sup>3</sup>	1.40		
Peso de Arena en Hoyo (We)	gr	2,921.00		
Volumen del Hoyo (v)	cm <sup>3</sup>	2,086.43		
Recipiente (Capsula) N°		D		
Peso Suelo Humedo Extraido + Recipiente (Wth)	gr	3,357.00		
Peso de Recipiente (t)	gr	-		
Peso Suelo Humedo Extraido (Wh)	gr	3,357.00		
Volumen Suelo Humedo (v)	cm <sup>3</sup>	2,086.43		
Recipiente (Capsula) N°		G		
Peso Total Húmedo (Wth)	gr	30.42		
Peso Suelo Seco (Wts)	gr	27.83		
Peso de Recipiente (t)	gr	12.60		
Peso de Agua (Ww)	gr	2.59		
Peso Suelo Seco (Ws)	gr	15.23		
% Humedad Suelo (%W)	%	17.01		
Densidad Suelo Humedo Insitu (pm)	gr/cm <sup>3</sup>	1.61		
Densidad Suelo Seco Insitu (pd)	gr/cm <sup>3</sup>	1.38		
Peso Unitario Humedo	kN/m <sup>3</sup>	15.78		
Peso Unitario Seco	kN/m <sup>3</sup>	13.49		




  
 INGENIERO CIVIL  
 JESÚS DÍAZ PEZUA  
 CIP: 1111111111

**DENSIDAD Y PESO UNITARIO DEL SUELO INSITU MEDIANTE EL METODO DEL CONO DE ARENA**  
(NORMA MTC E-117, ASTM D-1556-64 y D-2167-66)

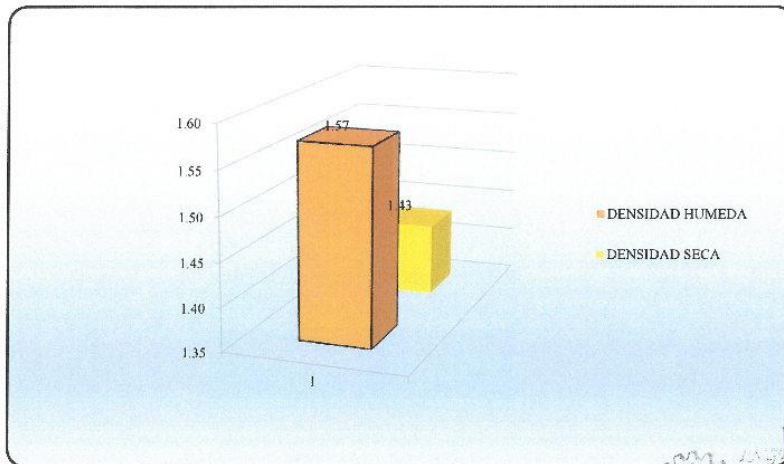
**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS**

**PROYECTO** :Uso del sistema soil Nailing para solucionar la inestabilidad del talud, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450 sector de Yahuarí, distrito de Santa María de Chicmo - 2021.  
**UBICACIÓN** :Santa María de Chicmo - Andahuylas - Apurímac  
**FECHA** : 10/05/2021  
**TESISTA** :Bach. Díaz Pezua Cristian Juaneco

**DATOS DE LA MUESTRA**

**CALICATA** :C-2  
**MUESTRA** :M-02  
**PROF. (m)** :0.00 - 1.00m  
**TIPO DE MUESTRA** :In-situ

CARACTERISTICAS		M-1	M-2	M3
Peso Inicial Arena + Frasco (Wo)	gr	7,277.00		
Peso Final Arena + Frasco (Wf)	gr	2,252.00		
Peso de Arena en Cono y Placa (Wc)	gr	1,735.00		
Peso Unitario Arena (yd)	gr/cm <sup>3</sup>	1.40		
Peso de Arena en Hoyo (We)	gr	3,290.00		
Volumen del Hoyo (v)	cm <sup>3</sup>	2,350.00		
Recipiente (Capsula) N°		D		
Peso Suelo Humedo Extraido + Recipiente (Wth)	gr	3,697.00		
Peso de Recipiente (t)	gr	-		
Peso Suelo Humedo Extraido (Wh)	gr	3,697.00		
Volumen Suelo Humedo (v)	cm <sup>3</sup>	2,350.00		
Recipiente (Capsula) N°		G		
Peso Total Húmedo (Wth)	gr	31.30		
Peso Suelo Seco (Wts)	gr	29.67		
Peso de Recipiente (t)	gr	12.94		
Peso de Agua (Ww)	gr	1.63		
Peso Suelo Seco (Ws)	gr	16.73		
% Humedad Suelo (%W)	%	9.74		
Densidad Suelo Humedo Insitu (pm)	gr/cm <sup>3</sup>	1.57		
Densidad Suelo Seco Insitu (pd)	gr/cm <sup>3</sup>	1.43		
Peso Unitario Humedo	kN/m <sup>3</sup>	15.43		
Peso Unitario Seco	kN/m <sup>3</sup>	14.06		



**DENSIDAD Y PESO UNITARIO DEL SUELO INSITU MEDIANTE EL METODO DEL CONO DE ARENA**  
(NORMA MTC E-117, ASTM D-1556-64 y D-2167-66)

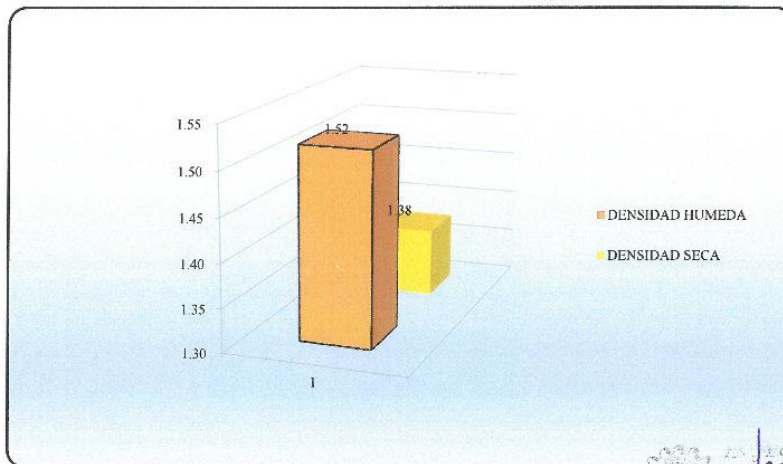
**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS**

**PROYECTO** : Uso del sistema soil Nailing para solucionar la inestabilidad del talud, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450 sector de Yahuarí, distrito de Santa María de Chicmo - 2021.  
**UBICACIÓN** : Santa María de Chicmo - Andahuylas - Apurímac  
**FECHA** : 10/05/2021  
**TESISTA** : Bach. Díaz Pezua Cristian Juaneco

**DATOS DE LA MUESTRA**

**TRINCHERA** : T-02  
**MUESTRA** : M-04  
**PROF. (m)** : 0.00 - 1.70m  
**TIPO DE MUESTRA** : In-situ

CARACTERISTICAS		M-1	M-2	M3
Peso Inicial Arena + Frasco (Wo)	gr	6,996.00		
Peso Final Arena + Frasco (Wf)	gr	2,541.00		
Peso de Arena en Cono y Placa (Wc)	gr	1,735.00		
Peso Unitario Arena (yd)	gr/cm <sup>3</sup>	1.40		
Peso de Arena en Hoyo (We)	gr	2,720.00		
Volumen del Hoyo (v)	cm <sup>3</sup>	1,942.86		
Recipiente (Capsula) N°		D		
Peso Suelo Humedo Extraido + Recipiente (Wth)	gr	2,954.00		
Peso de Recipiente (t)	gr	-		
Peso Suelo Humedo Extraido (Wh)	gr	2,954.00		
Volumen Suelo Humedo (v)	cm <sup>3</sup>	1,942.86		
Recipiente (Capsula) N°		G		
Peso Total Húmedo (Wth)	gr	48.50		
Peso Suelo Seco (Wts)	gr	45.46		
Peso de Recipiente (t)	gr	15.87		
Peso de Agua (Ww)	gr	3.04		
Peso Suelo Seco (Ws)	gr	29.59		
% Humedad Suelo (%W)	%	10.27		
Densidad Suelo Humedo Insitu (pm)	gr/cm <sup>3</sup>	1.52		
Densidad Suelo Seco Insitu (pd)	gr/cm <sup>3</sup>	1.38		
Peso Unitario Humedo	kN/m <sup>3</sup>	14.91		
Peso Unitario Seco	kN/m <sup>3</sup>	13.52		



Bach. Cristian Juaneco Díaz Pezua

## **ANEXO E. ENSAYOS EN ROCA**

**GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS**

(NORMA MTC E-205, E-206, AASTHO T-84, T85)

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES****PROYECTO** : Uso del sistema soil nailing para solucionar la inestabilidad del talud, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450 sector Yahuari, distrito de Santa María de Chicmo - 2021**UBICACIÓN** : Santa María de Chicmo - Andahuylas - Apurímac**FECHA** : 25/05/2021**TESISTA** : Bach. Díaz Pezua Cristian Juaneco**DATOS DE LA MUESTRA****TIPO DE MUESTRA** : Roca Lutita**MUESTRA** : R-01**AGREGADO GRUESO**

A	Peso, al aire, de la muestra secada al horno	gr	1235.80	
B	Peso, al aire, del agregado saturado en agua, con superficialmente seca	gr	1254.10	
C	Peso, en agua, de la muestra	gr	742.00	
	Peso Específico Aparente		2.50	
	Peso Específico Masivo (Bulk)		2.41	
	Peso Específico Masivo, Saturado y con superficialmente seca		2.45	
	% Absorción		1.48	

**Observaciones:** El peso específico a usar 2.50 gr/cm<sup>3</sup>

**RESISTENCIA A COMPRESION EN MACIZO ROCOSO CON MARTILLO SCHMIDT**  
(NORMA ASIM 45-D0562/A)

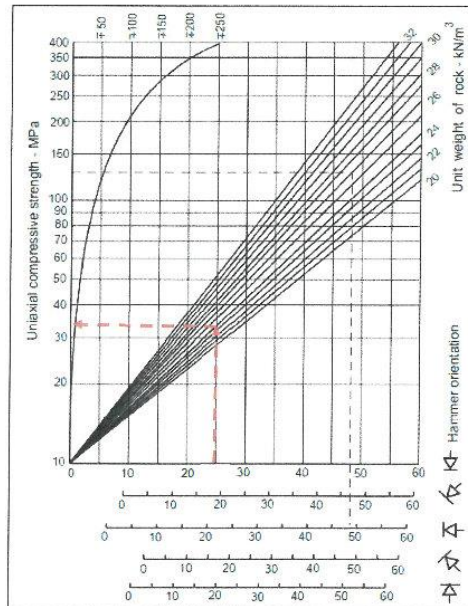
**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**

**PROYECTO** : Uso del sistema soil nailing para solucionar la inestabilidad del talud, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450 sector Yahuari, distrito de Santa María de Chicmo - 2021  
**UBICACIÓN** : Santa María de Chicmo - Andahuylas - Apurimac  
**TESISTA** : Bach. Diaz Pezua Cristian Juaneco **FECHA** : 25/05/2021

**EQUIPO** : Martillo Schmidt tipo N  
**LITOLOGIA** : LUTITA  
**PESO UNITARIO ROCA** : 24.54kN/m3

# LECTURAS	VALOR DE REBOTE	DIRECCIÓN DE GOLPE	CORRECCIONES				REBOTE COOREGIDO	
			HACIA ABAJO		HACIA ARRIBA			HORIZONTAL
			$\alpha = -90^\circ$	$\alpha = -45^\circ$	$\alpha = +90^\circ$	$\alpha = +45^\circ$		
1	33.00	-90.00	0.00				33.00	
2	37.00	-90.00	0.00				37.00	
3	31.00	-90.00	0.00				31.00	
4	29.00	-90.00	0.00				29.00	
5	31.00	-90.00	0.00				31.00	
6	31.00	-90.00	0.00				31.00	
7	29.00	-90.00	0.00				29.00	
8	31.00	-90.00	0.00				31.00	
9	25.00	-90.00	0.00				25.00	
10	31.00	-90.00	0.00				31.00	

# LECTURAS	REBOTE COOREGIDO	MINIMOS	MAXIMOS	PROMEDIO	CORRELACIÓN MARTILLO TIPO "N" A "L"	RESULTADOS USC (MPa)	
						GRAFICO DE MILLER	BARTON Y CHOUBEY
1	33.00	31.00	33.00	32.60	25	34	34.85
2	37.00	29.00	37.00				
3	31.00	29.00	31.00				
4	29.00	25.00	31.00				
5	31.00	31.00	31.00				
6	31.00						
7	29.00						
8	31.00						
9	25.00						
10	31.00						




**ALPOLAB S.R.L.**  
*Cristian Juaneco*  
 Ing. Cristian Juaneco  
 JEFE DE LABORATORIO

**ANEXO F. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL  
MACIZO ROCOSO**



**VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO**  
**CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENIAWSKI**

**1. Ubicación de la estación geomecánica**

La estación geomecánica identificada está ubicada en las siguientes coordenadas UTM:

Punto	Coordenadas UTM		
	Norte	Este	Altura
1	8490031	664889	3154 msnm

**2. Análisis de familia N°1**

Familia	Coordenadas UTM	
	Rumbo	Buzamiento
1	N 60°E	48°NW

**3. Resistencia de la roca intacta**

Al realizar la prospección geológica a detalle, se identificó que el macizo rocoso consiste principalmente de lutitas. En función a ensayos y análisis de laboratorio, Bieniawski (1973) planteo valores de resistencias medias de ciertas rocas; para las lutitas se tiene un valor de:

Tipo de roca	Resistencia a la compresión simple (MPa)
Lutita	37

Descripción	Resistencia a la compresión simple (MPa)	Índice de resistencia de carga puntual (MPa)
Muy alta	>200	>8
Alta	100 – 200	4 – 8
Media	50 – 100	2 – 4
Baja	25 – 50	1 – 2
Muy baja	10 – 25 3 – 10 1 – 3	<1

**4. Designación de la Calidad de la Roca (RQD)**

Para la obtención del RQD se hizo la utilización de la siguiente formula:

$$RQD = \frac{\sum \text{trozos de longitud} \geq 10\text{cm}}{\text{Longitud del tramo}} \times 100$$



Descripción	RQD	Valor
Excelente	90-100%	20
Buena	75-90%	17
Regular	50-70%	13
Mala	25-50%	8
Muy mala	25%	3

### 5. Espaciamiento de Discontinuidades

El término discontinuidad estructural se refiere a: fallas, diaclasas, planos de estratificación, etc. Su espaciamiento es la distancia medida entre los planos de discontinuidad de cada familia, es decir, de cada conjunto de las mismas características geomecánica. El espaciamiento de las discontinuidades presentes en la familia N°1 se detallan a continuación:

Descripción	Espaciado de discontinuidades	Tipo de macizo rocoso	Valor
Muy ancho	>2000mm	Sólido	20
Ancho	600-2000mm	Masivo	15
Moderadamente cerrado	200-600mm	En bloques	10
Cerrado	60-200mm	Fracturado	8
Muy cerrado	<60mm	Machacado	5

### 6. Condiciones de las Discontinuidades

#### Abertura

Grado	Descripción	Separación de las caras	Sub valor
1	Abierta	>5mm	0
2	Moderadamente abierta	1 – 5 mm	1
3	Moderadamente cerrada	0.1 – 1 mm	4
4	Muy cerrada	< 0.1 mm	5
5	Cerrada	0	6

#### Continuidad de Discontinuidades

Grado	Descripción	Continuidad	Sub valor
1	Muy pequeña	<1 m	6
2	Pequeña	1 – 3 m	4
3	Media	3 – 10 m	2
4	Alta	10 – 20 m	1
5	Muy alta	> 20 m	0


  
 Edwina Miranda Palomino
   
 INGENIERO GEOLOGO
   
 CIP. 77317

**Rugosidad**

Grado	Descripción	Sub valor
1	Muy rugosa	6
2	Rugosa	5
3	Moderadamente rugosa	3
4	Ligeramente rugosa	1
5	Lisa	0

**Relleno**

Grado	Descripción	Sub valor
1	Relleno blando > 5 mm	0
2	Relleno blando < 5 mm	2
3	Relleno duro > 5 mm	2
4	Relleno duro < 5 mm	4
5	Ninguno	6

**Meteorización**

Grado	Descripción	Sub valor
1	Descompuesta	0
2	Muy meteorizada	1
3	Moderadamente meteorizada	3
4	Ligeramente meteorizada	5
5	No meteorizada	6

**Condiciones de Aguas Subterránea**

Grado	Descripción	Sub valor
1	Seco	15
2	húmedo	10
3	Mojado	7
4	Goteo	4
5	Flujo de agua	0



*[Handwritten Signature]*  
Eduin Miranda Palomino  
INGENIERO GEOLOGO  
CIP. 17317

### 7. Resumen de análisis de parámetros de caracterización

A continuación, se muestra el resumen del análisis de los parámetros de caracterización

Resumen de parámetros de caracterización							
Parámetro	Rango de valores						
Resistencia a la compresión simple (MPa)	>250	100 a 250	50 a 100	25 a 50	5 A 25	1 A 5	< 1
Valorización	15	12	7	4	2	1	0
RQD	90 a 100	75 a 90	50 a 75	25 a 50	< 25		
Valorización	20	17	13	8	3		
Espaciamiento de las Discontinuidades (mm)	> 2000	600 a 2000	200 a 600	60 a 200	< 60		
Valorización	20	15	10	8	5		
Condición de Juntas	Continuidad (m)	<1	1 a 3	3 a 10	10 a 20	>20	
	Sub Valorización	6	4	2	1	0	
	Apertura (mm)	Cerrada	<0.1	0.1 a 1.0	1 a 5	>5	
	Sub Valorización	6	5	4	1	0	
	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Medianamente rugosa	Ligeramente rugosa	Lisa	
	Sub Valorización	6	5	3	1	0	
	Tipo de Relleno	Limpio	Duro < 5mm	Duro > 5mm	Blando > 5mm	Blando < 5mm	
	Sub Valorización	6	4	2	2	0	
	Meteorización	Sana	Ligera	Moderada	Muy meteorizada	Descompuesta	
	Sub Valorización	6	5	3	1	0	
Agua Subterránea	Seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo		
Valorización	15	10	7	4	0		
<b>Valorización Total</b>	<b>52</b>						

### 8. Corrección de valores por las orientaciones de las discontinuidades

Dirección y buzamiento de las fisuras	Muy favorables	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable	
Valores	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-15	-15	-25
	Taludes	0	-5	-50	-50	-60

RMR = 52



*Eduardo Miranda Palomero*  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP. 77317

### 9. Caracterización del macizo rocoso

Como resultado final después de realizar la evaluación de los parámetros de caracterización del macizo rocoso, tenemos como resultado lo siguiente:

Valorización Familia N°1: 52

Clase	Calidad	Valorización RMR	Cohesión	Angulo de rozamiento
I	Muy buena	100 – 81	4 kgf/cm <sup>2</sup>	> 45°
II	Buena	80 – 61	3 – 4 kgf/cm <sup>2</sup>	35° - 45°
III	Media	60 – 41	2 – 3 kgf/cm <sup>2</sup>	25° - 35°
IV	Mala	40 – 21	1 – 2 kgf/cm <sup>2</sup>	15° - 25°
V	Muy mala	<20	< 1 kgf/cm <sup>2</sup>	<15°

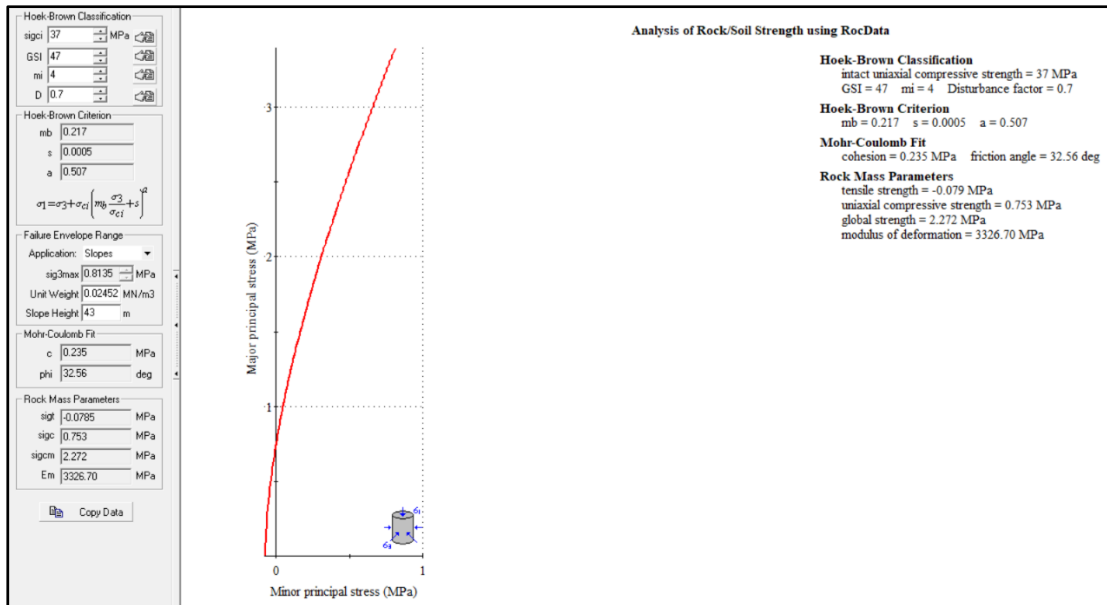
### 10. Conclusiones

- Desde el punto de vista de la geología local, el área del Proyecto se encuentra emplazado sobre macizos rocosos fracturados correspondientes a lutitas.
- Se identificó una familia de discontinuidad con un rumbo de N60°E.
- Al realizar la caracterización del macizo rocoso concluimos que el macizo rocoso es de Clase III, Calidad Mediana y Valorización RMR de 52.

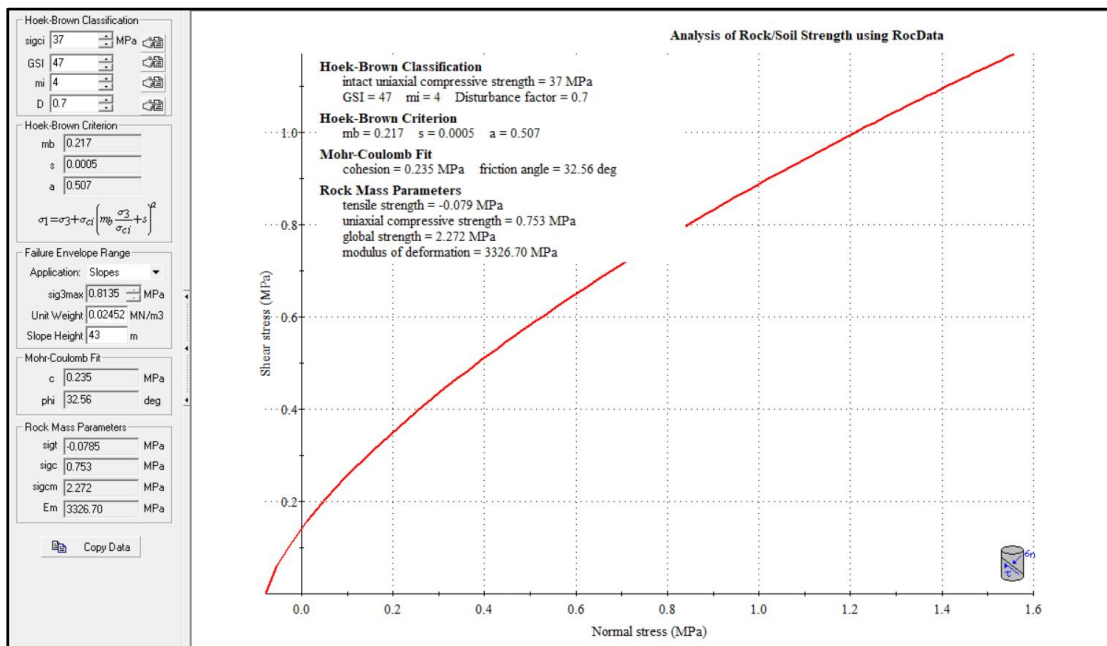
CLASE	CALIDAD	VALORIZACIÓN RMR	COHESIÓN	ANGULO DE ROZAMIENTO
I	Muy buena	100 – 81	>4 kgf/cm <sup>2</sup>	> 45°
II	Buena	80 – 61	3 – 4 kgf/cm <sup>2</sup>	35° - 45°
III	Media	60 – 41	2 – 3 kgf/cm <sup>2</sup>	25° - 35°
IV	Mala	40 – 21	1 – 2 kgf/cm <sup>2</sup>	15° - 25°
V	Muy mala	<20	< 1 kgf/cm <sup>2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

  
*Edwin Miranda Palomino*  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP. 17317

**ANEXO G. CRITERIOS DE RESISTENCIA DEL  
MACIZO ROCOSO**



Envolvente de rotura del criterio de Hoek y Brown en función de los esfuerzos principales



Envolvente de rotura del criterio de Hoek y Brown en función de los esfuerzos normal y tangencial

## **ANEXO H. DISEÑO DEL SISTEMA SOIL NAILING**



## **DISEÑO Y ANÁLISIS ANALÍTICO DEL SISTEMA SOIL NAILING**

### **1. DATOS PRELIMINARES**

#### **1.1. PARÁMETROS DEL SUELO**

$$\gamma = 15.78 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Peso unitario del suelo

$$\phi = 31.75^\circ$$

Angulo de fricción interna

$$C = 9.81 \text{ kPa}$$

Cohesión del suelo

#### **1.2. PARÁMETROS DEL TALUD**

$$H_{\text{talud}} = 43.76 \text{ m}$$

Altura total del talud

$$\beta = 25^\circ$$

Inclinación del talud de relleno

$$\alpha = 25^\circ$$

Angulo de la cara del talud

$$q_s = 0 \text{ kPa}$$

Sobrecarga

#### **1.3. PARÁMETROS DEL MURO**

##### **1.3.1 ESPESOR DEL MURO**

$$h = 100 \text{ mm}$$

Espesor de la pantalla de revestimiento

##### **1.3.2 ESPESOR DEL MURO**

$$f'c = 21 \text{ MPa}$$

Resistencia a la compresión del concreto

##### **1.3.3 MALLA DE ALAMBRE ELECTROSOLDADA (MURO TEMPORAL)**

$$\text{WWM} = 102 \times 102 - \text{MW } 13 \times 13$$

Tipo de malla electrosoldada

$$f_{y_{\text{wwm}}} = 420 \text{ MPa}$$

Esfuerzo de fluencia de la malla

$$a_{\text{vm}} = 127.00 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

Área de la sección transversal de acero por unidad de espesor en dirección vertical en el medio del área de influencia

$$a_{\text{hm}} = a_{\text{vm}} = 127.00 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

Área de la sección transversal de acero por unidad de espesor en dirección horizontal en el medio del área de influencia

##### **1.3.4 BASTONES DE REFUERZO HORIZONTAL Y VERTICAL**

$$f_{y_{\text{h-v}}} = 420 \text{ MPa}$$

Esfuerzo de fluencia del acero

$$n_v = 2$$

Numero de bastones en dirección vertical

$$d_v = 1/2''$$

Diámetro de barra de refuerzo vertical

$$a_{\text{dv}} = 126.68 \text{ mm}^2$$

Área de la sección de refuerzo vertical

$$A_{\text{vW}} = n_v * a_{\text{dv}} = 253.35 \text{ mm}^2$$

Área total bastones de refuerzo vertical

$$n_h = 2$$

Numero de bastones dirección horizontal

$$d_h = 1/2''$$

Diámetro de barra de refuerzo horizontal

$$a_{\text{dh}} = 126.68 \text{ mm}^2$$

Área de la sección de refuerzo horizontal

$$A_{\text{vW}} = n_h * a_{\text{dh}} = 253.35 \text{ mm}^2$$

Área total bastones de refuerzo horizontal

### 1.3.5 PLACA DE APOYO

$$f_{y_{placa}} = 250 \text{ MPa}$$

Esfuerzo de fluencia de la placa de apoyo

$$L_{BP} = 225 \text{ mm}$$

Forma de la placa de apoyo: largo x ancho

$$T_p = 25 \text{ mm}$$

Espesor de la placa de apoyo

### 1.3. PARÁMETROS DEL MURO

$$f_{y_{nail}} = 420 \text{ MPa} \text{ (Grado 60)}$$

Esfuerzo de fluencia del clavo

$$d = 25 \text{ mm}$$

Diámetro del clavo

$$S_{v0} = 1.50 \text{ m}$$

Profundidad del primer clavo

$$S_H = 1.20 \text{ m}$$

Espaciamiento horizontal de los clavos

$$S_V = 1.20 \text{ m}$$

Espacimientto vertical de los clavos

$$\lambda = 20^\circ$$

Inclinación de los clavos

$$D = 150 \text{ mm}$$

Diámetro de perforación

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

Longitud de los clavos

## 2. MÁXIMA FUERZA AXIAL DESARROLLADO EN LOS CLAVOS

Como el talud es homogéneo y los clavos están espaciados uniformemente; por lo tanto,  $T_{max}$  estaría en el último clavo de la superficie superior.

$$Z = H_{talud} - S_{v0} = 41.96 \text{ m}$$

Altura desde el pie del talud al primer nail

$$k_a = \frac{\sin(\theta + \phi)^2}{\sin(\theta)^2 * \sin(\theta - \delta) * \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) * \sin(\phi - \beta)}{\sin(\theta - \delta) * \sin(\theta + \beta)}}\right)^2}$$

$$k_a = 0.0802$$

Coeficiente de empuje activo

$$T_{max} = k_a * (q_s + \gamma * Z) S_H * S_V = 76.98 \text{ kN}$$

Fuerza máxima de tracción del clavo

$$T_{max} = 95.8332 \text{ kN}$$

Fuerza máxima de tracción Slide

$$T_0 = T_{max} * (0.6 + 0.2(S_V - 1)) = 61.33 \text{ kN}$$

Fuerza de tracción en la cabeza del clavo

## 3. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD INTERNA

### 3.1 MECANISMOS DE FALLA EN EL CLAVO

#### 3.1.1 EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL CLAVO

$$FS_T = 1.80$$

FS contra tracción del clavo

$$R_T = \frac{\pi * d^2}{4} * \frac{f_{y_{nail}}}{FS_T} = 118 \text{ kN}$$

### 3.2 EVALUACIÓN DE LOS MECANISMOS DE FALLA EN EL MURO

#### 3.2.1 COMPROBACIÓN DEL REFUERZO EN EL MURO

$$\rho_{\min} = \frac{20 \cdot \sqrt{f_c}}{f_{y_{h-v}}} = 0.22 \quad \text{Porcentaje de refuerzo mínimo}$$

$$\rho_{\max} = 50 \frac{f_c}{f_{y_{h-v}}} \left( \frac{600}{600 + f_{y_{h-v}}} \right) = 1.47 \quad \text{Porcentaje de refuerzo máximo}$$

En cualquier sección del muro, la relación de refuerzo se define como la relación entre el área efectivo y el área efectiva del hormigón, el refuerzo colocado debe estar dentro de  $\rho_{\min}$  y  $\rho_{\max}$

$$a_{vn} = a_{vm} + \frac{A_{vw}}{s_{vo}} = 338.13 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \quad \text{Área de la sección transversal de acero por unidad de espesor en dirección vertical en la cara del anclaje}$$

$$a_{hn} = a_{vn} = 338.13 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \quad \text{Área de la sección transversal de acero por unidad de espesor en dirección horizontal en la cara del anclaje}$$

La relación de refuerzo  $r$  en la cabeza del clavo y la mitad del tramo en dirección vertical está definida por:

$$\rho_n = \frac{a_{vn} * 1000 \frac{\text{mm}}{\text{m}}}{0.5 * h} * 100 = 0.68 \quad \text{Porcentaje de refuerzo propuesto en la cabeza del clavo (tanto el WWM como los bastones de refuerzo)}$$

$$\rho_m = \frac{a_{vm} * 1000 \frac{\text{mm}}{\text{m}}}{0.5 * h} * 100 = 0.25 \quad \text{Porcentaje de refuerzo propuesto en la sección media del muro (solo WWM contribuye)}$$

Tanto como  $\rho_n$  y  $\rho_m$  están dentro del límite permitido

#### 3.2.2 COMPROBACIÓN DE LA RESISTENCIA A REFLEXIÓN DEL MURO

$$C_F = 2$$

$$R_{FF} = \frac{C_F}{0.265} * (a_{vn} + a_{vm}) * \left( \frac{S_H}{S_V} * H \right) * f_{y_{h-v}} = 148.47 \text{ kN}$$

$$FS_{FF} = \frac{R_{FF}}{T_o} = 2.42$$

El factor de seguridad mínimo recomendado para la resistencia a la flexión del muro es 1.50, con lo que se cumple la condición, por lo tanto, la pantalla de revestimiento es resistente a flexión.

**TABLA 1.** Factor de corrección que considera la uniformidad de la distribución de presiones

Espesor Nominal de la Pantalla (mm)	Pantalla Temporal Factor Cf	Pantalla Permanente Factor Cf
100	2.00	1.00
120	1.70	1.00
150	1.50	1.00
200	1.00	1.00

Fuente: BYRE & PORTERFIELD, 1998

#### 3.2.3 COMPROBACIÓN RESISTENCIA AL CORTE POR PUNZONAMIENTO DEL MURO

$$D'c = L_{BP} + h = 350 \text{ mm} \quad \text{Diámetro efectivo de la superficie cónica de falla en el centro de la sección}$$

$$h_c = h = 0.10 \text{ m}$$

Profundidad efectiva de la superficie cónica

$$R_{FP} = 0.33 * \sqrt{f'c} * \pi * D'c * h_c = 166.28 \text{ kN}$$

Fuerza máxima resistente al punzonamiento del revestimiento

$$FS_{FP} = \frac{R_{FP}}{T_O} = 2.71$$

El factor de seguridad mínimo recomendado para la resistencia al corte por punzonamiento del muro es 1.50 para estructuras permanentes, mientras que 1.35 para estructuras temporales.

### 3.3 FALLA POR ARRANCAMIENTO DEL CLAVO

Cálculo a partir del rozamiento

$$q_u = 120 \text{ kPa}$$

Esfuerzo de unión suelo – refuerzo

$$FS_p = 2.00$$

FS contra arrancamiento

$$T_p = \frac{\pi * D * q_u}{FS_p} = 28.27 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Capacidad del clavo al arrancamiento

$$T_{n-max} = T_p * L = 339.29 \text{ kN}$$

Resistencia a la extracción en el clavo

**TABLA 2.** Valores de esfuerzo ultimo de unión estimada para clavos en suelos y rocas

Material	Método de construcción	Suelo/Roca	Fuerza de adherencia $q_u$ [Kpa]
Roca	Perforación rotativa	Filita	100 - 300
		Tiza	500 - 600
		Lutita inalterada	100 - 150
		Basalto	500 - 600
		Pizarra / pizarra fuerte	300 - 400
Suelos no cohesivos	Perforación rotativa	Arena / grava	100 - 180
		Arena limosa	100 - 150
		Limo	60 - 75
		Piamonte residual	40 - 20
		Coluvial	75 - 150
	Perforación de carcaza	Arena/Grava (sobrecarga baja)	190 - 240
		Arena/Grava (sobrecarga Alta)	280 - 430
		Densa morena	380-490
		Coluvial fino	100 - 180
	Taladrar	Relleno de arena limosa	20 - 40
		Arena limosa fina	55 - 90
		Arena limosa arcillosa	60 - 140
	Suelo de grano fino	Perforación rotativa	Arcilla limosa
Perforación de carcaza		limo arcilloso	90 - 140
		Arcilla espesa	40 - 60
		Limo arcilloso espeso	40 -100
		Arcilla arenosa calcárea	90 - 140

Fuente: Lazarte, Proposed specifications for LRFD soil-nailing design and construction, 2011

### 3.4 DETERMINACIÓN RESISTENCIA MÍNIMA DE DISEÑO EN LA CABEZA DEL CLAVO

A continuación, se presenta los cuadros resumen del análisis de los modos de falla en la pantalla de revestimiento del soil nailing

Resumen de evaluación de modos de falla en la pantalla temporal	
Resistencia a la tracción	$R_T = 118.23 \text{ kN}$
Resistencia a la extracción	$T_{n-max} = 339.29 \text{ kN}$

De la tabla anterior se elige la resistencia mínima, para determinar la fuerza de la cabeza de clavo, el cual se calcula con la fórmula:

$$FOS_f = 1$$

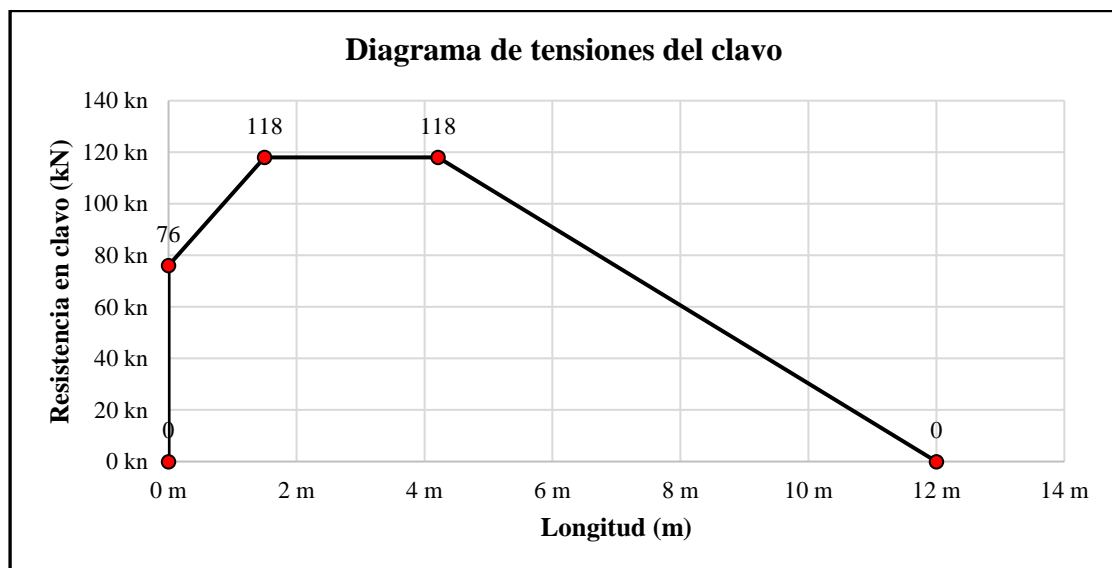
FS de la fuerza en la cabeza del clavo

$$R_f = \frac{\min(R_T, T_{n-max}) * \left(0.6 + 0.2 * \left(\frac{S_v}{1m} - 1\right)\right)}{FOS_f}$$

$$R_f = 75.67 \text{ kN}$$

Si el clavo no está anclado a la estructura, es posible considerar la capacidad portante de la cabeza del clavo en cero.

### 3.5 DISTRIBUCIÓN DE LAS FUERZAS DE TRACCIÓN A LO LARGO DEL CLAVO



## **ANEXO I. FOTOGRAFÍAS**



Vista aérea de la zona de estudio, sector de Yahuari



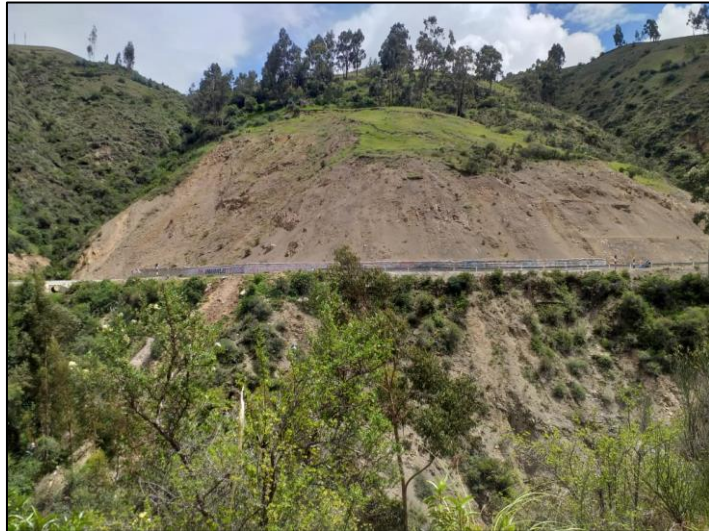
Muro de protección construida en la zona de estudio



Deslizamiento activo el km 628+300 en la carter PE-3S



Surcos de agua en el talud producto de las precipitaciones pluviales



Vista Panorámica de la zona de estudio, sector de Yahuari



Lutita gris oscura encontrada en el área de estudio





Levantamiento fotogramétrico realizado en al área de estudio



Vista del ensayo de granulometría realizados a las muestras de suelo



Vista del ensayo de resistencia de la roca



Vista del ensayo de corte directo



Vista del ensayo de límites de consistencia del suelo



Calicata N°1 realizado en el área de estudio



Calicata N°2 realizado en el área de estudio

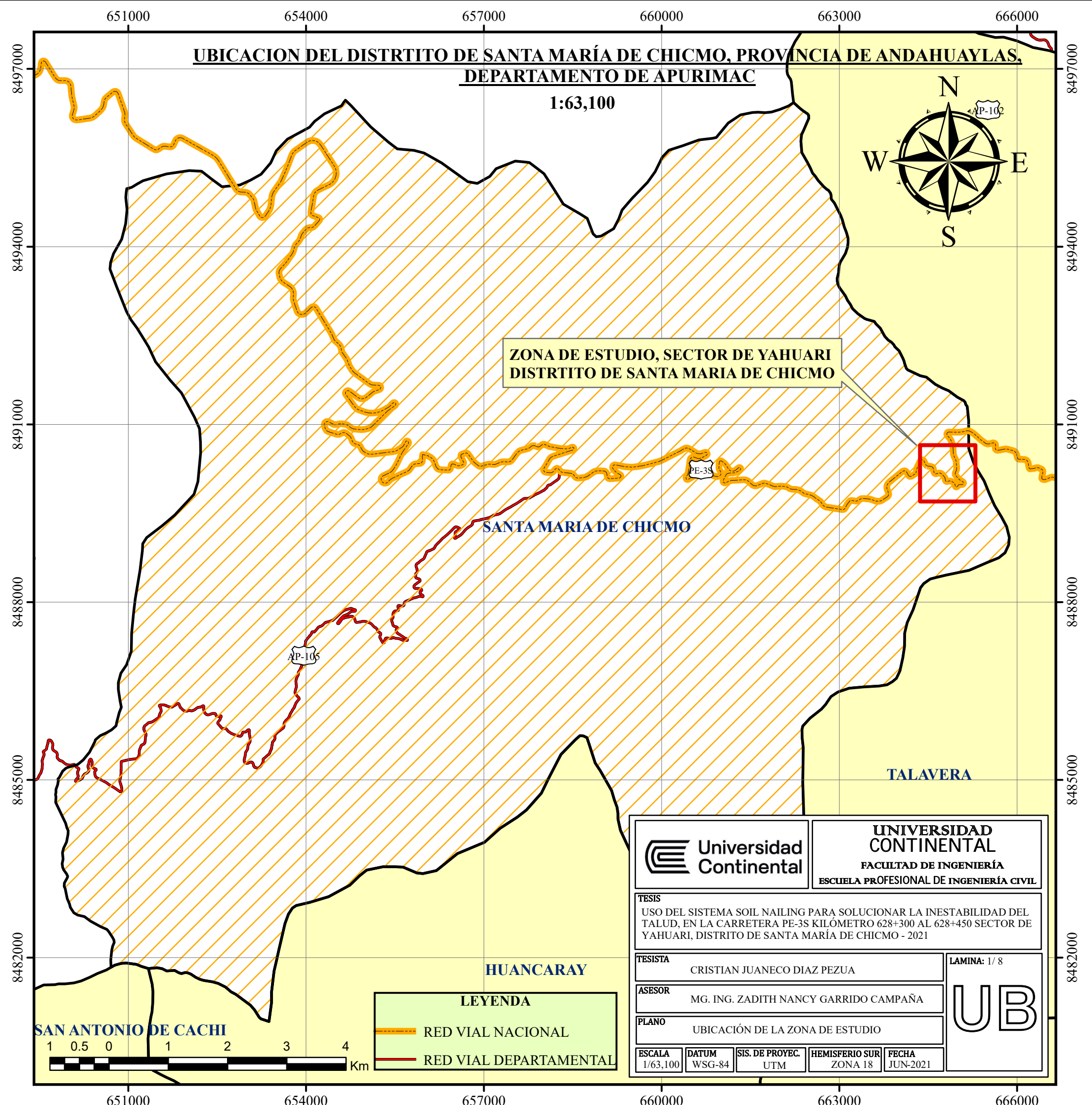
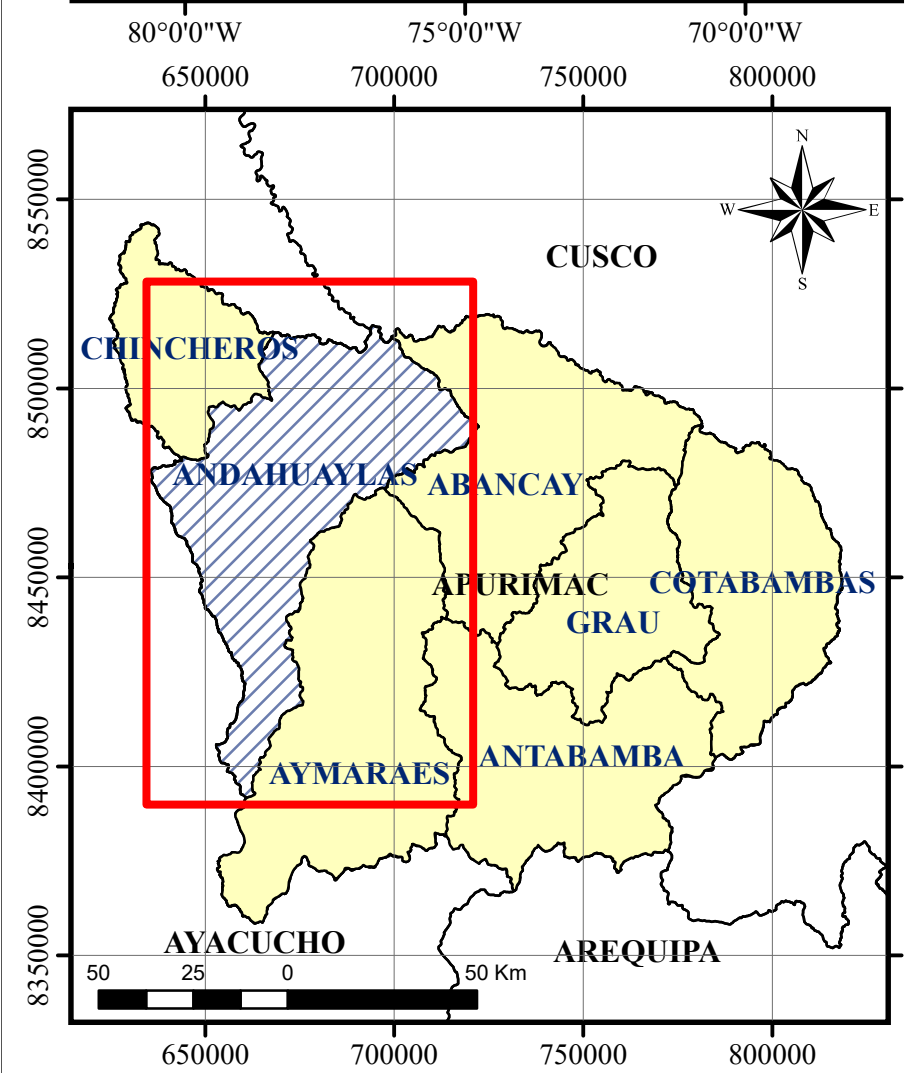


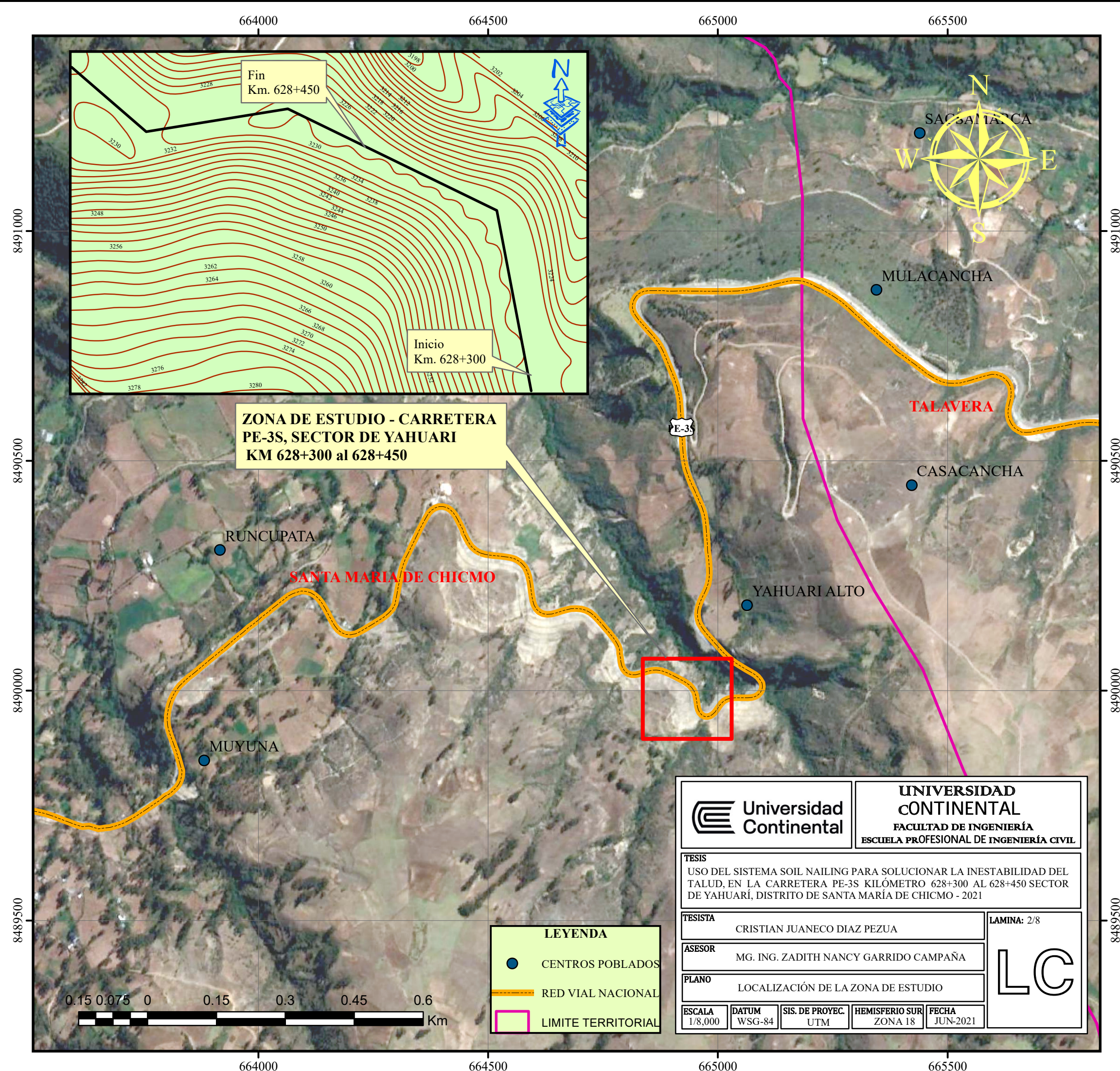
Trincheras realizadas en el área de estudio



Ensayo de cono de arena realizado en la calicata N°2

## **ANEXO J. PLANOS**

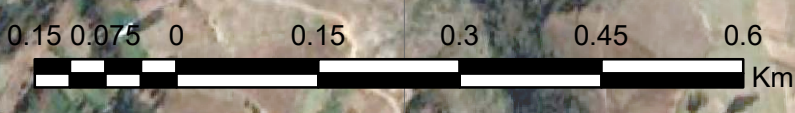




<b>Universidad Continental</b>		<b>UNIVERSIDAD CONTINENTAL</b> FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
<b>TESIS</b> USO DEL SISTEMA SOIL NAILING PARA SOLUCIONAR LA INESTABILIDAD DEL TALUD, EN LA CARRETERA PE-3S KILÓMETRO 628+300 AL 628+450 SECTOR DE YAHUARÍ, DISTRITO DE SANTA MARÍA DE CHICMO - 2021			
<b>TESISTA</b> CRISTIAN JUANECO DIAZ PEZUA		<b>LAMINA:</b> 2/8	
<b>ASESOR</b> MG. ING. ZADITH NANCY GARRIDO CAMPAÑA			
<b>PLANO</b> LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO			
<b>ESCALA</b> 1/8,000	<b>DATUM</b> WSG-84	<b>SIS. DE PROYEC.</b> UTM	<b>HEMISFERIO SUR</b> ZONA 18
<b>FECHA</b> JUN-2021			

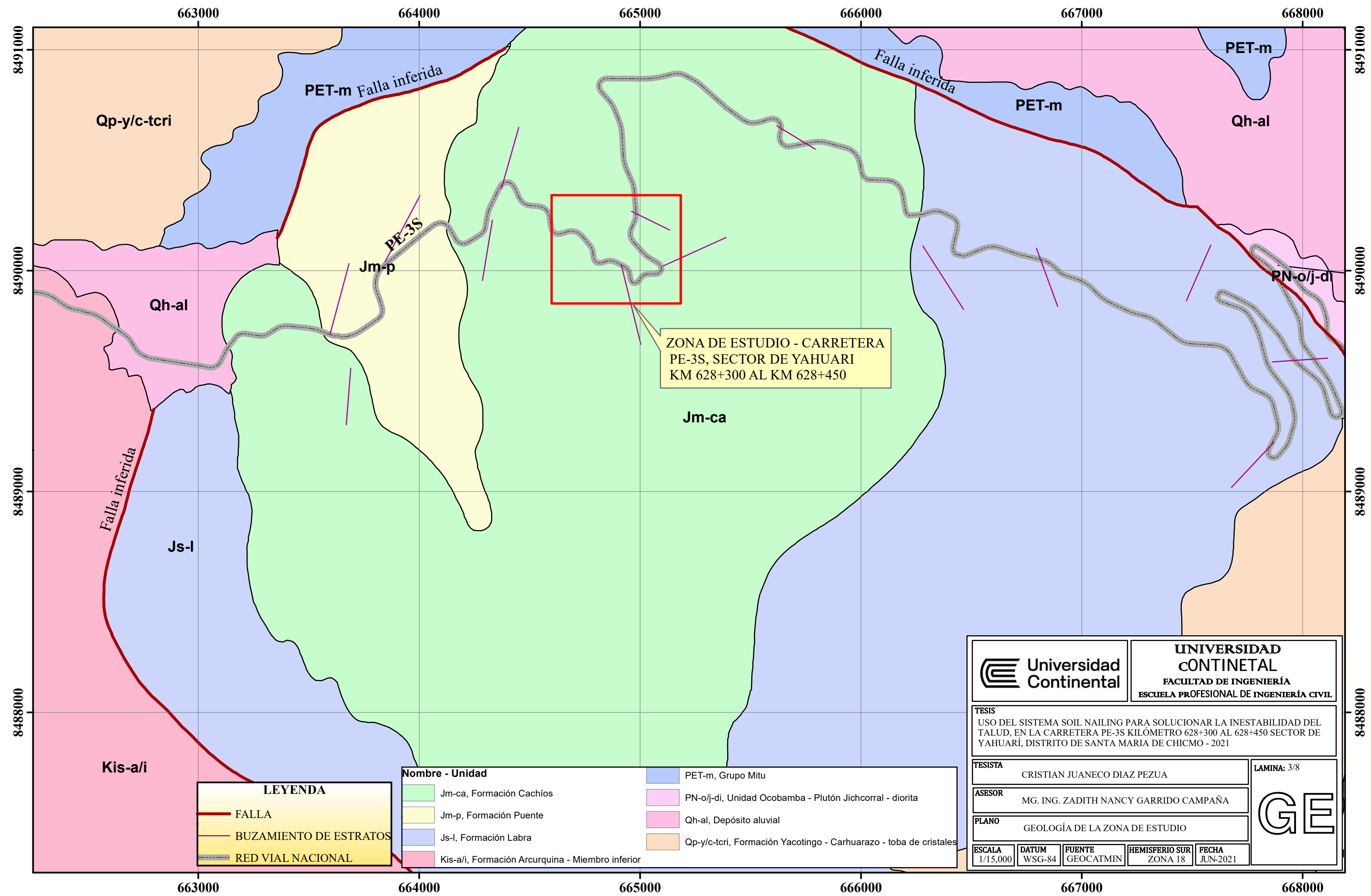
**LEYENDA**

- CENTROS POBLADOS
- RED VIAL NACIONAL
- LIMITE TERRITORIAL



# MAPA GEOLÓGICO

## 1:15,000



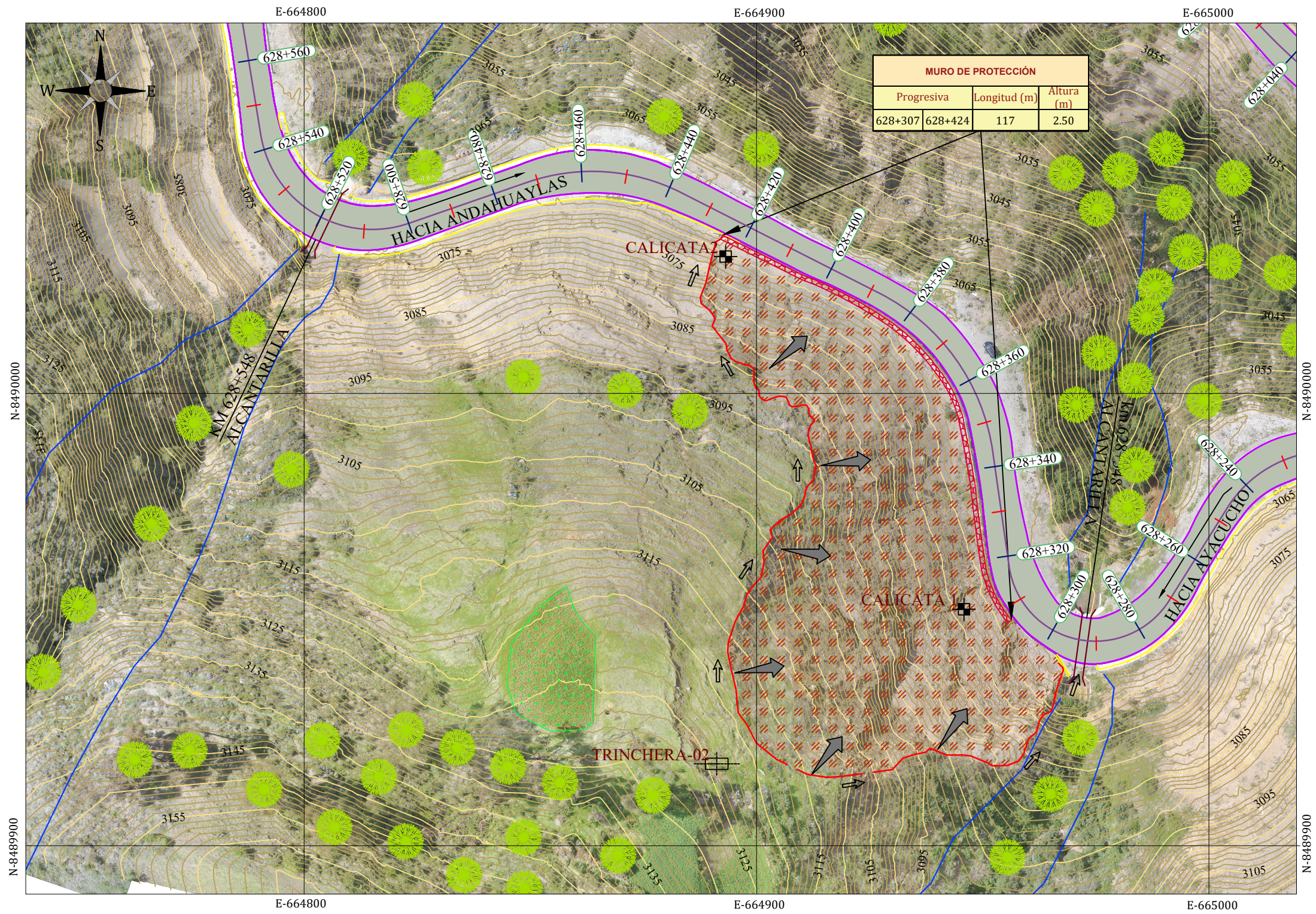
ZONA DE ESTUDIO - CARRETERA PE-3S, SECTOR DE YAHUARI KM 628+300 AL KM 628+450

**LEYENDA**

- FALLA
- BUZAMIENTO DE ESTRATOS
- RED VIAL NACIONAL

Nombre - Unidad	
Jm-ca, Formación Cachíos	PET-m, Grupo Mitu
Jm-p, Formación Puente	PN-o/j-di, Unidad Ocobamba - Plutón Jichcorral - diorita
Js-l, Formación Labra	Qh-al, Depósito aluvial
Kis-a/i, Formación Arcurquina - Miembro inferior	Qp-y/c-trci, Formación Yacotingo - Carhuarazo - toba de cristales

		<b>UNIVERSIDAD CONTINENTAL</b> FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
<b>TESIS</b> USO DEL SISTEMA SOIL NAILING PARA SOLUCIONAR LA INESTABILIDAD DEL TALUD, EN LA CARRETERA PE-3S KILÓMETRO 628+300 AL 628+450 SECTOR DE YAHUARI, DISTRITO DE SANTA MARIA DE CHICMO - 2021			
<b>TESISTA</b> CRISTIAN JUANECO DIAZ PEZUA		<b>LAMINA:</b> 3/8	
<b>ASESOR</b> MG. ING. ZADITH NANCY GARRIDO CAMPAÑA			
<b>PLANO</b> GEOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO			
<b>ESCALA</b> 1/15,000	<b>DATUM</b> WSG-84	<b>FUENTE</b> GEOCATMIN	<b>HEMISFERIO SUR</b> ZONA 18
		<b>FECHA</b> JUN-2021	



**SIMBOLOGÍA**

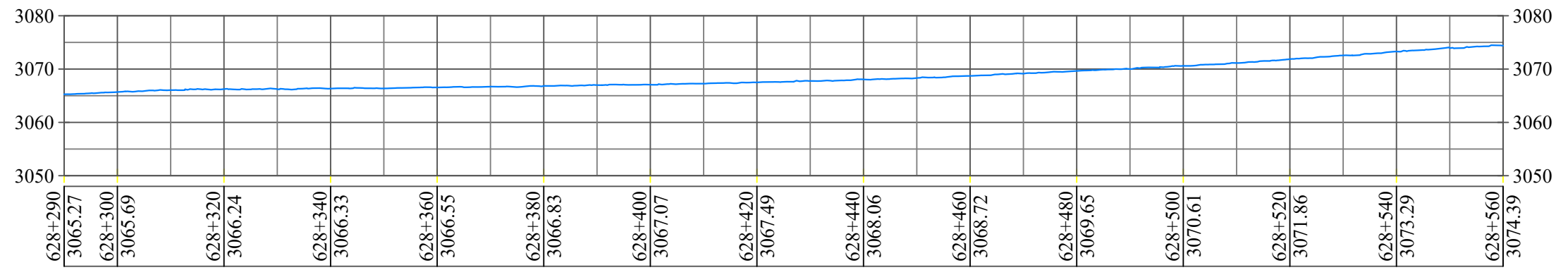
CURVA PRIMARIA 10 m	
CURVA SEGUNDARIA 2 m	
BORDE DE VÍA	
EJE DE VÍA	
QUEBRADA	
TRINCHERA	
MURO DE PROTECCIÓN	
CALICATAS	
VEGETACIÓN	
PARCELA DE SEMBRIO	
DESPLAZAMIENTO ACTIVO	



**VISTA GRÁFICA 3D**  
ESC. S/E

**PLANO TOPOGRÁFICO**  
ESC. 1:1000

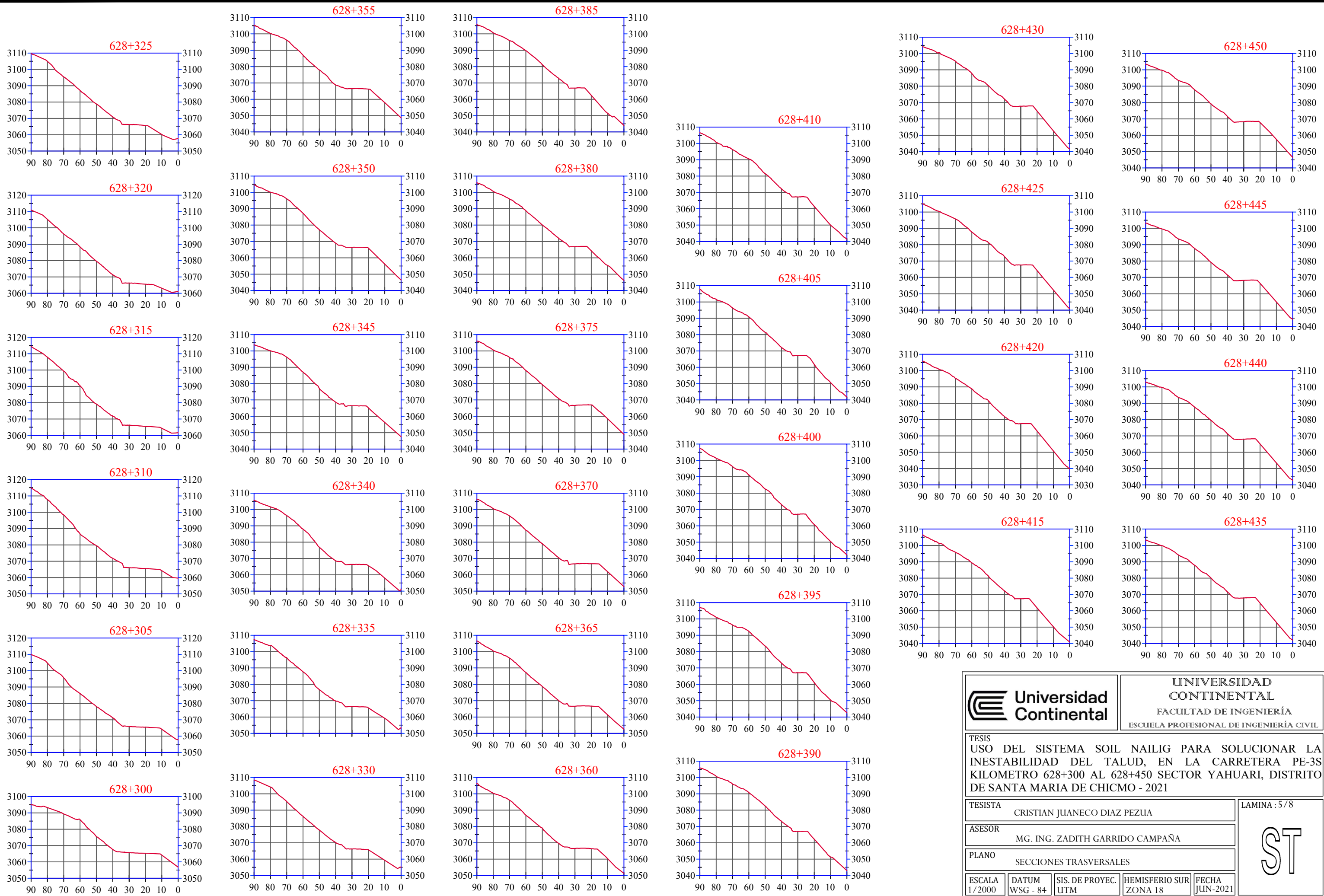
**PERFIL LONGITUDINAL CARRETERA PE-3S**



	<b>UNIVERSIDAD CONTINENTAL</b> FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
	TESIS USO DEL SISTEMA SOIL NAILIG PARA SOLUCIONAR LA INESTABILIDAD DEL TALUD, EN LA CARRETERA PE-3S KILOMETRO 628+300 AL 628+450 SECTOR YAHUARI, DISTRITO DE SANTA MARIA DE CHICMO - 2021			
TESISTA CRISTIAN JUANECO DIAZ PEZUA		LAMINA : 4/8		
ASESOR MG. ING. ZADITH GARRIDO CAMPAÑA				
PLANO TOPOGRAFÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO				
ESCALA 1/1000	DATUM WSG - 84	SIS. DE PROYEC. UTM	HEMISFERIO SUR ZONA 18	
FECHA JUN-2021				

TP





 <b>Universidad Continental</b>		<b>UNIVERSIDAD CONTINENTAL</b> FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
TESIS <b>USO DEL SISTEMA SOIL NAILIG PARA SOLUCIONAR LA INESTABILIDAD DEL TALUD, EN LA CARRETERA PE-3S KILOMETRO 628+300 AL 628+450 SECTOR YAHUARI, DISTRITO DE SANTA MARIA DE CHICMO - 2021</b>				
TESISTA CRISTIAN JUANECO DIAZ PEZUA		LAMINA : 5/8		
ASESOR MG. ING. ZADITH GARRIDO CAMPAÑA				
PLANO SECCIONES TRASVERSALES				
ESCALA 1/2000	DATUM WSG - 84	SIS. DE PROYEC. UTM	HEMISFERIO SUR ZONA 18	FECHA JUN-2021



UNIVERSIDAD  
CONTINENTAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESISTA  
USO DEL SISTEMA SOIL NAILIG PARA SOLUCIONAR LA  
INESTABILIDAD DEL TALUD, EN LA CARRETERA PE-3S  
KILOMETRO 628+300 AL 628+450 SECTOR YAHUARI, DISTRITO  
DE SANTA MARIA DE CHICMO - 2021

TESISTA CRISTIAN JUANECO DIAZ PEZUA

LAMINA : 6/8

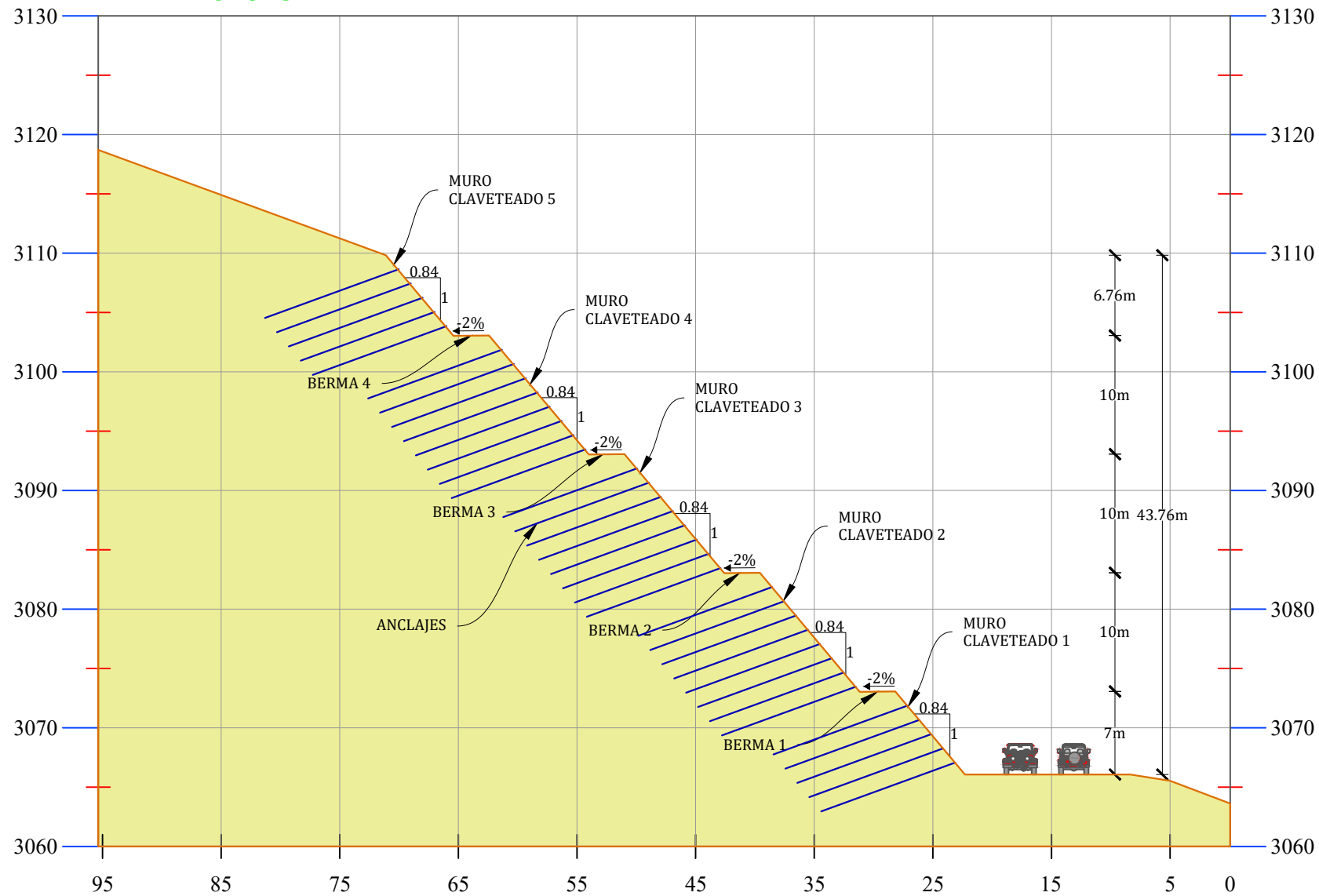
ASESOR MG. ING. ZADITH GARRIDO CAMPAÑA

PLANO ORTOMOSAICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

ESCALA 1/750	DATUM WSG - 84	SIS. DE PROYEC. UTM	HEMISFERIO SUR ZONA 18	FECHA JUN-2021
-----------------	-------------------	------------------------	---------------------------	-------------------

ORT

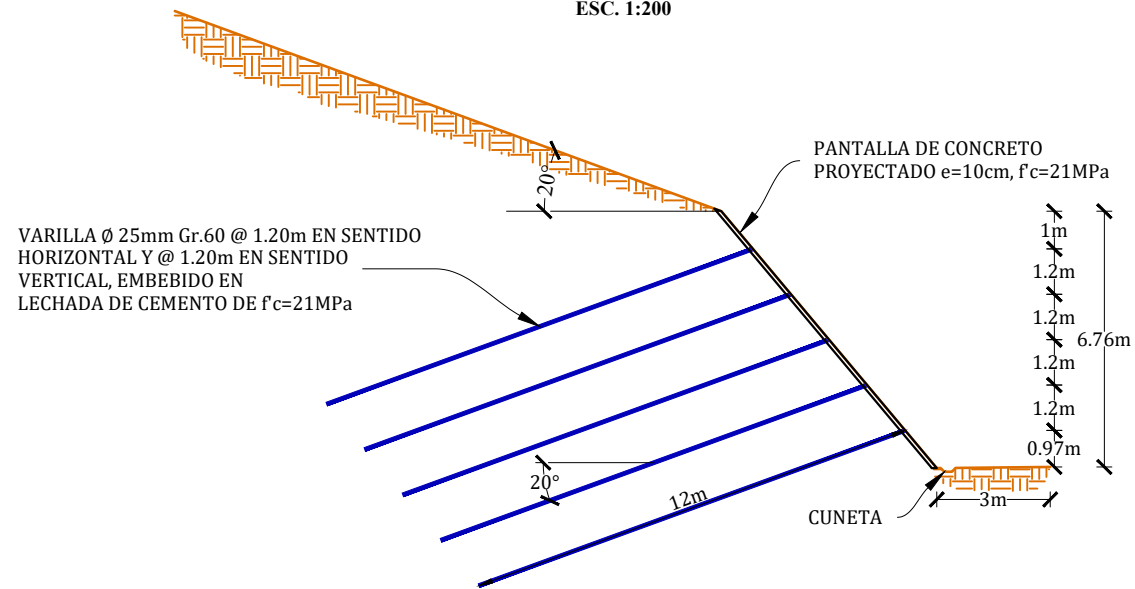
**PERFIL: 628+322**



**PERFIL MURO CLAVETEADO**  
ESC. 1:500

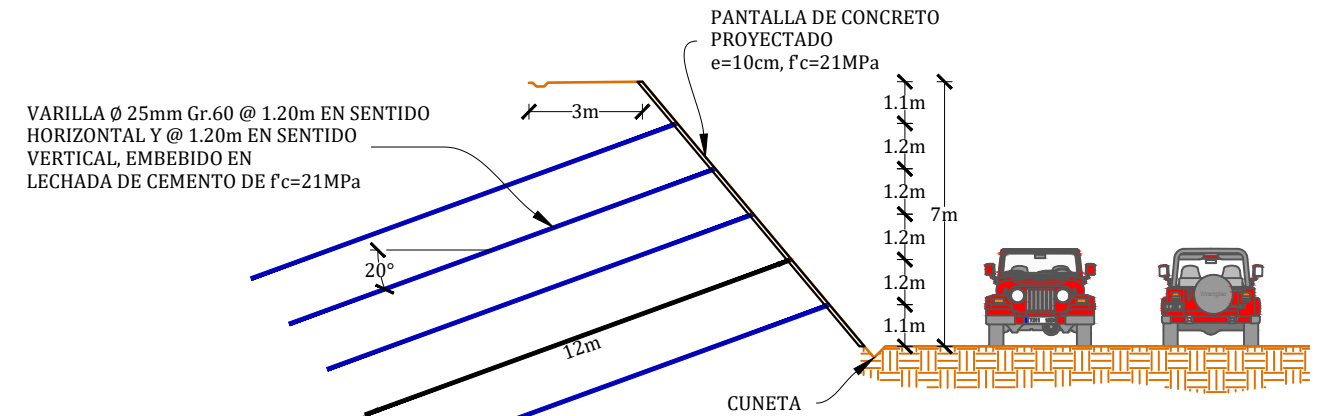
**PERFIL DEL MURO CLAVETEADO N°5**

ESC. 1:200



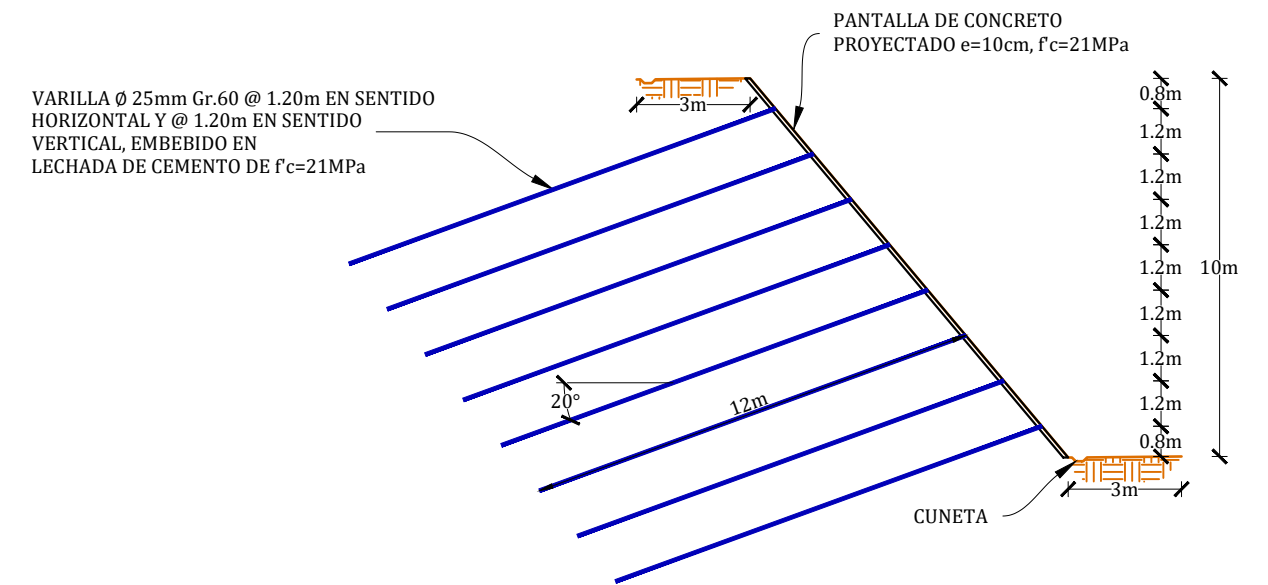
**PERFIL DEL MURO CLAVETEADO N°1**

ESC. 1:200



**PERFIL DEL MURO CLAVETEADO N°2, 3 y 4**

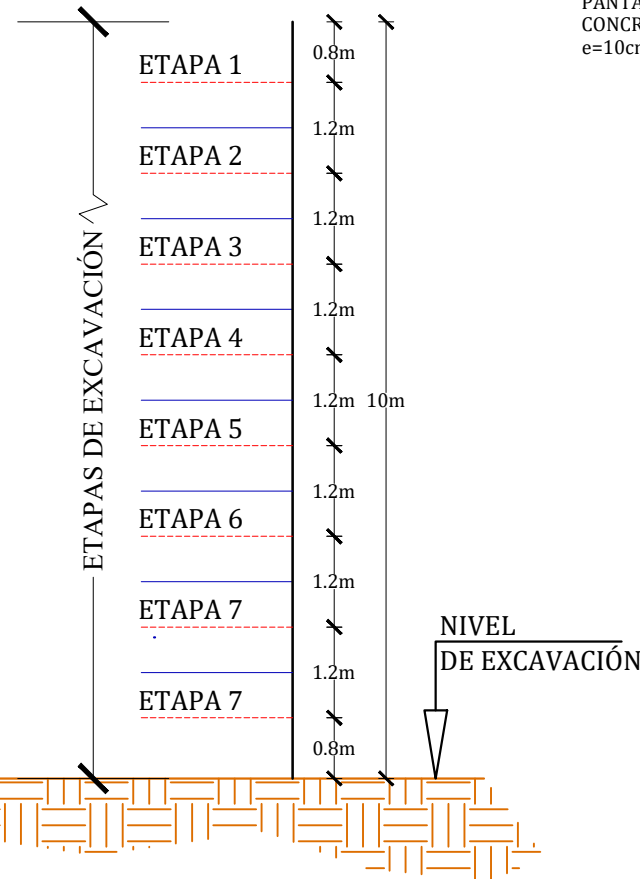
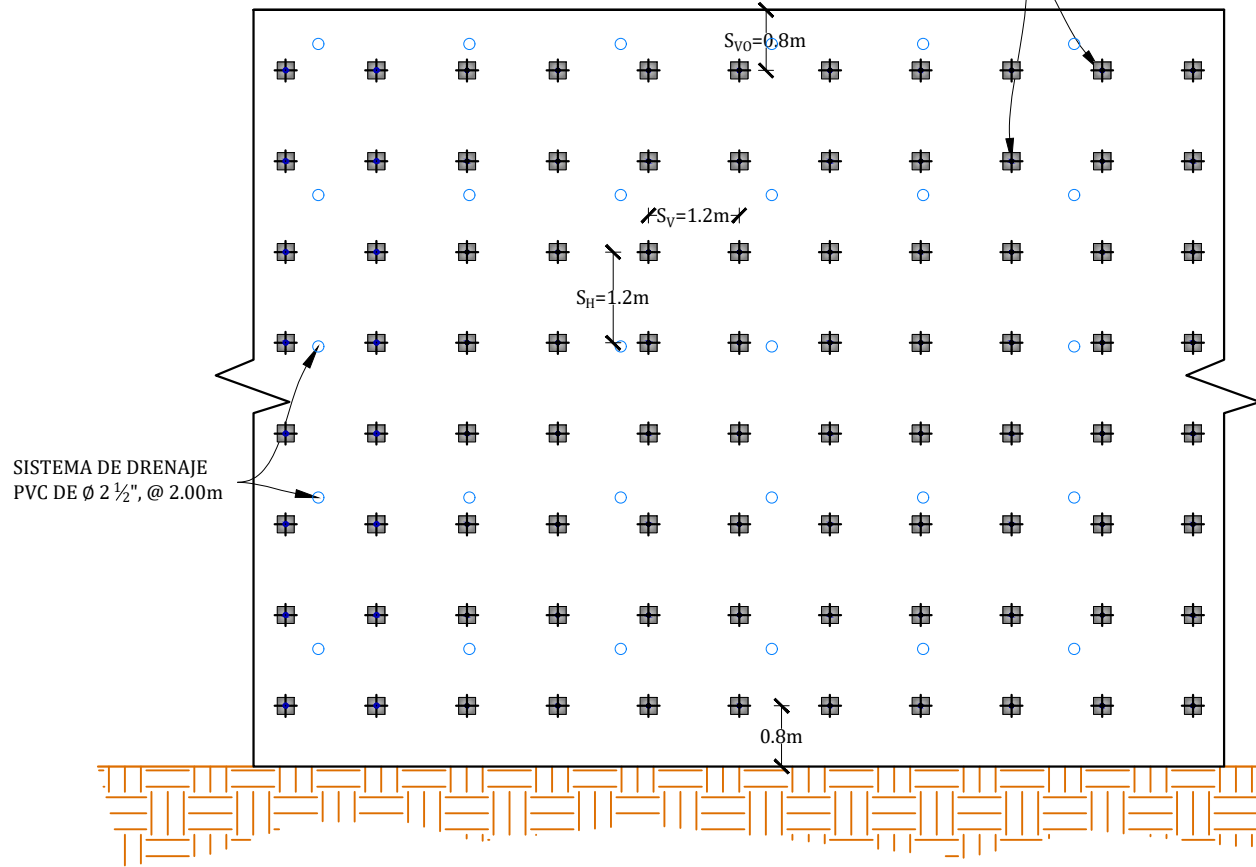
ESC. 1:200



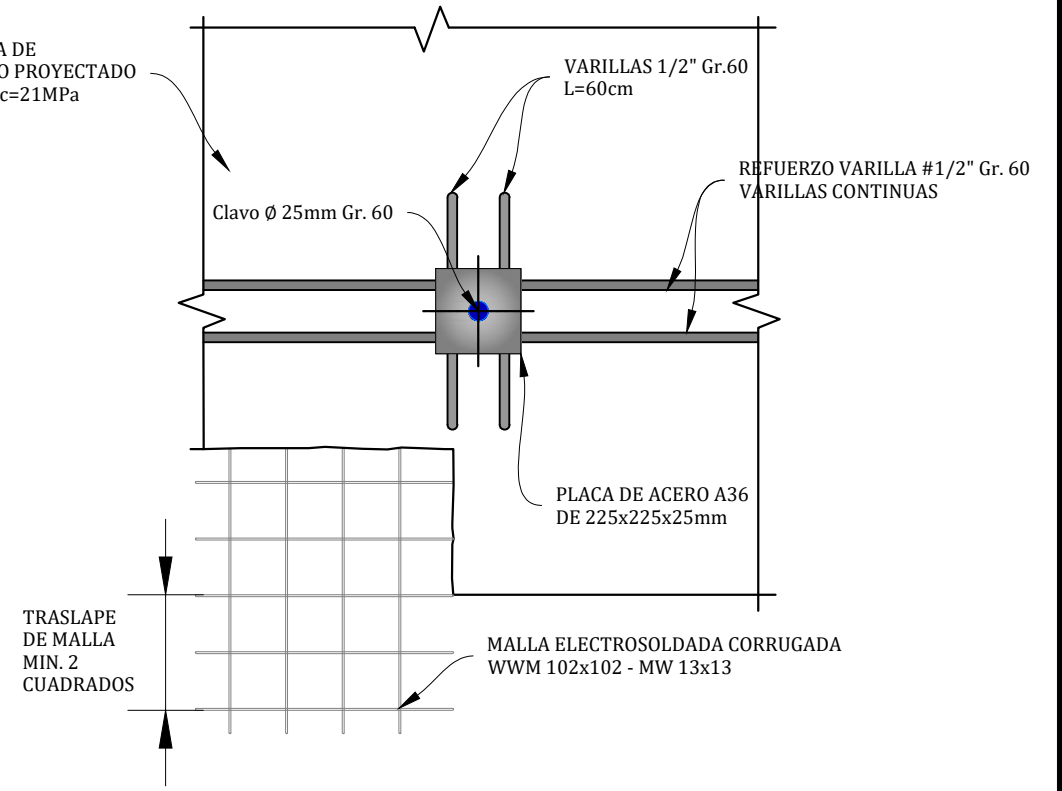
	UNIVERSIDAD CONTINENTAL FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
	TESIS USO DEL SISTEMA SOIL NAILIG PARA SOLUCIONAR LA INESTABILIDAD DEL TALUD, EN LA CARRETERA PE-3S KILOMETRO 628+300 AL 628+450 SECTOR YAHUARI, DISTRITO DE SANTA MARIA DE CHICMO - 2021				
TESISTA CRISTIAN JUANECO DIAZ PEZUA	ASESOR MG. ING. ZADITH GARRIDO CAMPAÑA			LAMINA : 7/8	
PLANO OBRAS DE ESTABILIZACIÓN					
ESCALA Indicada	DATUM WSG - 84	SIS. DE PROYEC. UTM	HEMISFERIO SUR ZONA 18	FECHA JUN-2021	

NOTA:  
 $S_V$  = Espaciamiento vertical (m)  
 $S_H$  = Espaciamiento horizontal (m)

VARILLA  $\varnothing 25\text{mm}$  Gr.60 @ 1.20m EN SENTIDO HORIZONTAL Y @ 1.20m EN SENTIDO VERTICAL, EMBEBIDO EN LECHADA DE CEMENTO DE  $f_c=21\text{MPa}$

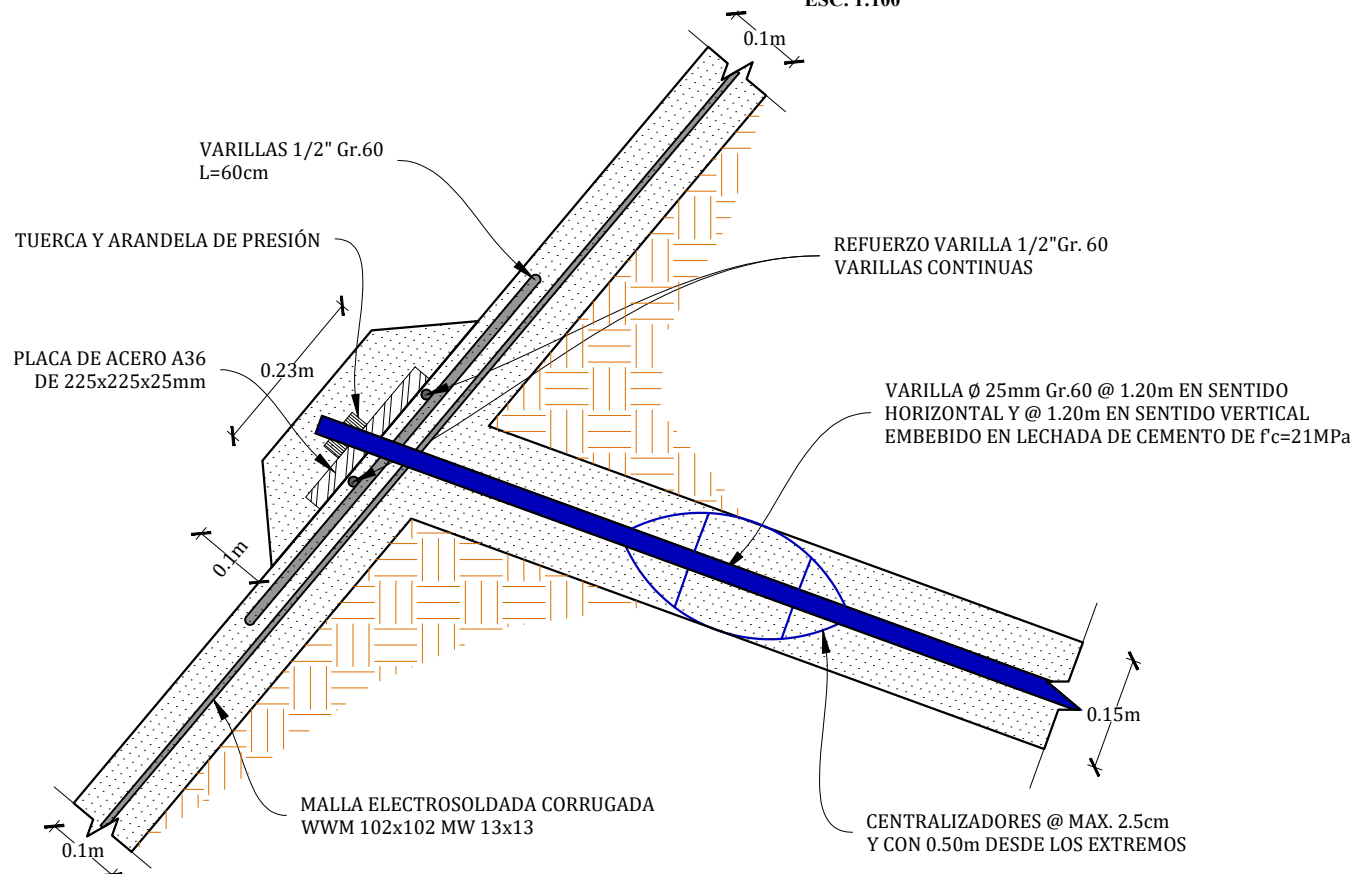


PANTALLA DE CONCRETO PROYECTADO  $e=10\text{cm}$ ,  $f_c=21\text{MPa}$

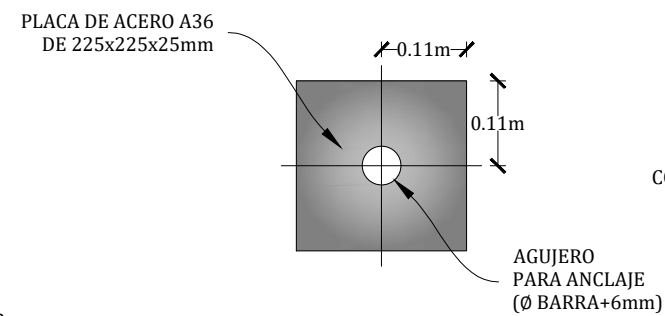


**PANEL TÍPICO DE ACERO Y CONCRETO**  
 ESC. 1:20

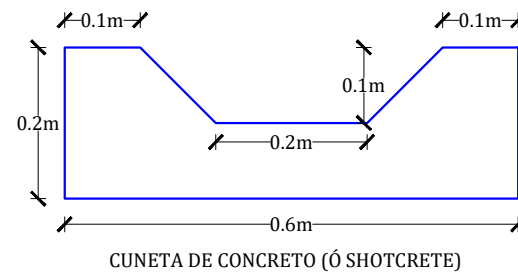
**DETALLE DE LA CONFIGURACIÓN TÍPICA DEL MURO**  
 ESC. 1:100



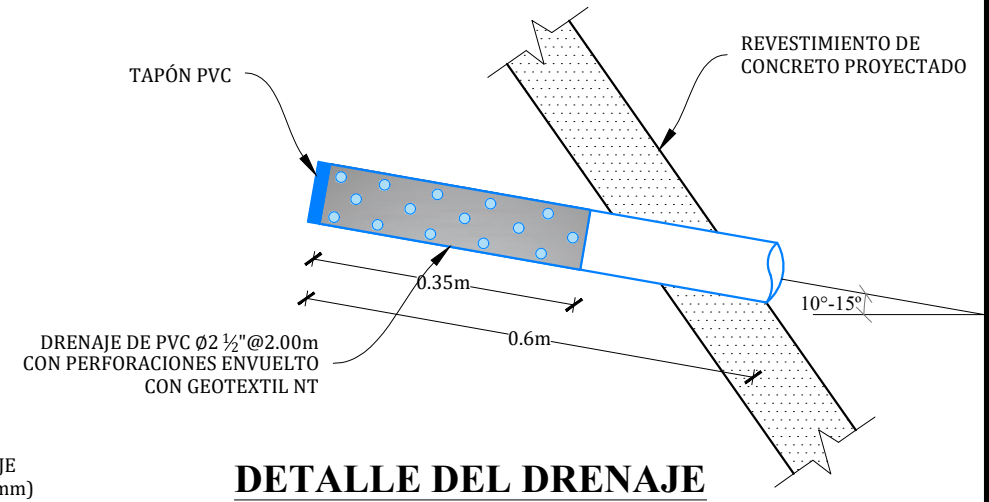
**DETALLE DEL CLAVO Y SUS COMPONENTES**  
 ESC. 1:10



**DETALLE DE LA PLACA**  
 ESC. 1:10



**DETALLE DE LA CUNETA**  
 ESC. 1:10



**DETALLE DEL DRENAJE**  
 ESC. 1:10

		<b>UNIVERSIDAD CONTINENTAL</b> FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
TESIS USO DEL SISTEMA SOIL NAILIG PARA SOLUCIONAR LA INESTABILIDAD DEL TALUD, EN LA CARRETERA PE-3S KILOMETRO 628+300 AL 628+450 SECTOR YAHUARI, DISTRITO DE SANTA MARIA DE CHICMO - 2021			
TESISISTA CRISTIAN JUANECO DIAZ PEZUA		LAMINA : 8 / 8	
ASESOR MG. ING. ZADITH GARRIDO CAMPAÑA			
PLANO DETALLE DEL SISTEMA SOIL NAILING			
ESCALA Indicada	DATUM WSG - 84	SIS. DE PROYEC. UTM	HEMISFERIO SUR ZONA 18
FECHA JUN-2021			