

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL



Tesis

**Análisis correlacional entre las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos
para el diseño de terraplenes y taludes, urbanización San Luis, Abancay-2023**

Asesor:

M.Sc. Maldonado Mendivil, Angel

Autores:

Calla Gibaja, Keila Adelma

Sanchez Chalco, Yurica

Para optar el Título Profesional de: Ingeniero Civil

Abancay – Apurímac – Perú

2024



Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas

ACTA DE EXAMEN DE TITULACIÓN N°024-2024-EPIC-FI- UTEA- SA

Reunidos el Jurado Evaluador constituido por los señores Docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería de la Universidad Tecnológica de los Andes:

- | | |
|------------------------------------|--------------|
| ➤ Dra. Rosa Marina VERA TEVES | PRESIDENTE |
| ➤ Ing. Rubén GAMARRA MOTA | DICTAMINANTE |
| ➤ Ph.D. Abbon Alex VÁZQUEZ RAMÍREZ | REPLICANTE |

y el (la) postulante al TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO (a) CIVIL,
Bachiller: **SANCHEZ CHALCO, Yurica** con código de matrícula N°201601004-I, y **CALLA GIBAJA Keila Adelma** con código de matrícula N°201600970-I.

Ha cumplido con las exigencias del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos de la Universidad Tecnológica de los Andes, aprobado mediante resolución de consejo Universitario N°1870-2023-UTEA-CU, de fecha 03 de julio del 2023, respecto a la sustentación de tesis, para optar al título profesional de Ingeniero Civil.

SUSTENTACIÓN DE TESIS titulado: "Análisis correlacional entre las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos para el diseño de terraplenes y taludes, urbanización San Luis, Abancay-2023", habiendo aprobado con la nota de trece (13).

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 279.

Abancay, 25 de setiembre 2024.

Dra. Rosa Marina VERA TEVES
PRESIDENTE

Ing. Rubén GAMARRA MOTA
DICTAMINANTE

Ph.D. Abbon Alex VÁSQUEZ RAMÍREZ
REPLICANTE

Análisis correlacional entre la propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos para el diseño de terraplenes y taludes, urbanización San Luis - Abancay 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
2	repository.usta.edu.co Fuente de Internet	1%
3	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	boe.vlex.es Fuente de Internet	<1%
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
7	idoc.pub Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	<1%

Metadatos

Datos del Autor	
Apellidos y nombres	: Calla Gibaja Keila Adelma
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Numero de Documento de Identidad	: 74447042
URL ORCID (opcional)	: No aplica
Datos del Asesor	
Apellidos y nombres	: Maldonado Mendivil Angel
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Numero de Documento de Identidad	: 06788424
URL ORCID (opcional)	: https://orcid.org/0000-0001-9002-1910
Datos de la investigación	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería civil
Línea de Investigación	: Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	: 2023-2024
Fuente de financiamiento	: Autofinanciada
Porcentaje de originalidad	: 20%
URL de OCDE	: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Metadatos

Datos del Autor	
Apellidos y nombres	: Sanchez Chalco Yurica
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Numero de Documento de Identidad	: 71374555
URL ORCID (opcional)	: No aplica
Datos del Asesor	
Apellidos y nombres	: Maldonado Mendivil Angel
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Numero de Documento de Identidad	: 06788424
URL ORCID (opcional)	: https://orcid.org/0000-0001-9002-1910
Datos de la investigación	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería civil
Línea de Investigación	: Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	: 2023-2024
Fuente de financiamiento	: Autofinanciada
Porcentaje de originalidad	: 20%
URL de OCDE	: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

A mi madre Rut Lourdes Gibaja Zegarra, a mis hermanos y a todos aquellos que contribuyeron activamente durante mi formación académica y fueron testigos de mis tenaces esfuerzos por alcanzar mis objetivos, brindándome el apoyo y el aliento que necesité para afrontar cada día y lograr nuevos éxitos profesionales.

Keila A. Calla Gibaja

A mis padres, Idalia Chalco Valenzuela y Javier Sanchez Camacho, por la confianza y apoyo brindado, porque gracias a ellos culmino una etapa más del proceso de formación académica, a mis hermanos por estar presentes en todo momento brindándome su apoyo, siendo participes en mi día a día a día y en el desarrollo de mi vida profesional.

Yurica Sanchez Chalco

Agradecimientos

“La gratitud es una emoción noble del alma generosa que expande el corazón de quienes la comparten”. Expresamos nuestro más profundo agradecimiento al creador de todo lo que existente, por el amor incondicional que nos brinda en cada momento de nuestras vidas.

A la Universidad Tecnológica de los Andes, por abrir un campo de formación académica de gran importancia para este grupo de profesionales, a nuestros padres, hermanos y amigos por el apoyo brindado e impulso para la obtención de un nuevo logro en este proceso de formación constante, que constituye el cimiento fundamental en nuestras vidas profesionales que desempeñaremos cada día de nuestras vidas.

A nuestro asesor MSc. Ing. Ángel Maldonado Mendivil por su apoyo, paciencia y comprensión; quién fue nuestro guía en cada paso de la realización de nuestra tesis.

De: Keila y Yurica.

Resumen

Esta tesis tuvo como objetivo analizar la relación existente entre las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos con el diseño de terraplenes y taludes en la Urbanización San Luis, Abancay durante el año 2023. Se trata de un estudio con un enfoque cuantitativo de tipo aplicado y nivel correlacional, en el que se empleó el método hipotético – deductivo. En el estudio se utilizó un análisis de regresión múltiple para examinar la significancia estadística entre las características físico-mecánicas de suelos finos y el diseño de estructuras geotécnicas, cuyo modelamiento fue realizado por medio del software geotécnico GEO5.

Se definió y operacionalizó variables y se seleccionó una muestra representativa, obteniéndose por medio de un muestreo aleatorio estratificado 132 unidades muestrales del suelo, además se hizo uso de técnicas e instrumentos específicos para la recolección y análisis de datos tales como la observación y las fichas de recolección. Como resultado se revela una correlación significativa del 99.34% entre las propiedades físico-mecánicas y la geometría del diseño de un talud/terraplén, demostrada mediante un análisis de regresión lineal en Excel, enfocándose en la comparación de la pendiente como parte del análisis geométrico, por otro lado, también se demostró una correlación significativa del 97.65% entre las propiedades físico-mecánicas y el factor de seguridad de un talud/terraplén.

La investigación concluyó que es esencial adaptar los diseños de terraplenes y taludes a las condiciones específicas del suelo para lograr estructuras estables.

Palabras clave: Talud/terraplén, suelos finos, propiedades físicas, propiedades mecánicas, correlación.

Abstract

This thesis aimed to analyze the relationship between the physical and mechanical properties of fine soils with the design of embankments and slopes in the San Luis Urbanization, Abancay during the year 2023. This is a study with an applied quantitative approach, and correlational level, in which the hypothetical-deductive method was used. In the study, a multiple regression analysis was used to examine the statistical significance between the physical-mechanical characteristics of fine soils and the design of geotechnical structures, whose modeling was carried out using the GEO5 geotechnical software.

Variables were defined and operationalized and a representative sample was selected, obtaining 132 soil sample units through stratified random sampling. In addition, specific techniques and instruments were used for the collection and analysis of data such as observation and data sheets. harvest. As a result, a significant correlation of 99.34% is revealed between the physical-mechanical properties and the geometry of a slope/embankment design, demonstrated through a linear regression analysis in Excel, focusing on the comparison of the slope as part of the geometric analysis. On the other hand, a significant correlation of 97.65% was also demonstrated between the physical-mechanical properties and the safety factor of a slope/embankment.

The research concluded that it is essential to adapt embankment and slope designs to specific soil conditions to achieve stable structures.

Keywords: Slope/embankment, fine soils, physical properties, mechanical properties, correlation.

Índice General

Portada	i
Acta de sustentación.....	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria.....	vi
Agradecimientos	vii
Resumen	viii
Abstract.....	ix
Índice General.....	x
Índice de Tablas	xiii
Índice de Figuras	xviii
Índice de Anexos.....	xxv
I. Introducción.....	26
II. Planteamiento del problema.....	28
2.1. Descripción y formulación del problema.....	28
2.1.1. Descripción de la realidad problemática.....	28
2.1.2. Formulación del problema de investigación	30
2.2. Objetivos.....	30
2.2.1. Objetivo General	30
2.2.2. Objetivos Específicos.....	31
2.3. Justificación e importancia	31
2.4. Hipótesis	32
2.5. Variables.....	33
III. Marco teórico.....	35

3.1. Antecedentes	35
3.2. Bases teóricas	41
3.2.1. Suelos.....	41
3.2.2. Taludes y terraplenes.....	57
3.3. Definición de términos.....	66
IV. Metodología	70
4.1. Tipo y nivel de Investigación	70
4.2. Ámbito temporal y espacial	71
4.3. Población y muestra.....	73
4.4. Instrumentos	76
4.5. Procedimiento	77
4.6. Análisis de datos.....	78
4.7. Consideraciones éticas	79
V. Resultados y discusión	81
5.1. Resultados	81
5.1.1. Caracterización del suelo natural	82
5.1.2. Permeabilidad del suelo natural	98
5.1.3. Porosidad del suelo natural.....	104
5.1.4. Densidad y resistencia a la compresión del suelo natural	105
5.1.5. Capacidad de carga del suelo natural	109
5.1.6. Asentamiento del suelo natural	110
5.1.7. Ángulo de fricción interna del suelo natural.....	110
5.1.8. Material de préstamo para subbase	114
5.1.9. Material de préstamo para base.....	117
5.1.10. Modelado de taludes en GEO5	121
5.1.11. Geometría en condiciones naturales de taludes.....	128
5.1.12. Geometría con muro claveteado en talud.....	130

5.1.13. Factor de seguridad en condiciones naturales de los taludes	132
5.1.14. Factor de seguridad con muro claveteado	135
5.1.15. Modelado de terraplén GEO5	136
5.1.16. Geometría en condiciones naturales del terraplén	140
5.1.17. Geometría con material de préstamo en terraplén	141
5.1.18. Factor de seguridad en condiciones naturales del terraplén.....	141
5.1.19. Factor de seguridad del terraplén con material de préstamo.....	142
5.1.20. Análisis de regresión lineal respecto a la geometría del talud	142
5.1.21. Análisis de regresión lineal respecto al Factor de Seguridad del talud	159
5.1.22. Análisis de regresión lineal respecto a la geometría del terraplén.....	175
5.1.23. Análisis de regresión lineal respecto al Factor de Seguridad del terraplén	186
5.1.24. Resultados respecto al objetivo específico 1.....	197
5.1.25. Resultados respecto al objetivo específico 2.....	198
5.1.26. Resultados respecto al objetivo general.....	199
5.2. Discusión de resultados	199
5.3. Prueba de hipótesis	203
VI. Conclusiones.....	211
VII. Recomendaciones.....	214
VIII. Referencias bibliográficas	216
IX. Anexos	223

Índice de Tablas

Tabla 1 Límites del tamaño de suelos según sistemas de clasificación	43
Tabla 2 Divisiones de grupo	44
Tabla 3 Propiedades físicas y mecánicas de los suelos	45
Tabla 4 Valores del coeficiente de permeabilidad para distintos tipos de suelos.....	52
Tabla 5 Calificación del porcentaje de la porosidad total del suelo	56
Tabla 6 Niveles de peligro de inestabilidad según parámetros geométricos	63
Tabla 7 Valores típicos de parámetros geotécnicos	65
Tabla 8 Cantidad de muestras de talud	75
Tabla 9 Resumen de caracterización de suelos	98
Tabla 10 Resumen del Coeficiente de permeabilidad de suelos.....	103
Tabla 11 Relación de vacíos y porosidad	105
Tabla 12 Resumen de porosidad de suelos.....	105
Tabla 13 Resumen de resistencia a la compresión de suelos	109
Tabla 14 Resumen de capacidad de carga de suelos	110
Tabla 15 Resumen de asentamiento de suelos.....	110
Tabla 16 Resumen de ángulo de fricción.....	114
Tabla 17 Geometría del talud en condiciones naturales tramo 01 del talud.....	129
Tabla 18 Geometría del talud en condiciones naturales tramo 02 del talud.....	129
Tabla 19 Geometría del talud en condiciones naturales tramo 03 del talud.....	130
Tabla 20 Geometría del talud en condiciones naturales tramo 04 del talud.....	130
Tabla 21 Geometría del talud con muro claveteado tramo 01 del talud	131
Tabla 22 Geometría del talud con muro claveteado tramo 02 del talud	131
Tabla 23 Geometría del talud con muro claveteado tramo 03 del talud	132
Tabla 24 Geometría del talud con muro claveteado tramo 04 del talud	132
Tabla 25 Factor de seguridad en condiciones naturales tramo 01 del talud.....	133
Tabla 26 Factor de seguridad en condiciones naturales tramo 02 del talud.....	133
Tabla 27 Factor de seguridad en condiciones naturales tramo 03 de talud	134

Tabla 28 Factor de seguridad en condiciones naturales tramo 04 del talud.....	134
Tabla 29 Factor de seguridad con muro claveteado tramo 01 del talud.....	135
Tabla 30 Factor de seguridad con muro claveteado tramo 02 del talud.....	135
Tabla 31 Factor de seguridad con muro claveteado tramo 03 del talud.....	136
Tabla 32 Factor de seguridad con muro claveteado tramo 04 del talud.....	136
Tabla 33 Geometría del terraplén en condiciones naturales.....	141
Tabla 34 Geometría del terraplén con material de préstamo.....	141
Tabla 35 Factor de seguridad en condiciones naturales del terraplén.....	142
Tabla 36 Factor de seguridad en condiciones naturales del terraplén.....	142
Tabla 37 Pendiente estabilizada con muro claveteado.....	143
Tabla 38 Variables para la regresión lineal respecto a la geometría del talud.....	146
Tabla 39 Matriz de observaciones de las variables explicativas respecto a la geometría del talud (datos a reemplazar).....	147
Tabla 40 Matriz de observaciones de las variables explicativas respecto a la geometría del talud (datos reemplazados).....	147
Tabla 41 Comparación de pendiente estabilizada y pendiente proyectada del cálculo manual.....	149
Tabla 42 Análisis de varianza Anova mediante cálculo manual respecto a la geometría del talud.....	150
Tabla 43 Coeficientes de determinación y correlación correspondientes al cálculo manual de la geometría del talud.....	151
Tabla 44 Estadística de regresión correspondientes al cálculo de MS Excel mediante la herramienta “análisis de datos” respecto a la geometría del talud.....	151
Tabla 45 Análisis de varianza Anova de MS Excel respecto a la geometría del talud....	152
Tabla 46 Comparación de pendiente estabilizada y pendiente proyectada de MS Excel.....	153
Tabla 47 FS estabilizado con muro claveteado.....	160
Tabla 48 Variables para la regresión lineal respecto al factor de seguridad del talud	163

Tabla 49 Matriz de observaciones de las variables explicativas respecto al factor de seguridad del talud (datos a reemplazar).....	164
Tabla 50 Matriz de observaciones de las variables explicativas respecto al factor de seguridad del talud (datos reemplazados)	164
Tabla 51 Comparación de Factor de Seguridad estabilizado y Factor de Seguridad proyectado del cálculo manual.....	165
Tabla 52 Análisis de varianza Anova mediante cálculo manual respecto al factor de seguridad del talud	166
Tabla 53 Coeficientes de determinación y correlación correspondientes al cálculo manual del factor de seguridad del talud	167
Tabla 54 Estadística de regresión correspondientes al cálculo de MS Excel mediante la herramienta “análisis de datos” respecto al factor de seguridad del talud	167
Tabla 55 Análisis de varianza Anova de MS Excel respecto al factor de seguridad del talud	168
Tabla 56 Comparación de factor de seguridad estabilizado y factor de seguridad proyectado de MS Excel	169
Tabla 57 Pendiente estabilizada con material de préstamo	176
Tabla 58 Variables para la regresión lineal respecto a la geometría del terraplén	178
Tabla 59 Matriz de observaciones de las variables explicativas respecto a la geometría del terraplén (datos a reemplazar).....	178
Tabla 60 Matriz de observaciones de las variables explicativas respecto a la geometría del terraplén (datos reemplazados)	179
Tabla 61 Comparación de pendiente estabilizada y pendiente proyectada del cálculo manual.....	179
Tabla 62 Análisis de varianza Anova mediante cálculo manual respecto a la geometría del terraplén	180
Tabla 63 Coeficientes de determinación y correlación correspondientes al cálculo manual de la geometría del terraplén	181

Tabla 64 Estadística de regresión correspondientes al cálculo de MS Excel mediante la herramienta “análisis de datos” respecto a la geometría del terraplén	181
Tabla 65 Análisis de varianza Anova de MS Excel respecto a la geometría del terraplén	182
Tabla 66 Comparación de pendiente estabilizada y pendiente proyectada del talud de MS Excel.....	182
Tabla 67 FS estabilizado con material de préstamo	187
Tabla 68 Variables para la regresión lineal respecto al factor de seguridad del terraplén	189
Tabla 69 Matriz de observaciones de las variables explicativas respecto al factor de seguridad del terraplén (datos a reemplazar).....	189
Tabla 70 Matriz de observaciones de las variables explicativas respecto al factor de seguridad del terraplén (datos reemplazados)	190
Tabla 71 Comparación de Factor de Seguridad estabilizado y Factor de Seguridad del terraplén proyectado del cálculo manual.....	190
Tabla 72 Análisis de varianza Anova mediante cálculo manual respecto al factor de seguridad del terraplén	191
Tabla 73 Coeficientes de determinación y correlación correspondientes al cálculo manual del factor de seguridad del terraplén.....	192
Tabla 74 Estadística de regresión correspondientes al cálculo de MS Excel mediante la herramienta “análisis de datos” respecto al factor de seguridad del terraplén	192
Tabla 75 Análisis de varianza Anova de MS Excel respecto al factor de seguridad del terraplén	193
Tabla 76 Comparación de factor de seguridad estabilizado y factor de seguridad proyectado de MS Excel	193
Tabla 77 Geometría del talud/terraplén - pendiente.....	197
Tabla 78 Factor de Seguridad del talud/terraplén	198

Tabla 79 Estadística de regresión correspondientes al cálculo de MS Excel mediante la herramienta “análisis de datos” respecto a la geometría del talud	205
Tabla 80 Análisis de varianza Anova de MS Excel respecto a la geometría del talud....	205
Tabla 81 Estadística de regresión correspondientes al cálculo de MS Excel mediante la herramienta “análisis de datos” respecto a la geometría del terraplén	206
Tabla 82 Análisis de varianza Anova de MS Excel respecto a la geometría del terraplén	206
Tabla 83 Estadística de regresión correspondientes al cálculo de MS Excel mediante la herramienta “análisis de datos” respecto al factor de seguridad del talud	207
Tabla 84 Análisis de varianza Anova de MS Excel respecto al factor de seguridad del talud	207
Tabla 85 Estadística de regresión correspondientes al cálculo de MS Excel mediante la herramienta “análisis de datos” respecto al factor de seguridad del terraplén	208
Tabla 86 Análisis de varianza Anova de MS Excel respecto al factor de seguridad del terraplén	208

Índice de Figuras

Figura 1	Diagrama de plasticidad de Casagrande.....	48
Figura 2	Estados del suelo en función al contenido de humedad.....	49
Figura 3	Evolución de la tasa de infiltración	51
Figura 4	Esquema para la representación de un suelo	55
Figura 5	Nomenclatura de taludes y laderas	58
Figura 6	Cuadro de factores influyentes en la inestabilidad de un talud	59
Figura 7	Cuadro de tolerancias de los suelos para la construcción de terraplenes	60
Figura 8	Clasificación de los métodos de cálculo para el diseño de taludes.....	61
Figura 9	Cuadro de métodos de estabilización de taludes	66
Figura 10	Macro localización: Abancay – Apurímac	72
Figura 11	Micro localización: Urbanización San Luis.....	73
Figura 12	Poligonal de estudio.....	81
Figura 13	Seccionamiento de tramos y establecimiento de calicatas	82
Figura 14	Contenido de humedad vs Número de golpes C-1	83
Figura 15	Carta de plasticidad C-1.....	83
Figura 16	Clasificación AASHTO C-1.....	83
Figura 17	Curva de compactación C-1	84
Figura 18	CBR golpes vs penetración C-1	84
Figura 19	CBR vs densidad seca C-1	85
Figura 20	Contenido de humedad vs Número de golpes C-2.....	85
Figura 21	Carta de plasticidad C-2.....	86
Figura 22	Clasificación AASHTO C-2.....	86
Figura 23	Curva de compactación C-2.....	87
Figura 24	Contenido de humedad vs Número de golpes C-3.....	87
Figura 25	Carta de plasticidad C-3.....	88
Figura 26	Clasificación AASHTO C-3.....	88
Figura 27	Curva de compactación C-3.....	89

Figura 28	Contenido de humedad vs Número de golpes C-4	89
Figura 29	Carta de plasticidad C-4.....	90
Figura 30	Clasificación AASHTO C-4.....	90
Figura 31	Curva de compactación C-4.....	91
Figura 32	Contenido de humedad vs Número de golpes C-5.....	91
Figura 33	Carta de plasticidad C-5.....	92
Figura 34	Clasificación AASHTO C-5.....	92
Figura 35	Curva de compactación C-5.....	93
Figura 36	CBR golpes vs penetración C-5	93
Figura 37	CBR vs densidad seca C-5	94
Figura 38	Contenido de humedad vs Número de golpes C-6.....	94
Figura 39	Carta de plasticidad C-6.....	95
Figura 40	Clasificación AASHTO C-6.....	95
Figura 41	Curva de compactación C-6.....	96
Figura 42	Contenido de humedad vs Número de golpes C-7	96
Figura 43	Carta de plasticidad C-7.....	97
Figura 44	Clasificación AASHTO C-7.....	97
Figura 45	Curva de compactación C-7.....	98
Figura 46	Capacidad de infiltración C-1	99
Figura 47	Capacidad de infiltración C-2	100
Figura 48	Capacidad de infiltración C-3	100
Figura 49	Capacidad de infiltración C-4	101
Figura 50	Capacidad de infiltración C-5	102
Figura 51	Capacidad de infiltración C-6	102
Figura 52	Capacidad de infiltración C-7	103
Figura 53	Esquema típico para la representación de las calicatas	104
Figura 54	Curva esfuerzo deformación C-1.....	106
Figura 55	Curva esfuerzo deformación C-2.....	106

Figura 56 Curva esfuerzo deformación C-3.....	107
Figura 57 Curva esfuerzo deformación C-4.....	107
Figura 58 Curva esfuerzo deformación C-5.....	108
Figura 59 Curva esfuerzo deformación C-6.....	108
Figura 60 Curva esfuerzo deformación C-7.....	109
Figura 61 Gráfico de penetración SPT corregida C-2.....	111
Figura 62 Gráfico de penetración SPT corregida C-3.....	111
Figura 63 Gráfico de penetración SPT corregida C-4.....	112
Figura 64 Gráfico de penetración SPT corregida C-5.....	112
Figura 65 Gráfico de penetración SPT corregida C-6.....	113
Figura 66 Gráfico de penetración SPT corregida C-7.....	113
Figura 67 Contenido de humedad vs Número de golpes sub base	114
Figura 68 Carta de plasticidad sub base	115
Figura 69 Clasificación AASHTO sub base	115
Figura 70 Curva granulométrica sub base.....	115
Figura 71 Curva de compactación sub base	116
Figura 72 CBR golpes vs penetración sub base.....	116
Figura 73 CBR vs densidad seca sub base.....	117
Figura 74 Contenido de humedad vs Número de golpes base	117
Figura 75 Carta de plasticidad base.....	118
Figura 76 Clasificación AASHTO base.....	118
Figura 77 Curva granulométrica base	119
Figura 78 Curva de compactación base.....	119
Figura 79 CBR golpes vs penetración base	120
Figura 80 CBR vs densidad seca base	120
Figura 81 Importación de puntos del talud de la sección 2 del tramo 1	121
Figura 82 Visualización de los estratos en 3D del talud de la sección 2 del tramo 1	122
Figura 83 Asignación del tipo de suelo para el talud de la sección 2 del tramo 1	122

Figura 84 Verificación del FS en condiciones naturales del talud de la sección 2 del tramo 1	123
Figura 85 Asignación de material de muro claveteado del talud de la sección 2 del tramo 1	123
Figura 86 Verificación del FS /clavos L=14m /inclinación 10° /desplazamiento talud x=0 del talud de la sección 2 del tramo 1	124
Figura 87 Verificación del FS /clavos L=14m /inclinación 10° /desplazamiento talud x=-5 del talud de la sección 2 del tramo 1	124
Figura 88 Verificación del FS /clavos L=14m /inclinación 10° /desplazamiento talud x=-10 del talud de la sección 2 del tramo 1	125
Figura 89 Verificación del FS /clavos L=14m /inclinación 20° /desplazamiento talud x=0 del talud de la sección 2 del tramo 1	125
Figura 90 Verificación del FS /clavos L=14m /inclinación 20° /desplazamiento talud x=-5 del talud de la sección 2 del tramo 1	126
Figura 91 Verificación del FS /clavos L=14m /inclinación 20° /desplazamiento talud x=-10 del talud de la sección 2 del tramo 1	126
Figura 92 Verificación del FS /clavos L=14m /inclinación 30° /desplazamiento talud x=0 del talud de la sección 2 del tramo 1	127
Figura 93 Verificación del FS /clavos L=10m /inclinación 30° /desplazamiento talud x=-5 del talud de la sección 2 del tramo 1	127
Figura 94 Verificación del FS /clavos L=10m /inclinación 30° /desplazamiento talud x=-10 del talud de la sección 2 del tramo 1	128
Figura 95 Importación de puntos de la sección 1 del terraplén.....	137
Figura 96 Visualización 3D de los estratos de la sección 1 del terraplén.....	137
Figura 97 Creación del tipo de suelo de la sección 1 del terraplén.....	138
Figura 98 Parámetros de suelo de la sección 1 del terraplén	138
Figura 99 Verificación del FS en condiciones naturales de la sección 1 del terraplén ...	139
Figura 100 Asignación de la pendiente de la sección 1 del terraplén	139

Figura 101 Asignación de material de préstamo de la sección del terraplén	140
Figura 102 Gráfica de la varianza considerando un F crítico respecto a la geometría del talud.....	150
Figura 103 Curva de regresión ajustada del índice de plasticidad.....	153
Figura 104 Curva de regresión ajustada del Contenido de humedad	154
Figura 105 Curva de regresión ajustada del Coeficiente de permeabilidad	154
Figura 106 Curva de regresión ajustada de la Porosidad.....	155
Figura 107 Curva de regresión ajustada de la Densidad Natural	155
Figura 108 Curva de regresión ajustada del Ángulo de fricción.....	156
Figura 109 Curva de regresión ajustada de la Cohesión.....	156
Figura 110 Curva de regresión ajustada de la Capacidad de Carga	157
Figura 111 Curva de regresión ajustada de la Resistencia a la compresión.....	157
Figura 112 Curva de regresión ajustada del Asentamiento	158
Figura 113 Curva de regresión ajustada de la Altura natural.....	158
Figura 114 Curva de regresión ajustada de la Pendiente natural	159
Figura 115 Gráfico de probabilidad normal de la geometría.....	159
Figura 116 Gráfica de la varianza considerando un F crítico respecto al factor de seguridad del talud.....	166
Figura 117 Índice de plasticidad Curva de regresión ajustada del FS	169
Figura 118 Contenido de humedad Curva de regresión ajustada del FS.....	170
Figura 119 Coeficiente de permeabilidad Curva de regresión ajustada del FS.....	170
Figura 120 Porosidad Curva de regresión ajustada del FS	171
Figura 121 Densidad Natural Curva de regresión ajustada del FS.....	171
Figura 122 Ángulo de fricción Curva de regresión ajustada del FS	172
Figura 123 Cohesión Curva de regresión ajustada del FS	172
Figura 124 Capacidad de Carga Curva de regresión ajustada del FS.....	173
Figura 125 Resistencia a la compresión Curva de regresión ajustada del FS	173
Figura 126 Asentamiento Curva de regresión ajustada del FS.....	174

Figura 127 Pendiente natural Curva de regresión ajustada del FS.....	174
Figura 128 FS natural Curva de regresión ajustada	175
Figura 129 Gráfico de probabilidad normal del FS	175
Figura 130 Gráfica de la varianza considerando un F crítico respecto a la geometría del talud.....	180
Figura 131 Curva de regresión ajustada del índice de plasticidad.....	183
Figura 132 Curva de regresión ajustada del Contenido de humedad	183
Figura 133 Curva de regresión ajustada del Coeficiente de permeabilidad	183
Figura 134 Curva de regresión ajustada de la Porosidad	184
Figura 135 Curva de regresión ajustada de la Densidad Natural	184
Figura 136 Curva de regresión ajustada del Ángulo de fricción.....	184
Figura 137 Curva de regresión ajustada de la Cohesión.....	185
Figura 138 Curva de regresión ajustada de la Resistencia a la compresión.....	185
Figura 139 Curva de regresión ajustada de la Altura natural.....	185
Figura 140 Curva de regresión ajustada de la Pendiente natural	186
Figura 141 Gráfico de probabilidad normal de la geometría del terraplén	186
Figura 142 Gráfica de la varianza considerando un F crítico respecto al factor de seguridad del terraplén.....	191
Figura 143 Índice de plasticidad Curva de regresión ajustada del FS	194
Figura 144 Contenido de humedad Curva de regresión ajustada del FS.....	194
Figura 145 Coeficiente de permeabilidad Curva de regresión ajustada del FS.....	194
Figura 146 Porosidad Curva de regresión ajustada del FS	195
Figura 147 Densidad Natural Curva de regresión ajustada del FS.....	195
Figura 148 Ángulo de fricción Curva de regresión ajustada del FS	195
Figura 149 Cohesión Curva de regresión ajustada del FS	196
Figura 150 Resistencia a la compresión Curva de regresión ajustada del FS	196
Figura 151 Pendiente natural Curva de regresión ajustada del FS.....	196
Figura 152 FS natural Curva de regresión ajustada	197

Figura 153 Gráfico de probabilidad normal del FS197

Índice de Anexos

Anexo 1 :Matriz de consistencia

Anexo 2 :Matriz de operacionalización de variables

Anexo 3 :Cuestionario

Anexo 4 :Informe fotogramétrico

Anexo 5 :Informe de estudio de suelos y laboratorio

Anexo 6 :Informe de modelamiento en software GEO5

Anexo 7 :Validación de instrumentos

Anexo 8 :Certificado de calibración de equipos

I. Introducción

El diseño y construcción de infraestructura geotécnica, tal como terraplenes y taludes, es fundamental en la ingeniería civil, particularmente en zonas susceptibles a fenómenos geodinámicos y climáticos. La urbanización San Luis, en Abancay, es un escenario de relevancia donde los procesos geotécnicos del subsuelo, influenciados por la presencia de suelos finos, plantean desafíos significativos para el desarrollo y sostenibilidad de infraestructuras. En este contexto, la interacción entre las características físicas y mecánicas de los suelos y la estabilidad estructural de las construcciones es de crítica importancia.

Con el propósito de aportar al campo de la ingeniería geotécnica y brindar herramientas para mejorar el diseño de dichas estructuras, esta investigación se centra en el análisis correlacional entre las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos para la optimización de terraplenes y taludes en la mencionada urbanización durante el año 2023. Este estudio pretende no solo fundamentar teóricamente las interacciones entre las variables del suelo y la estabilidad de las estructuras sino también proporcionar un marco práctico para la aplicación de técnicas y materiales más adecuados en la construcción de infraestructura civil. Al hacerlo, abordamos la problemática de los deslizamientos, los asentamientos inesperados y la amenaza a la seguridad estructural, cuestiones que han adquirido particular urgencia en la urbanización San Luis.

La metodología adoptada incluye la definición y operacionalización de variables, análisis de regresión múltiple y la utilización de software estadístico y geotécnico avanzado, asegurando un abordaje riguroso y detallado de la problemática. Así, esta investigación se presenta como una contribución valiosa y necesaria al desarrollo sostenible de Abancay, proporcionando conocimientos aplicables y directrices para una ingeniería civil más resiliente y adaptada a las condiciones locales del suelo.

En los capítulos siguientes, delineamos el planteamiento del problema, los objetivos, la metodología adoptada, los resultados obtenidos y las conclusiones,

recomendaciones clave de este estudio, sentando las bases para futuras investigaciones y prácticas en el campo de la ingeniería geotécnica.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

2.1.1. Descripción de la realidad problemática

En la actualidad probablemente la mayoría de las complicaciones asociadas al diseño y a la estabilidad en obras viales (taludes, terraplenes), están vinculadas con un incorrecto deslinde de las distintas variantes que abordan este problema, pues los taludes al ser estructuras muy complejas ofrecen diversos enfoques dignos de estudio. Mesa et al. (2020), señala la importancia de estimar el comportamiento del suelo, realizar una adecuada consideración y tener un profundo entendimiento de las propiedades físico-mecánicas de aquellos suelos que en particular suponen un desafío ingenieril a la hora de encarar cualquier proyecto, debido a que por su estructura, composición y antecedentes geológicos, eventualmente llegan a ocasionar efectos adversos tales como colapsos, deslizamientos, asentamientos inesperados y amenazas significativas, tal es el caso de los suelos que poseen altos porcentajes de finos.

Son diversos los factores por los cuales puede fallar un talud; la construcción de viviendas en los taludes, el inadecuado uso del suelo, el incremento constante de la población, constituye una preocupación en varias partes del mundo. Montero (2017), reconoce a Colombia como uno de los países con mayor historial de antecedentes históricos de deslizamientos, reportándose desde el año 1921 a 2021 más de 12552 eventos, donde el 90% de ellos se presentaron con mayor frecuencia, magnitud y repercusión en las regiones de Antioquía, Nariño, Tolima y Caídas, ocasionando daños a viviendas, infraestructura vial, pérdidas económicas y un gran número de personas afectadas. Por otro lado, Severino (2015), menciona que República Dominicana es un país cuyas características geomorfológicas, geológicas, hidro climatológicas lo hacen propenso a sufrir movimientos de masa (deslizamientos), sin embargo, en la actualidad la ocurrencia de estos eventos aumentó debido a la expansión urbana poco planificada sobre taludes y

terraplenes susceptibles a estos procesos, debido a que están expuestos a las malas condiciones de drenaje, infiltración de agua y pérdida de las propiedades del suelo.

Mientras que a nivel nacional, el Perú también presenta esta problemática que afecta de modo considerable a varias partes del país, en la región de la Libertad, en la provincia de Patate, el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI, 2022) registró un deslizamiento del talud en el cerro retamas, en el que se estableció que el detonante principal fueron las lluvias, además, los estudios evidenciaron la presencia de material arcilloso en el lugar, como consecuencia hubo pérdidas numerosas e irreparables (8 personas fallecidas, 45 damnificadas, 14 viviendas destruidas y 13 viviendas afectadas). Otro acontecimiento de este tipo se suscitó en la región de Puno, en el distrito de Cuyocuyo, Alfaro et al. (2022) presentaron un estudio de caso en el que evidenciaron el peligro constante al que están expuestos los habitantes de este sector, debido a los continuos deslizamientos que tienen lugar en el talud, los autores registraron un inadecuado grado de inclinación del talud, la variabilidad del tipo de suelo, y las intensas lluvias como principales factores que influyen en la ocurrencia de este tipo de eventos.

En cuanto al ámbito local, la provincia de Abancay, perteneciente al departamento de Apurímac, cuenta con un amplio historial de emergencias debido a fenómenos geodinámicos y climáticos que en los últimos años ha ido en aumento debido al crecimiento poblacional y a la ocupación de nuevas áreas para vivienda y cultivo sin tomar en cuenta las características geodinámicas, climáticas y topográficas de la zona. Ante esta situación, es evidente que las principales amenazas que afectan a los diferentes sectores de la ciudad están relacionadas con el comportamiento geotécnico de los suelos, el agua, con sus diferentes formas de influir en las propiedades del suelo y la topografía también juegan un papel importante en la aparición de fenómenos tales como deslizamientos y erosión del terreno. (Fernandez et al, 2007)

La zona de estudio corresponde a la urbanización San Luis, que forma parte del distrito de Abancay, misma que ha sido identificada como una de las áreas de riesgo, en el año 2007 el Instituto Nacional de Defensa Civil presentó un informe técnico en el que

identificó el lugar como uno de las más propensos a sufrir deslizamientos, en la década de los 90 tras el movimiento de masas ocurrido en la zona de Moyocorral, Fonavi, Limapata, San Luis se reconoció la presencia del fenómeno de reptación de suelos (movimiento gradual y lento en el terreno). Además, INDECI, reportó a lo largo de estos años varios deslizamientos algunos solo de bloques de tierra y otros de tierra y lodo, en el año 2003 (01 vivienda con daños severos, 04 personas afectadas), 2008 (02 viviendas colapsadas, 09 personas afectadas), 2013 (daños considerables a las viviendas, obstrucción de las vías de acceso, 1500 personas afectadas).

2.1.2. Formulación del problema de investigación

2.1.2.1. Problema General

¿Cuál es la relación existente entre las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos para su aplicación en el diseño de terraplenes y taludes en la Urbanización San Luis, Abancay – 2023?

2.1.2.2. Problemas Específicos

¿Cuál es la relación existente entre las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos con la geometría del diseño de terraplenes y taludes en la Urbanización San Luis, Abancay – 2023?

¿Cuál es la relación existente entre las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos con la estabilidad de diseño de terraplenes y taludes en la Urbanización San Luis, Abancay – 2023?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

Analizar la relación existente entre las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos para su aplicación en el diseño de terraplenes y taludes en la Urbanización San Luis, Abancay - 2023.

2.2.2. Objetivos Específicos

Calcular la relación existente entre las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos con la geometría del diseño de terraplenes y taludes en la Urbanización San Luis, Abancay - 2023.

Estimar la relación existente entre las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos con la estabilidad del diseño de terraplenes y taludes en la Urbanización San Luis, Abancay - 2023.

2.3. Justificación e importancia

La justificación teórica de este estudio radica en la necesidad de comprender y analizar la relación existente entre las propiedades de los suelos finos, consistencia del suelo, capacidad de drenaje, la distribución de porosidad, la densidad, y el diseño de terraplenes y taludes. A través de un enfoque teórico sólido, se busca ampliar el conocimiento en el campo de la ingeniería geotécnica y fortalecer los fundamentos científicos que respaldan las decisiones de diseño y construcción de vías en relación con los suelos finos. La investigación teórica permitirá identificar las relaciones cuantitativas y cualitativas entre estas propiedades y los aspectos clave del diseño de terraplenes y taludes, proporcionando una base sólida para el desarrollo de directrices y prácticas de ingeniería más efectivas.

Desde un punto de vista práctico, esta investigación busca abordar los desafíos reales que se presentan en el diseño de terraplenes y taludes. La aplicación de los resultados de este estudio permitirá mejorar la calidad y la seguridad de las infraestructuras en Abancay y otras regiones similares, al proporcionar criterios más precisos y confiables para el diseño de terraplenes y taludes en suelos finos. Al considerar adecuadamente las propiedades de los suelos finos, se podrán evitar problemas como deslizamientos, asentamientos inesperados y daños a la infraestructura, reduciendo los costos de mantenimiento y prolongando la vida útil de las estructuras.

El aspecto social de esta investigación se centra en su contribución al bienestar de la sociedad. Las infraestructuras diseñadas y construidas de manera adecuada desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de la Urbanización San Luis. Al comprender mejor la relación entre las propiedades de los suelos finos y el diseño de terraplenes y taludes, se fomenta la construcción de infraestructuras más seguras y confiables, lo que, a su vez, garantiza la protección de las vidas y los bienes de la población. Además, la utilización eficiente de los recursos y la reducción de los costos de mantenimiento asociados con problemas geotécnicos contribuirán a optimizar la inversión en infraestructuras, permitiendo una asignación más efectiva de los recursos públicos.

Metodológicamente, la combinación de técnicas de muestreo adecuadas, pruebas de laboratorio precisas y análisis estadísticos robustos permitió obtener resultados confiables y representativos de las propiedades de los suelos finos. Al utilizar una metodología sólida, se garantizó la validez y la confiabilidad de los resultados, lo que a su vez ayudó a fortalecer la base científica de la investigación y su capacidad para generar conclusiones y recomendaciones pertinentes para el diseño de terraplenes y taludes.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos poseen una correlación con el diseño de terraplenes y taludes en la Urbanización San Luis, Abancay - 2023.

2.4.2. Hipótesis específicas

Las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos poseen una correlación con la geometría del diseño de terraplenes y taludes en la Urbanización San Luis, Abancay - 2023.

Las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos poseen una correlación con la estabilidad del diseño de terraplenes y taludes en la Urbanización San Luis, Abancay - 2023.

2.5. Variables

Se determinó como variable independiente a: “Propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos”, el cual se analizó mediante las dimensiones “consistencia del suelo” “Capacidad de drenaje”, “Distribución de porosidad”, “Densidad”, “Capacidad de soporte” y “Asentamientos”.

La variable dependiente es aquella que se ve afectada cuando se va variando la variable independiente, con lo cual el “Diseño de terraplenes y taludes” fue variando en cuanto a su geometría y estabilidad.

Variable Independiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos de medición	Escalas de medición
Propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos	Se refieren a las propiedades y atributos que distinguen a este tipo de suelo en particular. Los suelos finos están compuestos principalmente por partículas de tamaño reducido, como arcilla y limo, y presentan características distintivas debido a su composición y comportamiento. (Bowles, 1982)	Se analizará las características de los suelos finos, los cuales son: Consistencia del suelo, capacidad de drenaje, distribución de porosidad y densidad para identificar las condiciones del suelo fino y hallar una correlación entre estas y sea aplicable a la optimización del diseño de taludes y terraplenes.	D1: Consistencia del suelo D2: Capacidad de drenaje D3: Distribución de porosidad D4: Densidad D5: Capacidad de soporte D6: Nivel de asentamiento	I1: Índice de Plasticidad del suelo I2: Contenido de Humedad I1: Coeficiente de Permeabilidad del suelo (k) I1: Porosidad total del suelo I1: Densidad natural del suelo I2: Densidad seca del suelo I3: Densidad húmeda del suelo I1: Capacidad de carga del suelo I2: Resistencia a la compresión del suelo I1: Asentamiento	Límites de Atterberg Método Gravimétrico Método de Porchet (MP) Relaciones gravimétricas y volumétricas del suelo Ensayo de cono de arena Ensayo de cono de arena Ensayo de cono de arena EMS /Ensayo de DPL Ensayo de Compresión no Confinada Ecuación de asentamientos elásticos/modulo Edométrico	% % m/s % gr/cm ³ gr/cm ³ gr/cm ³ tn/m ² kN/m ² cm
Variable Dependiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos de medición	Escalas de medición
Diseño de terraplenes y taludes	El diseño de taludes y terraplenes se enfoca en determinar las inclinaciones y geometría adecuadas para garantizar la estabilidad de estructuras. Se consideran factores geológicos para establecer las relaciones de inclinación entre la superficie de la pendiente y la altura del terraplén o el corte del talud. (Suarez, 1998)	Se desarrollará el análisis de la correlación de las características de los suelos finos con aspectos claves del diseño de terraplenes y taludes como son la geometría y la estabilidad.	D1: Geometría del diseño D2: Estabilidad del diseño	I1: Altura del terraplén/talud I2: Pendiente del terraplén/talud I1: Ángulo de fricción I2: Cohesión I3: Factor de seguridad	Levantamiento topográfico Levantamiento topográfico Ensayo de DPL EMS/ Resistencia a la compresión no confinada Método de Bishop Método de Spencer Método de Jambú	m % ° kPa/m ² Adimensional

III. Marco teórico

3.1. Antecedentes

Un primer antecedente a nivel internacional corresponde a Calderón (2023), en su estudio desarrollado en la Parroquia Chillogallo, Provincia de Pichincha, Quito – Ecuador, evaluó el diseño más óptimo encaminado a la estabilización de un talud, la investigación está enmarcada en un estudio descriptivo-explicativo, cuya técnica empleada fue la observación, empleando además las fichas técnicas como instrumento. La metodología consistió en realizar la evaluación e identificación integral de los problemas presentes en la zona de intervención, un análisis geotécnico con el que se determinó la predominancia de material limo-arenoso, datos que fueron necesarios para poder analizar el talud en el software Geo5. Los resultados indican un FS de 0.47, ante este resultado desfavorable el autor estableció en el diseño 2 sistemas de estabilización (muro anclado y claveteado), con los cuales se tuvo en promedio un factor de seguridad de 2.02. Como conclusión en el estudio se definió que el muro claveteado resulta ser la mejor opción en función a las ventajas que posee.

Briceño et al.(2022), quienes desarrollaron una investigación en el Municipio de Mérida, Venezuela; a fin de establecer la localización y profundidad de una grieta en taludes con presencia de material fino empleando el software Plaxis, el cual analiza la estabilidad del talud o terraplén a partir del factor de seguridad, así mismo, además de incluir en la simulación los factores geométricos (inclinación y altura), la cohesión, ángulo de fricción interna, peso unitario y módulo de elasticidad del suelo, vieron la importancia de incluir las grietas a tracción en el análisis de estabilidad puesto que es a través de ellas por donde ingresa el agua generando fuerzas de tensión que son responsables de la falla en la estructura. Tras el análisis realizado, concluyeron que cuanto más grande es la inclinación de la cara del talud, aumenta la profundidad de la grieta de tracción, por lo que también disminuirá el factor de seguridad haciendo que la pendiente sea más inestable ante la presencia de grietas. Así mismo los resultados señalan a la altura e inclinación como

aspectos decisivos para obtener la ubicación y la profundidad de una grieta en un talud sin haberlas fijado con anticipación.

Mesa et al. (2021) en su artículo desarrollado en la ciudad de México, buscaron determinar el factor de seguridad en taludes de terraplenes carreteros, el estudio es de tipo experimental, cuya metodología consistió en caracterizar las propiedades físicas y mecánicas de la zona, incluyendo sismos sintéticos y variaciones de la altura del terraplén y de la intensidad sísmica con un cambio en 3 niveles, a una altura de 6m para una sismicidad baja, para una altura de 12m una sismicidad media, para una altura de 18 m con una sismicidad alta, escogieron el método de elementos finitos y el de Newmark para la obtención de los resultados a partir de la simulación en el software Geo Studio, para conocer el comportamiento del factor de seguridad en ciertos intervalos de tiempo a partir de la simulación de fuerzas sísmicas. Los autores concluyen sus resultados en base a lo establecido en la normativa mexicana que considera un FS igual a 1.5 en estructuras como terraplenes; para tal caso según los resultados obtenidos durante un evento sísmico se permite que el FS baje a 1, una vez terminado el evento deberá ser igual o mayor a 1 y ante la existencia de terraplenes de más de 12 m de altura se debe evaluar la sismicidad de la zona.

Hernández et al. (2019) su investigación realizada en la ciudad Huasca de Ocampo, Hidalgo, México, tuvo como objetivo identificar los factores topográficos y propiedades geomecánicas más influyentes del suelo, los cuales son responsables del avance lateral de los taludes, para lo cual emplearon técnicas de análisis estadístico como el análisis de regresión múltiple y el análisis de componentes principales. El muestreo fue realizado en 30 puntos sobre los taludes, con los ensayos efectuados se obtuvo un suelo limo-arcilloso y valores para la densidad aparente, la textura, la resistencia a la penetración, la conductividad hidráulica y límites de Atterberg. Los resultados obtenidos a través del software R studio y Minitab Inc, indican una variación de 0.04 a 0.17 m por año en el avance lateral. Se concluyó que las variables con mayor importancia son la pendiente, la curvatura

y la altura del terreno, así mismo que los suelos con contenido de arcillas y limos tienden a ser más inestables y a ser los causantes de las grietas en los taludes ocasionando su desprendimiento.

Mesa y Tejeda (2018), quienes en su estudio llevado a cabo en La Habana, Cuba, buscaron realizar un diseño eficiente y seguro para taludes en terraplenes, el diseño de investigación es experimental de corte cuantitativo. La metodología empleada parte de un análisis exhaustivo del suelo, estableciendo además el grado de saturación, resistencia y perfil del talud. En este estudio se evaluaron 3 diseños con variaciones en la altura y pendiente del talud, el primero considera terraplenes < 6m de altura y el segundo de 7m a 12m y por último terraplenes de 13m a 18m cada una con pendientes de 2:1 y 1,5:1 respectivamente. Así mismo para el cálculo del factor de seguridad se emplearon los métodos de Equilibrio límite (Bishop, Fellenius, M-price, Janbú) y elementos finitos. Los resultados indican que el factor de seguridad disminuirá siempre que aumente la pendiente, se concluye también que los valores del factor de seguridad se encuentran dentro de los límites aceptables cuando los terraplenes son de alturas pequeñas, considerando que para terraplenes carreteros la normativa indica que el factor de seguridad admisible es de 1.5.

En investigaciones realizadas a nivel nacional, se encontró a Nuñez (2023), quien en su estudio desarrollado en la provincia de Huancayo, Anexo de Saños Chaupi, en la cantera de arcilla Inay; buscó determinar la influencia del nivel de saturación de suelos finos en la estabilidad de taludes. La investigación es del tipo aplicado, con un enfoque cuantitativo y diseño cuasiexperimental. La muestra son los suelos finos, para el tamaño muestral se consideraron 3 puntos de análisis en el talud. Los instrumentos empleados para la toma de datos fueron las fichas recolección empleados para registrar datos de ensayos como el contenido de humedad, la densidad, cohesión, el ángulo de fricción interna del suelo frente al grado de saturación. El método empleado para determinar el factor de seguridad fue el del Equilibrio Límite y el análisis de estabilidad fue realizado por medio del software SLIDE. Como resultado se obtuvo un grado de saturación del 94%, con

un contenido de humedad del 15%, dichos porcentajes hacen que el talud sea inestable. Así mismo se pudo ver que el FS disminuye e incrementa conforme lo hace el grado de saturación siendo el cambio de 1.67 a 0.36 y de 1.18 a 0.25. Se concluye que el FS y los parámetros de resistencia al corte se comportan de manera similar.

Quispe y Pumayalli (2022), quienes realizaron la investigación en el talud ubicado en la quebrada Ayahuayco, Departamento de Cusco, cuyo objetivo fue analizar la influencia que poseen las características topográficas y las propiedades físico-mecánicas del suelo en relación al factor de seguridad. El estudio presenta un enfoque cuantitativo, es de nivel descriptivo, enmarcada en el método hipotético-deductivo. El tamaño de la muestra está representado por 3 secciones ubicadas en el talud. La metodología empleada para hallar el factor de seguridad se basó en el uso de los métodos de Fellenius, Bishop y Janbu Simplificados y para establecer los valores de las propiedades del suelo se hizo uso de diferentes ensayos en laboratorio para luego ser procesados en el software SLIDE. Como resultado del estudio se obtuvo que el FS en los 3 cortes seleccionados fueron de 1.009, 1.105 y 1.025 por lo que el talud se considera moderadamente estable, por otro lado, se manifiesta la existencia de una relación directa entre estos FS en función a la variación de cada parámetro evaluado. Los autores concluyeron también que la infiltración no tiene influencia en cuanto al modelamiento realizado empleando el software SLIDE.

Alvino y Velázquez (2021), en su trabajo de investigación desarrollado en el tramo de la carretera interoceánica sur desde Azángaro hasta el puente Inambari, Región Puno, se propuso la estabilidad del talud a partir de banquetas y haciendo uso de la técnica de Soil nailing. El estudio es de tipo descriptivo, contempla un diseño no experimental. El análisis del talud fue realizado mediante el software Slide 6.0, en donde se insertaron los parámetros de resistencia como el tipo de suelo (aluvial y suelo de cobertura), cohesión, peso específico, ángulo de rozamiento, además de aspectos topográficos y climatológicos. A partir de los resultados obtenidos luego del análisis estático y pseudoestático de los taludes por medio del método de corte convencional en banquetas y la técnica soil nailing

se concluye, que para el primero es difícil lograr la estabilidad pues requiere de muchas iteraciones, en el caso de este análisis solo cumplió para inclinaciones de 1H:2V y 1H:1V, estableciéndose que para una inclinación de 1H:5V no satisface la estabilidad de la estructura, lo que no sucede con el segundo método, el cual si cumple ampliamente con el factor de seguridad adecuado en todas las progresivas con las inclinaciones propuestas.

Ventocilla (2018), en su tesis desarrollada en el Cerro La Campana - Ruta al terminal Portuario de Puerto Eten, Departamento de Lambayeque, propuso el estudio e identificación de las propiedades del suelo para la estabilidad de taludes. El tipo de investigación es cuantitativo con un diseño cuasiexperimental. La población es representada por los taludes de la zona de estudio, se obtuvo un total de 24 unidades muestrales. Se aplicó la técnica de observación y la recolección de datos por medio de entrevistas. La metodología empleada contempló la caracterización del suelo (análisis granulométrico), revelándose la presencia de limo y arenas, así mismo el autor empleó el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2018 para determinar las relaciones de inclinación adecuadas para este tipo de material, los datos obtenidos fueron procesados en el software Slide con el método de Bishop. Los resultados del análisis de estabilidad arrojan un FS menor a 1, por lo que el autor determina una relación de inclinación del talud de 2:1 y el revestimiento de los taludes con concreto Shotcrete como medida adicional para garantizar la seguridad de los taludes.

Bustamante y García (2018), efectuaron un estudio en la quebrada de Sipaspucyo, Departamento de Cusco, con el objetivo de evaluar la influencia de factores clave como la topografía, la infiltración, las propiedades mecánicas de los suelos con el factor de seguridad en el talud. El estudio tiene un enfoque cuantitativo, con un alcance descriptivo-correlacional y un diseño no experimental; la población está conformada por todas las características estudiadas de los suelos, se tuvieron 6 puntos de muestreo. Además, para el recojo de información del EMS realizado se emplearon fichas técnicas. Asimismo, para realizar el modelamiento por medio del Software Geo Slope se seccionó el talud en 3 cortes

conforme al plano de falla, dando como resultados factores de seguridad de 1.41, 1.28 y 1.05, los cuales se encuentran por debajo del FS satisfactorio, lo cual demuestra la inestabilidad del talud evaluando. Se concluye que los factores topográficos (pendiente), infiltración y propiedades mecánicas del suelo (cohesión y ángulo de fricción) tienen relación directa con la variación del factor de seguridad. Adicionalmente como parte integral de su investigación los autores presentaron una solución para estabilizar el talud, la cual involucra la implementación de muros de contención hechos de gaviones.

En el ámbito local, en la provincia de Abancay, Departamento de Apurímac, Maldonado (2021), desarrolló un trabajo de investigación que tuvo como objetivo establecer las áreas de riesgo por deslizamientos de laderas. El estudio efectuado es de tipo aplicado-exploratorio. La metodología empleada consistió en una combinación de cálculos estadísticos y determinísticos, para la evaluación de la estabilidad de taludes y obtener áreas de mayor susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos se empleó el programa SINMAP, para lo cual fue necesario conocer los parámetros geotécnicos, hidráulicos y climáticos, para tal fin se utilizó un SIG (sistema de información geográfica). Los resultados de la simulación fueron obtenidos en 8 regiones describiéndose los deslizamientos de tierra por falla de taludes, se obtuvo un 70,69% de los deslizamientos de tierra, de un total de 58 deslizamientos registrados en zonas categorizadas como inestables. Se concluyó que la simulación tuvo una fiabilidad de 96.7%, calculada por medio del análisis de la curva ROC.

López (2018), en su tesis realizó la evaluación del coeficiente de permeabilidad y la implicancia que tiene esta característica del suelo en los diseños de presas en la región andina de Cusco y Apurímac. La muestra en este estudio está representada por 150 ensayos de permeabilidad realizados con el ensayo Lefranc. La investigación es del tipo aplicada, presenta un nivel descriptivo- explicativo-correlacional. La metodología se basó en la realización de pruebas de permeabilidad y análisis de datos geotécnicos para determinar el coeficiente de permeabilidad efectivo de los depósitos cuaternarios. Los resultados indican que el coeficiente de permeabilidad es un factor importante en el del

diseño de una presa, los suelos catalogados en este estudio presentan un alto contenido de material limo-arcilloso los cuales tienden a tener una permeabilidad mediana a alta, por lo que al tener en cuenta esta variable en el diseño se evita el riesgo de un colapso o de filtraciones que afectan las condiciones de estabilidad de los taludes de la presa, además de que en función al tipo de suelo se considerará el riesgo de estanqueidad de la presa garantizando su seguridad.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Suelos

La ingeniería de suelos es una disciplina de la ingeniería civil que se centra en el análisis del suelo y su comportamiento. (Regal, 2007). La realización de un estudio de suelos es esencial para comprender las características físicas y geológicas del suelo, desde su secuencia litológica hasta sus propiedades mecánicas, tanto del suelo como de las rocas asociadas. (Campos, 2019). Los ingenieros civiles trabajan en colaboración con otros profesionales y autoridades a nivel nacional o local para planificar y diseñar proyectos de construcción, donde el tipo de suelo y su ubicación tienen un impacto significativo en las decisiones constructivas. (Markovich, 2022)

Por otro lado, la ingeniería geotécnica es un campo dentro de la ingeniería civil que se centra en el estudio del comportamiento del suelo bajo cargas y fuerzas externas. Los ingenieros geotécnicos llevan a cabo investigaciones exhaustivas del suelo antes de la construcción de cualquier estructura, con el objetivo de prevenir fallos en los cimientos. Los resultados de estas investigaciones son necesarios para conocer las características y la capacidad del suelo a fin de proporcionarle una base estable. Además, los ingenieros geotécnicos evalúan las condiciones y los materiales del suelo para identificar posibles riesgos y peligros, y desarrollar soluciones prácticas para abordar estos problemas. (Jaduarate, 2023)

3.2.1.1. Tipos de suelos

Los suelos presentan una composición compleja, debido al tamaño de partículas, textura, características físicas y químicas, González (2002) distingue la clasificación de suelos en cuatro grupos:

- Suelos arenosos: Estos suelos están compuestos principalmente por partículas de arena y tienen una baja capacidad de retener agua, presentan una granulometría favorable, y su conformación las hace estables ante fluctuaciones de temperatura y humedad, son susceptibles a la erosión.
- Suelos arcillosos: Poseen una alta capacidad para retener agua, son suelos considerados problemáticos para las construcciones, debido a que tienden a contraerse y expandirse en función a las variaciones de humedad.
- Suelos limosos: su granulometría comprende partículas de arena fina y arcilla, permite el paso del agua con gran facilidad y poseen una baja plasticidad
- Suelos gravosos: Tienen una nula capacidad de retención de agua, compuestos por rocas y fragmentos de rocas de gran y variado tamaño.

3.2.1.2. Sistemas de clasificación de suelos

En la actualidad los suelos pueden ser clasificados en función a sus propiedades por medio de 2 sistemas, Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) y el Sistema de clasificación de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), el primero se usa en la mayoría de los trabajos de ingeniería y el segundo es utilizado ampliamente en proyectos de carreteras y terraplenes.

Das (2012) resume en la Tabla 1 los límites de los tipos de suelos para los 2 sistemas de clasificación, esto en función al tamaño de las partículas.

Tabla 1*Límites del tamaño de suelos según sistemas de clasificación*

Sistema de clasificación	Tamaño del grano (mm)
Unificado	Grava: 75 mm a 4.75 mm
	Arena: 4.75 mm a 0.075 mm
	Limo y arcilla (finos): < 0.075 mm
AASHTO	Grava: 75 mm a 2 mm
	Arena: 2 mm a 0.05 mm
	Limo: 0.05 mm a 0.002 mm
	Arcilla: < 0.002 mm

Nota. Tomado de *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*, por B.M. Das, 2012, p.5.

a) Suelos según SUCS

González (2002) y Huanca (2010), mencionan que de acuerdo a la clasificación SUCS, los suelos se dividen en dos grupos principales: Suelos de grano grueso y suelos de grano fino. Los suelos de grano grueso son aquellos con más del 50% del material retenido en el tamiz N°200 y se sub clasifican como gravas y arenas mediante el uso del tamiz N°4. Por otro lado, los suelos finos son aquellos cuyo porcentaje que pasa por el tamiz N°200 es mayor al 50% se sub clasifican como arcillas y limos mediante el uso de los límites de consistencia.

Por su parte Bowles (1982), enfatiza que los suelos de grano fino se subdividen en limos inorgánicos (M), arcillas inorgánicas (C) y limos y arcillas orgánicas (O). La división de estos grupos depende de su límite líquido, cuyo valor referencial es de LL=50%. En la Tabla 2 se distinguen los suelos divididos en sub grupos, dándoles prefijos y sufijos que hacen referencia a los tipos de suelos y a las subdivisiones entre grupos respectivamente.

Tabla 2*Divisiones de grupo*

Tipo de suelo	Prefijo	Sub grupo	Sufijo
Grava	G	Bien gradado	W
Arena	S	Pobremente gradado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	$w_L < 50$ por ciento (Baja compresibilidad)	L
Turba	Pt	$w_L > 50$ por ciento (Alta compresibilidad)	H

Nota. Adaptado de *Propiedades Geofísicas de los Suelos*, por J.E. Bowles, 1982, p.82, MCGRAW-HILL.

Es importante destacar que existen otros sistemas de clasificación de suelos que se basan en diferentes propiedades del suelo, como la plasticidad y la compresibilidad. Sin embargo, la clasificación SUCS es uno de los sistemas más confiables utilizados en la ingeniería civil y la mecánica de suelos. (Gavidia, 2020)

a) Suelos según AASHTO

La clasificación de suelos según la AASHTO se fundamenta en la textura, la plasticidad y la resistencia de los suelos, al igual que el sistema SUCS emplea la granulometría como un medio de clasificación. Los suelos se agrupan en ocho categorías principales, que van desde A-1 hasta A-8, cada categoría se subdivide en diversos subgrupos, son suelos gruesos los que pertenecen al grupo (A-1, A-2 y A-3) y suelos finos los que son parte del grupo (A-4 al A-7). Los suelos con alto contenido orgánico se encuentran en el grupo A-8. (Bowles, 1982)

- Grupo A-1: Suelos con características granulares, como gravas y arenas, que tienen poco o ningún contenido de finos.
- Grupo A-2: Suelos con características granulares y un contenido bajo a moderado de finos.
- Grupo A-3: Suelos con características granulares y un contenido alto de finos.

- Grupo A-4: Suelos con características cohesivas y un contenido bajo a moderado de finos.
- Grupo A-5: Suelos con características cohesivas y un contenido alto de finos.
- Grupo A-6: Suelos altamente plásticos y con un contenido bajo a moderado de finos.
- Grupo A-7: Suelos altamente plásticos y con un contenido alto de finos.
- Grupo A-8: Suelos orgánicos con un contenido bajo a moderado de finos.

Es importante destacar que la clasificación AASHTO se enfoca en la capacidad del suelo para soportar cargas y la compactación del suelo.

3.2.1.3. Propiedades físico - mecánicas de suelos

El material de fundación (suelo), es el componente decisivo cuando se proyecta cualquier tipo de estructura, ya que sus propiedades mostradas en la Tabla 3, le confieren a este la resistencia, siendo el factor determinante para su estabilidad, por lo que el conocimiento del estado real del suelo a partir de la realización de diferentes ensayos será fundamental para tener una idea de su comportamiento. (Leoni, 2015)

Tabla 3

Propiedades físicas y mecánicas de los suelos

Propiedades de los suelos	
Propiedades Físicas	Propiedades mecánicas
Textura, color, composición de partículas, variabilidad en su tamaño, humedad, consistencia (plasticidad), densidad, porosidad, permeabilidad. (Bowles,1982)	Granulometría, resistencia al corte (ángulo de fricción y cohesión), deformabilidad. (Suarez, 1998)

Nota. Elaborado a partir de *Propiedades Geofísicas de los Suelos*, por J.E. Bowles, 1982, MCGRAW-HILL y *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*, por J. Suarez,1998.

a) Consistencia del suelo

Bowles (1982), señala que la consistencia del suelo es la firmeza y resistencia con la que se unen los materiales que lo conforman, puede ser expresada a partir del contenido de humedad del suelo, el cual puede medirse por medio de ensayos con el suelo en condiciones secas, húmedas o mojadas en donde la adherencia y la plasticidad cumplen un rol determinante puesto que ambos influyen en el comportamiento del suelo.

b) Granulometría

Para Bowles (1982) y Das (2012) la realización de la clasificación de suelos por medio de un análisis granulométrico es fundamental en los diseños de ingeniería, debido a la variabilidad del tamaño de partículas de suelo ya que si se realiza una exploración de área no asegura que el suelo sea adecuado, por lo que es necesario que un suelo tenga una aceptabilidad granulométrica para la construcción de cualquier edificación. Así mismo señalan que es necesario conocer la distribución granulométrica del suelo para determinar el porcentaje acumulado, el tamaño de partículas y su diámetro, estos parámetros serán determinados correctamente realizando un análisis granulométrico por tamizado o densímetro regulados por la Norma Técnica Peruana NTP 339.128.

c) Plasticidad

La plasticidad está definida como la cualidad que posee un suelo fino para ser deformado ya sea de forma permanente o no, Albert Mauritz Atterberg desarrolló los conocidos límites de Atterberg concluyendo además a partir de una serie de ensayos que la plasticidad no era una propiedad constante en los suelos finos si no que dependía del contenido de humedad. Señaló además que la plasticidad podía ser expresada de modo correcto en función a 2 parámetros, el límite líquido o superior y el límite plástico o inferior, los cuales junto al análisis granulométrico son necesarios para identificar y tener el conocimiento completo de una fracción de suelo. (Bowles,1982)

Autores como Bowles (1982) y Das (2012), mencionan el concepto de plasticidad desarrollado por Atterberg en 1911, el cual se basa en que los suelos se encuentran

presentes en 5 estados de consistencia y dependen en gran medida de los porcentajes de humedad y de su naturaleza.

1. Límite líquido (LL): Es el contenido de agua para el cual el suelo se comporta como un líquido viscoso, es determinado con la copa de Casagrande, cuyo procedimiento está definido en la norma ASTM D-4318.
2. Límite plástico (LP): Es el contenido de humedad con la cual el suelo varía su consistencia plástica a semisólida o viceversa conforme disminuye la humedad, la prueba que la determina está normalizado por la norma ASTM D-4318.

Al intervalo del cambio de contenido de humedad para el cual el suelo presenta una consistencia plástica se le denomina índice de plasticidad (IP) y es calculada a partir de la Ecuación 1.

Ecuación 1

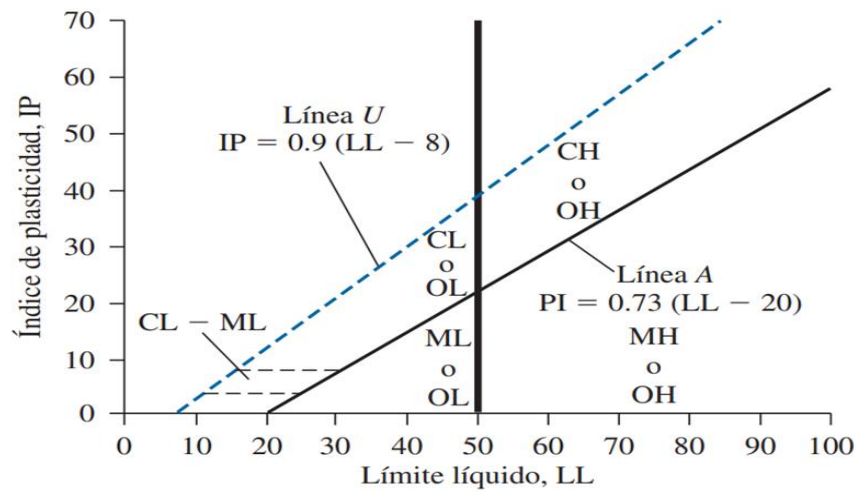
Índice de plasticidad

$$IP=LL-LP \quad (1)$$

El límite líquido (LL) y plástico (LP) permiten la representación gráfica de un punto significativo de una porción de suelo en la denominada carta de plasticidad que se muestra en la Figura 3, la cual muestra los símbolos de grupos necesarios para la clasificación de suelos por el sistema de clasificación SUCS.

Figura 1

Diagrama de plasticidad de Casagrande



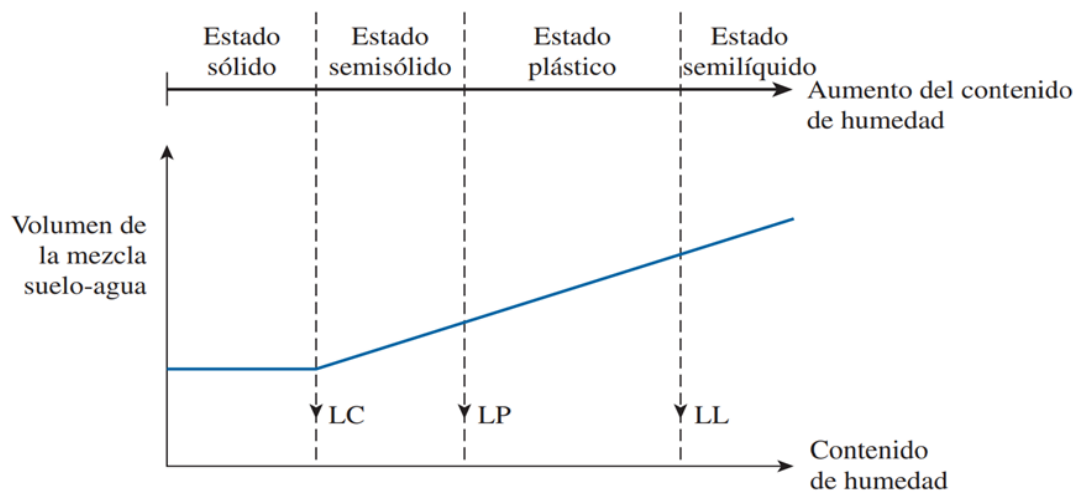
Nota. Tomado de *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*, por B.M. Das, 2012, p.20.

3. Límite de contracción: Referido al contenido de humedad para el cual el suelo no presenta variación de su volumen, la prueba está normalizada por la ASTM D-427.
4. Límite de pegajosidad: Estado que indica la pérdida de adherencia del suelo en función al contenido de humedad.
5. Límite de cohesión: Hace referencia al contenido de humedad para el cual un suelo se desagrega, es decir sus partículas no se unen unas con otras. A diferencia de los límites líquido y plástico que son importantes en la ingeniería de suelos representados en la Figura 4, el límite de pegajosidad y cohesión son usados con fines agrícolas.

Bowles (1982), señala la importancia de los límites de Atterberg cuando se trata de garantizar la calidad del material que será utilizado en terraplenes y en general en que cualquier tipo de obra. Además, considera que el índice de plasticidad (IP) constituye el índice de consistencia con mayor relevancia, debido a que cuanto mayor sea este, incrementan las dificultades vinculadas con el uso del suelo en la ingeniería.

Figura 2

Estados del suelo en función al contenido de humedad



Nota. Tomado de *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*, por B.M. Das, 2012, p.16.

d) Contenido de Humedad

El contenido de agua o humedad (W), está definitiva en la Ecuación 2, la cual representa la división del peso del agua contenido en la muestra (P_W) entre el peso del suelo seco (P_S), la variación de este porcentaje en suelos arcillosos es del 60 al 70%, mientras que en suelos granulares varía del 5 al 8%. Los valores del contenido de humedad presentan variación en función a la temporada en la que se tomen las muestras (periodo seco – lluvioso) y donde sea analizada esta, en las pruebas in situ se toman en cuenta las condiciones climáticas, profundidad del terreno (ubicación de la muestra), nivel freático y en laboratorio se analizan las muestras bajo condiciones controladas. (González, 2002; Bowles, 1982)

Ecuación 2

Contenido de humedad

$$W(\%) = \frac{P_W}{P_S} \times 100 \quad (2)$$

e) Drenaje

Ortega y Sagado (2001) mencionan que el drenaje en suelos es un aspecto fundamental en la ingeniería civil y la geotecnia, ya que se refiere al control y manejo del agua en los suelos para evitar los efectos negativos que ocasiona este elemento en

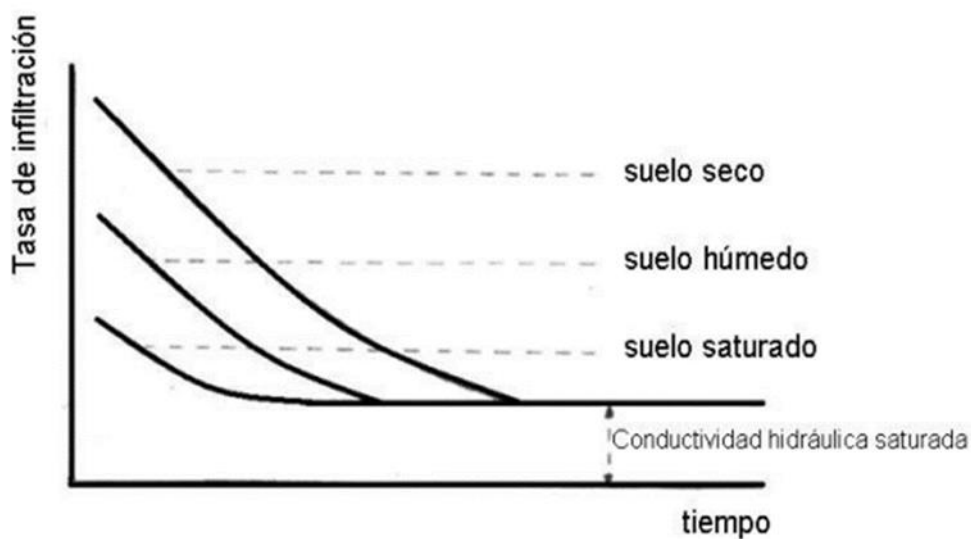
diversos proyectos de construcción. En taludes se evidencia el aumento del peso propio del suelo, la disminución de parámetros de resistencia (cohesión, ángulo de fricción), fuerzas de filtración, erosión superficial, socavación en la base del talud, agrietamiento en el talud debido a las fluctuaciones de humedad, todos estos problemas se asocian con los mecanismos de falla en un talud.

• **Infiltración**

Cuando las aguas de lluvia caen sobre el talud puede infiltrarse o formar escorrentía superficial, el movimiento del agua en el interior del talud se da por la existencia de fisuras, grietas, poros existentes en el terreno, este flujo de agua en ocasiones puede dar lugar al fenómeno denominado Piping que es uno de los responsables de la erosión interna y de los movimientos en laderas. (Posse, 1987)

Suarez (1998) define la infiltración como la capacidad que posee un material de permitir que el agua penetre en él y se filtre a través de sus poros y grietas.

La tasa de infiltración representada en la Figura 3, está referida a la velocidad con la que el agua ingresa al suelo a través de su superficie, expresada en mm/h, cuyo valor máximo coincide con la conductividad hidráulica del suelo en condición saturada. Así mismo está vinculada con diferentes factores, como la textura, la porosidad, la estructura y la presencia de materia orgánica. Los suelos finos, como los limos y las arcillas, tienen una tasa de infiltración más baja que los suelos gruesos, como las arenas y las gravas. (Ibañez et al., 2010)

Figura 3*Evolución de la tasa de infiltración*

Nota. Tomado de Ibañez et al., 2010, p.3.

• Permeabilidad

Autores como Bowles (1982), Posse (1987) y Suarez (1998), definen la permeabilidad o conductividad hidráulica como una propiedad de la ingeniería que representa la facilidad que tiene un material de permitir el paso de un fluido a través de él sin alterar su estructura, al parámetro que se encarga de medir esta propiedad se le denomina coeficiente de permeabilidad (k), el cual permite la comprensión de la capacidad de drenaje e infiltración que posee este material.

González (2002), señala que los suelos pueden clasificarse en base a su permeabilidad, que varía desde suelos altamente permeables, como la arena y la grava hasta suelos de baja permeabilidad, como las arcillas compactas, cuyos valores se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4

Valores del coeficiente de permeabilidad para distintos tipos de suelos

Tipo de suelo	K(cm/s)
Grava mal graduada (GP)	≥ 1
Grava uniforme (GP)	0.2 – 1
Grava bien graduada (SW)	0.05 – 0.3
Arena uniforme (SP)	$5 \times 10^{-3} - 0.2$
Arena bien graduada (SW)	$10^{-3} - 0.1$
Arena limosa (SM)	$10^{-3} - 5 \times 10^{-3}$
Arena arcillosa SC)	$10^{-4} - 10^{-3}$
Limo de baja plasticidad (ML)	$5 \times 10^{-5} - 10^{-4}$
Arcillas de baja plasticidad (CL)	$10^{-5} - 10^{-2}$

Nota. Los suelos finos (arcillas y limos) tienden a retener el agua en exceso por lo que poseen una permeabilidad muy baja, siendo incapaces de absorber y expulsar el agua de forma rápida ocasionando diversos problemas (encharcamiento, daños a las estructuras, a los cimientos de las edificaciones, incremento del riesgo por inundaciones). Adaptado de *Ingeniería geológica*, por L.I. González, 2002, p.30.

La determinación del coeficiente (k), puede obtenerse tanto en laboratorio, con el ensayo de permeámetro de carga constante (suelos gruesos) o carga variable (suelos finos) y en campo con el ensayo de Lefranc, Infiltrómetro de doble anillo y método Porchet, cuya representación se muestra en la Ecuación 3, a efectos de taludes estos últimos son los más empleados debido a que permiten la obtención directa de dicho valor. (Ministerio de Vivienda y Urbanismo [MINVU], 1996, p.99)

Ecuación 3

Coeficiente de permeabilidad (k) – Método Porchet

$$k = \frac{R}{(t_2 - t_1)} \times \text{Ln} \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \quad (3)$$

Donde: R, representa el radio de la excavación, t_1 y t_2 los intervalos de tiempo entre las mediciones, h_1 y h_2 corresponden a la altura del agua al principio y al término de la medición respectivamente.

f) Densidad

Jaramillo (2002) conceptualiza la densidad como el peso por unidad de volumen del material y al ser el suelo un cuerpo poroso, presenta la densidad en dos casos diferentes: La densidad real y aparente, la primera toma en cuenta la masa sólida de partículas y la segunda añade la manera en la que se organizan, ambos representan a la cantidad de poros en un medio además de determinar el volumen que ocupan, basado en esto se puede conocer la condición en la que se encuentra el suelo y el nivel de permeabilidad.

• Densidad natural

La densidad natural o real se representa en la Ecuación 4, que expresa la división del peso del suelo secado a estufa por el volumen que ocupa los sólidos sin tomar en cuenta el volumen que ocupan los poros, por lo que dependen de la composición mineral del suelo y de la materia orgánica y óxido de hierro que contienen algunos sólidos.

Ecuación 4

Densidad natural

$$D_n = \frac{P_{ss}}{V_s} \quad (4)$$

• Densidad Seca y húmeda

En el manual de ensayo de materiales de suelo se establece el ensayo para el cálculo de la densidad seca y húmeda del suelo en campo a partir del método de cono de arena que está regulado por la Norma técnica peruana NTP 339.143. *Manual de Ensayo de Materiales RD N° 18 – 2016 – MTC/14*. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2017).

Para el cálculo de la densidad húmeda es preciso determinar el volumen del orificio, a partir de la siguiente expresión:

Ecuación 5

Volumen del orificio - método cono de arena

$$V = \frac{M_1 - M_2}{\rho_1} \quad (5)$$

Donde: M_1 representa la masa de la arena para llenar el orificio, M_2 es la masa de arena con la que se llena el embudo y el plato de base y ρ_1 es la densidad del volumen de la arena.

La densidad húmeda (ρ_m) se evalúa en función de la masa húmeda del material por el volumen del cilindro muestreador expresado en gr/cm^3 .

Ecuación 6

Densidad húmeda del suelo – método cono de arena

$$\rho_m = \frac{M_3}{V_c} \quad (6)$$

La densidad seca del suelo (ρ_d) se calcula en función a la Ecuación 8, la masa seca del suelo del orificio (M_4) entre el volumen del orificio (V) cuya unidad puede expresarse en gr/cm^3 .

Ecuación 7

Densidad seca del suelo – método cono de arena

$$\rho_d = \frac{M_4}{V} \quad (7)$$

Ecuación 8

Masa seca del suelo del orificio – método cono de arena

$$M_4 = \frac{100 \times M_3}{(W+100)} \quad (8)$$

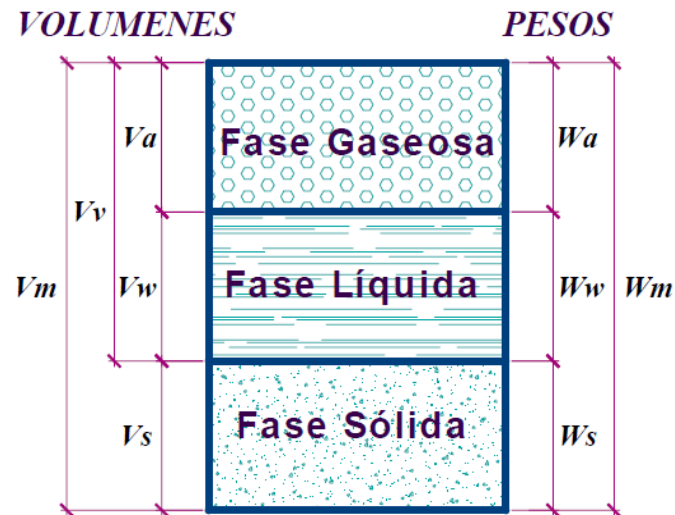
Dónde: W representa el contenido de humedad del suelo.

g) Porosidad

El suelo puede ser representado a partir de un esquema trifásico (fase sólida, líquida y gaseosa) que se visualiza en la Figura 4, caracterizar los poros ayuda a conocer las propiedades hidráulicas del suelo debido a que está vinculado con la capacidad de conducción y almacenamiento de los fluidos. (Huanca, 2010)

Figura 4

Esquema para la representación de un suelo



Nota. En función a estas fases se pueden determinar los valores de las propiedades físicas del suelo haciendo uso de las relaciones gravimétricas y volumétricas. Tomado de *Mecánica de suelos*, por A.R. Huanca, 2010, p.5.

Huanca (2010) se refiere a la porosidad como una de las propiedades más importantes del suelo, considerado como el volumen libre de sólidos que hay en el suelo disponibles tanto para líquidos como para gases, la porosidad total se puede estimar en función a la relación volumen de vacíos (V_v) entre el volumen total de la muestra del suelo (V_m):

Ecuación 9

Porosidad

$$n (\%) = \frac{V_v}{V_m} \times (100) \quad (9)$$

Kaurichev (1984, como se citó por Jaramillo, 2002) califica como bueno al porcentaje de porosidad total del suelo siempre que sea del 50%, tal como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5

Calificación del porcentaje de la porosidad total del suelo

Porosidad Total (%)	Calificación	Proporción de macroporos y microporos
> 70	Excesiva	Mayor presencia de macroporos
55 - 70	Excelente	Presencia ideal de macro y microporos (igual proporción)
50-55	Satisfactoria	Presencia ideal de macro y microporos (igual proporción)
40 - 50	Baja	Mayor presencia de microporos
<40	Muy baja	Mayor presencia de microporos

Nota. Tomado de *Introducción a la ciencia del suelo*, Kaurichev 1984, como se citó por Jaramillo, 2002, p.196.

h) Asentamiento

El asentamiento de suelos se refiere al movimiento hacia abajo de los cimientos de una estructura debido a cambios en las condiciones del suelo. Algunas características importantes del asentamiento de suelos que mencionan Garnica y Ramírez (2014) son:

- El asentamiento de suelos puede ser causado por diferentes factores, como la consolidación primaria, la fluencia o asiento de compresión secundaria, la expansión de arcillas y los asientos por mala compactación.
- La consolidación primaria es un tipo de asentamiento diferido en el tiempo causado por el drenaje de la humedad del suelo, lo que produce cambios en las tensiones efectivas.
- La forma y el relieve del terraplén influye en el origen del asentamiento diferenciado.
- El relieve y la forma pueden provocar asentamientos diferenciales en un terraplén
- Un cambio en el volumen causado por disminución o aumento de la humedad provoca deformaciones.

- La expansión de arcillas es un tipo de asentamiento diferencial que puede ocurrir en suelos finos.
- Los asientos por mala compactación pueden ocurrir cuando el suelo no ha sido compactado adecuadamente antes de la construcción de la estructura.
- La prevención del asentamiento de suelos puede incluir la selección adecuada del sitio de construcción, la compactación adecuada del suelo y la implementación de medidas de estabilización de suelos y taludes.

i) Capacidad de soporte

Cuando un suelo es sometido a cargas presenta un comportamiento variable, la capacidad de soporte se refiere a la resistencia que presenta un suelo frente a dicho esfuerzo, por lo que es necesario conocer esta resistencia y usarla a favor de la estabilidad de la estructura en consideración, algunos aspectos que Suarez (1998) toma en cuenta son:

- La capacidad de soporte del suelo debe ser superior al peso del terraplén.
- El ensayo de compresión no confinada permite obtener un valor representativo de la carga última que puede soportar un suelo.
- La capacidad de soporte del suelo puede ser mejorada mediante la estabilización de suelos y taludes, que puede incluir la construcción de muros de contención, la instalación de sistemas de drenaje, la revegetación del talud, la reducción de la pendiente del talud y la distribución de material en el asiento o pie del talud.

3.2.2. Taludes y terraplenes

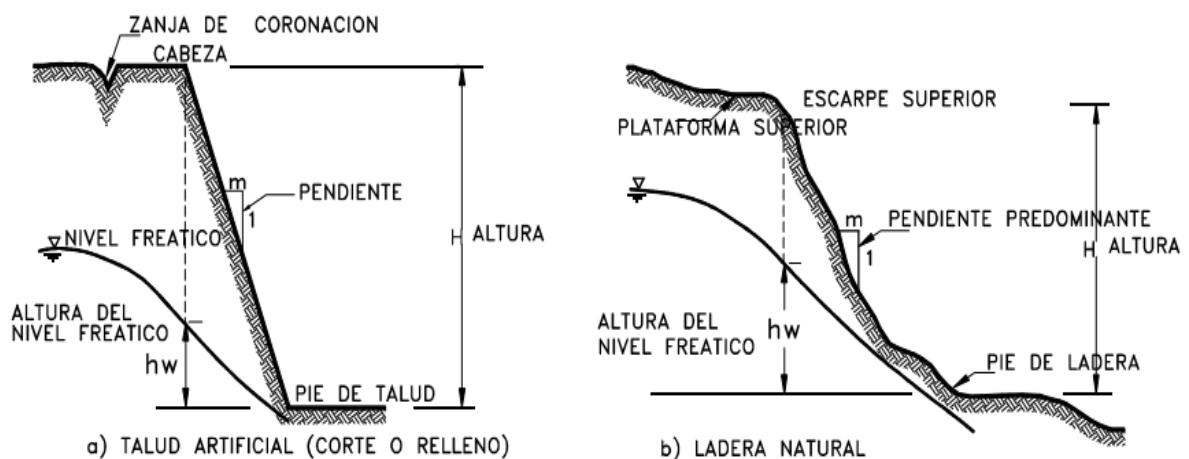
Para la construcción de obras tales como terraplenes y taludes es necesario garantizar su estabilidad en el presente y futuro, partiendo del reconocimiento geotécnico (caracterización físico-mecánica del suelo) y del análisis de los parámetros de diseño (geometría, estabilidad, capacidad de soporte, análisis del asentamiento).

3.2.2.1. Taludes

Suarez (1998), define un talud como una superficie inclinada de suelo o roca que puede ser natural o artificial como se muestra en la Figura 5. Los taludes pueden ser de diferentes tipos, como los taludes de corte, que se crean al excavar una pendiente en el terreno, y los taludes de relleno, que se crean al agregar material al terreno para crear una pendiente.

Figura 5

Nomenclatura de taludes y laderas



Nota. Tomado de *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*, por J. Suarez, 1998, p.2.

En el talud se distinguen los siguientes elementos:

- Altura: Distancia existente entre el pie y la cabeza.
- Pie: La zona de variación abrupta de pendiente ubicado en la parte inferior.
- Cabeza o escarpe: Referida al cambio brusco de pendiente en la parte superior que sufre el talud.
- Pendiente: Conocida como la inclinación del talud, cuyas unidades de medida son los porcentajes (%), grados ($^{\circ}$) y relación $m/1$ (distancia horizontal que se ajusta a una unidad de distancia vertical).

González (2002) menciona que, un suelo que conforme un talud, terraplén o corte, será propenso a deslizarse, esta inestabilidad se da por las fuerzas de gravedad actuantes

en ella, el modo en el que esta estructura resiste o cede ante estas fuerzas dependerá de una serie de factores condicionantes y desencadenantes presentados en la Figura 6. A partir de un reconocimiento íntegro del comportamiento de los materiales que conforman el talud es posible adoptar medidas correctivas en función a los mecanismos de rotura.

Figura 6

Cuadro de factores influyentes en la inestabilidad de un talud

Factores		Influencia /Efectos
Condicionantes	Propiedades físicas y mecánicas del suelo	Comportamiento hidrogeológico
	Estructura geológica, estado tensional Pendiente, geometría	Resistencia, deformabilidad, comportamiento anisótropo. Distribución del peso del terreno.
Desencadenantes	Cambios en la geometría, erosión y socavación del pie.	Cambios geométricos, variación en la distribución del peso y presiones intersticiales.
	Condiciones climáticas (procesos de hielo-deshielos, sequias, precipitaciones)	Saturación de suelo, erosión interna, variación peso del terreno, agrietamientos, disminución de las propiedades resistentes.

Nota. Adaptado de *Ingeniería geológica*, por L.I. González, 2002, p.630.

De acuerdo con Posse (1987) y González (2002) los modelos de rotura de taludes en suelos y rocas dependen fundamentalmente de las condiciones estratigráficas y morfológicas del terreno, los autores describen que para taludes en suelos las superficies de falla más frecuentes son la circular y curva, mientras que para taludes en roca la rotura planar, por cuñas, vuelco y pandeo, el análisis de estabilidad de cada una de ellas se realiza de forma independiente.

3.2.2.2. Terraplenes

Bañón y Bevía (1999) coinciden con Suarez (1998) que un terraplén es una estructura de ingeniería civil que se construye mediante la elevación del nivel del terreno con diferentes tipos de materiales, como tierra, roca, grava. Por lo general, se utilizan para construir carreteras, ferrocarriles, presas, entre otras aplicaciones ingenieriles, cuya construcción implica la compactación del relleno para asegurar su estabilidad, resistencia y eficiencia como elemento de soporte.

Según Alva (1994), los terraplenes pueden clasificarse en función al tipo de material con el que se construyen:

- Terraplenes granulares, constituidos por gravas, arenas y limos.
- Terraplenes cohesivos, como arcillas, arenas arcillosas y gravas arcillosas.

El autor señala la importancia de dicha clasificación en el análisis de estabilidad debido a que la variación de parámetros como el ángulo de fricción interna, pendiente, altura, ángulo del talud dependen del tipo de suelo con el que se construya el terraplén.

Por su parte Bustos (2002), clasifica los materiales que conforman el terraplén en suelos seleccionados, adecuados y tolerables los cuales a fin de garantizar la estabilidad de la estructura deben cumplir ciertas especificaciones presentadas en la Figura 7.

Figura 7

Cuadro de tolerancias de los suelos para la construcción de terraplenes

Propiedades y características		Suelos seleccionados	Suelos adecuados	Suelos tolerables	Método de ensayo	Norma ASTM
Análisis Granulométrico	Tamaño máximo (mm)	75	100	150	MTC E 204	D 422
	% Que pasa el tamiz N° 200	25	35	35		
Límites de consistencia	Límite líquido (%)	LL<30	LL<40	LL>40 Y LL<65	MTC E 11	D 4318
	Índice de plasticidad (%)	IP<10	IP<15	IP>0.73(LL-20)		
Capacidad de soporte (CBR)		CBR>10	CBR>5	CBR>3	MTC E 132	D 1883
Densidad máxima (Proctor) kg/dm ³		–	Mínimo 1750	Mínimo 1450	MTC E 115	D 1557
Contenido de materia orgánica		Exento	Inferior al 1%	Inferior al 2%	MTC E 118	–

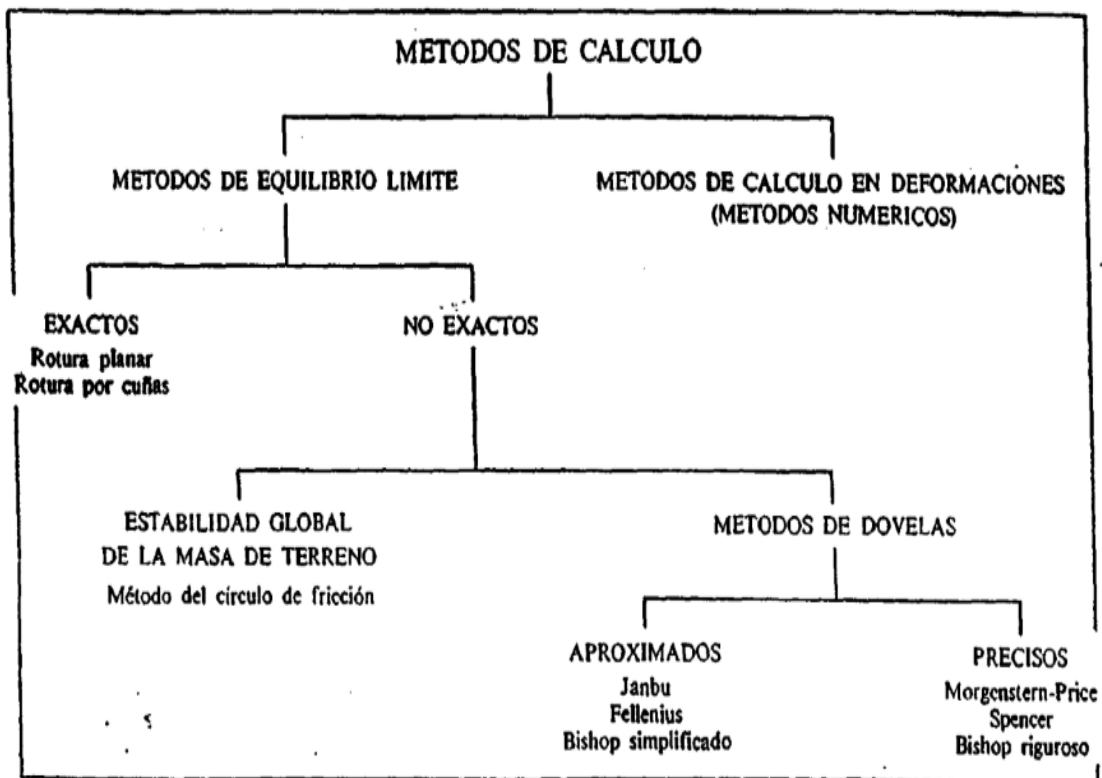
Nota. Se consideran suelos inadecuados y/o marginales aquellos que no cumplan las condiciones especificadas, por lo que su uso no es apto. Adaptado de *Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para la construcción* por MTC, 2013.

3.2.2.3. Métodos de diseño en taludes/ terraplenes

Existen diversos textos que abordan los métodos para evaluar la estabilidad en taludes y terraplenes, algunos más rigurosos que otros, que fueron evolucionando a través del tiempo en materia de complejidad, ya que ahora abarcan aspectos de diseño como la parte hidráulica, un análisis matemático permite definir cuan estable es un talud, a partir de un factor de seguridad obtenido asumiendo probables superficies de falla. Cada modelo es particular y algunos de ellos poseen debilidades en cuanto a los resultados que brindan, pese a ello son muy útiles en la práctica ingenieril. Posse (1987), señala que los métodos para el cálculo de estabilidad se separan en dos grupos como se muestra en la Figura 8.

Figura 8

Clasificación de los métodos de cálculo para el diseño de taludes



Nota. Tomado de *Manual de taludes*, por F. J. A. Posse, 1987, p.188.

- a. Método de equilibrio límite:** Utilizado para determinar la estabilidad de los taludes y terraplenes mediante el análisis de las fuerzas que actúan sobre el

suelo o la roca sin considerar las deformaciones, obteniendo un factor de seguridad con relación a la resistencia al corte, se divide a su vez en:

Métodos Exactos: Aplican un FS (factor de seguridad constante), no consideran las deformaciones, proporcionaran una solución exacta al problema siempre que la geometría sea sencilla (rotura planar, rotura por cuñas).

Métodos No exactos: No proporcionan una solución exacta al problema hiperestático debido a la geometría de la superficie de rotura y se sub dividen en 2 métodos, el equilibrio global de masa deslizante y el método de las dovelas, la cual divide en franjas proporcionales una sección del talud, en este método se encuentran también:

- **Métodos aproximados:** Janbu, Fellenius, Bishop simplificado
- **Métodos precisos:** Morgenster-Price, Spencer, Bishop simplificado.

b. Método de cálculo de deformaciones o métodos numéricos: Los métodos análisis de elementos finitos o elementos discretos evalúan la relación esfuerzo-deformación, los parámetros de tensiones, fuerzas y presiones actuantes en el terreno.

3.2.2.4. Parámetros de diseño en terraplenes y taludes

Los modelos matemáticos empleados para el diseño de taludes y terraplenes toman en cuenta parámetros como la geometría, la geología, propiedades del suelo, entre otros.

a) Geometría de Diseño

Los parámetros geométricos tienen que ver con la estructuración topográfica de un talud; la pendiente, altura, largo, ancho, influyen directamente en la estabilidad del diseño.

(Suarez, 1998)

- **Pendiente:** La presencia de deslizamientos es frecuente ya sea en superficies con pendientes pronunciadas o planas, en suelos resistentes o de relleno que estén en contacto con el agua, sin embargo, se sabe que cuanto mayor es la

pendiente se tendrá mayor probabilidad de deslizamiento por influencia de las fuerzas de gravedad, en consecuencia, disminuye el factor de seguridad. La relación de taludes recomendada para evitar deslizamientos es de 1.5:1 o 2:1 con inclinaciones de 26° y 33° en el orden dado, para un talud de terraplén en suelos con alto contenido de arcillas y zonas lluviosas se recomienda una proporción de 3:1 con 18° de inclinación.

- **Altura:** La estructura de un talud debe tener una altura apropiada, proporcional al ángulo, para evitar el desplazamiento del material, en terraplenes con alturas considerables es importante el grado de saturación del suelo, adicional a ello una mala compactación puede ocasionar asentamientos severos.
- **Largo y ancho:** Cuanto más largo es un talud, las aguas de escorrentía tienen un mayor recorrido sobre su superficie, por lo que el talud es más propenso a la erosión. (Suarez, 1998)

Garnica y Ramírez (2014) califican la geometría en taludes (ángulo y altura) desde un punto de vista del peligro de inestabilidad que va de bajo a muy alto como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6

Niveles de peligro de inestabilidad según parámetros geométricos

Nivel de peligro	Parámetros geométricos	
	Ángulo	Altura
Peligro bajo	20° a 40°	>5 m
Peligro medio	40° a 50°	5 a 10 m
Peligro alto	50° a 60°	10 a 20 m
Peligro muy alto	>60°	>20 m

Nota. Adaptado de *Gestión de terraplenes y riesgos ante la inestabilidad* por Garnica y Ramírez, 2014, p.29-30.

b) Estabilidad de Diseño

Para garantizar la estabilidad de diseño de taludes, terraplenes se toman en cuenta los siguientes parámetros resistentes:

- Factor de seguridad (FS): Conocido también como coeficiente de seguridad, Posse (1987) lo define como un valor que representa el grado de confianza de un determinado diseño realizado para un terraplén o en taludes naturales o artificiales. Además concluye que cuanto mayor sea el FS incrementa la seguridad y con ella el coste necesario para garantizarla. El valor del FS está sujeto a las solicitaciones que se presentan en el talud y, 1.5 es el mínimo valor para considerar el talud como estable, eso bajo solicitaciones estáticas y 1.25 es el valor mínimo ante solicitaciones sísmicas. (Reglamento Nacional de Edificaciones [RNE], 2021).
- Ángulo de fricción (ϕ): Es la representación matemática del coeficiente de rozamiento, depende de varios factores entre los que destacan la densidad, el tamaño, forma, distribución de los granos, este parámetro está involucrado con la determinación de la capacidad portante última y la capacidad admisible. (Suarez, 1998)
- Cohesión (C): Constituye una propiedad del suelo, es la capacidad que posee este material para mantener unidas sus partículas cuyo porcentaje se debe al contenido de humedad, los suelos granulares son considerados como no cohesivos a diferencia de los suelos finos. (Suarez, 1998)

Tanto la cohesión como el ángulo de fricción son parámetros importantes para el diseño, son utilizados para calcular el factor de seguridad, cuyos valores varían en función al tipo de suelo, al tipo de ensayo, a la calidad del estudio geotécnico.

Tabla 7

Valores típicos de parámetros geotécnicos

Tipo de suelo	Peso unitario seco	Ángulo de fricción (ϕ)	Cohesión (c)
Suelos areno-arcillosos	14 -19 kN/m^3	30°- 40°	5-15 Kpa
Suelos arcillosos	13 -16 kN/m^3	20°- 28°	5-10 Kpa

Nota. Adaptado de Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, por J. Suarez, 1998, p.486.

3.2.2.5. Métodos de estabilización de taludes y terraplenes

González (2002), afirma que cuando un talud sufre rotura o deformaciones por diferentes razones (constructivas, ambientales y económicas) estos implican riesgos de inestabilidad, por lo cual amerita que se establezcan medidas de estabilización. Por su parte Garnica y Ramírez (2014) señalan algunas formas de estabilización en taludes y terraplenes, las cuales pueden variar dependiendo de las características específicas del proyecto y del tipo de suelo o roca en el que se construirá entre los cuales se distinguen:

Figura 9

Cuadro de métodos de estabilización de taludes

Método	Descripción	Tipos	Ilustración
Estructuras de anclaje o refuerzo	Sirven como estructuras de contención ante deslizamientos, refuerzan el suelo y transmiten cargas a profundidad.	<ul style="list-style-type: none"> – Anclajes o pernos – Pantallas ancladas o claveteadas – Pilas, pilotes o tablaestacas 	<p>b) Muros Anclados c) Clavos d) Micropilotes</p>
Muros de contención	Son estructuras rígidas o flexibles según convenga, en las que el peso influye en gran medida. Son muy efectivos cuando se trata de estabilizar un deslizamiento.	<ul style="list-style-type: none"> – Muros en bloques de roca – Muros en gaviones – Muros MSE (Tierra con refuerzo) – Muros de concreto 	<p>Revestimiento Tierra reforzada Concreto Muro en gaviones</p> <p>Claves Arena Geotextil Cantos de 7.62 cm a 15.24 cm</p>
Drenaje y subdrenaje	Este método comprende el control de unos de los principales factores detonantes de un deslizamiento, el agua, tienen la ventaja de ser de bajo costo y un gran complemento para otras técnicas de estabilización.	<ul style="list-style-type: none"> – Canales superficiales para el control de escorrentía – Subdrenes de zanja y horizontales de penetración – Galerías o túneles de subdrenaje – Pozos profundos de subdrenaje 	<p>Superficie drenada por un canal Pozo de bombeo</p> <p>Subdrén de zanja Subdrén horizontal Plano de deslizamiento</p> <p>Subdrén de penetración Nivel freático Capa de arena Capa impermeable</p> <p>Relevo drenado para acuíferos</p> <p>Figura 1.27 Sistemas de subdrenaje</p>
Mejoramiento de la resistencia del suelo	La modificación del suelo por medio de procesos físicos- químicos ayuda a incrementar sus parámetros de resistencia (cohesión, ángulo de fricción), de este modo se garantiza la mejora su estabilidad interna.	<ul style="list-style-type: none"> – Inyecciones de cemento, cal o químicos – Magmificación – Congelación – Electro-ósmosis – Explosivos 	<p>Relevo Caminos de Lechada Inyector Abastecimiento Grietas</p> <p>Figura 1.31 Inyección de terraplenes para rellenar y cementar grietas internas.</p> <p>Figura 1.37 Esquema de un proceso de inyecciones de compactación (Cornforth, 2005).</p>
Recubrimiento o protección de la superficie del talud	Se enfocan en evitar la erosión e infiltración reforzando la superficie del suelo a través de la cobertura vegetal, bloques de mampostería, piedras, shotcrete (concreto lanzado), la modificación de la geometría del talud ayuda a establecer un equilibrio de masas.	<ul style="list-style-type: none"> – Recubrimiento y conformación de la superficie del talud – Sellado de juntas y grietas – Cobertura vegetal (árboles, arbustos, pastos) 	<p>Proyección del Talud Talud con Faja</p>

Nota. Adaptado de *Deslizamientos: técnicas de remediación*, por J. Suarez, 2009.

3.3. Definición de términos

Anisotropía

La anisotropía se refiere a la propiedad de un material o medio de presentar diferentes propiedades o comportamientos en diferentes direcciones. En el contexto de la permeabilidad del suelo, indica que el flujo de agua puede variar según la dirección o la orientación de los poros del suelo, además la anisotropía es la peculiaridad típica de estos depósitos donde coexisten desde la arcilla hasta las gravas gruesas. (González, 2002)

Capacidad de retención

La capacidad de retención viene a ser cantidad de agua que suelo, puede retener en sus poros y espacios intersticiales este llega a ocurrir cuando las moléculas son complejas y de gran tamaño, si los componentes retenidos no llegan a descomponerse ocurrirá que a partir de la capacidad máxima estas se retengan lo cual ocasiona la reducción de la capacidad de retención. (González, 2002)

Compacidad

La compacidad se refiere al grado de densidad o apretamiento de un material, como el suelo, cuando se realiza una mejora en un terreno después de haber sido sometido a un proceso de compactación. El incremento de compacidad en los suelos hará que se disminuyan los espacios entre las partículas aumentándose así la cohesión, la compactación estabiliza el terraplén ya que aumenta su densidad seca y su compacidad. (Yepes, 2021)

Compresibilidad

Es la propiedad de un material de sufrir disminución de volumen ante la aplicación de cargas, en suelos la compresibilidad es causada por la expulsión de agua o aire, la deformación y reorientación de las partículas de suelo. Las gravas y arenas son consideradas incompresibles debido a que no poseen cambios significativos en cuanto su volumen, en cambio las arcillas si son compresibles. (Arrúa, 2020)

Consolidación

Es un fenómeno importante a considerar en el diseño y la construcción de estructuras sobre suelos blandos, es un proceso de reducción de volumen que experimenta el suelo debido a la expulsión de agua presente en sus poros, si un terraplén o talud llegara a construirse sobre un terreno con suelo arcilloso blando o turba se tendría que eliminar el material y con ella su consolidación. (Huanca, 2010)

Estratigrafía

La estratigrafía es una rama de la geología que estudia la disposición, secuencia y relación de las diferentes capas de rocas y sedimentos en la corteza terrestre, viene a ser también la correlación entre diferentes regiones geográficas, la inestabilidad de un talud está relacionada con las diferentes litologías. La característica física y la resistencia que presenta cada material junto con la presencia del agua, gobiernan su comportamiento. (González, 2002)

Heterogeneidad

La heterogeneidad del suelo se refiere a la variabilidad espacial de las propiedades físicas y químicas del suelo, como la textura, la estructura, la materia orgánica, el pH, el nitrógeno, el fósforo y el potasio. La heterogeneidad hace referencia además a las zonas con diferente litología, grado de alteración o meteorización y contenido en agua. (González, 2002)

Intersticial

En el contexto geológico, se refiere a los espacios vacíos entre partículas de un suelo o roca, la presión de agua intersticial es acompañada por una reducción en el volumen de la masa de suelo provocando asentamientos elásticos y de consolidación. El agua, el aire u otros fluidos pueden ocupar estos espacios intersticiales, afectando la porosidad, la permeabilidad y otros procesos geotécnicos del material. (Das, 2012)

Propiedades físicas

Denominadas también como propiedades índices, son aquellas que pueden ser medibles sin destruir o alterar el material. En los suelos, estas características permiten su clasificación y la comprensión de su comportamiento. Siendo la porosidad, permeabilidad, el peso específico las de mayor grado de influencia en su comportamiento mecánico. (González, 2002)

Propiedades mecánicas

Son aquellas que resultan de la aplicación de una fuerza, afectando su resistencia y capacidad de resistir deformaciones, son determinadas a fin de identificar cuan adecuado es un material para diversas aplicaciones. (Valencia, 2008)

Resistencia al corte

Es un factor importante para determinar la capacidad máxima de carga de suelos y la estabilidad de un terraplén, medida a través de pruebas de laboratorio, como el ensayo de corte directo, DPL, la capacidad de carga varía en función al tipo de suelo, la profundidad y perturbaciones estructurales y también un indicador de la saturación capilar, contenido de humedad y filtración. (Huanca, 2010)

Factores condicionantes

Son aquellos inherentes del fenómeno, su estudio y reconocimiento permite la determinación del grado de susceptibilidad del talud ante deslizamientos, pueden ser geológicos (litología, estratigrafía, comportamiento geodinámico) y geomorfológicos (geometría, topografía de los taludes). (Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI], 2011)

Factores desencadenantes

Son aquellos que ocasionan la inestabilidad en el talud, vinculados con los fenómenos naturales (lluvias, cambios en el clima, sismos) y actividades antrópicas (Corte del talud, riegos inadecuados, construcción de viviendas en terrenos con baja capacidad portante, deforestación). (INDECI, 2011)

Saturación

La saturación se refiere al estado en el que los espacios porosos de un material, como un suelo o una roca, están completamente llenos de agua o de otro fluido. La saturación es un factor importante en la hidrología y la ingeniería geotécnica, ya que afecta la conductividad hidráulica, la capacidad de drenaje y la respuesta mecánica de los materiales. (Suarez, 1998)

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de Investigación

Tipo de investigación

Hernández et al. (2018) menciona que el tipo de investigación aplicado se utiliza en estudios que tienen por objetivo generar conocimiento práctico y soluciones concretas para abordar problemas específicos.

En este estudio, se buscó analizar la relación entre las propiedades de los suelos finos en el diseño de terraplenes y taludes estables en la Urbanización San Luis, Abancay. Con ello se pretende que las conclusiones y recomendaciones sean directamente relevantes y útiles para los ingenieros y profesionales involucrados en el diseño y construcción de infraestructuras geotécnicas. Se consideraron las condiciones específicas de la zona de estudio. Además, se buscó integrar los resultados de la investigación en la toma de decisiones prácticas, como la optimización de los diseños de terraplenes y taludes y la implementación de medidas de mitigación de riesgos.

Nivel de investigación

En cuanto al alcance o nivel de una investigación, Hernández et al. (2018), menciona que los estudios correlacionales tienen el propósito de medir las variables en estudio para analizar estadísticamente el grado de relación entre ellas.

La investigación posee este nivel ya que en este estudio se aplicaron técnicas y métodos de recolección de datos, como pruebas de laboratorio, análisis de campo y análisis estadístico, se obtuvieron datos que permitieron comprender las características de los suelos finos en la zona de estudio. Se recopiló información sobre la consistencia del suelo, capacidad de drenaje, la distribución de porosidad y la densidad de los suelos finos, utilizando indicadores específicos definidos previamente.

El alcance correlacional buscó proporcionar una imagen clara y precisa de las propiedades de los suelos finos y su relación con el diseño de terraplenes y taludes, sin realizar inferencias causales o experimentos controlados. Se identificaron patrones,

tendencias y asociaciones entre las variables estudiadas, aportando información valiosa para comprender la interacción entre las propiedades de los suelos y el diseño geotécnico. Con los resultados se entiende y evalúa la relación estadística entre las variables sirviendo como base para futuras investigaciones que podrán ser utilizados por profesionales y expertos en la toma de decisiones relacionadas con la planificación y ejecución de proyectos de construcción en la zona de estudio.

Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es de tipo cuasiexperimental. Según Ato (1995) el diseño cuasiexperimental es aquel en donde se aplican un conjunto de técnicas de diseño y análisis estadístico con el objetivo de afrontar situaciones donde no es posible o no es ético aplicar la metodología experimental. En esta investigación se utilizaron técnicas de análisis estadístico para observar el grado de correlación entre las propiedades de los suelos finos y su relación con el diseño de terraplenes y taludes. Asimismo, se emplearon métodos de recolección de datos, a través de los cuales se obtuvo información sobre las diferentes propiedades y características de los suelos finos.

4.2. Ámbito temporal y espacial

Ámbito temporal

La delimitación temporal de este estudio abarcó el último semestre del año 2023 y el primer trimestre del año 2024, en el cual se llevó a cabo la investigación en la Urbanización San Luis, Abancay. Las actividades de recolección de datos, análisis y elaboración de conclusiones y recomendaciones se realizaron dentro de este marco temporal.

Ámbito espacial

Este estudio se centra en la Urbanización San Luis, ubicada en la provincia de Abancay. El área seleccionada posee relevancia y representatividad en términos de características geotécnicas de suelos finos y la aplicación de diseños de terraplenes y

taludes en la región, que permitieron recopilar datos específicos de suelos finos y evaluar el impacto de estas propiedades en el diseño y la construcción de infraestructuras en la Urbanización San Luis.

Ubicación:

Departamento: Apurímac

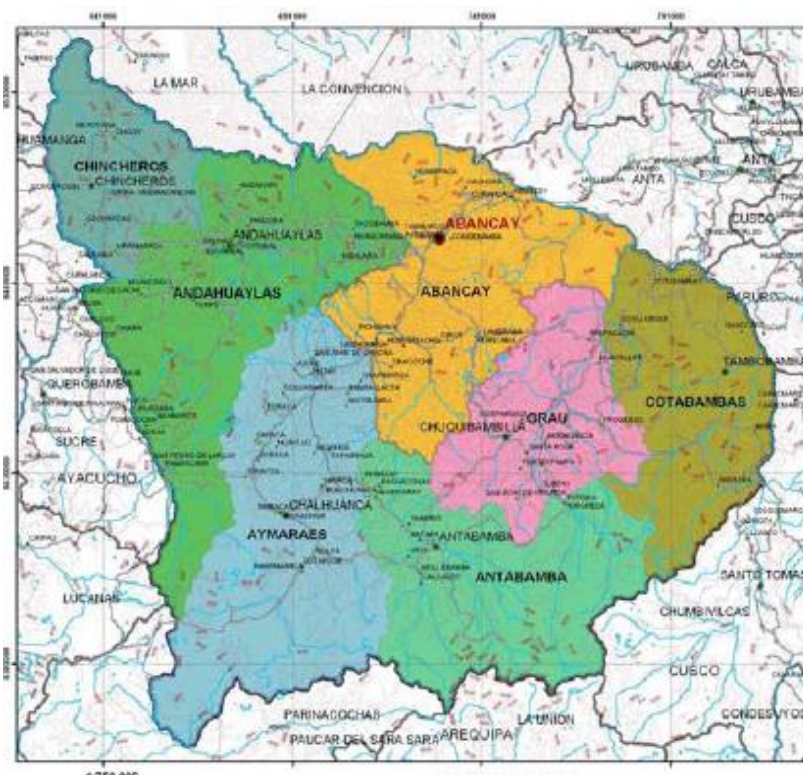
Provincia : Abancay

Distrito : Abancay

Urbanización : San Luis

Figura 10

Macro localización: Abancay – Apurímac



Nota. Tomado de Fernandez et al.,2007.

Figura 11

Micro localización: Urbanización San Luis



Nota. Tomado de Google Earth Pro.

4.3. Población y muestra

Población

Tamayo & Tamayo (1999) señala que la población está conformada por la totalidad del fenómeno que se analiza, cuyas unidades de estudio se encuentran en la misma unidad de medición y presentan las mismas propiedades para obtener de ellas la data en la misma unidad de medida.

La población de estudio para este proyecto de investigación está conformada por los suelos finos presentes en la urbanización San Luis, ubicada en Abancay. La urbanización San Luis se seleccionó como la zona específica de estudio debido a su relevancia geotécnica y la necesidad de comprender la relación entre las propiedades de los suelos finos y el diseño de terraplenes y taludes en dicha área.

Muestra

Tamayo & Tamayo (1999) hace referencia a que la muestra es toda aquella operación que se realizará para estudiar las características de la población, mediante fracciones para facilitar dicho estudio.

La muestra de estudio estuvo compuesta por una selección representativa de tramos y secciones de suelos finos de la urbanización San Luis, en Abancay. Para determinar la muestra, se utilizó un muestreo aleatorio estratificado, del que hace mención Hernández et al. (2018), el cual consiste en dividir la población en segmentos y luego tomar una muestra de cada estrato, para el caso de este estudio se consideraron 5 tramos con diversas secciones, con sus respectivas propiedades para cada tipo de suelo encontrado. Se recolectaron muestras de suelo de manera sistemática, tomando en cuenta la heterogeneidad del terreno y la distribución espacial de los suelos finos. La muestra final estuvo compuesta por un número adecuado de muestras de suelo que permitieron obtener resultados representativos y confiables para el análisis de las propiedades de interés y su relación con el diseño de terraplenes y taludes.

Tabla 8*Cantidad de muestras de talud*

Taludes							
Tramos	Secciones	Plasticidad	Drenaje	Porosidad	Densidad	Capacidad de soporte	Nivel de asentamiento
Talud Tramo 1	Sección 1	1	1	1	1	1	1
	Sección 2	1	1	1	1	1	1
	Sección 3	1	1	1	1	1	1
	Sección 4	1	1	1	1	1	1
	Sección 5	1	1	1	1	1	1
Talud Tramo 2	Sección 1	1	1	1	1	1	1
	Sección 2	1	1	1	1	1	1
	Sección 3	1	1	1	1	1	1
	Sección 4	1	1	1	1	1	1
	Sección 5	1	1	1	1	1	1
Talud Tramo 3	Sección 1	1	1	1	1	1	1
	Sección 2	1	1	1	1	1	1
	Sección 3	1	1	1	1	1	1
	Sección 4	1	1	1	1	1	1
	Sección 5	1	1	1	1	1	1
Talud Tramo 4	Sección 1	1	1	1	1	1	1
	Sección 2	1	1	1	1	1	1
	Sección 3	1	1	1	1	1	1
	Sección 4	1	1	1	1	1	1
	Sección 5	1	1	1	1	1	1
Terraplén Tramo 1	Sección 1	1	1	1	1		
	Sección 2	1	1	1	1		
	Sección 3	1	1	1	1		

Nota. Se tiene un análisis de 132 unidades muestrales del suelo natural. Fuente:

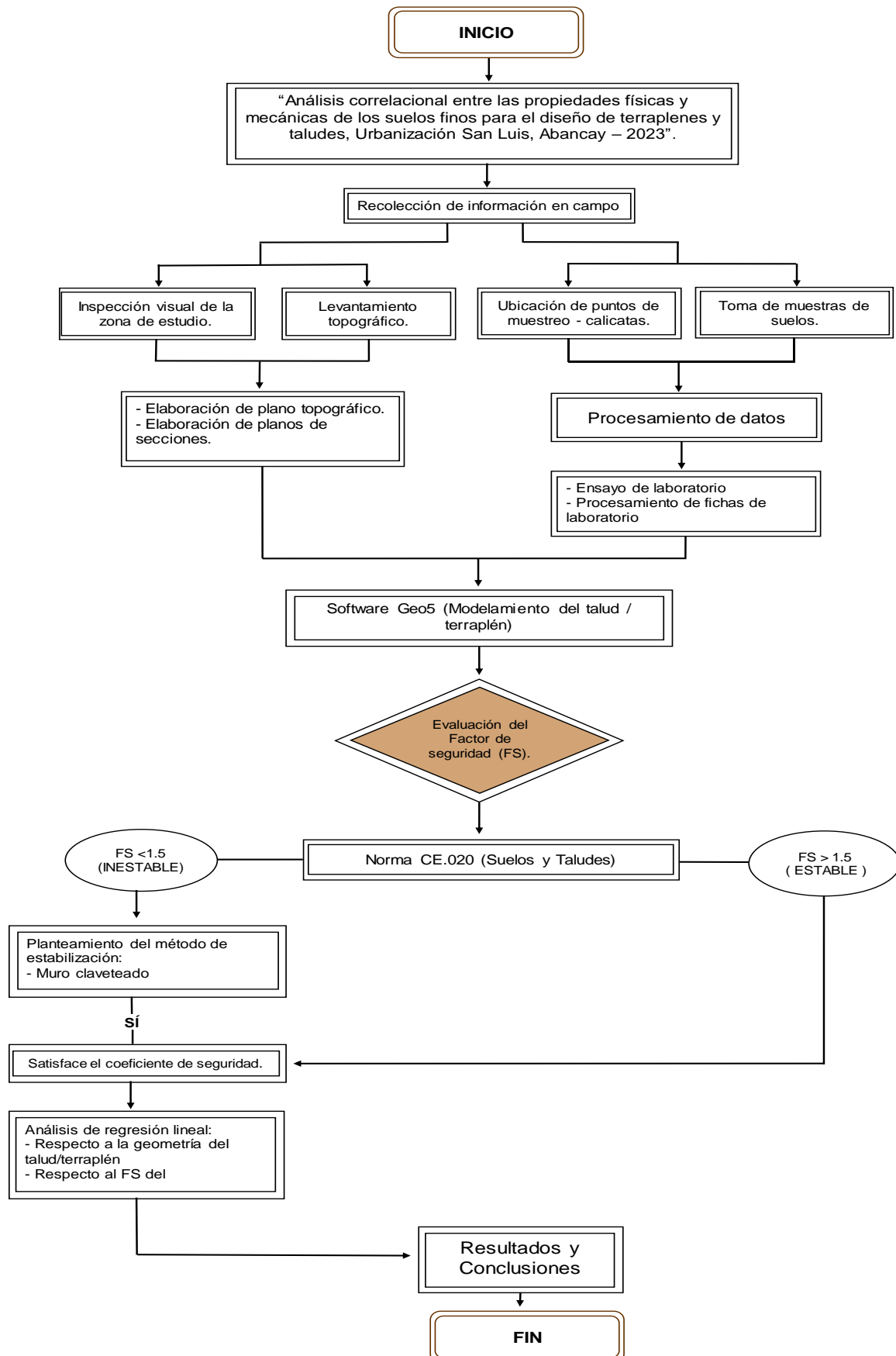
Elaboración propia.

4.4. Instrumentos

Arias (2006), indica que una ficha de recolección de datos es un instrumento utilizado cuando es necesario colocar la información transcrita al momento de recolectar la data, ya que será necesaria su utilidad en varias partes de la investigación.

El instrumento utilizado en este estudio es la ficha de recolección de datos debido a su capacidad para recopilar información de manera sistemática y estructurada. La ficha de recolección de datos es una herramienta que permitió organizar y registrar de manera precisa los diferentes aspectos relevantes relacionados con las propiedades de los suelos finos y su aplicación en el diseño de terraplenes y taludes. La ficha de recolección de datos proporcionó un formato preestablecido que incluye campos específicos para registrar las variables, dimensiones e indicadores identificados en el estudio. Permitted documentar las características de los suelos finos, consistencia del suelo, capacidad de drenaje, la distribución de porosidad, la densidad y la capacidad de soporte, así como los parámetros del diseño de terraplenes y taludes, como la geometría y la estabilidad. La ficha de recolección de datos garantizó la consistencia en la recopilación de información, ya que se utilizó el mismo formato para todas las muestras y se siguió las mismas pautas para completarlas. Esto facilitó la comparación y el análisis de los datos recopilados.

4.5. Procedimiento



4.6. Análisis de datos

Organización y limpieza de los datos: Los datos recopilados mediante la ficha de recolección de datos fueron organizados y se llevó a cabo una revisión para eliminar cualquier posible error o inconsistencia.

Análisis descriptivo: Se realizó un análisis descriptivo de las variables relacionadas con las características de suelos finos, consistencia del suelo, capacidad de drenaje, la distribución de porosidad, la densidad, capacidad de soporte y asentamiento. Se calculó medidas de tendencia central, como la media y la mediana, así como medidas de dispersión, como la desviación estándar y el rango, para cada una de estas variables.

Análisis de correlación: Se llevó a cabo un análisis de correlación para evaluar la relación entre las variables de características de suelos finos y las dimensiones del diseño de terraplenes y taludes. Se utilizó coeficientes de correlación, como el coeficiente de correlación de Pearson o el coeficiente de correlación de Spearman, dependiendo de la naturaleza de las variables (si son variables continuas o variables ordinales).

Análisis de regresión: Se realizó un análisis de regresión lineal para determinar la relación predictiva entre las características de suelos finos y el diseño de terraplenes y taludes. Se emplearon modelos de regresión lineal múltiple, considerando los indicadores del diseño como variables dependientes y las características de suelos finos como variables independientes.

Pruebas de significancia estadística: Se realizaron pruebas de significancia estadística para evaluar la importancia de los resultados obtenidos. Se utilizaron pruebas de hipótesis como la prueba de Anova, para determinar si las diferencias observadas fueron estadísticamente significativas.

Interpretación de los resultados: Los resultados obtenidos fueron analizados e interpretados, identificando las relaciones significativas entre las características de suelos finos y el diseño de terraplenes y taludes.

4.7. Consideraciones éticas

En este estudio, se llevó a cabo diversas consideraciones éticas para garantizar el bienestar de los participantes y el cumplimiento de los principios éticos de la investigación. (UTEA, 2020)

Consentimiento informado: Antes de la recolección de datos, se obtuvo el consentimiento informado de los propietarios o responsables de los terrenos en la urbanización San Luis. Se les proporcionó información detallada sobre el propósito del estudio, los procedimientos de recolección de datos, los posibles beneficios y riesgos, así como su derecho a participar voluntariamente o retirarse en cualquier momento sin consecuencias negativas.

Confidencialidad y privacidad: Se protegió la confidencialidad de los participantes y los datos recopilados. La información personal se trató de manera confidencial y se utilizó únicamente para fines de investigación. Se pidió el consentimiento de los participantes para mostrar su identidad como parte de la investigación.

No maleficencia: Se tomaron todas las precauciones necesarias para evitar daños o riesgos innecesarios a los participantes y al medio ambiente durante la recolección de datos. Se siguieron las normativas y prácticas de seguridad para garantizar la integridad física y la preservación del entorno.

Beneficencia: El estudio se realizó con el objetivo de generar conocimiento científico que pueda contribuir al diseño de terraplenes y taludes más seguros y eficientes. Se consideraron los posibles beneficios de los resultados obtenidos para la comunidad y se buscará promover la seguridad y la calidad en la construcción de infraestructuras.

Agradecimientos y reconocimientos: Se reconoce y agradece la participación de los propietarios o responsables de los terrenos en la urbanización San Luis, así como cualquier colaboración o apoyo recibido de otras entidades o personas involucradas en el estudio.

Cumplimiento normativo: Se sigue todas las normativas y regulaciones vigentes en materia de investigación, protección ambiental y seguridad, asegurando el cumplimiento de los requisitos éticos y legales establecidos.

Estas consideraciones éticas se implementaron de manera integral durante todas las etapas del estudio, desde la planificación y la recolección de datos hasta el análisis, la interpretación y la difusión de los resultados. El objetivo es realizar una investigación ética y responsable que respete los derechos y el bienestar de los participantes y contribuya al avance del conocimiento en el campo de la geotecnia y el diseño de infraestructuras.

V. Resultados y discusión

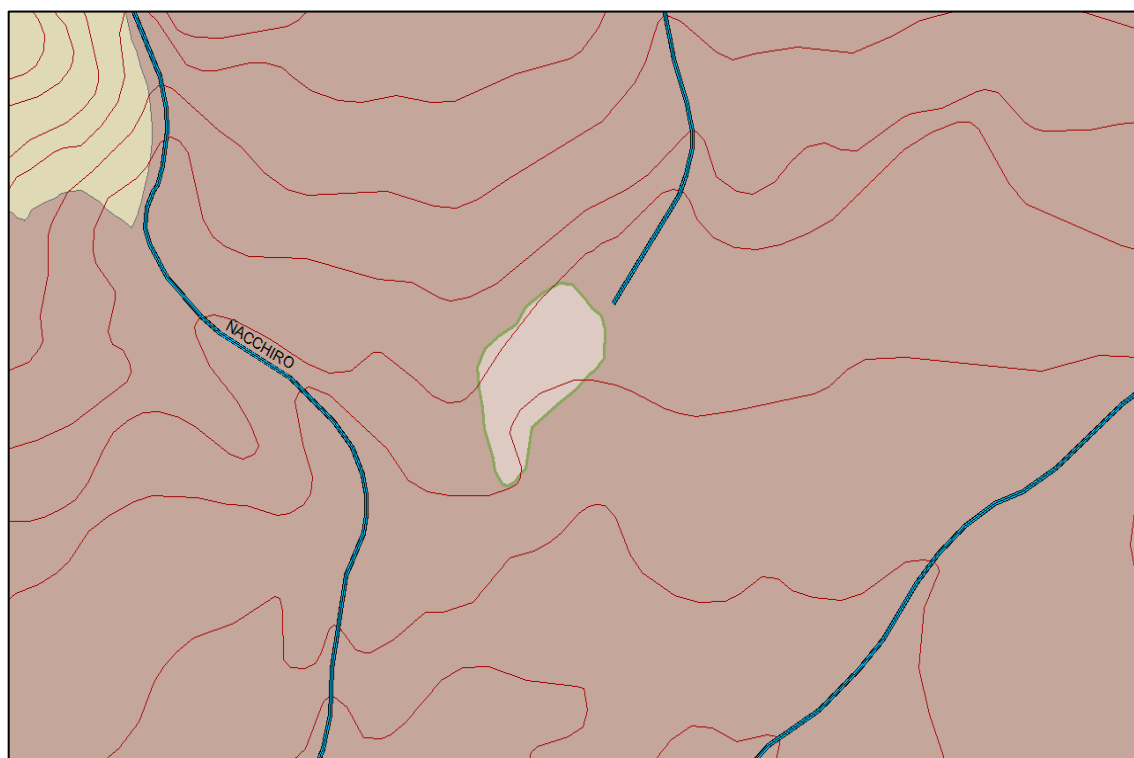
5.1. Resultados

5.1.1. Determinación de la zona de estudio

La Zona de estudio fue determinada dentro de la Urbanización San Luis, en el cual se realizó un levantamiento topográfico, estableciéndose cinco tramos de estudio, dentro de los cuales se realizó un seccionamiento cada 20 metros, a continuación, se presenta la poligonal de estudio:

Figura 12

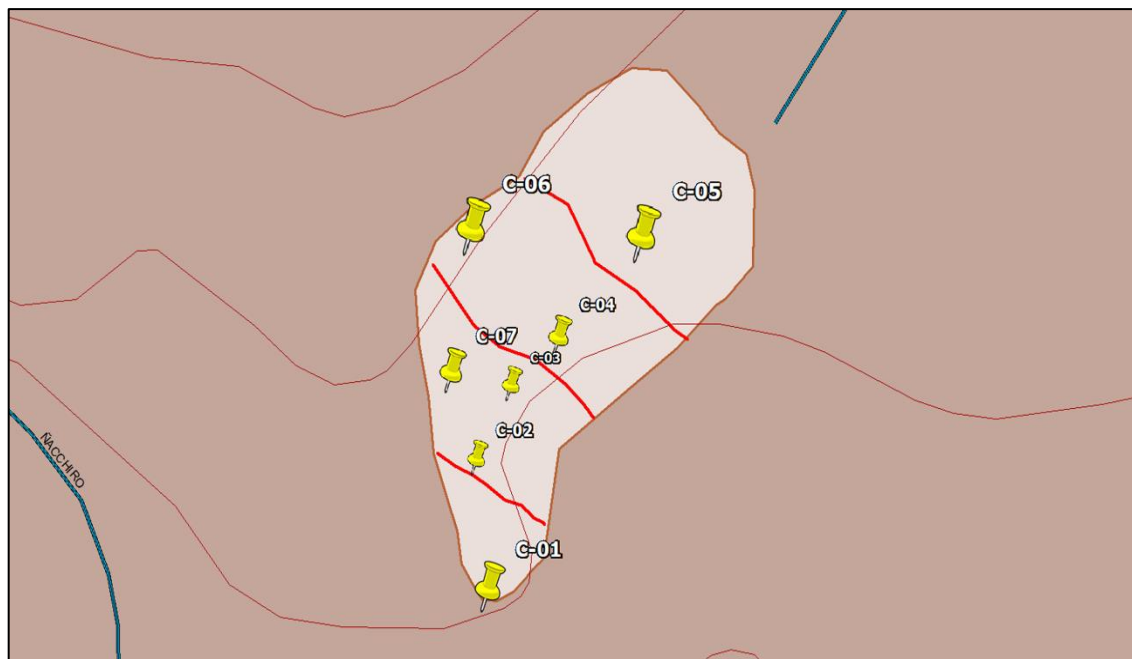
Poligonal de estudio



Nota. Elaboración propia.

Figura 13

Seccionamiento de tramos y establecimiento de calicatas



Nota. Elaboración propia.

Una vez definida la zona de estudio, se procedió a llevar a cabo la elaboración de calicatas, siendo en este caso la elaboración de siete calicatas dentro de los cinco tramos. A continuación, se presenta los estudios en laboratorio llevados a cabo para cada una de estas calicatas, ya que es necesario el conocimiento del tipo y propiedades de los suelos para correlacionar con el diseño de talud o terraplén, cabe mencionar que las calicatas se obtuvieron de zonas no habitadas para evitar interferir con la zona de vivienda de los pobladores.

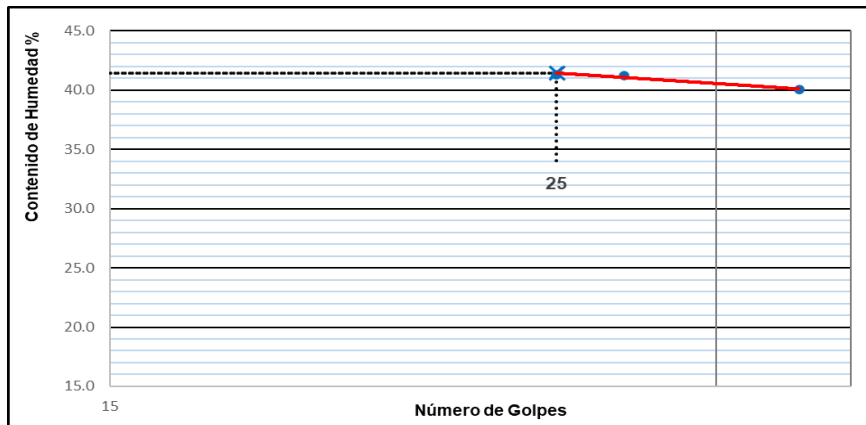
5.1.1. Caracterización del suelo natural

Calicata C-1

La calicata C-1 corresponde a una arena arcillosa (SC), con un índice de plasticidad de 16.20% y un contenido de humedad de 8.87%.

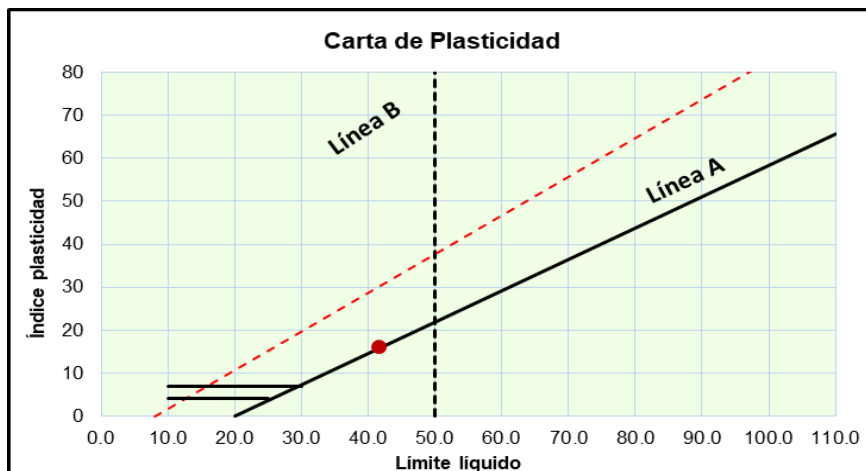
Figura 14

Contenido de humedad vs Número de golpes C-1



Nota. Elaboración propia.

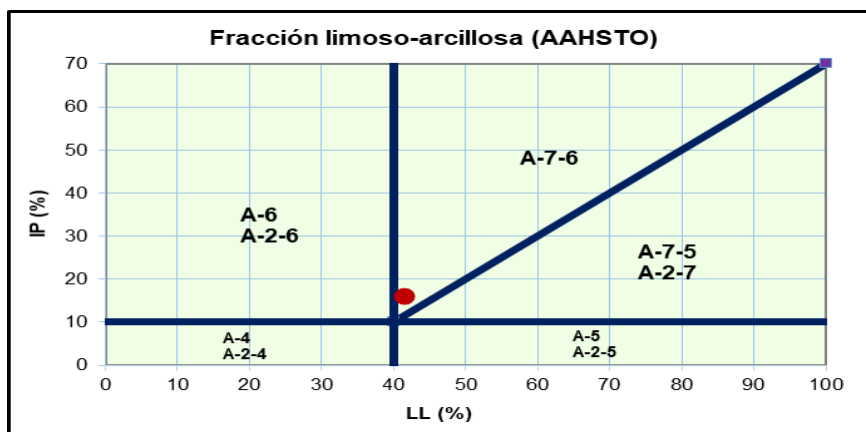
Figura 15 Carta de plasticidad C-1



Nota. Elaboración propia.

Figura 16

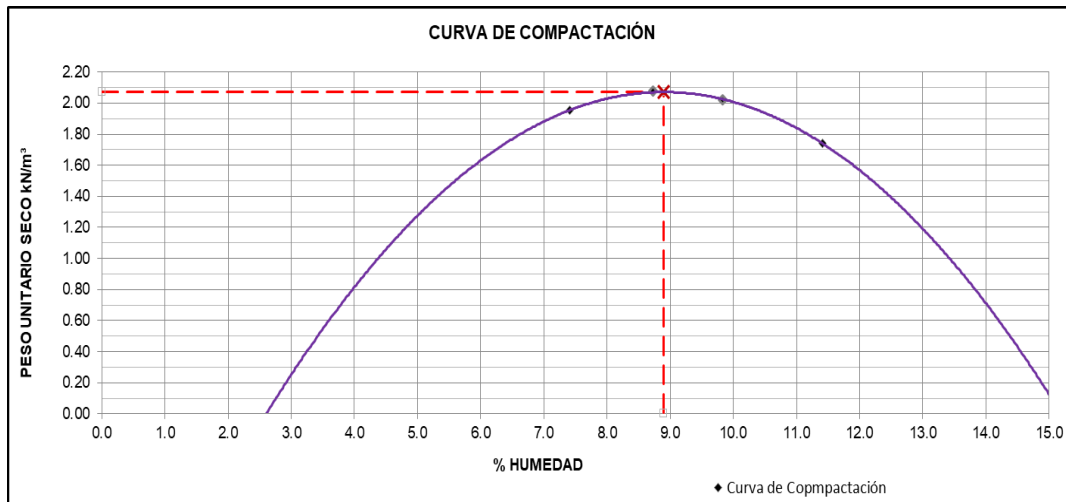
Clasificación AASHTO C-1



Nota. Elaboración propia.

Figura 17

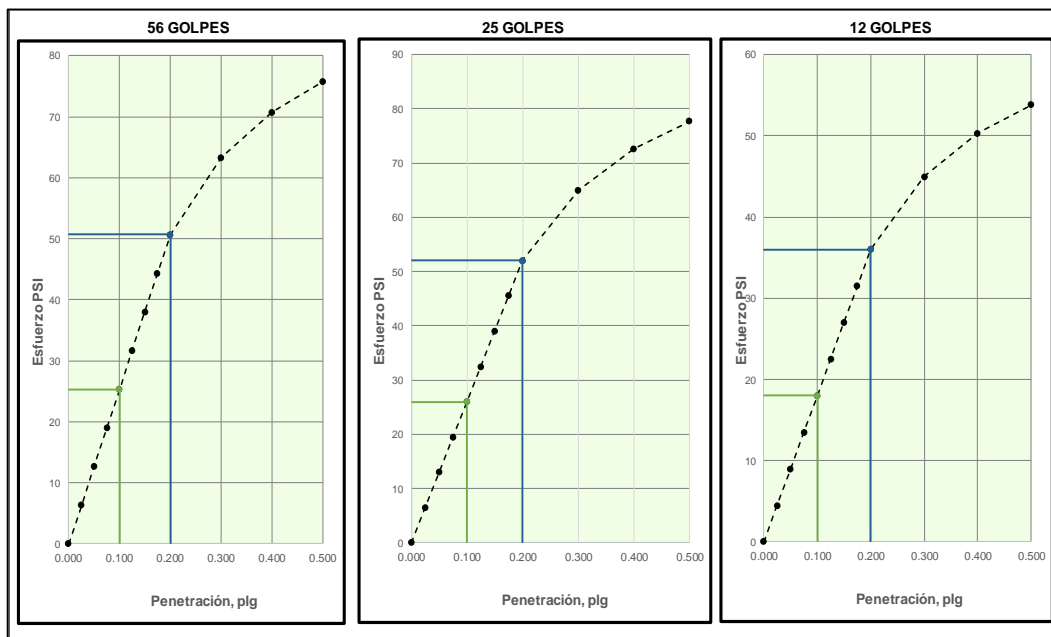
Curva de compactación C-1



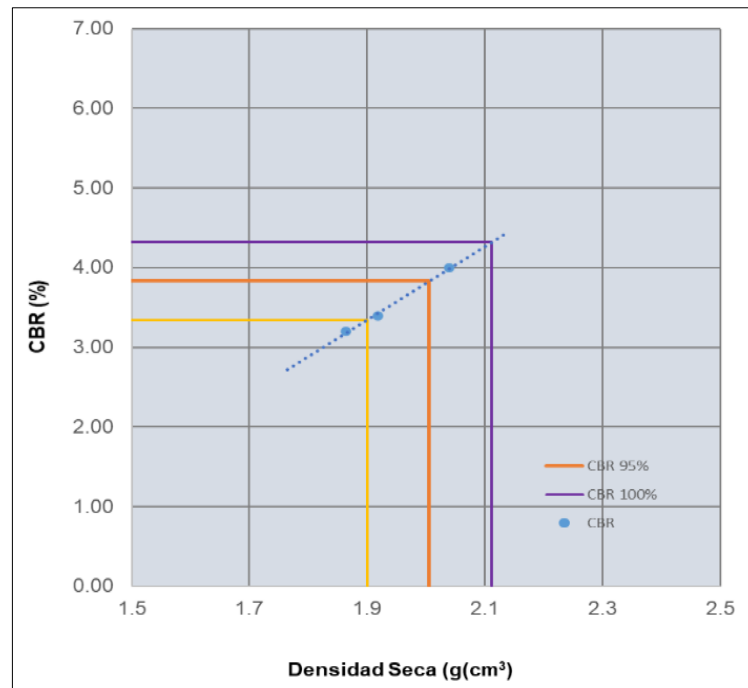
Nota. Elaboración propia.

Figura 18

CBR golpes vs penetración C-1



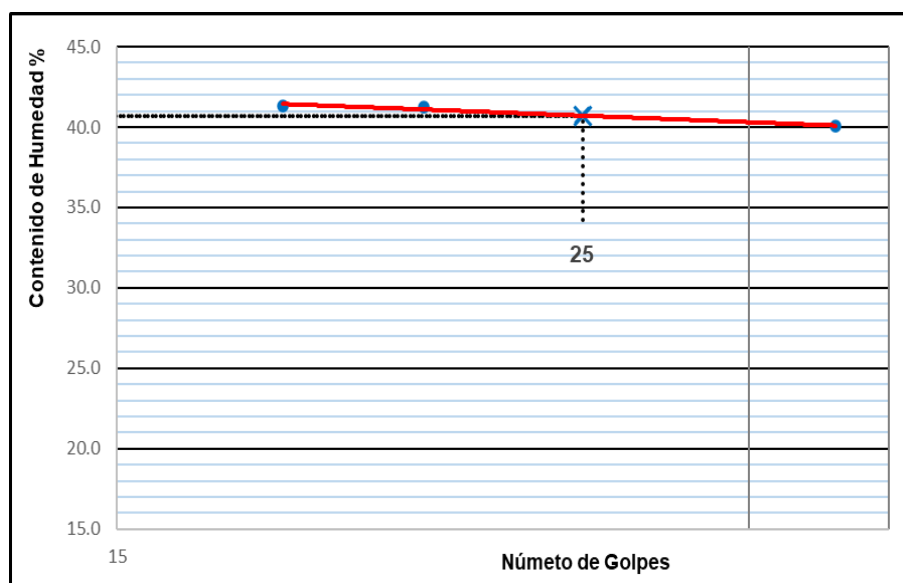
Nota. Elaboración propia.

Figura 19*CBR vs densidad seca C-1*

Nota. Elaboración propia.

Calicata C-2

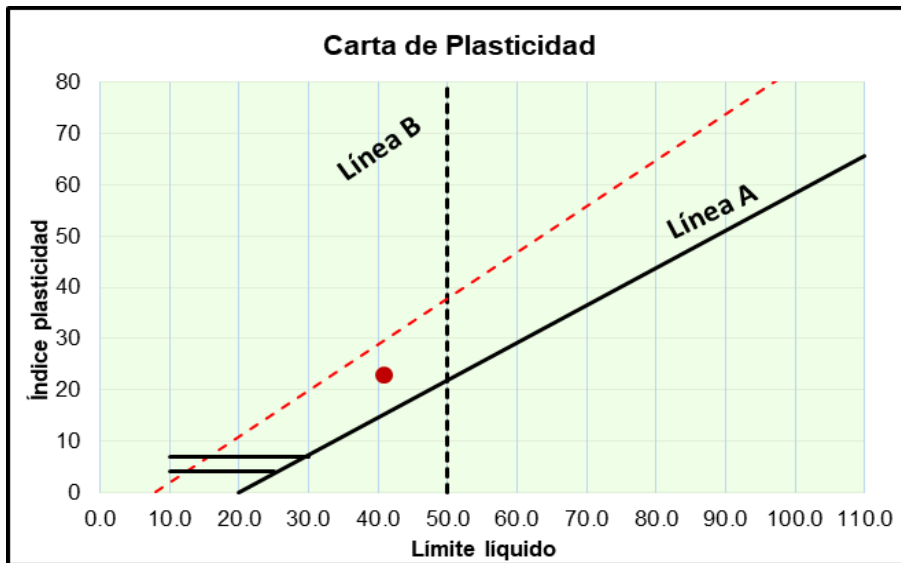
La calicata C-2 corresponde a una arena arcillosa (SC), con un índice de plasticidad de 23.00% y un contenido de humedad de 6.72%

Figura 20*Contenido de humedad vs Número de golpes C-2*

Nota. Elaboración propia.

Figura 21

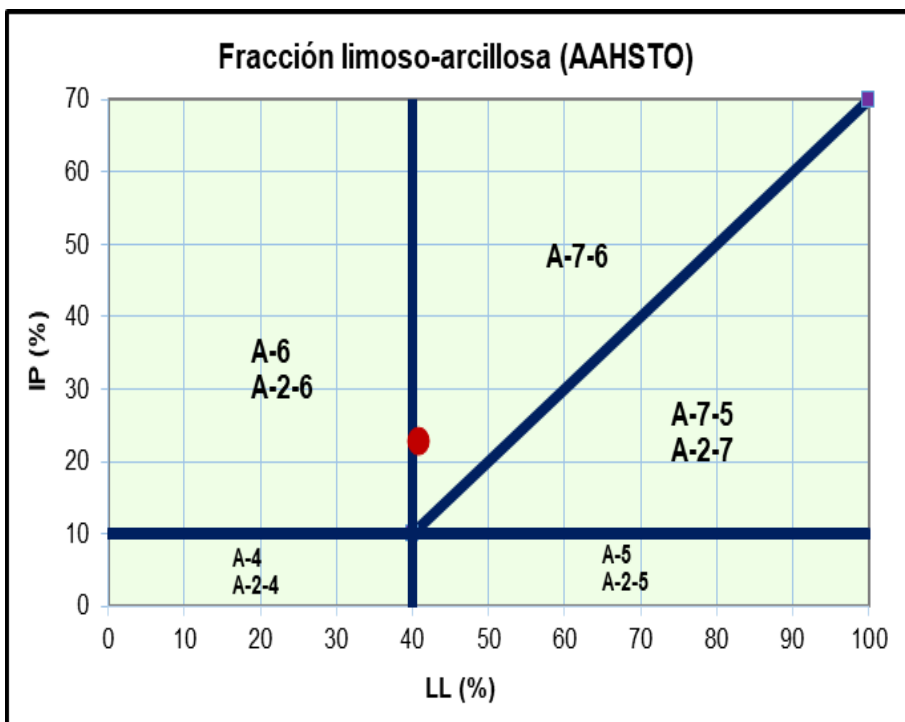
Carta de plasticidad C-2



Nota. Elaboración propia.

Figura 22

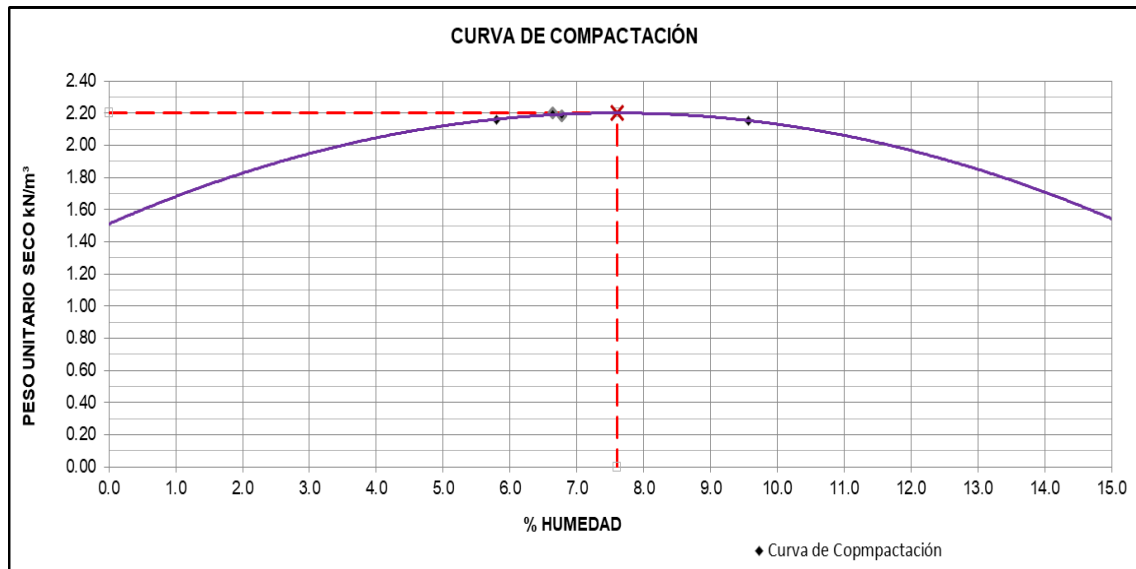
Clasificación AASHTO C-2



Nota. Elaboración propia.

Figura 23

Curva de compactación C-2



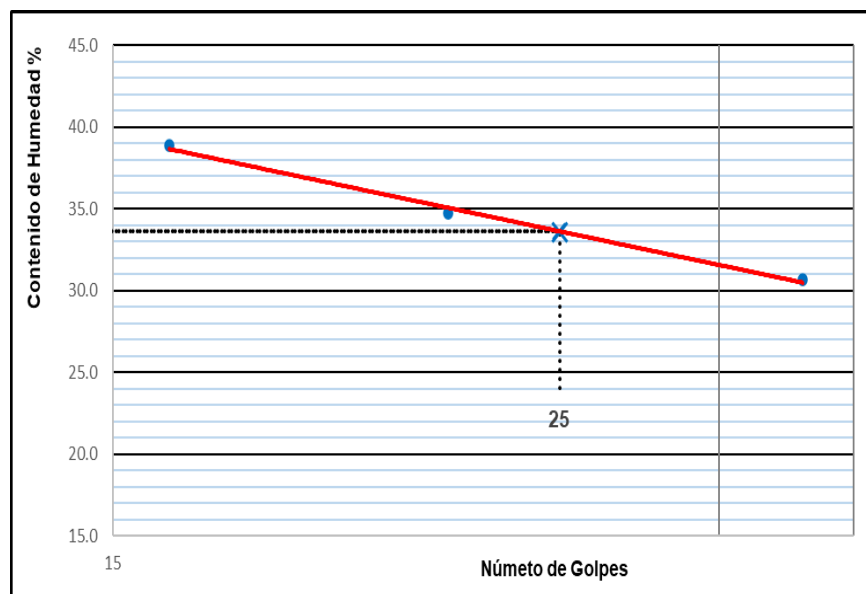
Nota. Elaboración propia.

Calicata C-3

La calicata C-3 corresponde a una arena limosa (SM), con un índice de plasticidad de 6.60% y un contenido de humedad de 9.21%

Figura 24

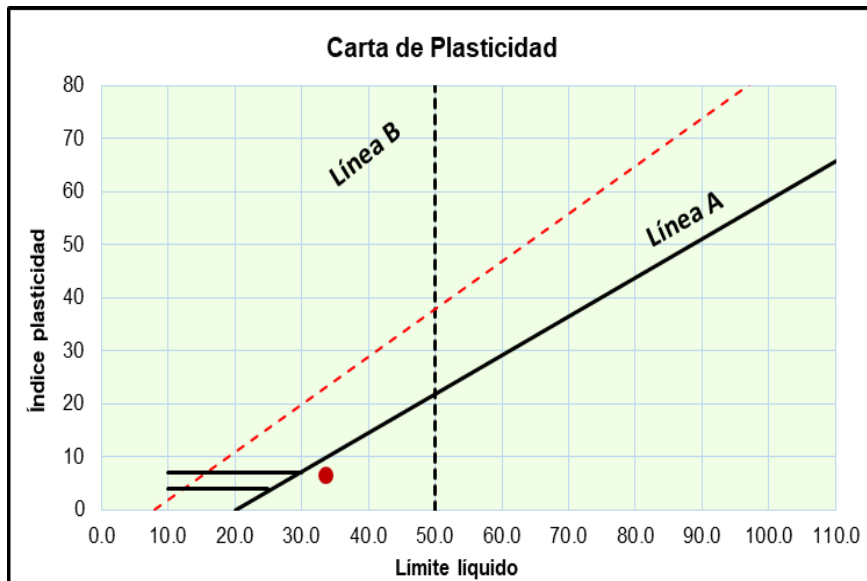
Contenido de humedad vs Número de golpes C-3



Nota. Elaboración propia.

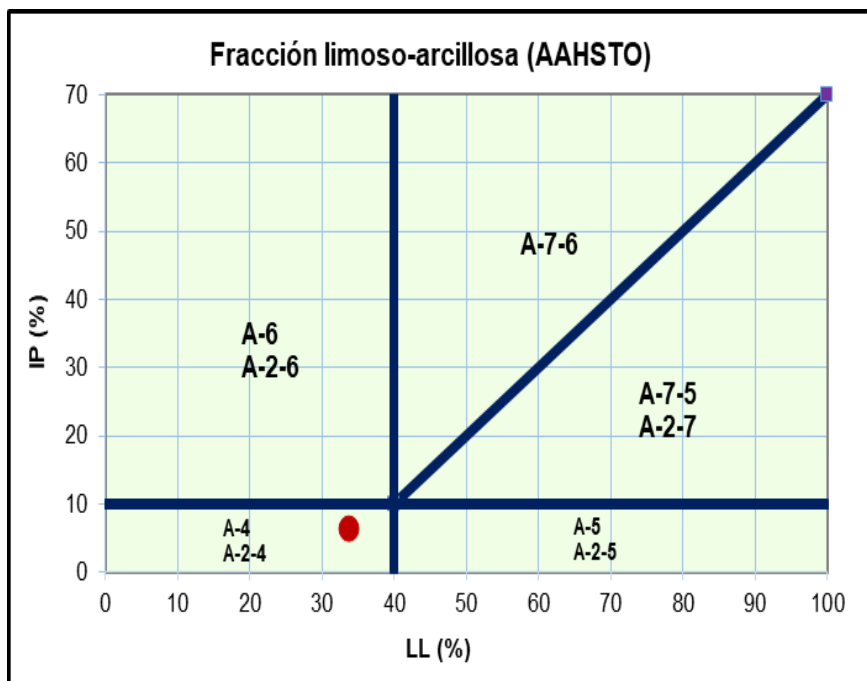
Figura 25

Carta de plasticidad C-3



Nota. Elaboración propia.

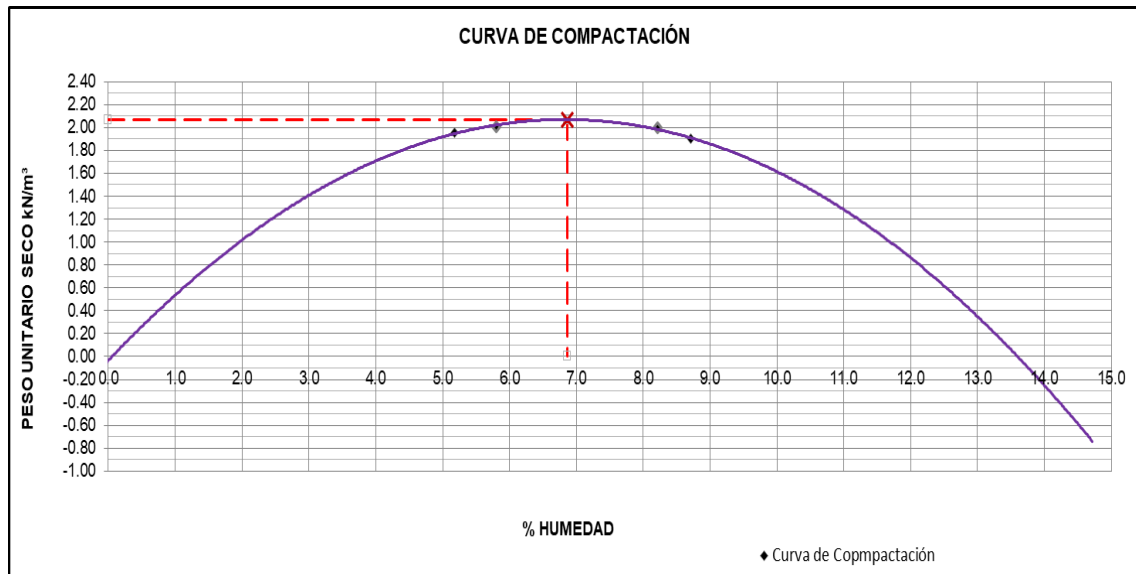
Figura 26 *Clasificación AASHTO C-3*



Nota. Elaboración propia.

Figura 27

Curva de compactación C-3



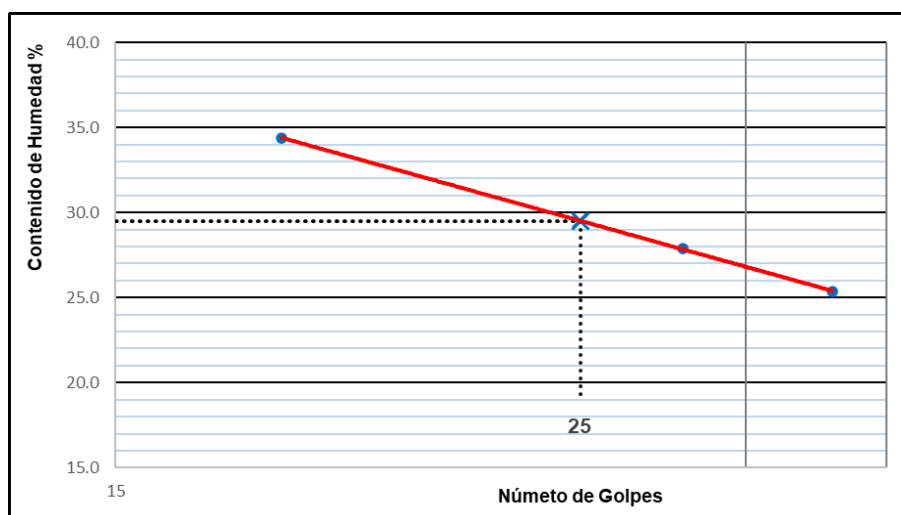
Nota. Elaboración propia.

Calicata C-4

La calicata C-4 corresponde a una arena limosa (SM), con un índice de plasticidad de 4.80% y un contenido de humedad de 9.90%

Figura 28

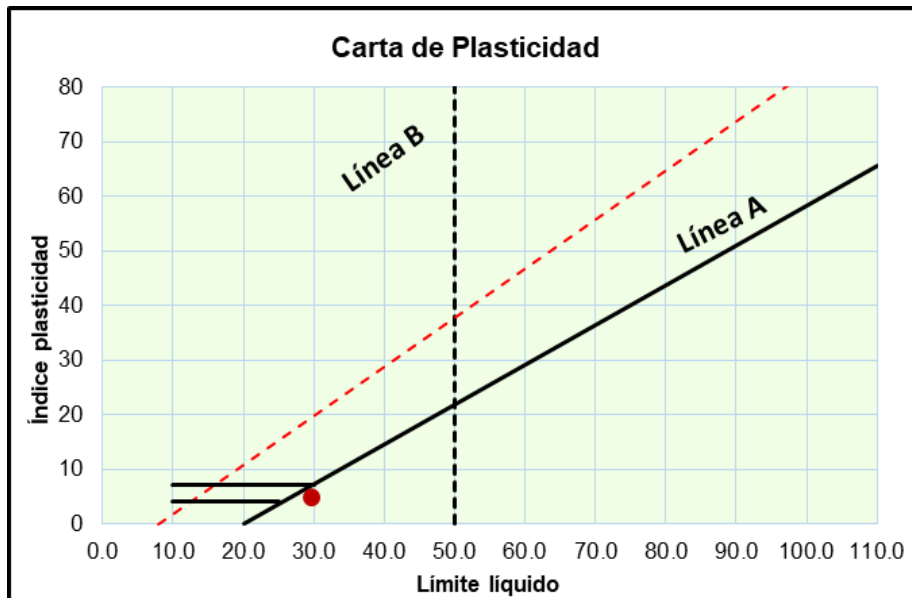
Contenido de humedad vs Número de golpes C-4



Nota. Elaboración propia.

Figura 29

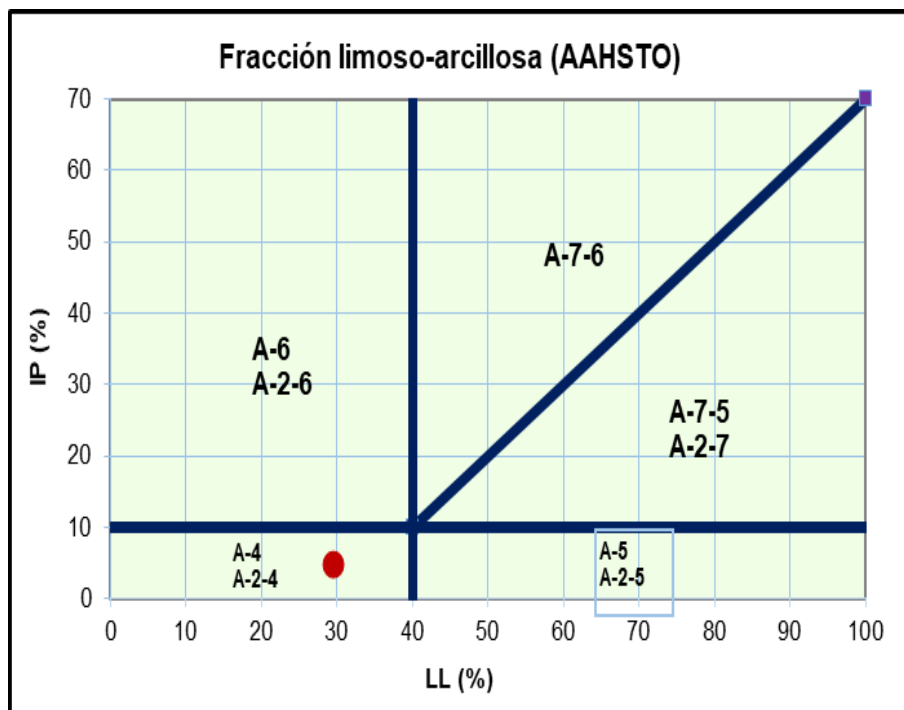
Carta de plasticidad C-4



Nota. Elaboración propia.

Figura 30

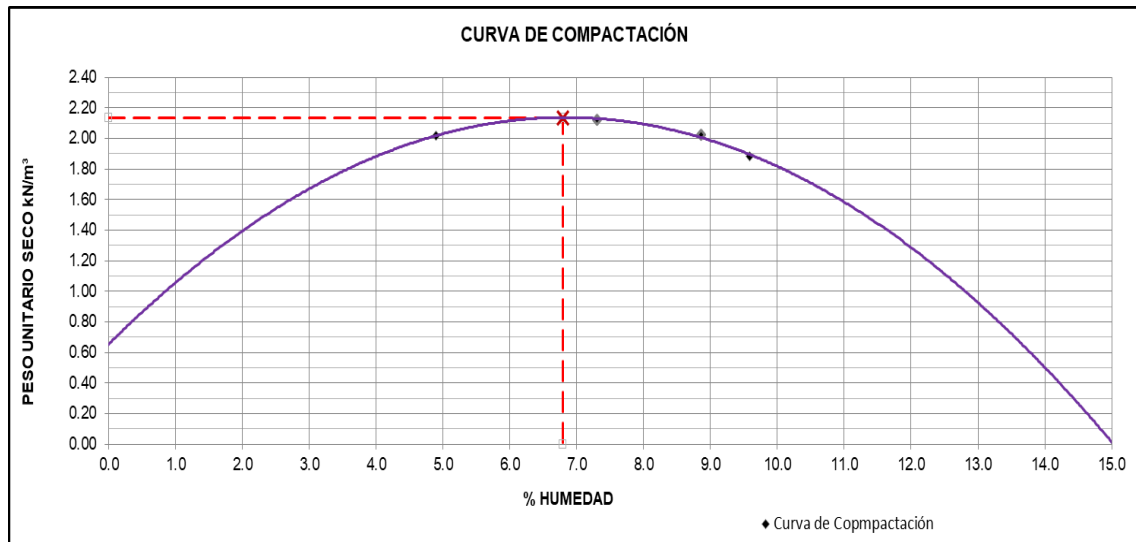
Clasificación AASHTO C-4



Nota. Elaboración propia.

Figura 31

Curva de compactación C-4



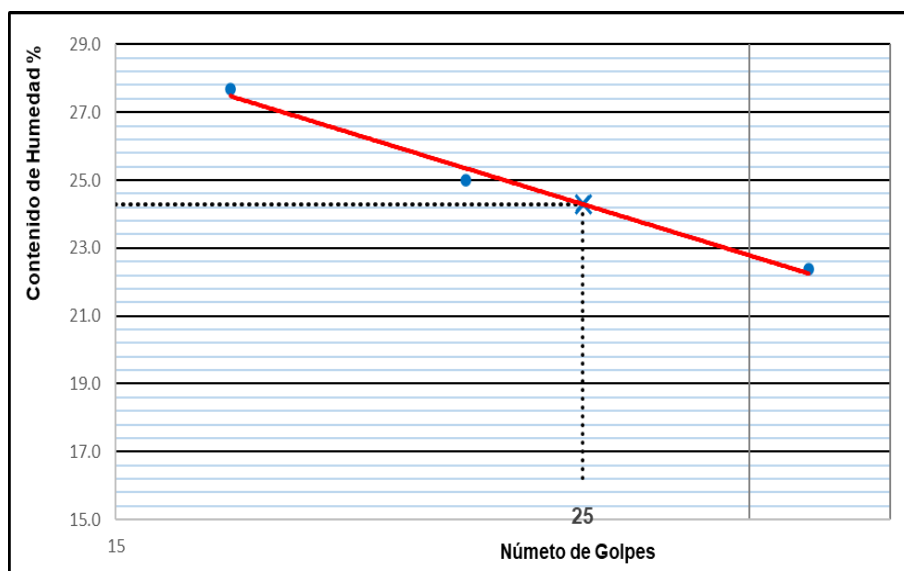
Nota. Elaboración propia.

Calicata C-5

La calicata C-5 corresponde a una arena limosa (SM), con un índice de plasticidad de 3.20% y un contenido de humedad de 5.56%

Figura 32

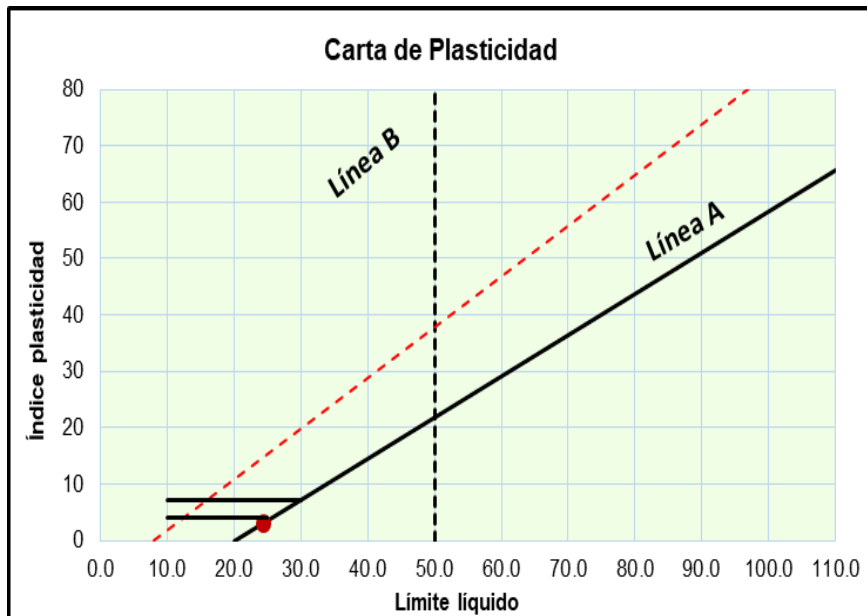
Contenido de humedad vs Número de golpes C-5



Nota. Elaboración propia.

Figura 33

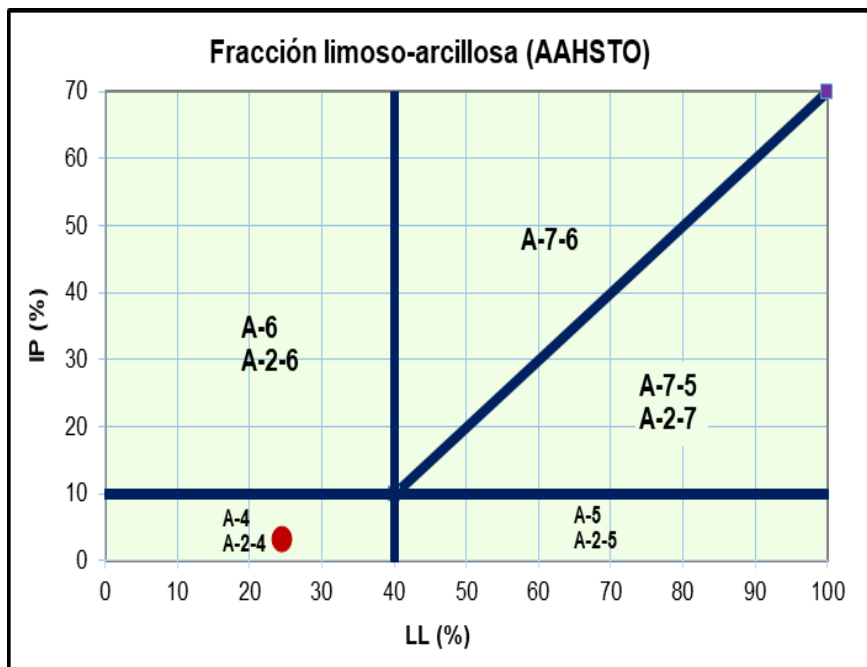
Carta de plasticidad C-5



Nota. Elaboración propia.

Figura 34

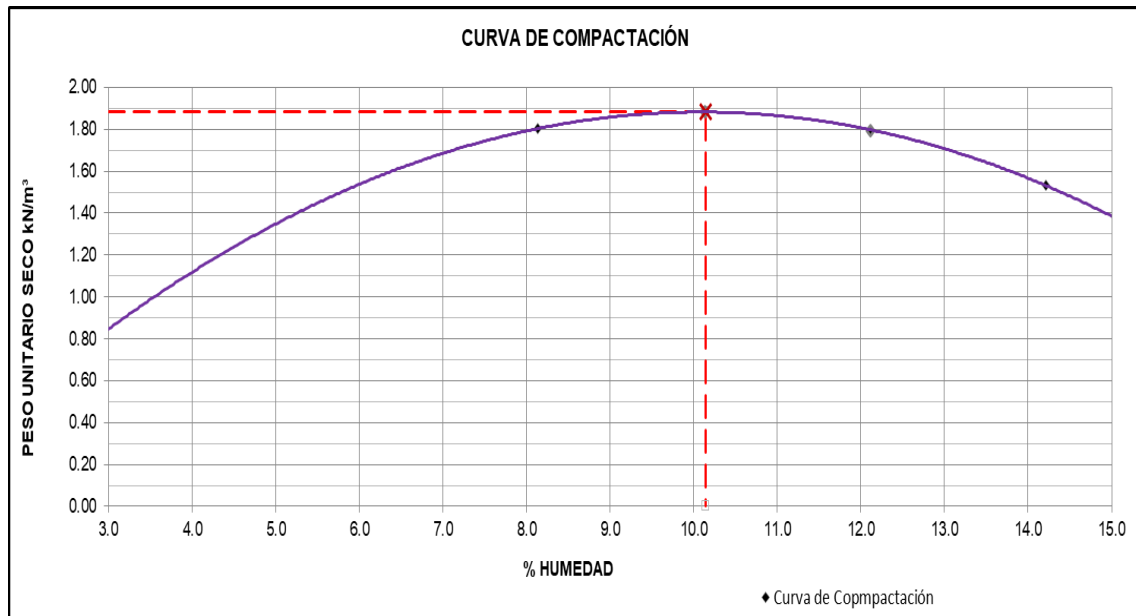
Clasificación AASHTO C-5



Nota. Elaboración propia.

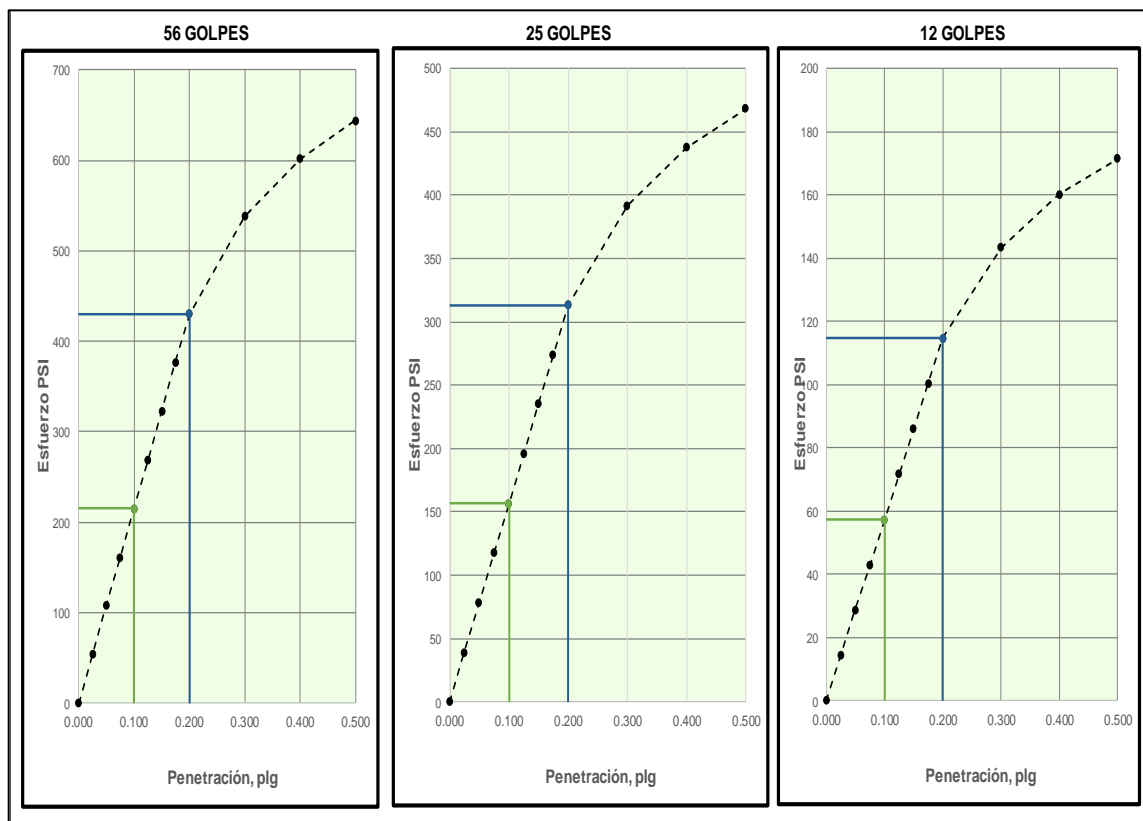
Figura 35

Curva de compactación C-5



Nota. Elaboración propia.

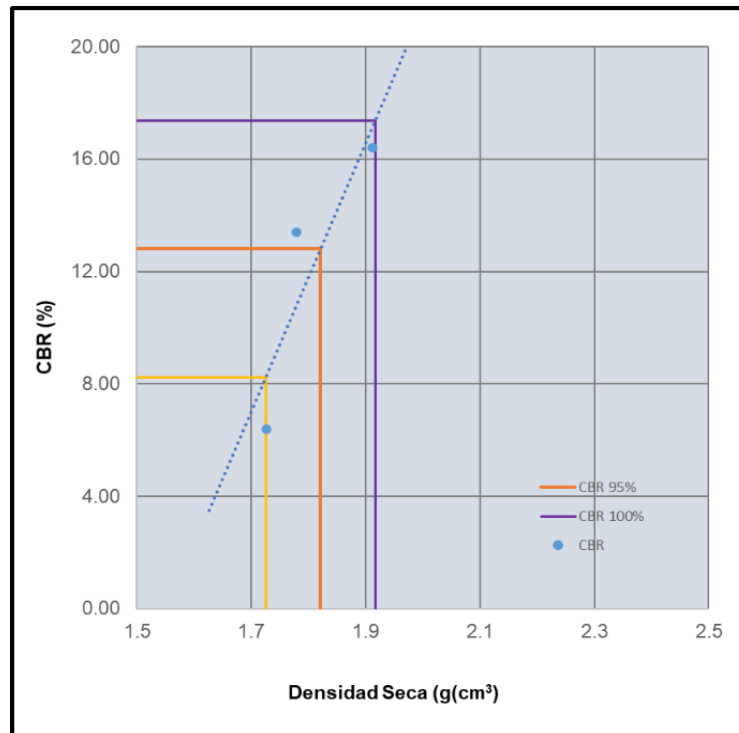
Figura 36 *CBR golpes vs penetración C-5*



Nota. Elaboración propia.

Figura 37

CBR vs densidad seca C-5



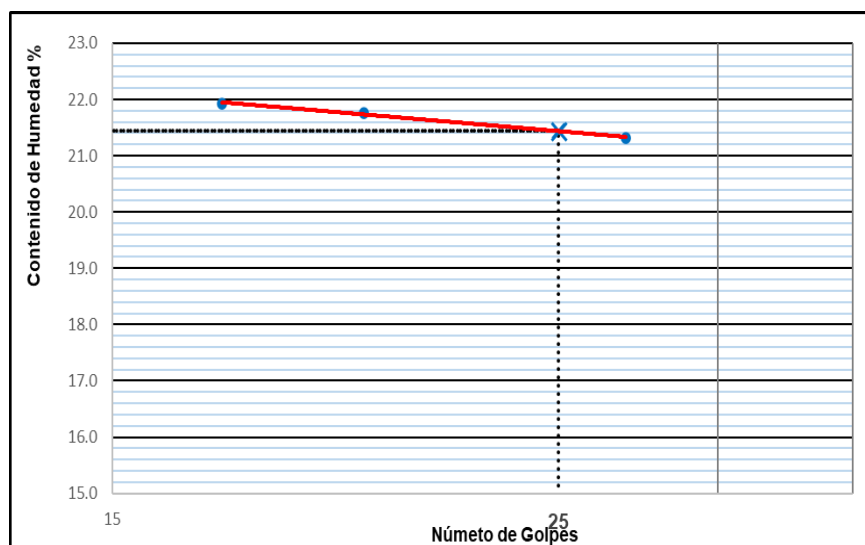
Nota. Elaboración propia.

Calicata C-6

La calicata C-6 corresponde a una arena limosa (SM), con un índice de plasticidad de 3.40% y un contenido de humedad de 8.68%

Figura 38

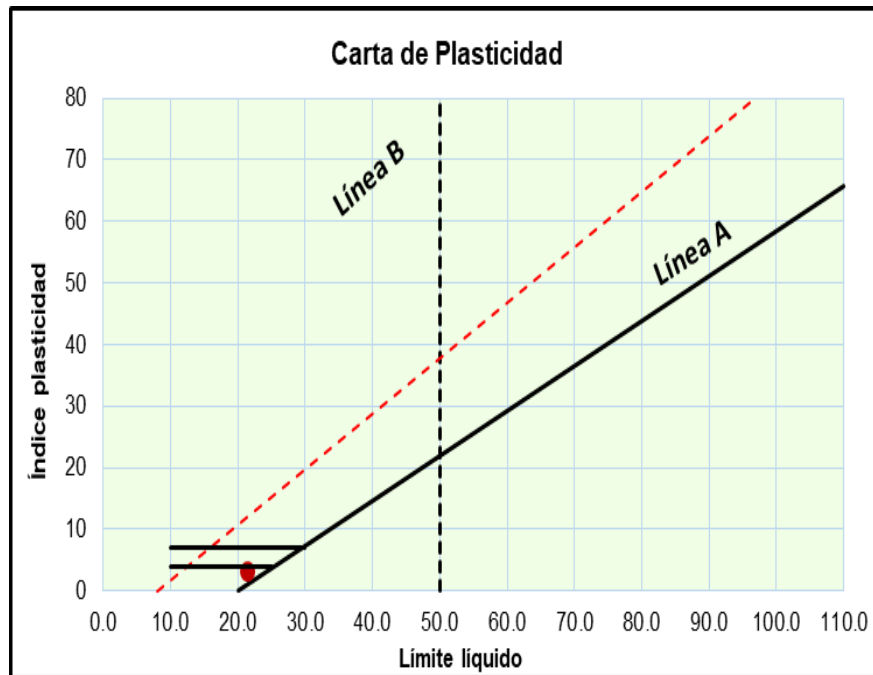
Contenido de humedad vs Número de golpes C-6



Nota. Elaboración propia.

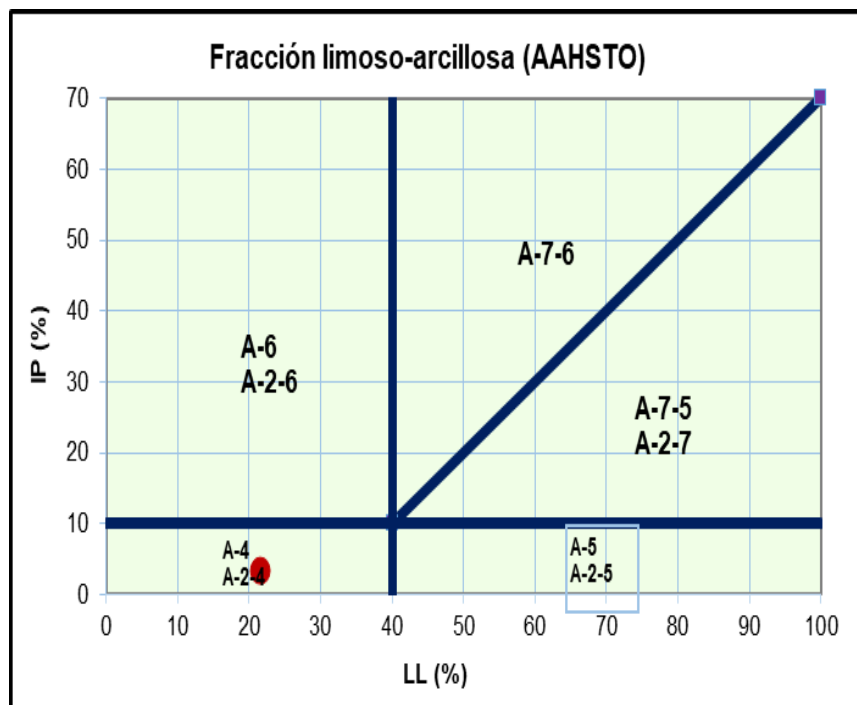
Figura 39

Carta de plasticidad C-6



Nota. Elaboración propia.

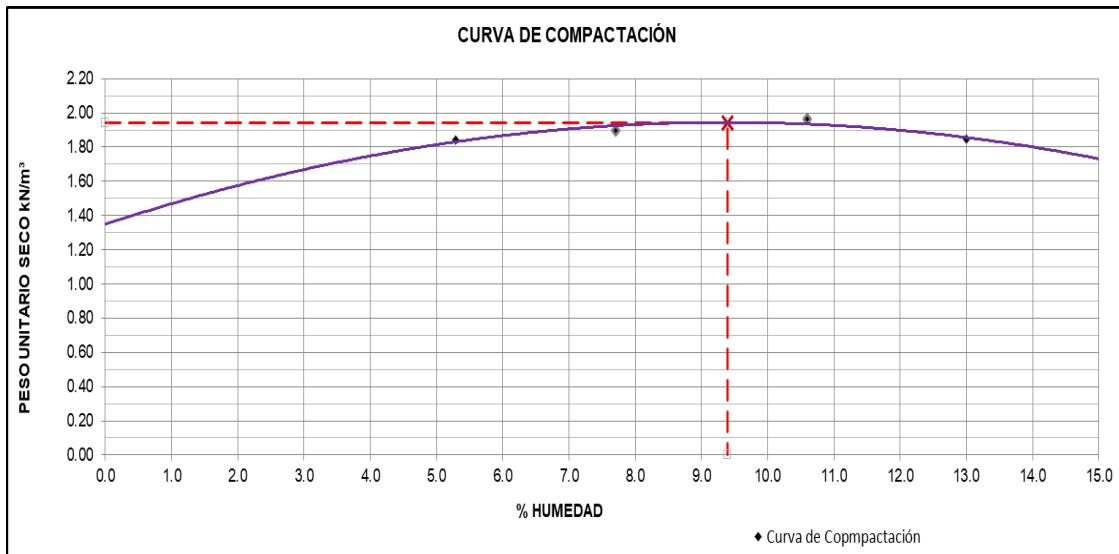
Figura 40 *Clasificación AASHTO C-6*



Nota. Elaboración propia.

Figura 41

Curva de compactación C-6



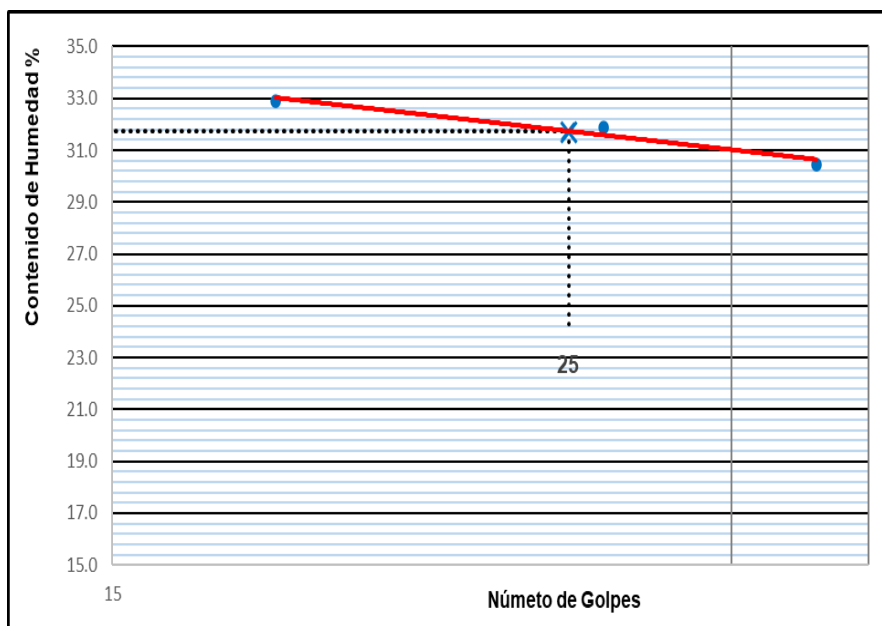
Nota. Elaboración propia.

Calicata C-7

La calicata C-7 corresponde a una arena arcillosa (SC), con un índice de plasticidad de 13.00% y un contenido de humedad de 11.69%

Figura 42

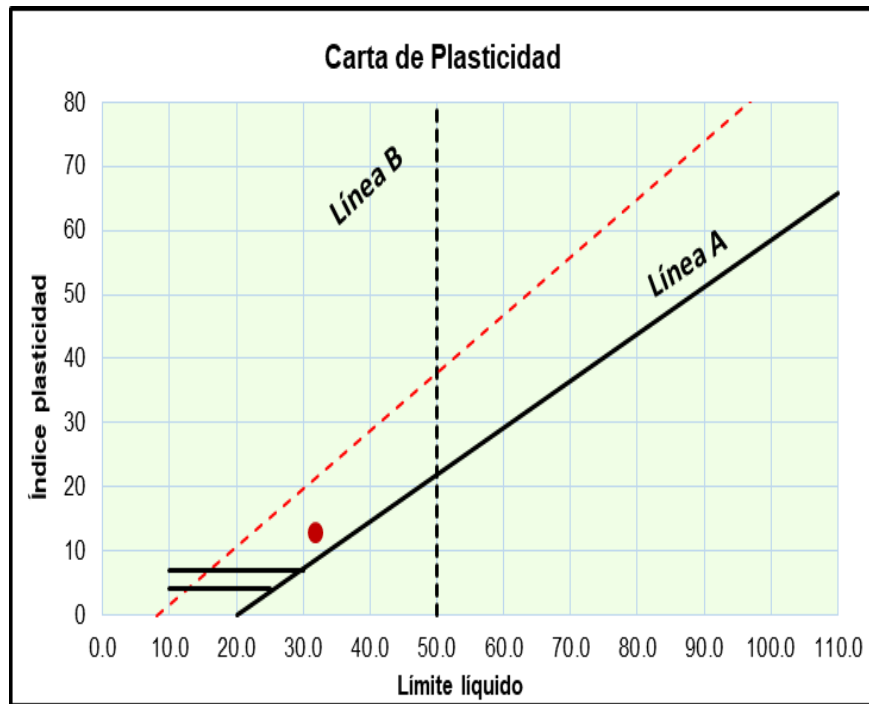
Contenido de humedad vs Número de golpes C-7



Nota. Elaboración propia.

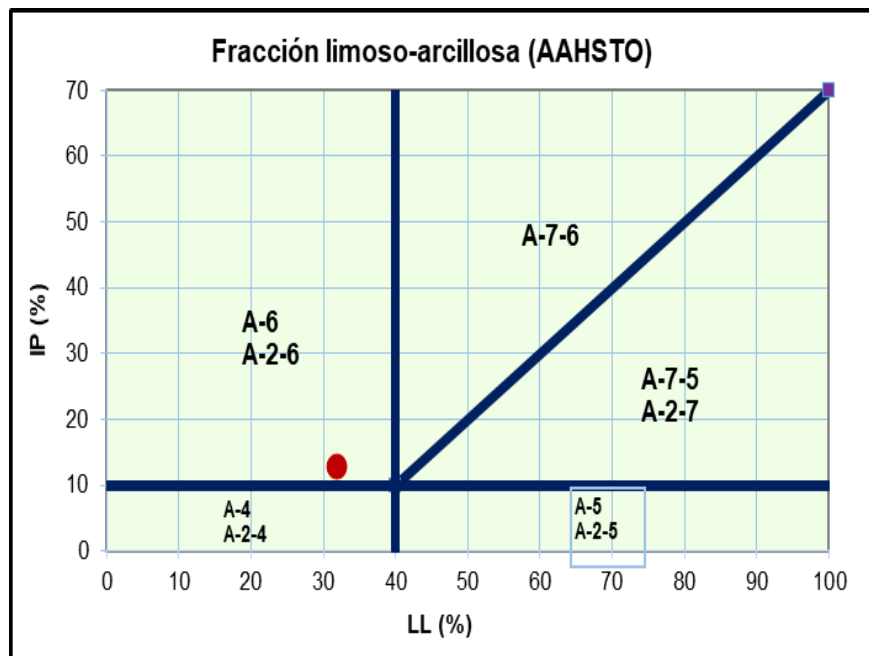
Figura 43

Carta de plasticidad C-7

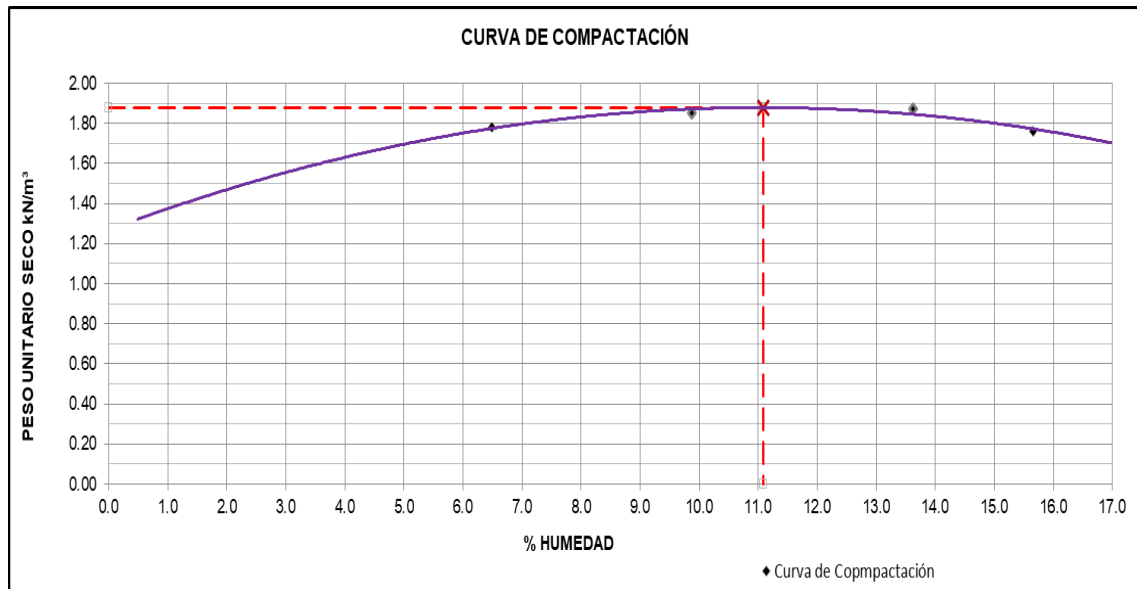


Nota. Elaboración propia.

Figura 44 *Clasificación AASHTO C-7*



Nota. Elaboración propia.

Figura 45*Curva de compactación C-7**Nota.* Elaboración propia.**Resumen de caracterización de suelos****Tabla 9***Resumen de caracterización de suelos*

Calicatas	Índice de Plasticidad (%)	Contenido de humedad (%)
C-1	16.2	8.87
C-2	23	6.72
C-3	6.6	9.21
C-4	4.8	9.9
C-5	3.2	5.56
C-6	3.4	8.68
C-7	13	11.69

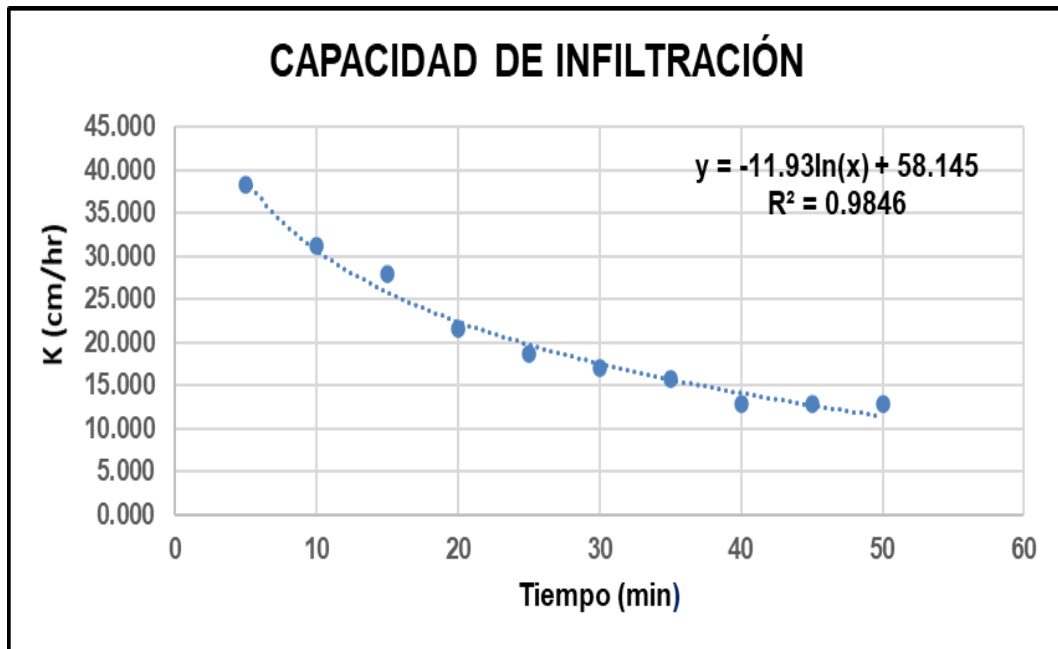
Nota. Elaboración propia.**5.1.2. Permeabilidad del suelo natural****Calicata C-1**

Para la calicata C-1 se realizó el ensayo de capacidad de infiltración, mediante el cual se determinó el tiempo que demora infiltrar el agua en el suelo, del cual, mediante la

ecuación de Coeficiente de Permeabilidad (k) presentada en las bases teóricas (Ver Ecuación 3), se calculó dicho valor, siendo este de 0.005809 cm/s.

Figura 46

Capacidad de infiltración C-1



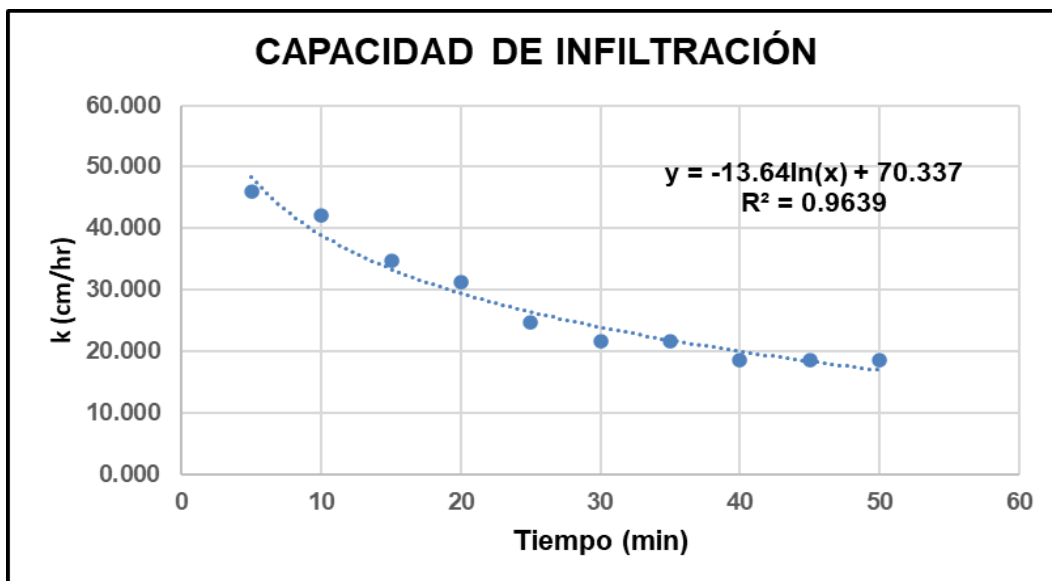
Nota. Elaboración propia.

Calicata C-2

Para la calicata C-2 se realizó el ensayo de capacidad de infiltración, mediante el cual se determinó el tiempo que demora infiltrar el agua en el suelo, del cual, mediante la ecuación de Coeficiente de Permeabilidad, se calculó dicho valor, siendo este de 0.007713 cm/s.

Figura 47

Capacidad de infiltración C-2



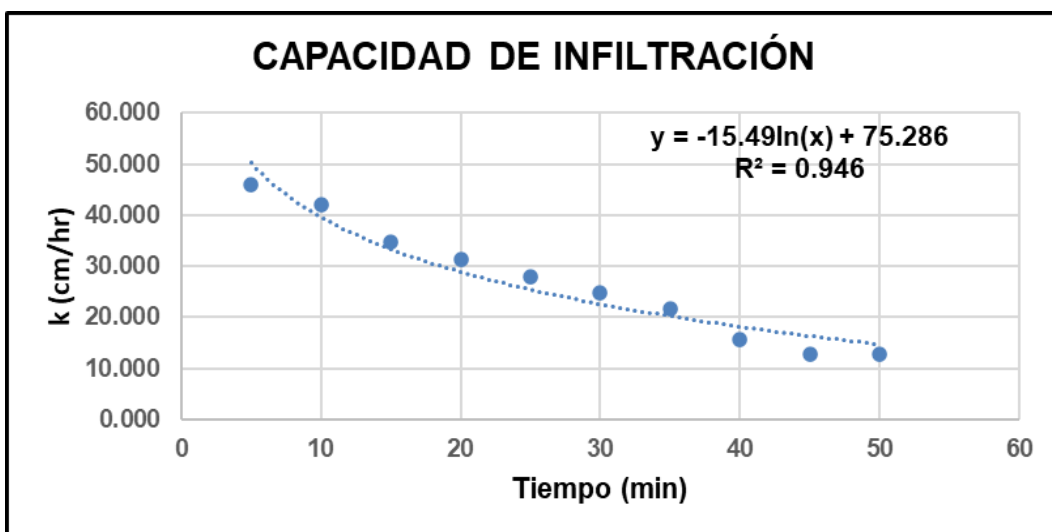
Nota. Elaboración propia.

Calicata C-3

Para la calicata C-3 se realizó el ensayo de capacidad de infiltración, mediante el cual se determinó el tiempo que demora infiltrar el agua en el suelo, del cual, mediante la ecuación de Coeficiente de Permeabilidad, se calculó dicho valor, siendo este de 0.007490 cm/s.

Figura 48

Capacidad de infiltración C-3



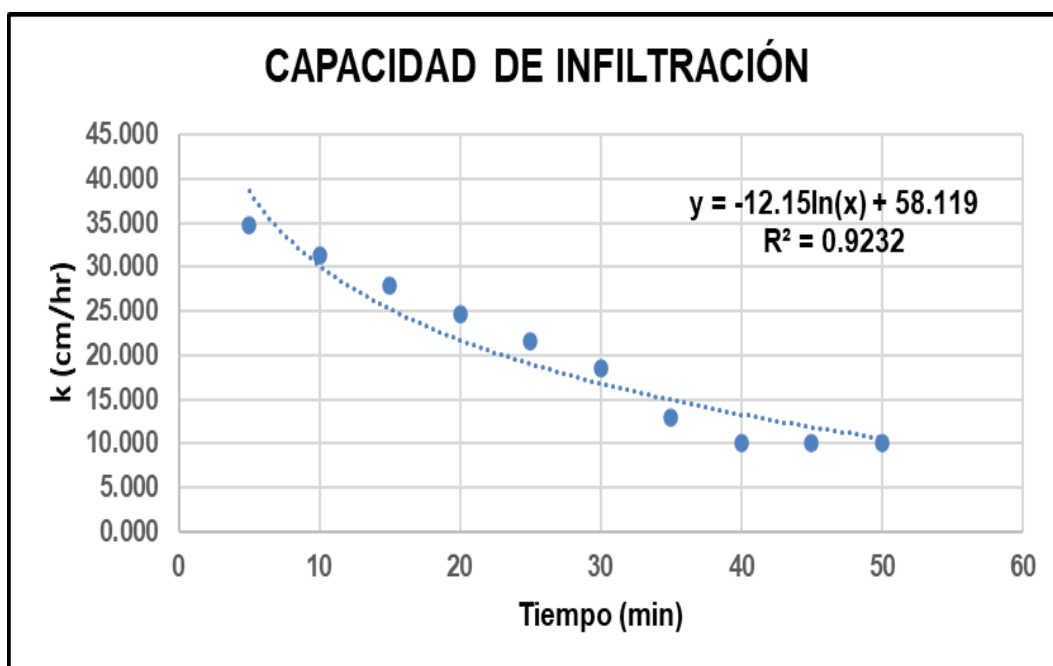
Nota. Elaboración propia.

Calicata C-4

Para la calicata C-4 se realizó el ensayo de capacidad de infiltración, mediante el cual se determinó el tiempo que demora infiltrar el agua en el suelo, del cual, mediante la ecuación de Coeficiente de Permeabilidad, se calculó dicho valor, siendo este de 0.005614 cm/s.

Figura 49

Capacidad de infiltración C-4



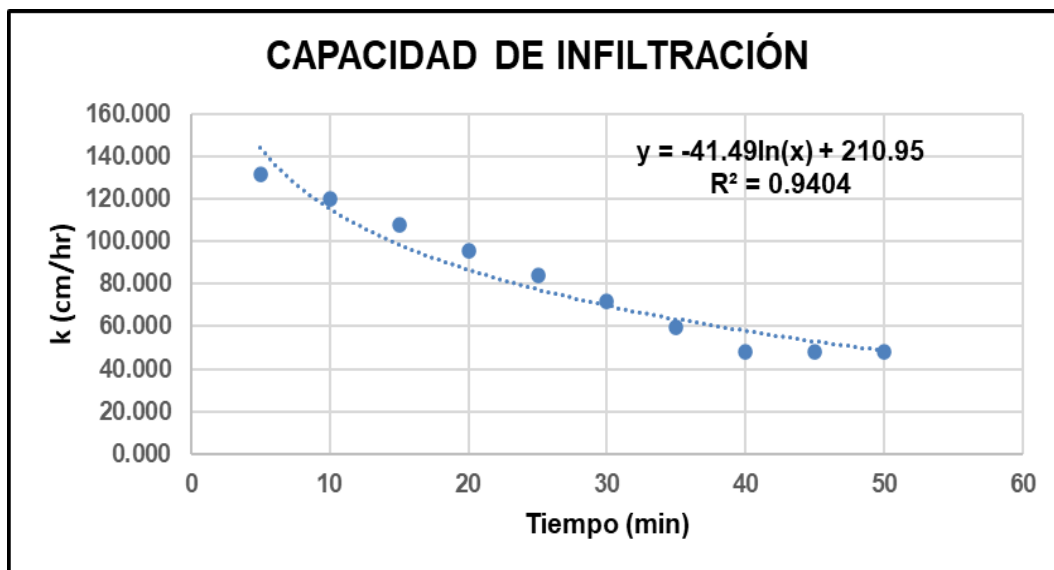
Nota. Elaboración propia.

Calicata C-5

Para la calicata C-5 se realizó el ensayo de capacidad de infiltración, mediante el cual se determinó el tiempo que demora infiltrar el agua en el suelo, del cual, mediante la ecuación de Coeficiente de Permeabilidad, se calculó dicho valor, siendo este de 0.022641 cm/s.

Figura 50

Capacidad de infiltración C-5



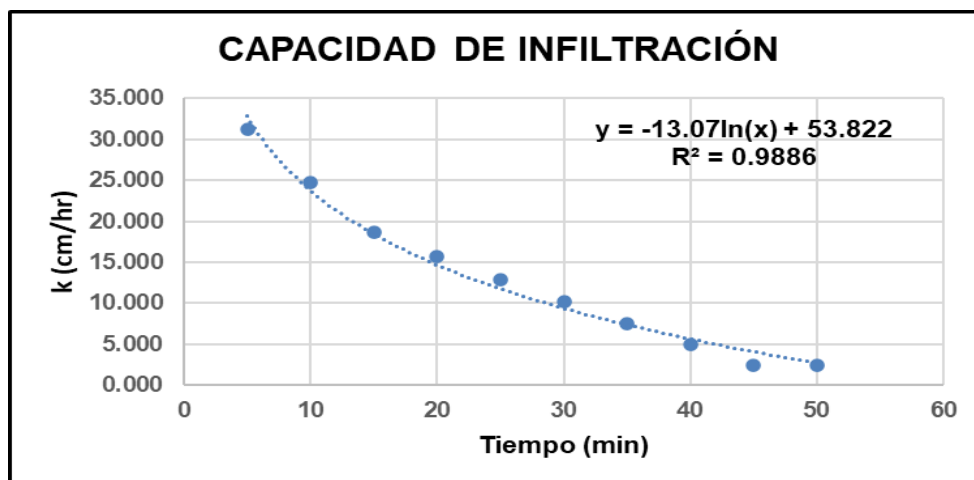
Nota. Elaboración propia.

Calicata C-6

Para la calicata C-6 se realizó el ensayo de capacidad de infiltración, mediante el cual se determinó el tiempo que demora infiltrar el agua en el suelo, del cual, mediante la ecuación de Coeficiente de Permeabilidad, se calculó dicho valor, siendo este de 0.003627 cm/s.

Figura 51

Capacidad de infiltración C-6



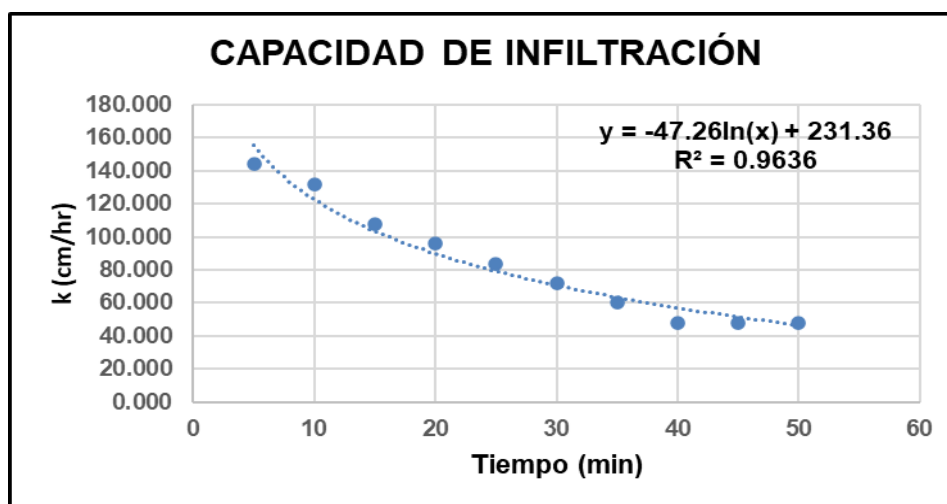
Nota. Elaboración propia.

Calicata C-7

Para la calicata C-7 se realizó el ensayo de capacidad de infiltración, mediante el cual se determinó el tiempo que demora infiltrar el agua en el suelo, del cual, mediante la ecuación de Coeficiente de Permeabilidad, se calculó dicho valor, siendo este de 0.023307 cm/s.

Figura 52

Capacidad de infiltración C-7



Nota. Elaboración propia.

Tabla 10

Resumen del Coeficiente de permeabilidad de suelos

Calicatas	Coeficiente de permeabilidad k (cm/s)
C-1	0.0058
C-2	0.0077
C-3	0.0075
C-4	0.0056
C-5	0.0051
C-6	0.0036
C-7	0.0053

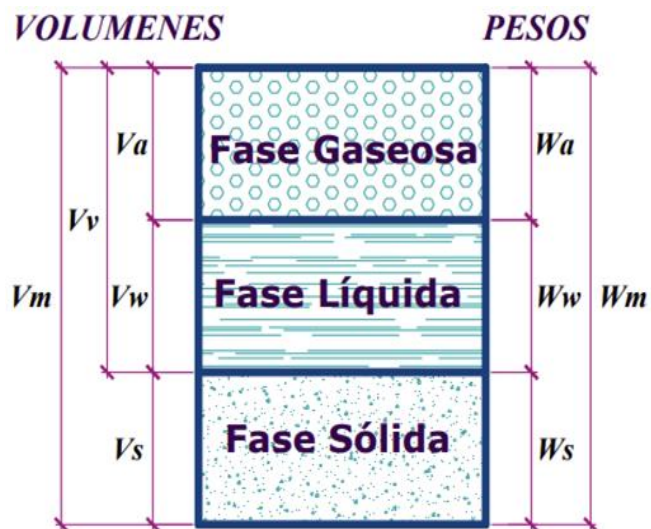
Nota. Elaboración propia.

5.1.3. Porosidad del suelo natural

La porosidad se determinó a partir de la denominada relación de vacíos o también conocido como índice de porosidad. Para ello se utilizó el siguiente esquema representativo de un suelo para cada una de las calicatas.

Figura 53

Esquema típico para la representación de las calicatas



Nota. Elaboración propia.

La relación de vacíos de las calicatas C-1, C-2, C-3, C-4, C-5, C-6 y C-7 es de 0.768, 0.636, 0.813, 0.832, 0.741 y 0.591 respectivamente; mientras que la porosidad de las calicatas C-1, C-2, C-3, C-4, C-5, C-6 y C-7 es de 0.43, 0.39, 0.45, 0.45, 0.43, 0.37 y 0.41 respectivamente. A continuación, se presenta el cuadro resumen del cálculo de la porosidad y relación de vacíos.

Tabla 11*Relación de vacíos y porosidad*

N°	%W	W _m (g)	W _w (g)	W _s (g)	Y _s g/cm ³	Y _m g/cm ³	PESO UNITARIO SATURADO g/cm ³	PESO UNITARIO SATURADO kg/cm ³	V _m cm ³	V _s cm ³	V _v cm ³	e	n
C-1	8.87	1000.00	81.47	918.53	2.55	1.57	1.57	1570.00	636.94	360.21	276.74	0.768	0.43
C-2	6.72	1000.00	62.97	937.03	2.59	1.69	1.69	1690.00	591.72	361.79	229.93	0.636	0.39
C-3	9.21	1000.00	84.33	915.67	2.54	1.53	1.53	1530.00	653.59	360.50	293.10	0.813	0.45
C-4	9.9	1000.00	90.08	909.92	2.55	1.53	1.53	1530.00	653.59	356.83	296.76	0.832	0.45
C-5	5.56	1000.00	52.67	947.33	2.49	1.51	1.51	1510.00	662.25	380.45	281.80	0.741	0.43
C-6	8.68	1000.00	79.87	920.13	2.46	1.68	1.68	1680.00	595.24	374.04	221.20	0.591	0.37
C-7	11.69	1000.00	104.66	895.34	2.41	1.58	1.58	1580.00	632.91	371.51	261.40	0.704	0.41

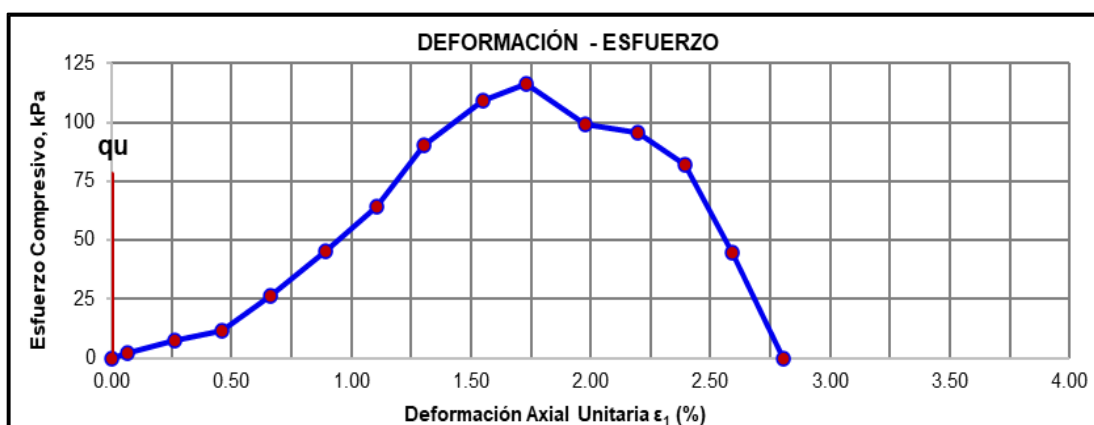
Nota. Elaboración propia.**Tabla 12***Resumen de porosidad de suelos*

Calicatas	Porosidad
C-1	0.43
C-2	0.39
C-3	0.45
C-4	0.45
C-5	0.43
C-6	0.37
C-7	0.41

Nota. Elaboración propia.**5.1.4. Densidad y resistencia a la compresión del suelo natural****Calicata C-1**

Para determinar la densidad y la resistencia a la compresión, se llevó a cabo el ensayo de compresión no confinada, con lo cual, la calicata C-1 posee una densidad húmeda de 1.58g/cm³, una densidad seca de 1.47g/cm³ y una resistencia a la compresión de 78kPa.

Figura 54 Curva esfuerzo deformación C-1



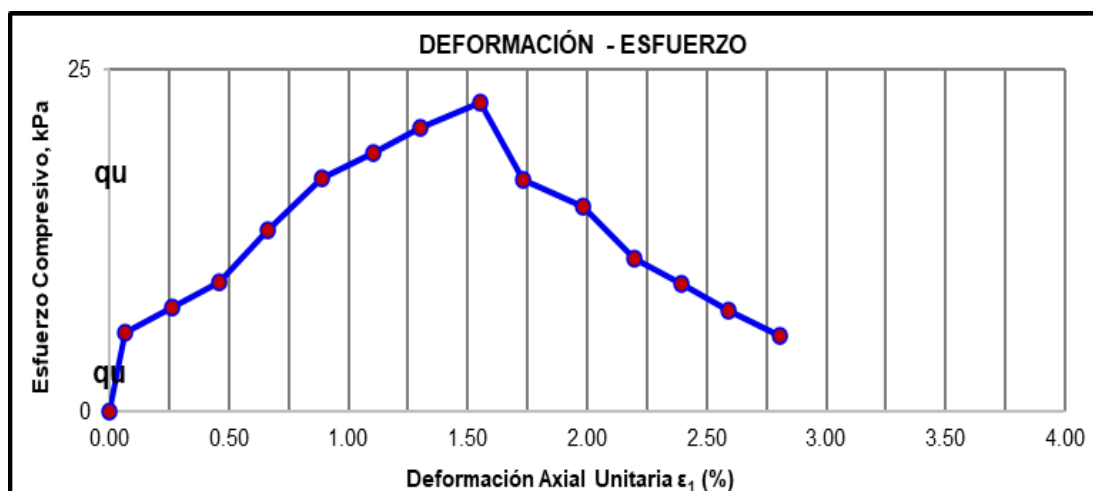
Nota. Elaboración propia.

Calicata C-2

Para determinar la densidad y la resistencia a la compresión, se llevó a cabo el ensayo de compresión no confinada, con lo cual, la calicata C-2 posee una densidad húmeda de 1.70 g/cm³, una densidad seca de 1.59 g/cm³ y una resistencia a la compresión de 15 kPa.

Figura 55

Curva esfuerzo deformación C-2



Nota. Elaboración propia.

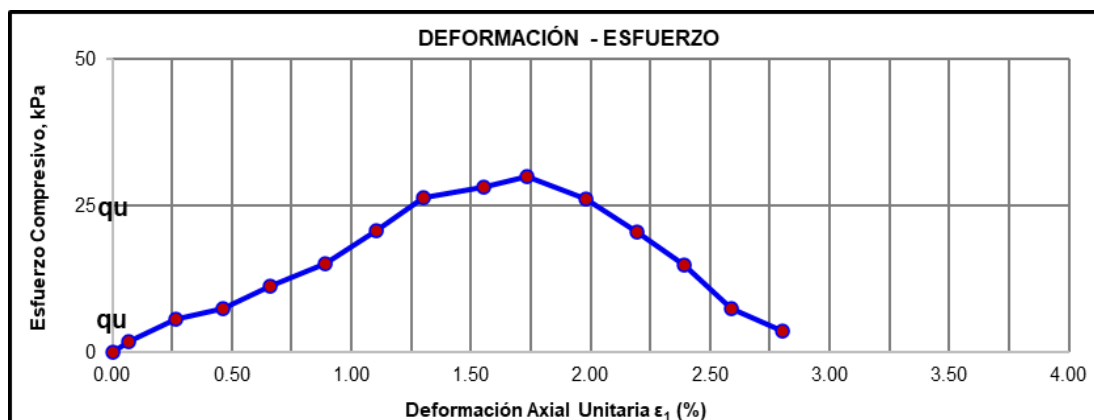
Calicata C-3

Para determinar la densidad y la resistencia a la compresión, se llevó a cabo el ensayo de compresión no confinada, con lo cual, la calicata C-3 posee una densidad

húmeda de 1.58g/cm³, una densidad seca de 1.44g/cm³ y una resistencia a la compresión de 20kPa.

Figura 56

Curva esfuerzo deformación C-3



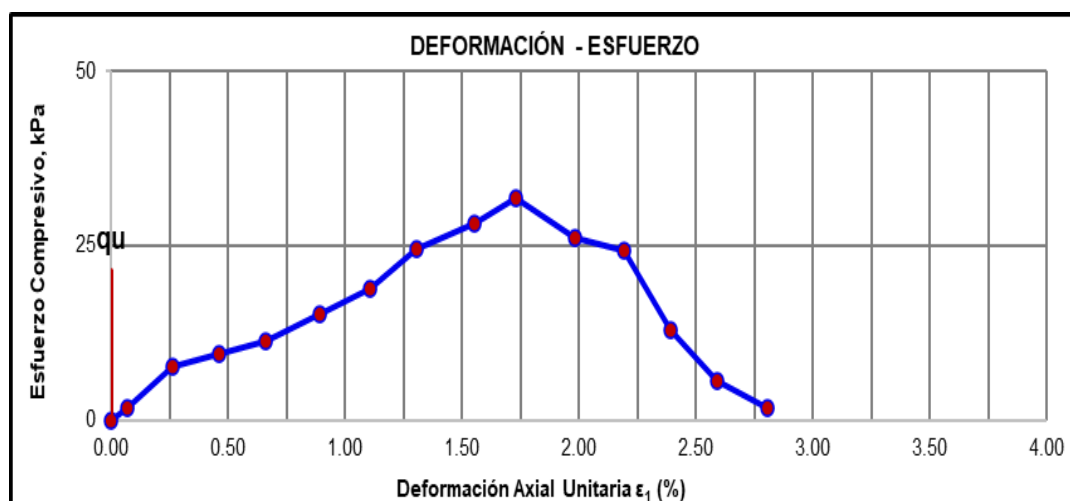
Nota. Elaboración propia.

Calicata C-4

Para determinar la densidad y la resistencia a la compresión, se llevó a cabo el ensayo de compresión no confinada, con lo cual, la calicata C-4 posee una densidad húmeda de 1.58g/cm³, una densidad seca de 1.45g/cm³ y una resistencia a la compresión de 21kPa.

Figura 57

Curva esfuerzo deformación C-4



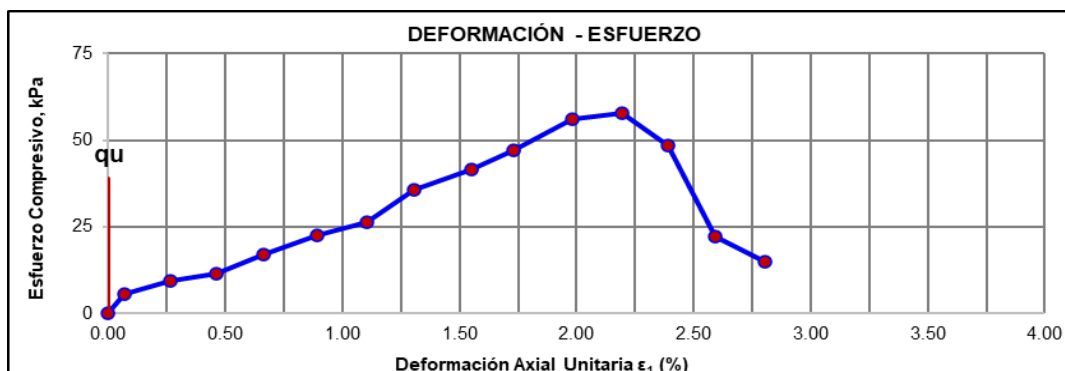
Nota. Elaboración propia.

Calicata C-5

Para determinar la densidad y la resistencia a la compresión, se llevó a cabo el ensayo de compresión no confinada, con lo cual, la calicata C-5 posee una densidad húmeda de 1.54g/cm³, una densidad seca de 1.47g/cm³ y una resistencia a la compresión de 39kPa.

Figura 58

Curva esfuerzo deformación C-5



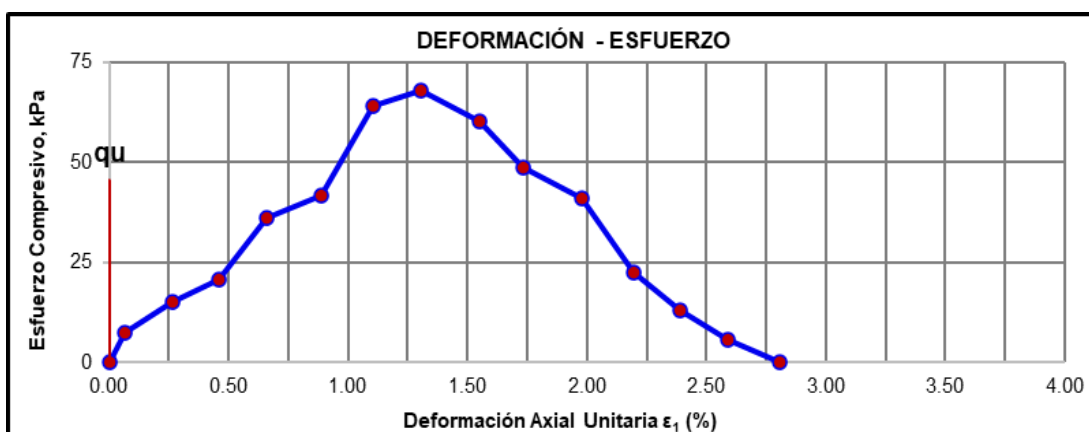
Nota. Elaboración propia.

Calicata C-6

Para determinar la densidad y la resistencia a la compresión, se llevó a cabo el ensayo de compresión no confinada, con lo cual, la calicata C-6 posee una densidad húmeda de 1.68g/cm³, una densidad seca de 1.58g/cm³ y una resistencia a la compresión de 45kPa.

Figura 59

Curva esfuerzo deformación C-6



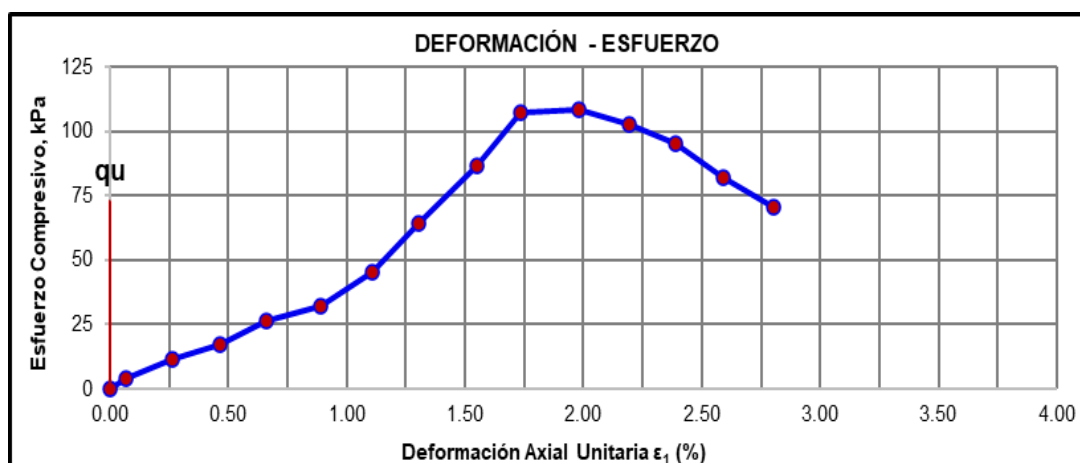
Nota. Elaboración propia.

Calicata C-7

Para determinar la densidad y la resistencia a la compresión, se llevó a cabo el ensayo de compresión no confinada, con lo cual, la calicata C-7 posee una densidad húmeda de 1.67g/cm³, una densidad seca de 1.56g/cm³ y una resistencia a la compresión de 73kPa.

Figura 60

Curva esfuerzo deformación C-7



Nota. Elaboración propia.

Tabla 13 Resumen de resistencia a la compresión de suelos

Calicatas	Resistencia a la compresión (kPa)
C-1	78
C-2	15
C-3	20
C-4	21
C-5	39
C-6	45
C-7	73

Nota. Elaboración propia.

5.1.5. Capacidad de carga del suelo natural

Para determinar la capacidad de carga, se empleó la Norma E.050 de Suelos y Cimentaciones, la cual contempla la ecuación de Terzaghi para la determinación de la capacidad última admisible del suelo, alcanzando así para las calicatas C-2, C-3, C-4, C-

5, C-6 y C-7 una capacidad admisible de 9.35ton/m², 9.18ton/m², 9.68ton/m², 15.23ton/m², 16.13ton/m² y 21.44ton/m² respectivamente.

Tabla 14

Resumen de capacidad de carga de suelos

Calicatas	Capacidad de Carga (ton/m²)
C-2	9.35
C-3	9.18
C-4	9.68
C-5	15.23
C-6	16.13
C-7	21.44

Nota. Elaboración propia.

5.1.6. Asentamiento del suelo natural

El asentamiento del suelo fue calculado mediante la ecuación para asentamientos elásticos, con lo cual las calicatas C-2, C-3, C-4, C-5, C-6 y C-7 alcanzan un asentamiento elástico de 0.28cm, 0.27cm, 0.29cm, 0.45cm, 0.47cm y 0.63cm respectivamente.

Tabla 15

Resumen de asentamiento de suelos

Calicatas	Asentamiento (cm)
C-2	0.28
C-3	0.27
C-4	0.29
C-5	0.45
C-6	0.47
C-7	0.63

Nota. Elaboración propia.

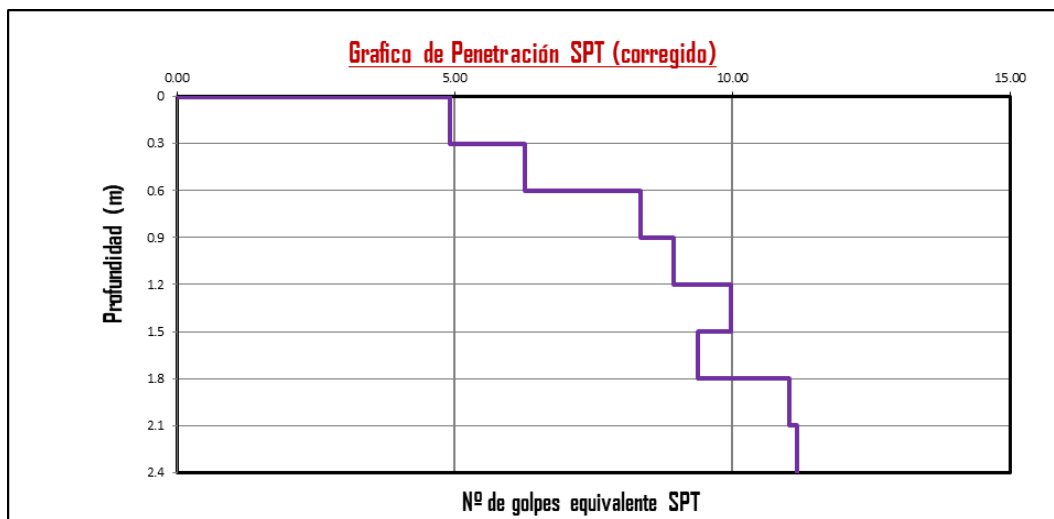
5.1.7. Ángulo de fricción interna del suelo natural

Calicata C-2

El ángulo de fricción interna se calculó mediante el ensayo DPL (penetración dinámica ligera), obteniendo como ángulo de fricción interna corregida 17°.

Figura 61

Gráfico de penetración SPT corregida C-2



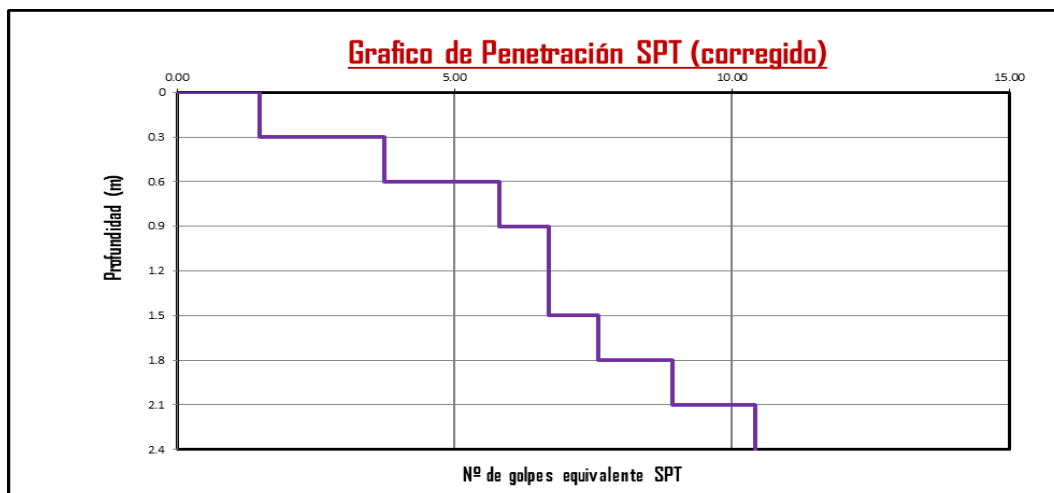
Nota. Elaboración propia.

Calicata C-3

El ángulo de fricción interna se calculó mediante el ensayo DPL (penetración dinámica ligera), obteniendo como ángulo de fricción interna corregida 16° .

Figura 62

Gráfico de penetración SPT corregida C-3



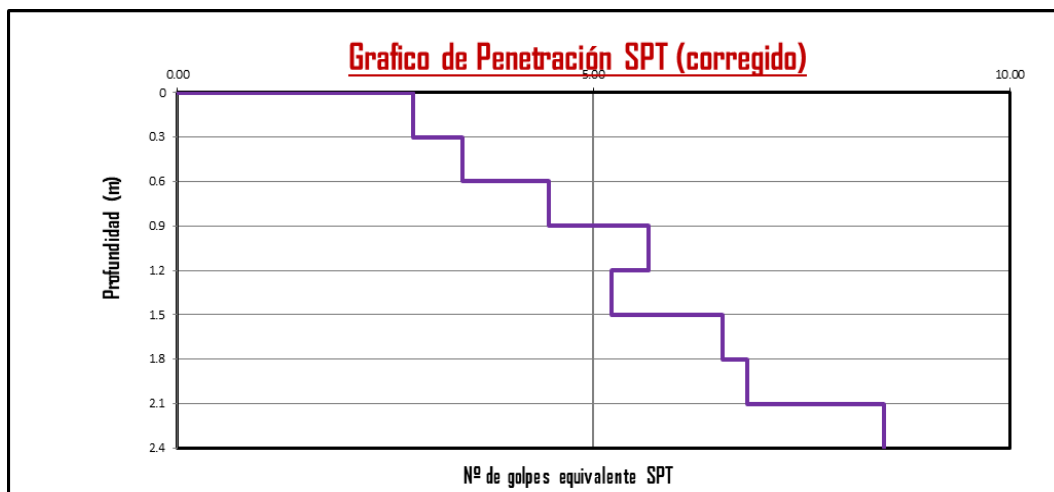
Nota. Elaboración propia.

Calicata C-4

El ángulo de fricción interna se calculó mediante el ensayo DPL (penetración dinámica ligera), obteniendo como ángulo de fricción interna corregida 16° .

Figura 63

Gráfico de penetración SPT corregida C-4



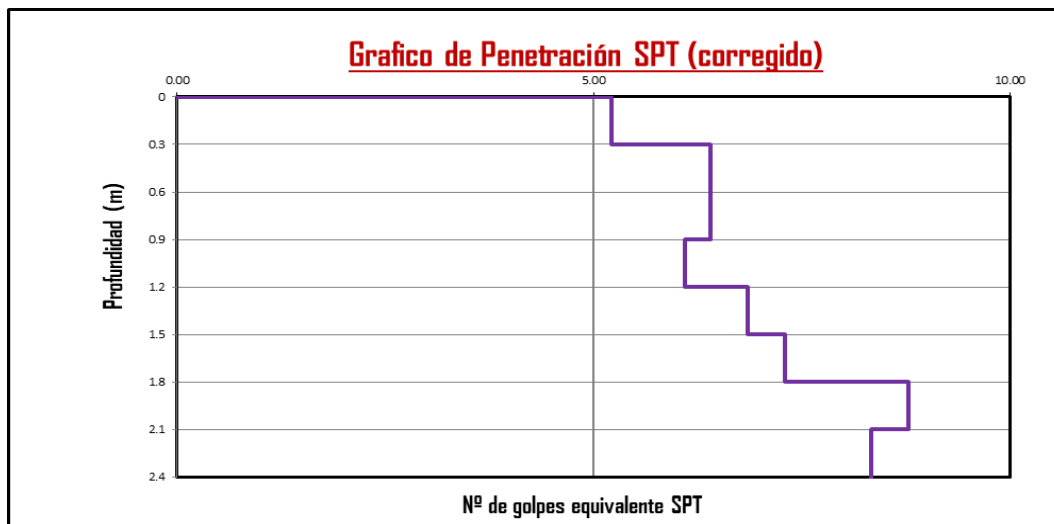
Nota. Elaboración propia.

Calicata C-5

El ángulo de fricción interna se calculó mediante el ensayo DPL (penetración dinámica ligera), obteniendo como ángulo de fricción interna corregida 17°.

Figura 64

Gráfico de penetración SPT corregida C-5



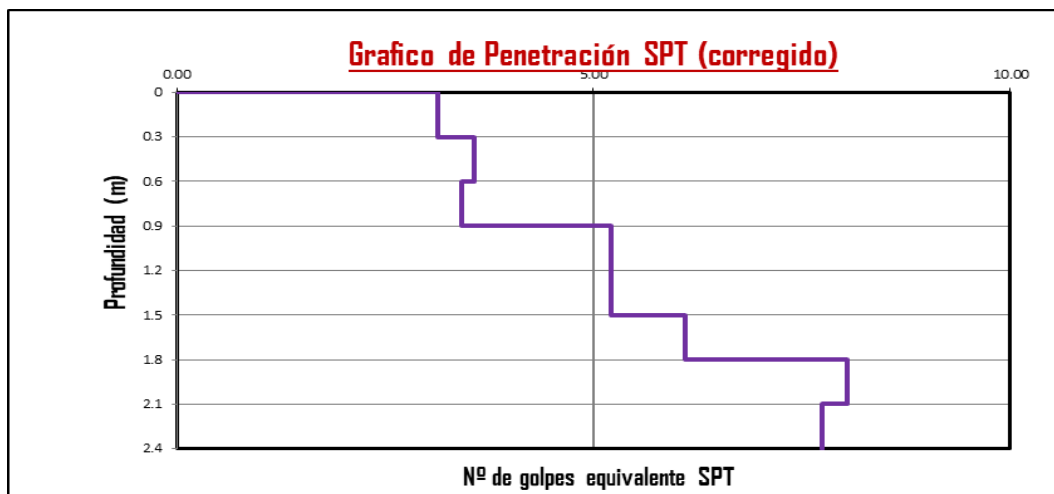
Nota. Elaboración propia.

Calicata C-6

El ángulo de fricción interna se calculó mediante el ensayo DPL (penetración dinámica ligera), obteniendo como ángulo de fricción interna corregida 16°.

Figura 65

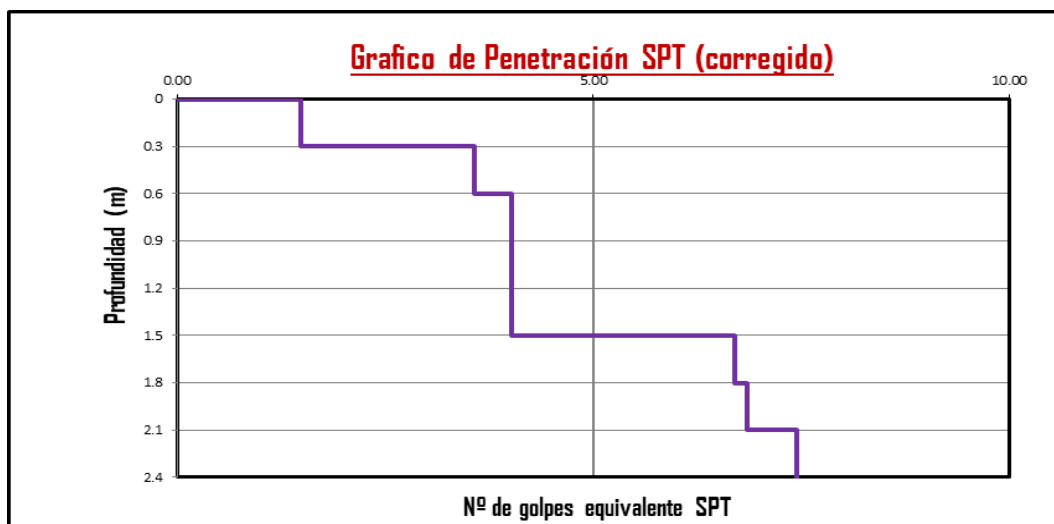
Gráfico de penetración SPT corregida C-6



Nota. Elaboración propia.

Calicata C-7

El ángulo de fricción interna se calculó mediante el ensayo DPL (penetración dinámica ligera), obteniendo como ángulo de fricción interna corregida 15° .

Figura 66 Gráfico de penetración SPT corregida C-7

Nota. Elaboración propia.

Tabla 16 Resumen de ángulo de fricción

Calicatas	Ángulo de fricción (°)
C-2	17
C-3	16
C-4	16
C-5	17
C-6	16
C-7	15

Nota. Elaboración propia.

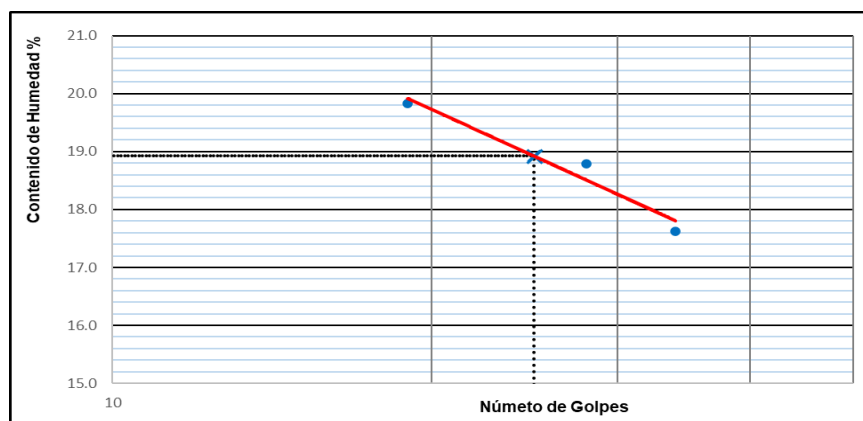
5.1.8. Material de préstamo para subbase

Para poder realizar el diseño de terraplén se consideró material de préstamo, puesto que el terraplén conlleva al relleno de una determinada zona, es por ello que se presenta la caracterización del material de préstamo para subbase.

El material de préstamo para subbase corresponde a una grava limosa pobremente graduada (GP GM), con un índice de plasticidad de 1.40% y un contenido de humedad de 5.3%.

Figura 67

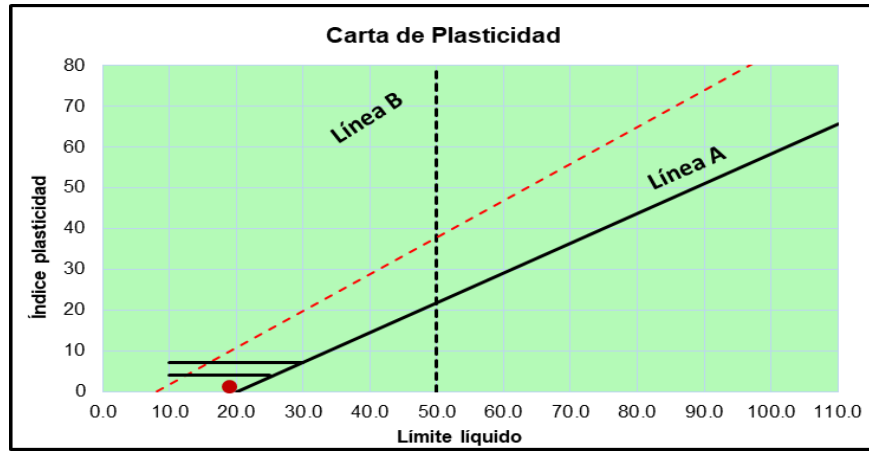
Contenido de humedad vs Número de golpes sub base



Nota. Elaboración propia.

Figura 68

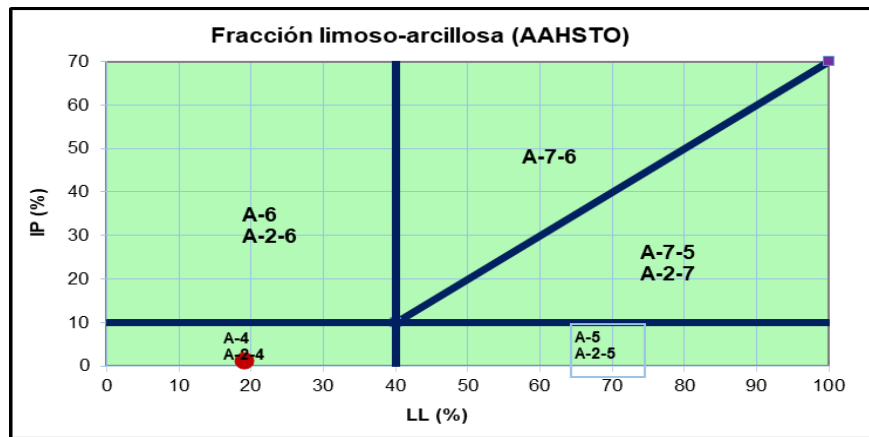
Carta de plasticidad sub base



Nota. Elaboración propia.

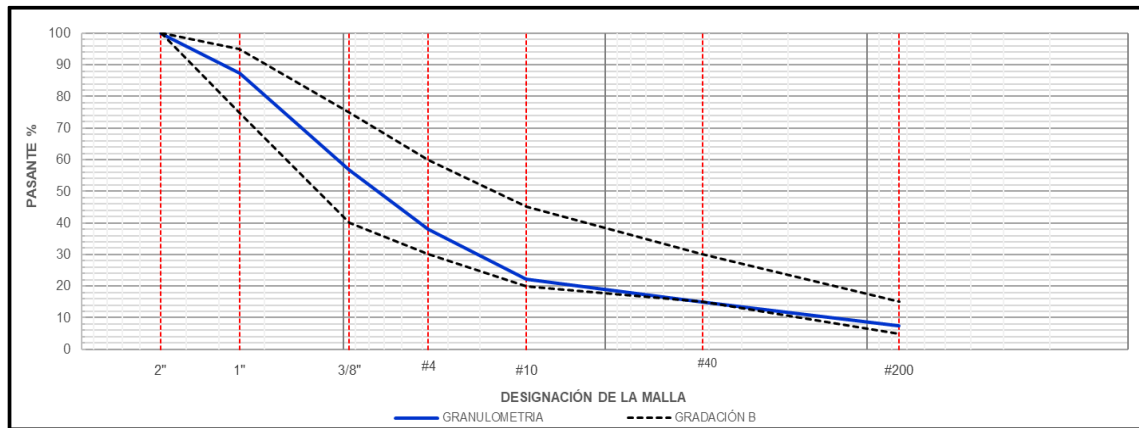
Figura 69

Clasificación AASHTO sub base



Nota. Elaboración propia.

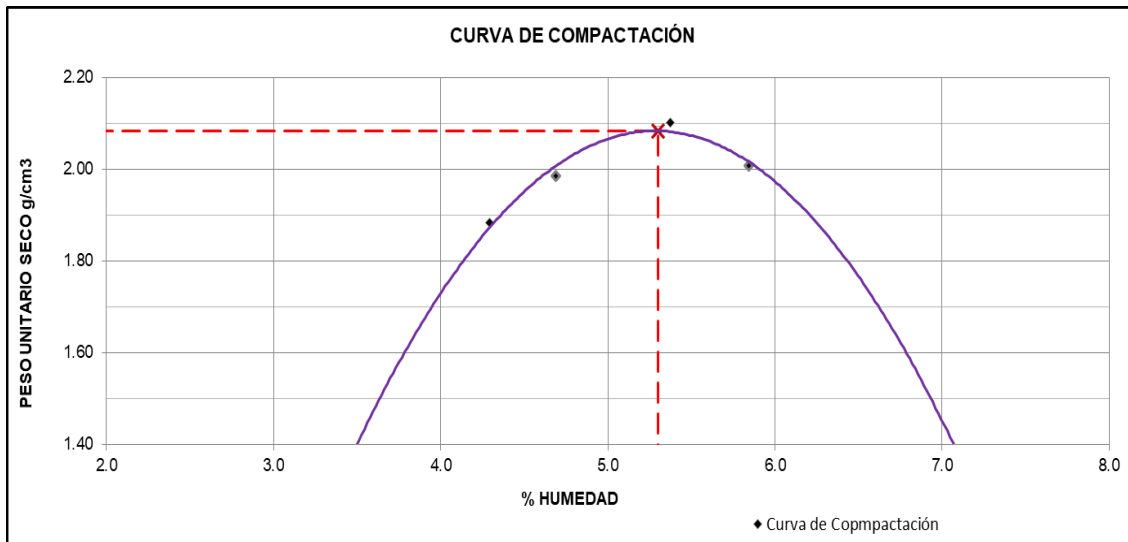
Figura 70 *Curva granulométrica sub base*



Nota. Elaboración propia.

Figura 71

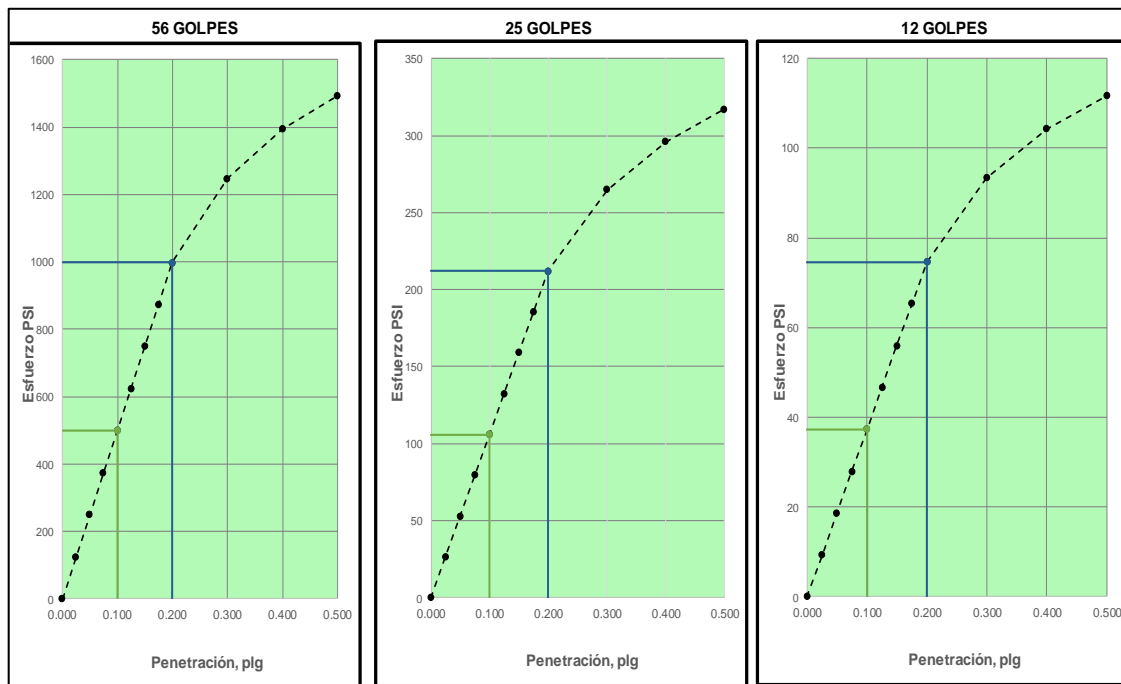
Curva de compactación sub base



Nota. Elaboración propia.

Figura 72

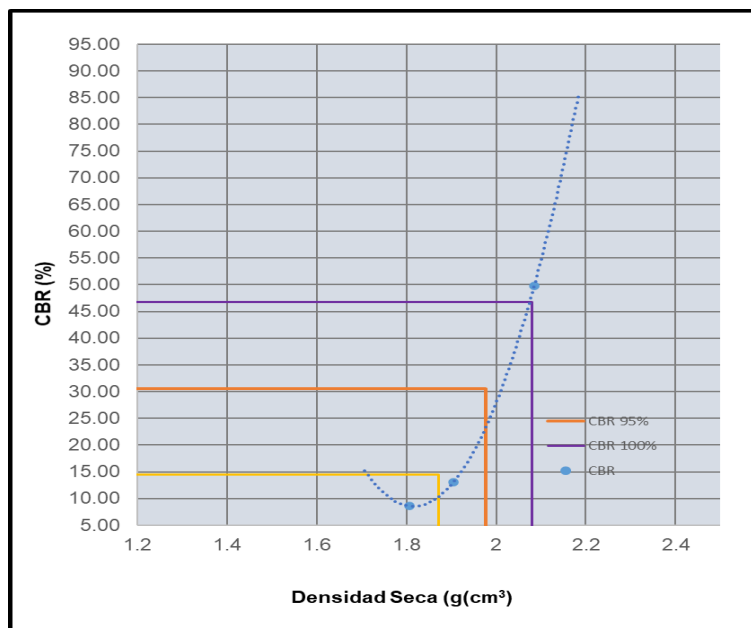
CBR golpes vs penetración sub base



Nota. Elaboración propia.

Figura 73

CBR vs densidad seca sub base



Nota. Elaboración propia.

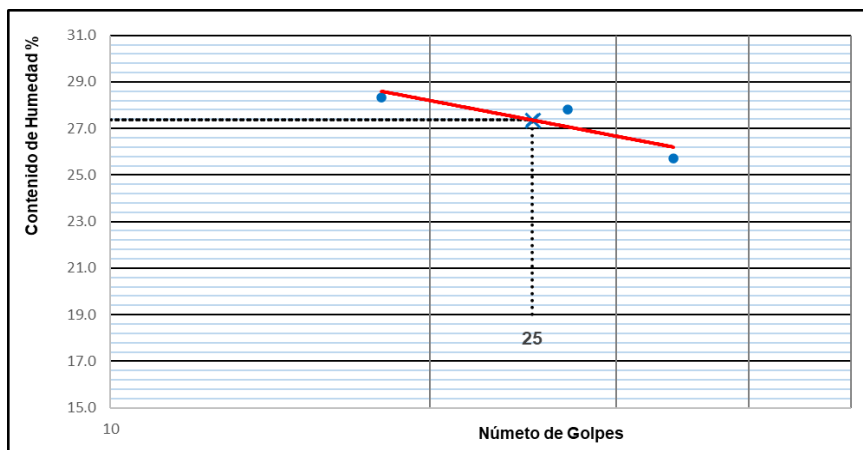
5.1.9. Material de préstamo para base

Para poder realizar el diseño de terraplén se consideró material de préstamo, puesto que el terraplén conlleva al relleno de una determinada zona, es por ello que se presenta la caracterización del material de préstamo para base.

El material de préstamo para base corresponde a una grava arcillosa (GC), con un índice de plasticidad de 9.80% y un contenido de humedad de 5.3%.

Figura 74

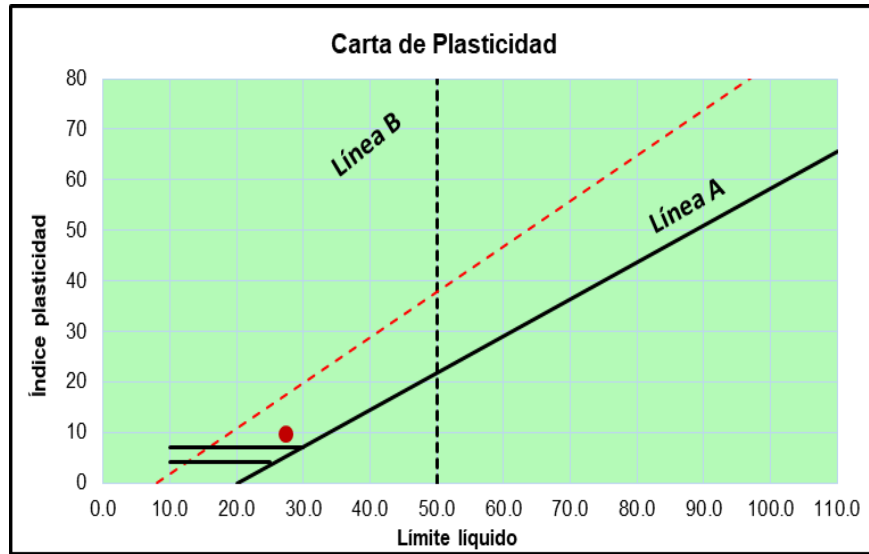
Contenido de humedad vs Número de golpes base



Nota. Elaboración propia.

Figura 75

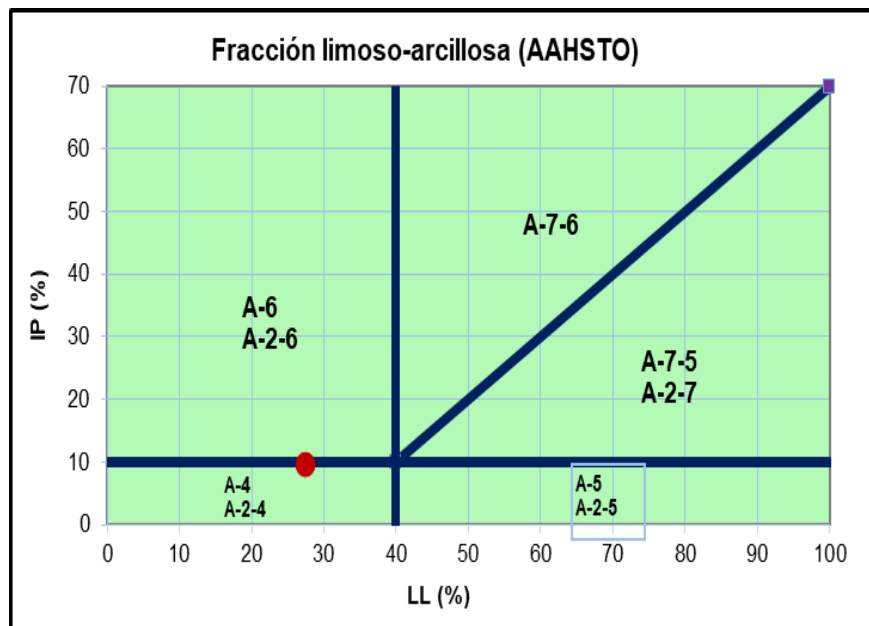
Carta de plasticidad base



Nota. Elaboración propia.

Figura 76

Clasificación AASHTO base



Nota. Elaboración propia.

Figura 77

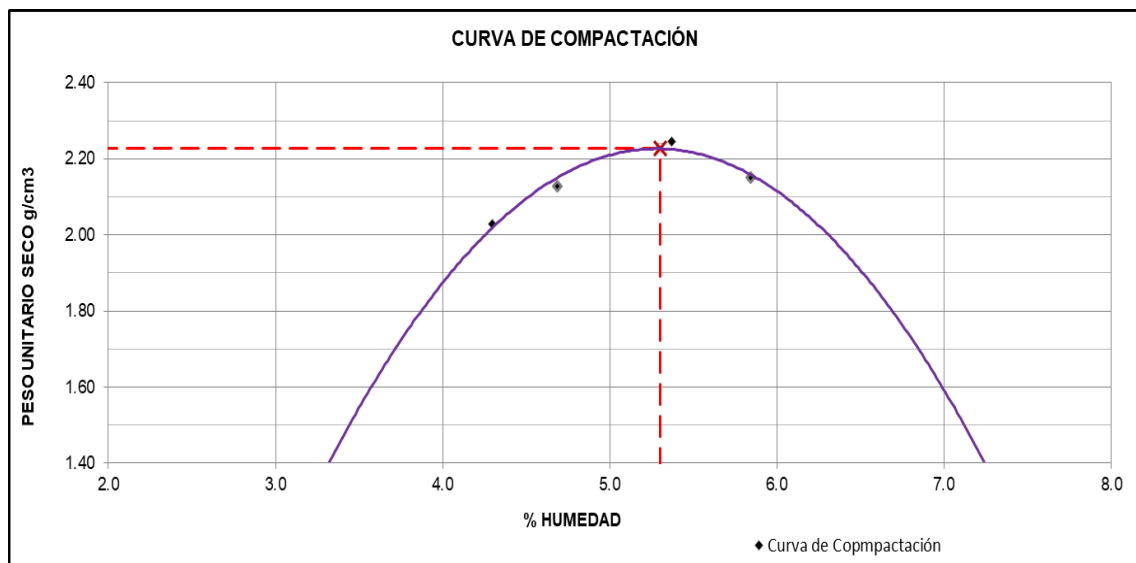
Curva granulométrica base



Nota. Elaboración propia.

Figura 78

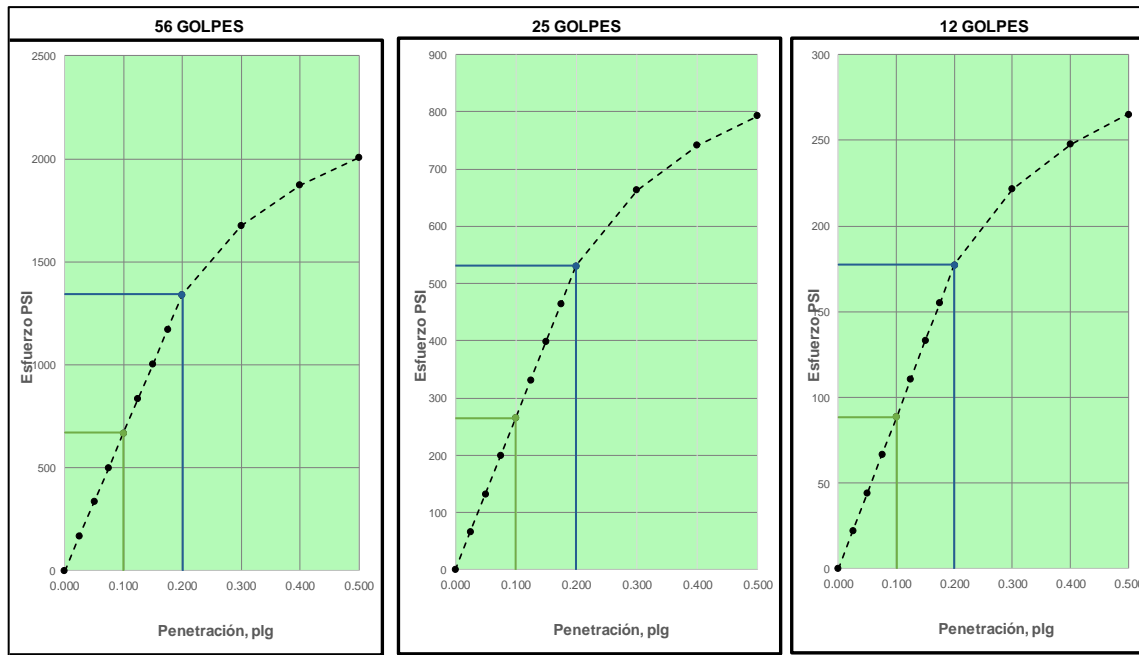
Curva de compactación base



Nota. Elaboración propia.

Figura 79

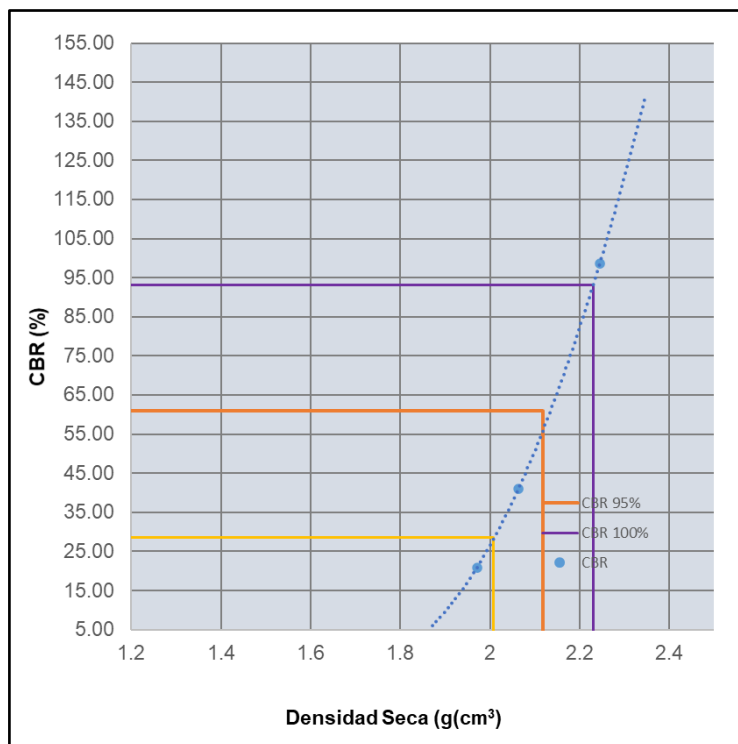
CBR golpes vs penetración base



Nota. Elaboración propia.

Figura 80

CBR vs densidad seca base



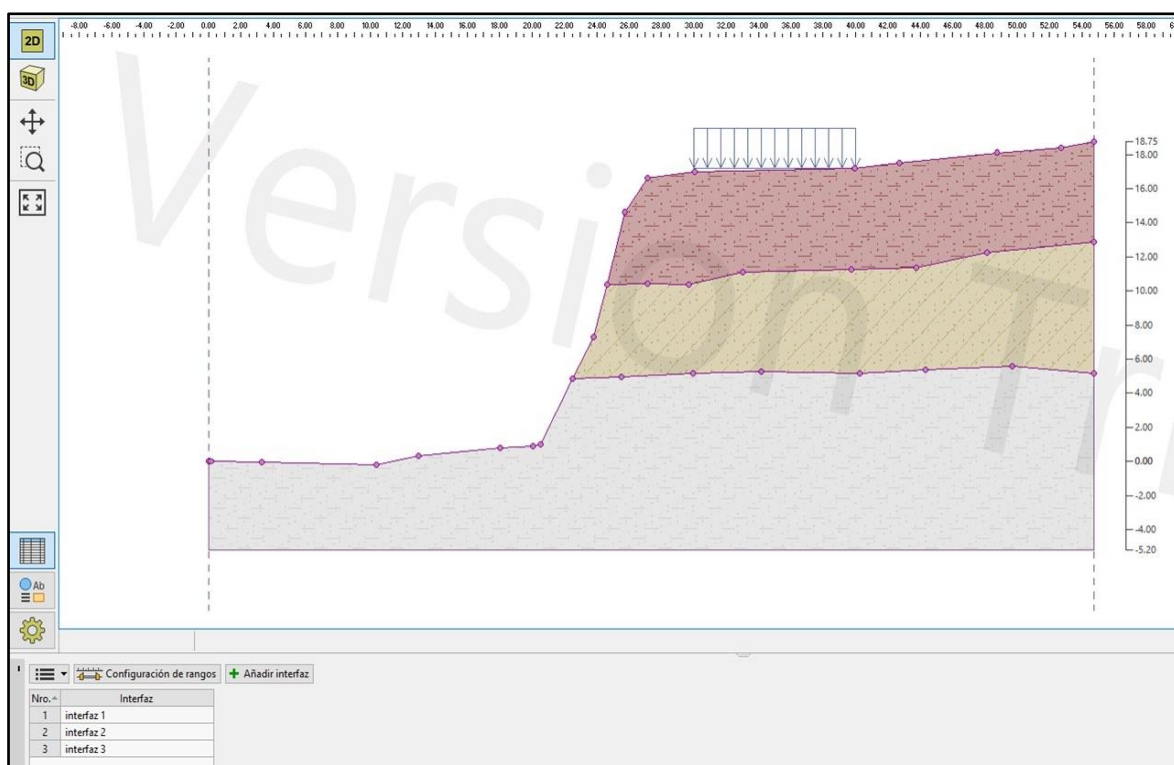
Nota. Elaboración propia.

5.1.10. Modelado de taludes en GEO5

Para cada una de las secciones de cada tramo de los taludes se realizó un modelado en el Software Geotécnico GEO5, para determinar el Factor de Seguridad en condiciones naturales y también para obtener el factor de seguridad después de realizar una estabilización propuesta de muro claveteado. A continuación, se presenta el proceso de modelado llevado a cabo para la sección 2 del tramo 1:

Figura 81

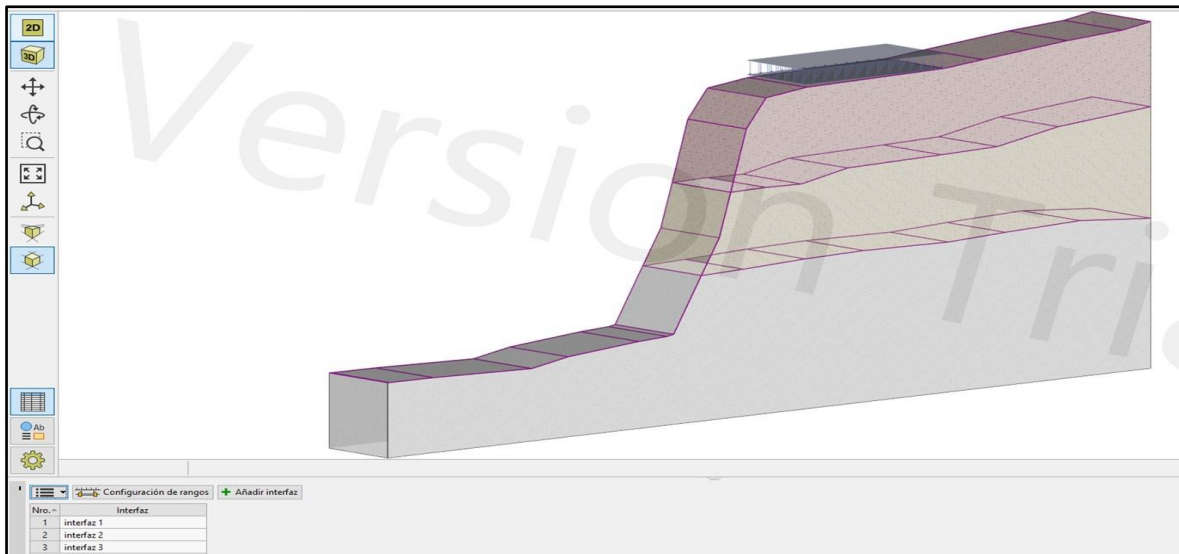
Importación de puntos del talud de la sección 2 del tramo 1



Nota. Elaboración propia.

Figura 82

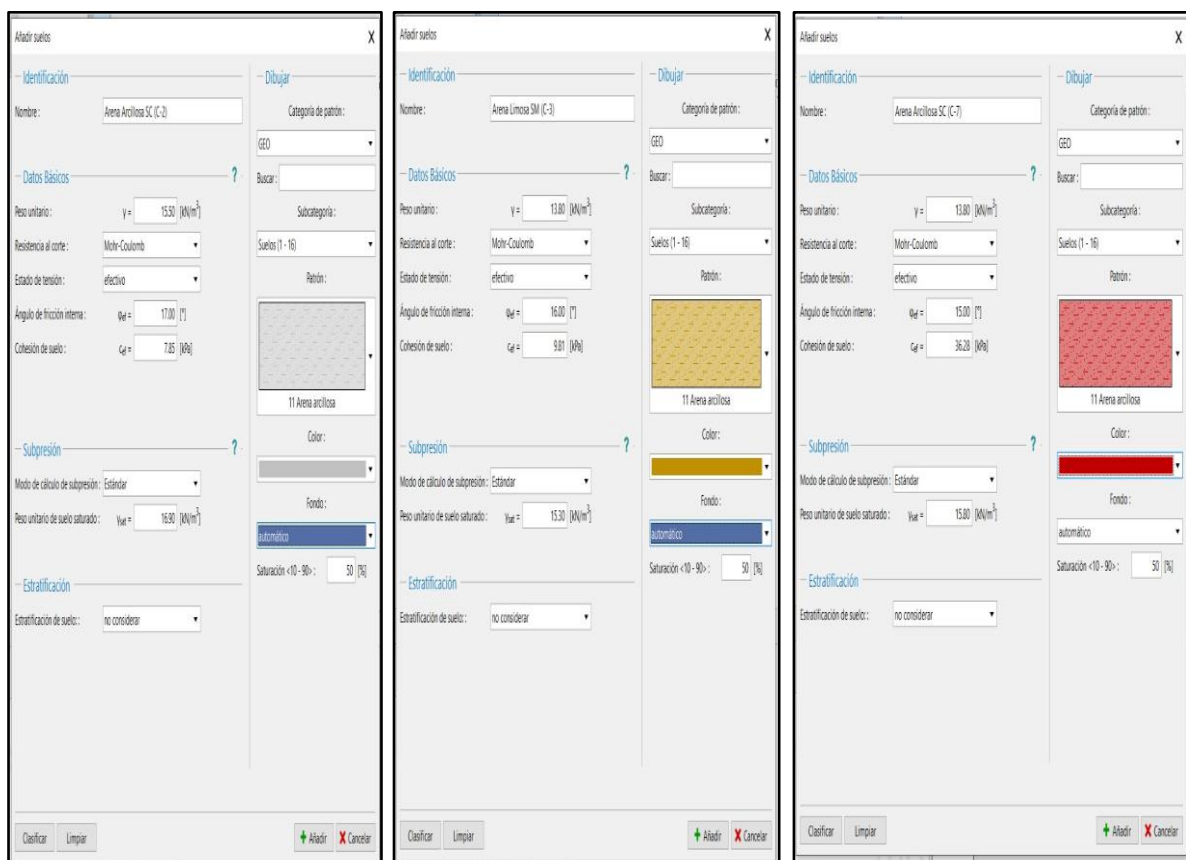
Visualización de los estratos en 3D del talud de la sección 2 del tramo 1



Nota. Elaboración propia.

Figura 83

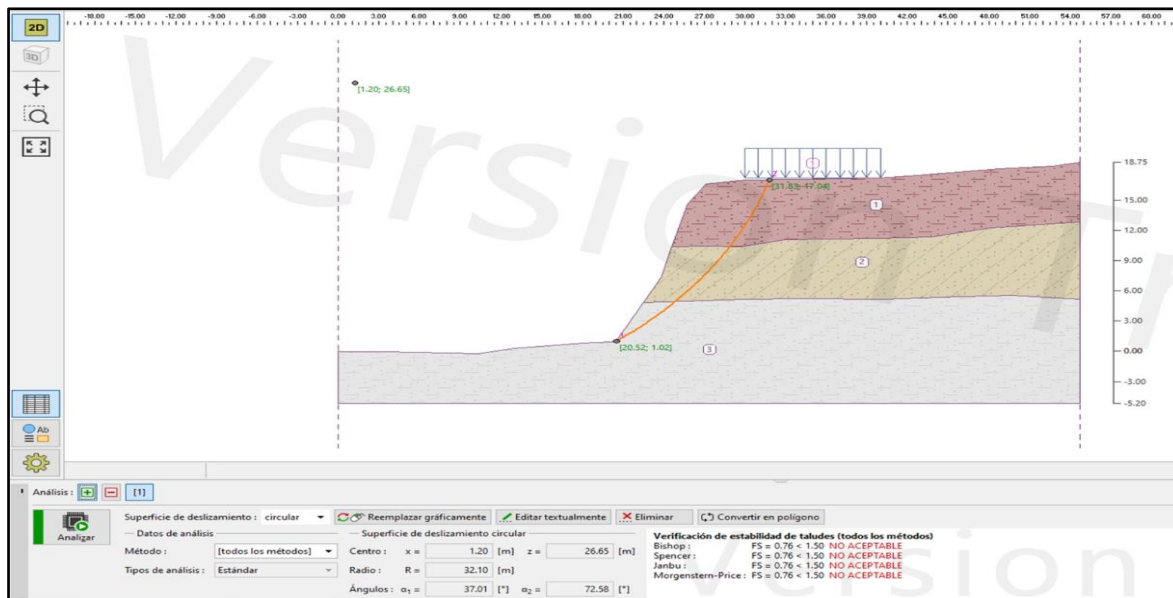
Asignación del tipo de suelo para el talud de la sección 2 del tramo 1



Nota. Elaboración propia.

Figura 84

Verificación del FS en condiciones naturales del talud de la sección 2 del tramo 1



Nota. Elaboración propia.

Figura 85

Asignación de material de muro claveteado del talud de la sección 2 del tramo 1

Editar tipo de clavo 1 ✕

Nombre:

Conjunto de producción:

— Resistencia a la tracción —

Diámetro del clavo: $d_z =$ [mm]

Resistencia a la tracción: $f_y =$ [MPa]

Factor de seguridad: $SF_T =$ [-]

— Resistencia al arrancamiento —

Diámetro del agujero: $d =$ [mm]

Rozamiento: $g_z =$ [kPa]

Factor de seguridad: $SF_e =$ [-]

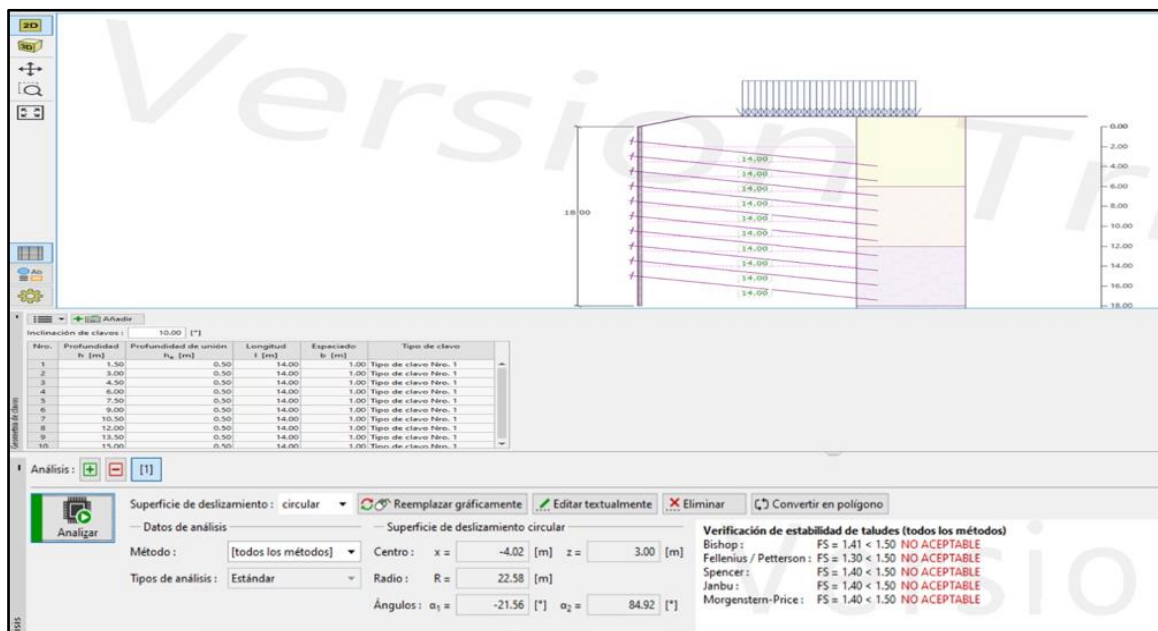
— Resistencia de la cabeza del clavo —

Factor de seguridad: $SF_f =$ [-]

Nota. Elaboración propia.

Figura 86

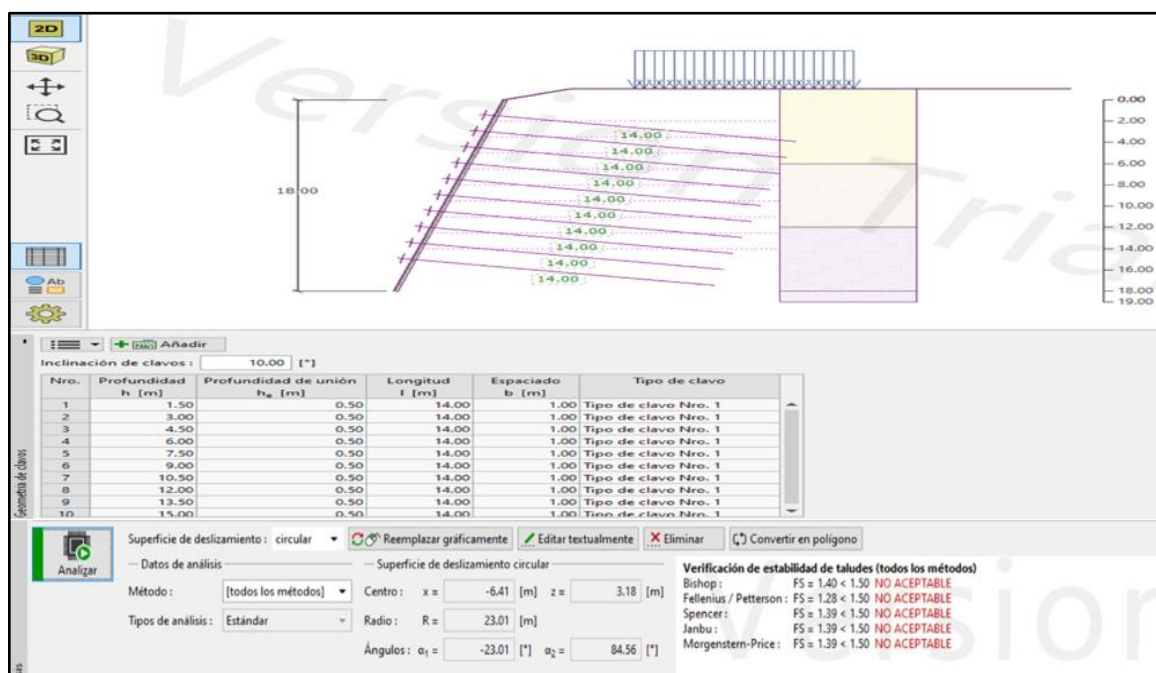
Verificación del FS /clavos $L=14\text{m}$ /inclinación 10° /desplazamiento talud $x=0$ del talud de la sección 2 del tramo 1



Nota. Elaboración propia.

Figura 87

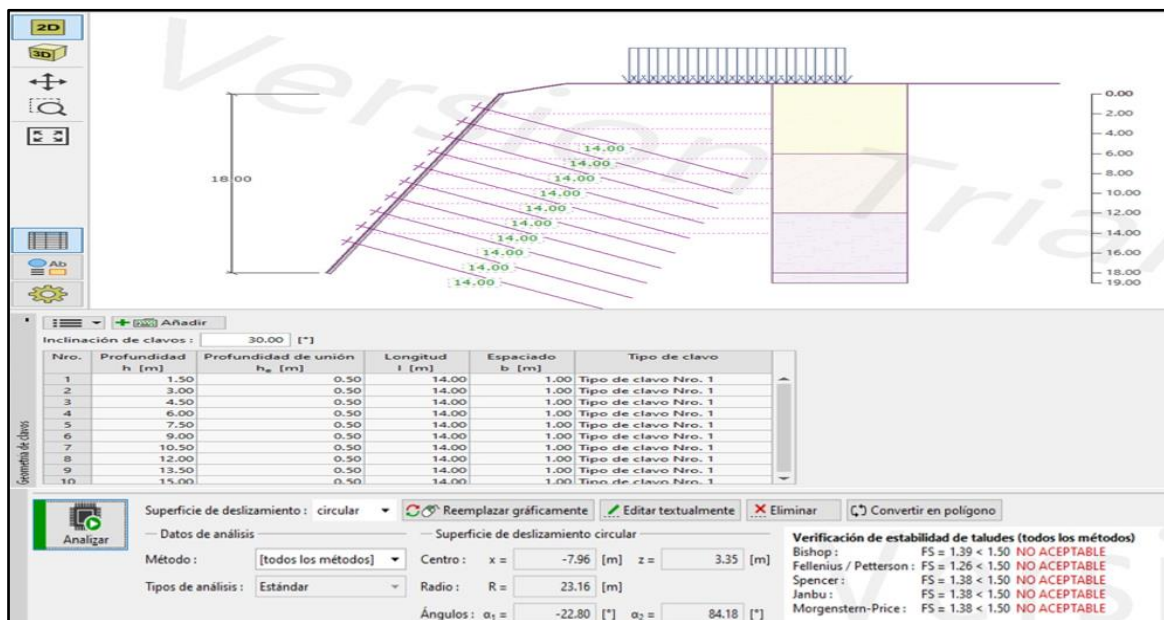
Verificación del FS /clavos $L=14\text{m}$ /inclinación 10° /desplazamiento talud $x=-5$ del talud de la sección 2 del tramo 1



Nota. Elaboración propia.

Figura 88

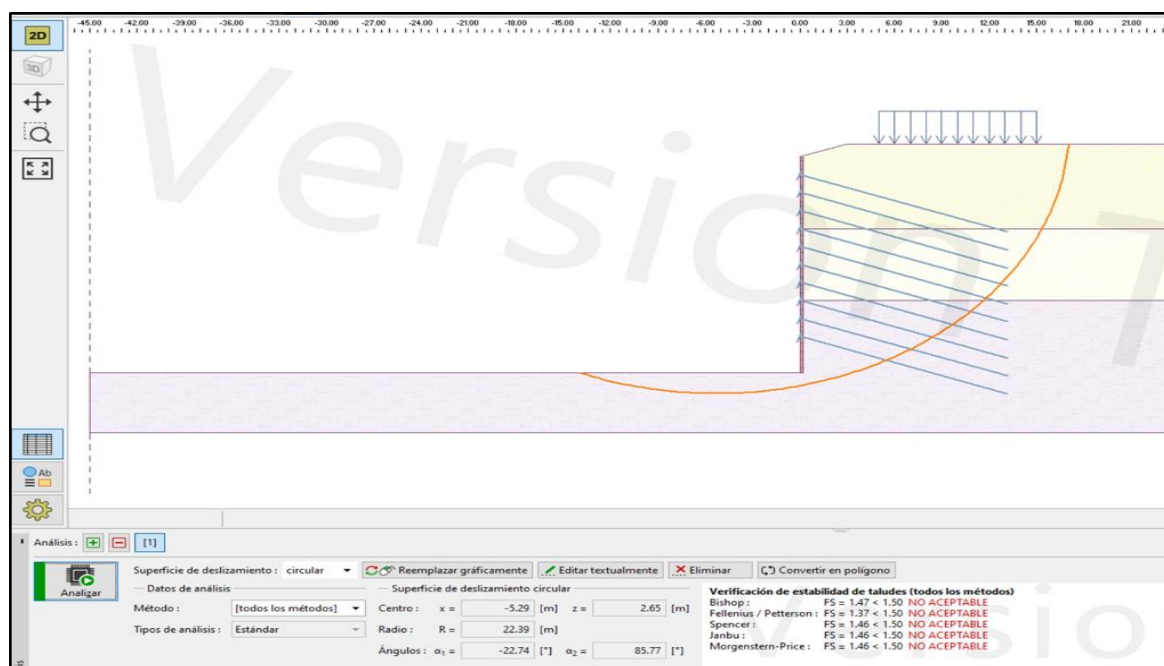
Verificación del FS /clavos $L=14\text{m}$ /inclinación 10° /desplazamiento talud $x=-10$ del talud de la sección 2 del tramo 1



Nota. Elaboración propia.

Figura 89

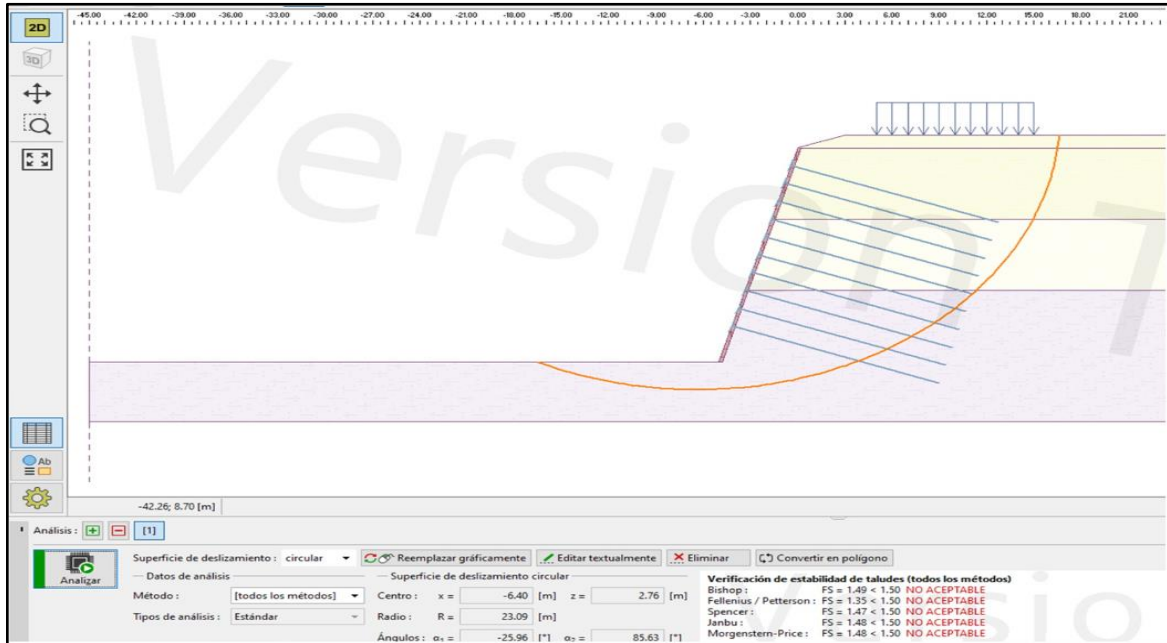
Verificación del FS /clavos $L=14\text{m}$ /inclinación 20° /desplazamiento talud $x=0$ del talud de la sección 2 del tramo 1



Nota. Elaboración propia.

Figura 90

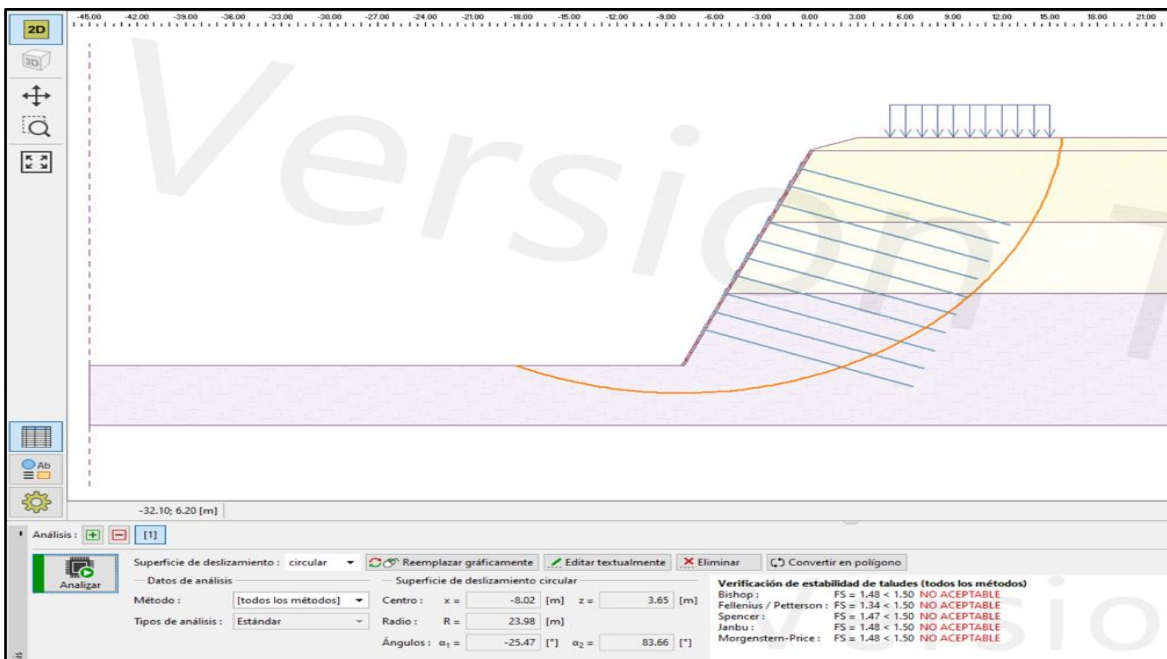
Verificación del FS /clavos $L=14\text{m}$ /inclinación 20° /desplazamiento talud $x=-5$ del talud de la sección 2 del tramo 1



Nota. Elaboración propia.

Figura 91

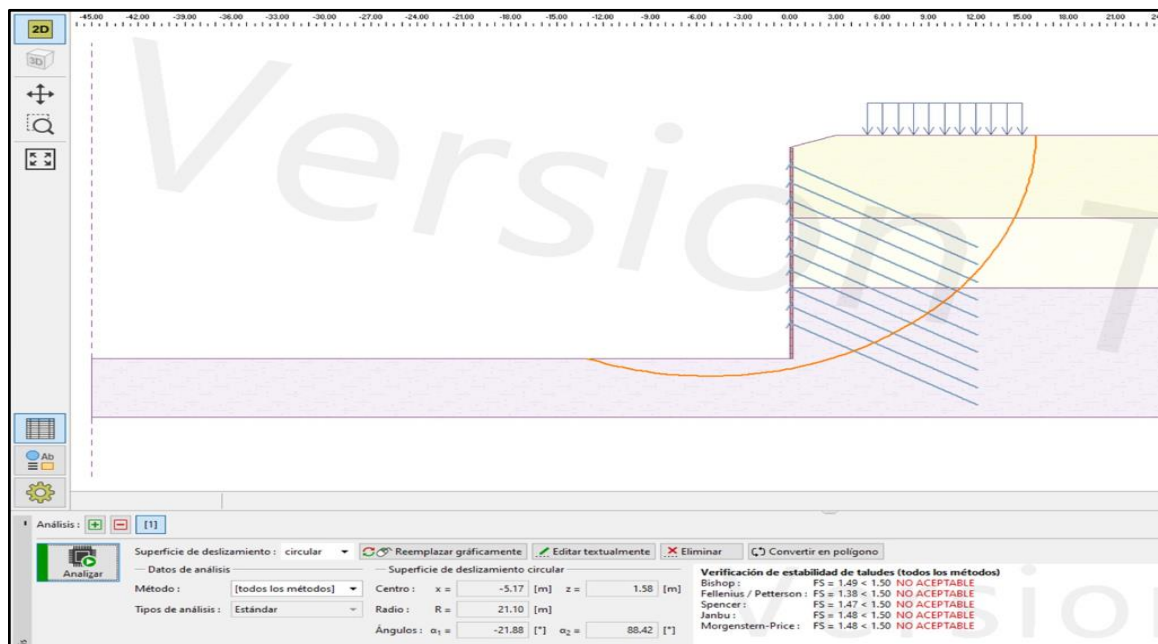
Verificación del FS /clavos $L=14\text{m}$ /inclinación 20° /desplazamiento talud $x=-10$ del talud de la sección 2 del tramo 1



Nota. Elaboración propia.

Figura 92

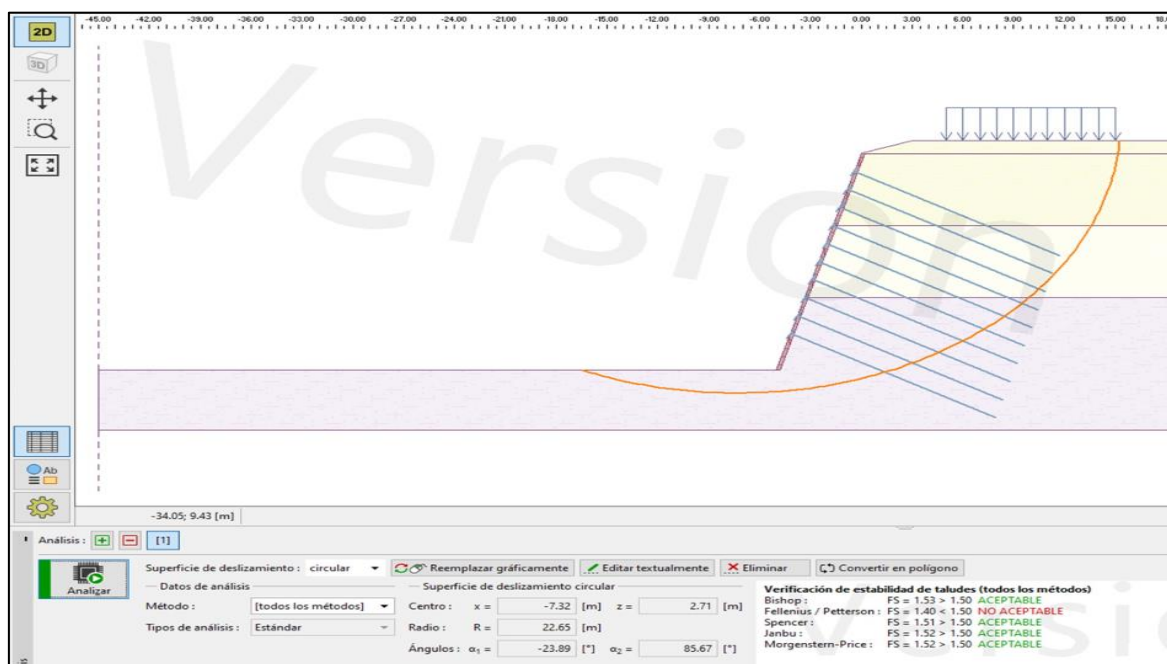
Verificación del FS /clavos $L=14\text{m}$ /inclinación 30° /desplazamiento talud $x=0$ del talud de la sección 2 del tramo 1



Nota. Elaboración propia.

Figura 93

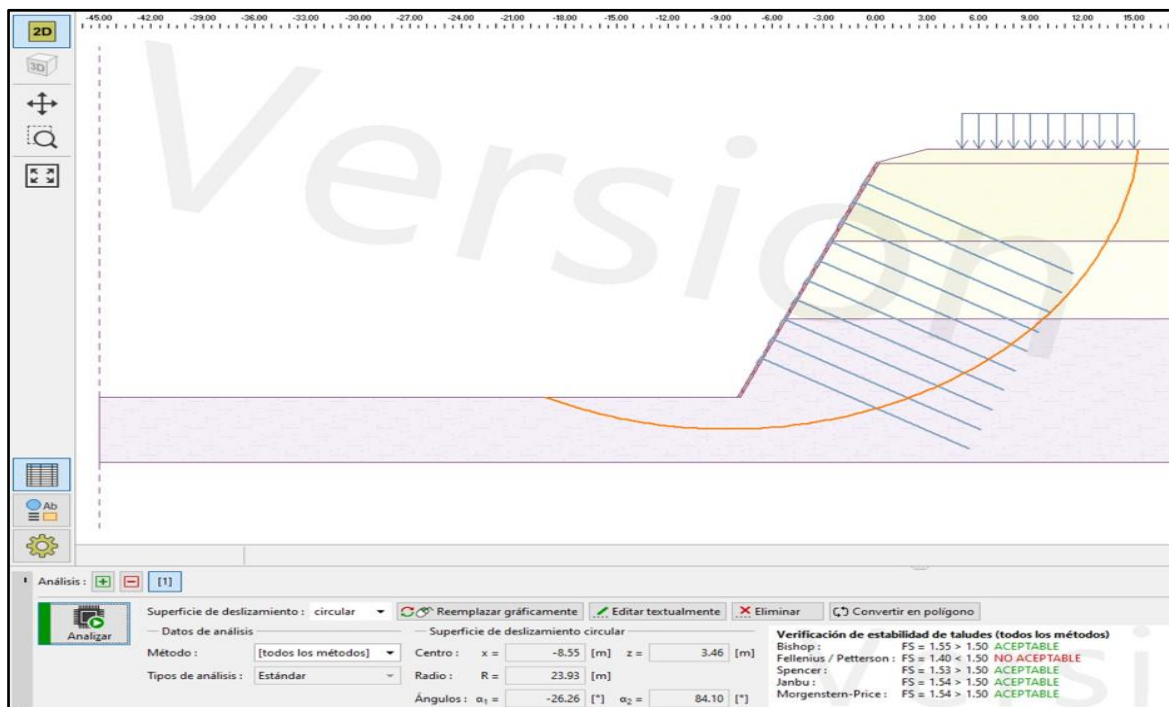
Verificación del FS /clavos $L=10\text{m}$ /inclinación 30° /desplazamiento talud $x=-5$ del talud de la sección 2 del tramo 1



Nota. Elaboración propia.

Figura 94

Verificación del FS /clavos $L=10\text{m}$ /inclinación 30° /desplazamiento talud $x=-10$ del talud de la sección 2 del tramo 1



Nota. Elaboración propia.

De igual forma se fue realizando el modelamiento para cada una de las secciones de cada tramo de los taludes, los cuales se encuentran en el Anexo 05, los factores de seguridad fueron obtenidos mediante cuatro métodos de los varios que ofrece el software que son: Bishop, Spencer, Janbu y Morgenster-Price.

5.1.11. Geometría en condiciones naturales de taludes

La geometría en condiciones naturales, se obtuvo del levantamiento topográfico y del modelado en GEO5 realizado, se realizó un seccionamiento cada 20 metros por tramo, obteniendo de esta forma los siguientes datos geométricos iniciales para cada uno de los cuatro tramos de talud:

Tabla 17*Geometría del talud en condiciones naturales tramo 01 del talud*

Tramo 1	Datos geométricos de diseño		
	Altura (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)
Sección 01 (Progresiva 0+20)	13.45	20	92%
Sección 02 (Progresiva 0+40)	18.78	20	241%
Sección 03 (Progresiva 0+60)	19.47	20	196%
Sección 04 (Progresiva 0+80)	19.68	20	80%
Sección 05 (Progresiva 0+100)	23.11	20	87%

Nota. Elaboración propia.**Tabla 18***Geometría del talud en condiciones naturales tramo 02 del talud*

Tramo 2	Datos geométricos de diseño		
	Altura (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)
Sección 01 (Progresiva 0+120)	35.43	20	150.00%
Sección 02 (Progresiva 0+140)	39.73	20	225.00%
Sección 03 (Progresiva 0+160)	38.63	20	225.00%
Sección 04 (Progresiva 0+180)	19.16	20	187.50%
Sección 05 (Progresiva 0+200)	17.53	20	187.50%

Nota. Elaboración propia.

Tabla 19*Geometría del talud en condiciones naturales tramo 03 del talud*

Tramo 3	Datos geométricos de diseño		
	Altura (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)
Sección 01 (Progresiva 0+220)	11.69	20	24.67%
Sección 02 (Progresiva 0+240)	10.66	20	23.41%
Sección 03 (Progresiva 0+260)	17.75	20	40.12%
Sección 04 (Progresiva 0+280)	16.70	20	37.92%
Sección 05 (Progresiva 0+300)	18.77	20	43.87%

Nota. Elaboración propia.**Tabla 20***Geometría del talud en condiciones naturales tramo 04 del talud*

Tramo 4	Datos geométricos de diseño		
	Altura (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)
Sección 01 (Progresiva 0+320)	18.24	20	41.12%
Sección 02 (Progresiva 0+340)	15.74	20	36.14%
Sección 03 (Progresiva 0+360)	12.83	20	29.60%
Sección 04 (Progresiva 0+380)	11.81	20	28.80%
Sección 05 (Progresiva 0+400)	11.90	20	34.63%

Nota. Elaboración propia.**5.1.12. Geometría con muro claveteado en talud**

La geometría en condiciones naturales del talud es la misma que con muro claveteado en los tramos 3 y 4, ya que, en cuanto a la verificación por factor de seguridad, este cumple y satisface con las dimensiones de su condición natural, sin embargo, el tramo 1 y 2 si varía en cuanto a la pendiente y la altura del talud:

Tabla 21*Geometría del talud con muro claveteado tramo 01 del talud*

Tramo 1	Datos geométricos de diseño		
	Altura (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)
Sección 01 (Progresiva 0+20)	12.00	20	300%
Sección 02 (Progresiva 0+40)	18.00	20	225%
Sección 03 (Progresiva 0+60)	18.00	20	225%
Sección 04 (Progresiva 0+80)	15.00	20	188%
Sección 05 (Progresiva 0+100)	15.00	20	150%

Nota. Elaboración propia.**Tabla 22***Geometría del talud con muro claveteado tramo 02 del talud*

Tramo 2	Datos geométricos de diseño		
	Altura (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)
Sección 01 (Progresiva 0+120)	15.00	20	150.00%
Sección 02 (Progresiva 0+140)	18.00	20	225.00%
Sección 03 (Progresiva 0+160)	18.00	20	225.00%
Sección 04 (Progresiva 0+180)	15.00	20	187.50%
Sección 05 (Progresiva 0+200)	15.00	20	150.00%

Nota. Elaboración propia.

Tabla 23*Geometría del talud con muro claveteado tramo 03 del talud*

Tramo 3	Datos geométricos de diseño		
	Altura (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)
Sección 01 (Progresiva 0+220)	11.69	20	24.67%
Sección 02 (Progresiva 0+240)	10.66	20	23.41%
Sección 03 (Progresiva 0+260)	17.75	20	40.12%
Sección 04 (Progresiva 0+280)	16.70	20	37.92%
Sección 05 (Progresiva 0+300)	18.77	20	43.87%

Nota. Elaboración propia.**Tabla 24***Geometría del talud con muro claveteado tramo 04 del talud*

Tramo 4	Datos geométricos de diseño		
	Altura (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)
Sección 01 (Progresiva 0+320)	18.24	20	41.12%
Sección 02 (Progresiva 0+340)	15.74	20	36.14%
Sección 03 (Progresiva 0+360)	12.83	20	29.60%
Sección 04 (Progresiva 0+380)	11.81	20	28.80%
Sección 05 (Progresiva 0+400)	11.90	20	34.63%

Nota. Elaboración propia.**5.1.13. Factor de seguridad en condiciones naturales de los taludes**

Para este caso el factor de seguridad de diseño de talud considerado fue el menor valor, ya que dicho valor representa la criticidad, cabe recalcar que los datos muy dispersos no se tomaron en cuenta.

Tabla 25*Factor de seguridad en condiciones naturales tramo 01 del talud*

Tramo 1	Factor de seguridad				
	Bishop	Spencer	Janbu	Morgenster-Price	FS de diseño
Sección 01 (Progresiva 0+20)	1.29	1.28	1.28	1.28	1.28
Sección 02 (Progresiva 0+40)	0.74	0.73	0.73	0.73	0.73
Sección 03 (Progresiva 0+60)	0.83	0.82	0.83	0.83	0.82
Sección 04 (Progresiva 0+80)	1.25	1.25	1.26	1.26	1.25
Sección 05 (Progresiva 0+100)	0.98	0.98	1.00	1.00	0.98

Nota. Elaboración propia.**Tabla 26***Factor de seguridad en condiciones naturales tramo 02 del talud*

Tramo 2	Factor de seguridad				
	Bishop	Spencer	Janbu	Morgenster-Price	FS de diseño
Sección 01 (Progresiva 0+120)	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
Sección 02 (Progresiva 0+140)	0.66	0.65	0.66	0.66	0.65
Sección 03 (Progresiva 0+160)	0.79	0.79	0.81	0.81	0.79
Sección 04 (Progresiva 0+180)	1.42	1.41	1.41	1.41	1.41
Sección 05 (Progresiva 0+200)	2.46	2.45	2.45	2.45	2.45

Nota. Elaboración propia.

Tabla 27*Factor de seguridad en condiciones naturales tramo 03 de talud*

Tramo 3	Factor de seguridad				
	Bishop	Spencer	Janbu	Morgenster-Price	FS de diseño
Sección 01 (Progresiva 0+220)	3.41	3.41	3.41	3.41	3.41
Sección 02 (Progresiva 0+240)	2.94	2.93	2.93	2.93	2.93
Sección 03 (Progresiva 0+260)	2.74	2.65	2.74	2.74	2.65
Sección 04 (Progresiva 0+280)	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33
Sección 05 (Progresiva 0+300)	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92

Nota. Elaboración propia.**Tabla 28***Factor de seguridad en condiciones naturales tramo 04 del talud*

Tramo 4	Factor de seguridad				
	Bishop	Spencer	Janbu	Morgenster-Price	FS de diseño
Sección 01 (Progresiva 0+320)	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26
Sección 02 (Progresiva 0+340)	2.40	2.39	2.39	2.39	2.39
Sección 03 (Progresiva 0+360)	2.18	2.17	2.24	2.24	2.17
Sección 04 (Progresiva 0+380)	3.26	3.26	3.26	3.26	3.26
Sección 05 (Progresiva 0+400)	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98

Nota. Elaboración propia.

5.1.14. Factor de seguridad con muro claveteado

El factor de seguridad en condiciones naturales es la misma que con muro claveteado en los tramos 3 y 4, ya que este cumple con sus condiciones naturales, sin embargo, el tramo 1 y 2 si varía.

Tabla 29

Factor de seguridad con muro claveteado tramo 01 del talud

Tramo 1	Factor de seguridad				
	Bishop	Spencer	Janbu	Morgenster-Price	FS de diseño
Sección 01 (Progresiva 0+20)	1.60	1.59	1.60	1.60	1.59
Sección 02 (Progresiva 0+40)	1.55	1.53	1.54	1.54	1.53
Sección 03 (Progresiva 0+60)	1.53	1.52	1.53	1.53	1.52
Sección 04 (Progresiva 0+80)	1.52	1.51	1.52	1.52	1.51
Sección 05 (Progresiva 0+100)	1.56	1.55	1.55	1.55	1.55

Nota. Elaboración propia.

Tabla 30

Factor de seguridad con muro claveteado tramo 02 del talud

Tramo 2	Factor de seguridad				
	Bishop	Spencer	Janbu	Morgenster-Price	FS de diseño
Sección 01 (Progresiva 0+120)	1.60	1.59	1.60	1.60	1.59
Sección 02 (Progresiva 0+140)	1.58	1.57	1.58	1.58	1.57
Sección 03 (Progresiva 0+160)	1.58	1.57	1.58	1.58	1.57
Sección 04 (Progresiva 0+180)	1.54	1.53	1.53	1.53	1.53
Sección 05 (Progresiva 0+200)	1.60	1.59	1.60	1.60	1.59

Nota. Elaboración propia.

Tabla 31*Factor de seguridad con muro claveteado tramo 03 del talud*

Tramo 3	Factor de seguridad				
	Bishop	Spencer	Janbu	Morgenster-Price	FS de diseño
Sección 01 (Progresiva 0+220)	3.41	3.41	3.41	3.41	3.41
Sección 02 (Progresiva 0+240)	2.94	2.93	2.93	2.93	2.93
Sección 03 (Progresiva 0+260)	2.74	2.65	2.74	2.74	2.65
Sección 04 (Progresiva 0+280)	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33
Sección 05 (Progresiva 0+300)	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92

Nota. Elaboración propia.**Tabla 32***Factor de seguridad con muro claveteado tramo 04 del talud*

Tramo 4	Factor de seguridad				
	Bishop	Spencer	Janbu	Morgenster-Price	FS de diseño
Sección 01 (Progresiva 0+320)	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26
Sección 02 (Progresiva 0+340)	2.40	2.39	2.39	2.39	2.39
Sección 03 (Progresiva 0+360)	2.18	2.17	2.24	2.24	2.17
Sección 04 (Progresiva 0+380)	3.26	3.26	3.26	3.26	3.26
Sección 05 (Progresiva 0+400)	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98

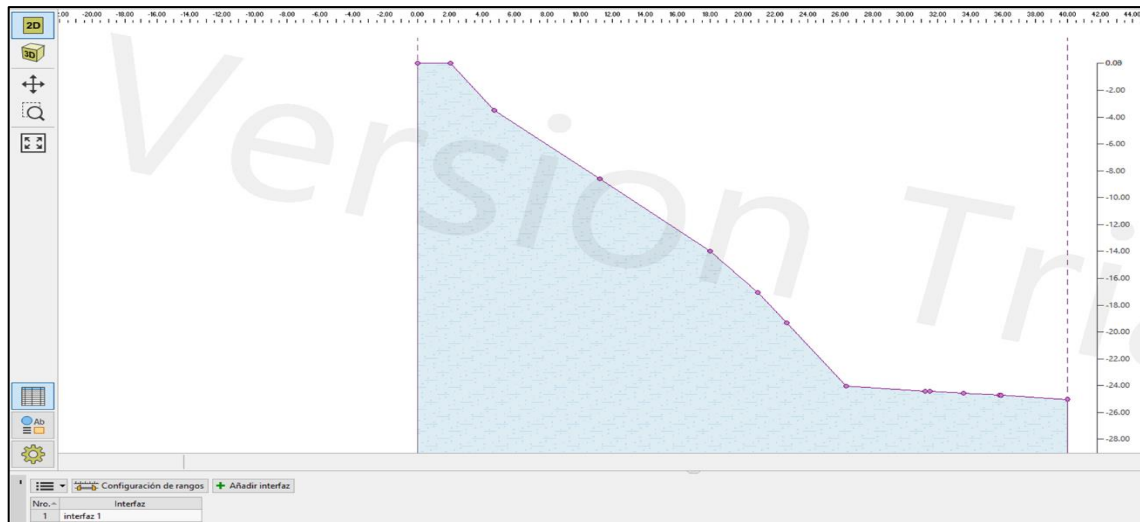
Nota. Elaboración propia.**5.1.15. Modelado de terraplén GEO5**

Para cada una de las secciones de la propuesta de terraplén se realizó un modelado en el Software Geotécnico GEO5, para determinar el Factor de Seguridad en condiciones naturales y también para obtener el factor de seguridad después de realizar una

estabilización mediante el relleno con material de préstamo para base. A continuación, se presenta el proceso de modelado llevado a cabo para la sección 1:

Figura 95

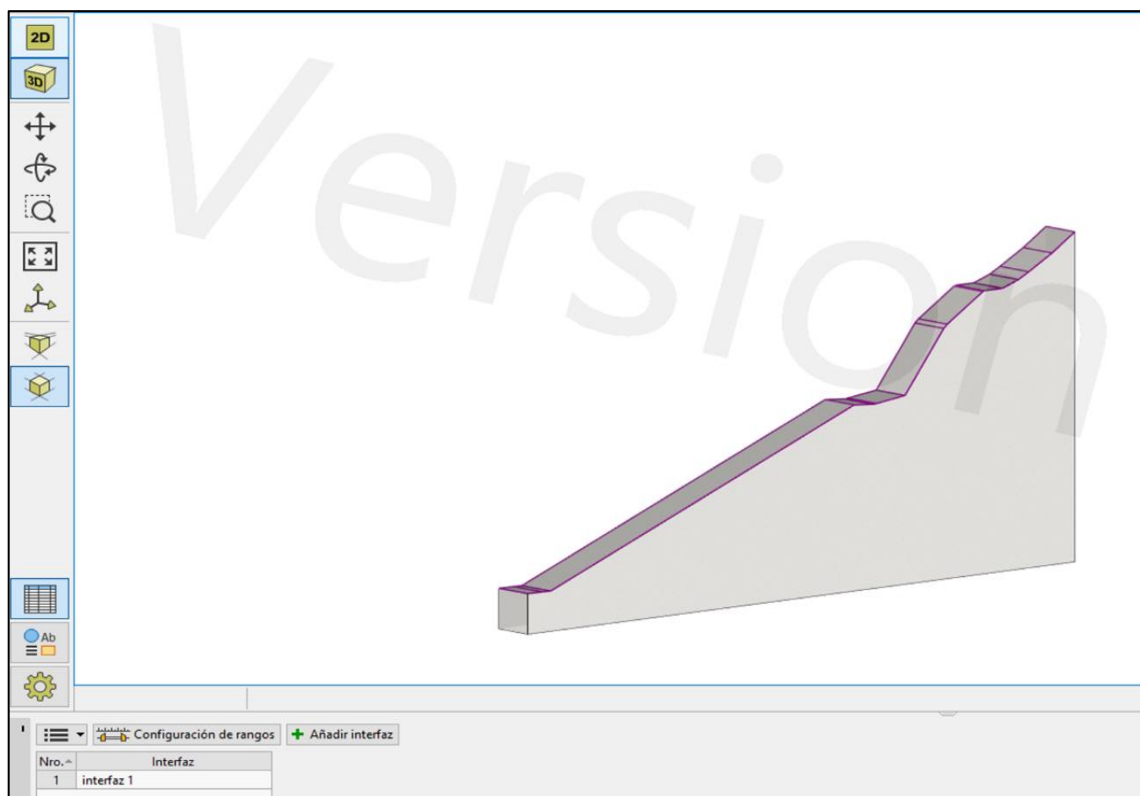
Importación de puntos de la sección 1 del terraplén



Nota. Elaboración propia.

Figura 96

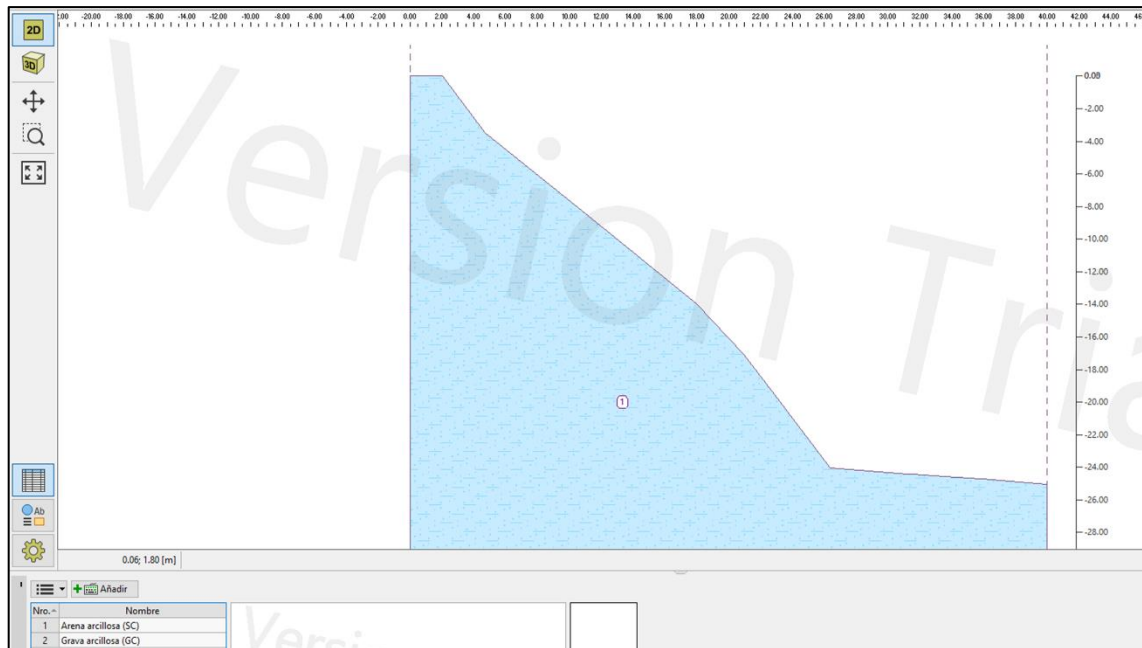
Visualización 3D de los estratos de la sección 1 del terraplén



Nota. Elaboración propia.

Figura 97

Creación del tipo de suelo de la sección 1 del terraplén



Nota. Elaboración propia.

Figura 98

Parámetros de suelo de la sección 1 del terraplén

Añadir suelos

Identificación

Nombre:

Datos Básicos

Peso unitario: $\gamma =$ [kN/m³]

Resistencia al corte:

Estado de tensión:

Ángulo de fricción interna: $\phi_{ef} =$ [°]

Cohesión de suelo: $c_{ef} =$ [kPa]

Subpresión

Modo de cálculo de subpresión:

Peso unitario de suelo saturado: $\gamma_{sat} =$ [kN/m³]

Estratificación

Estratificación de suelo:

Dibujar

Categoría de patrón:

Buscar:

Subcategoría:

Patrón:

Color:

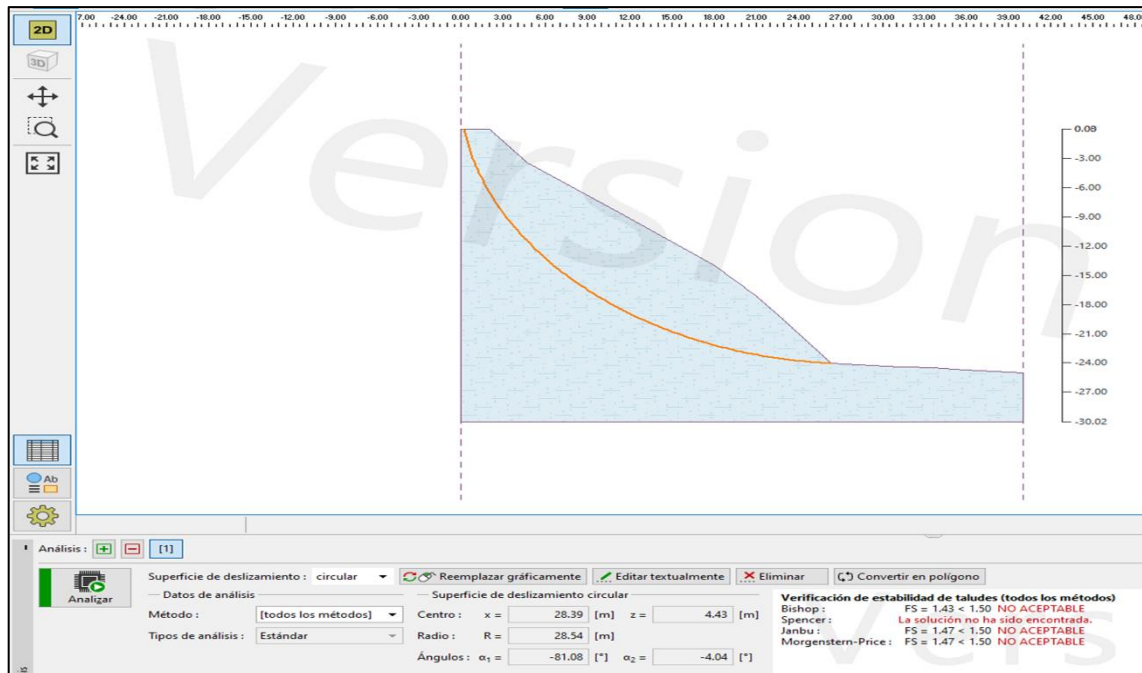
Fondo:

Saturación <10 - 90>: [%]

Nota. Elaboración propia.

Figura 99

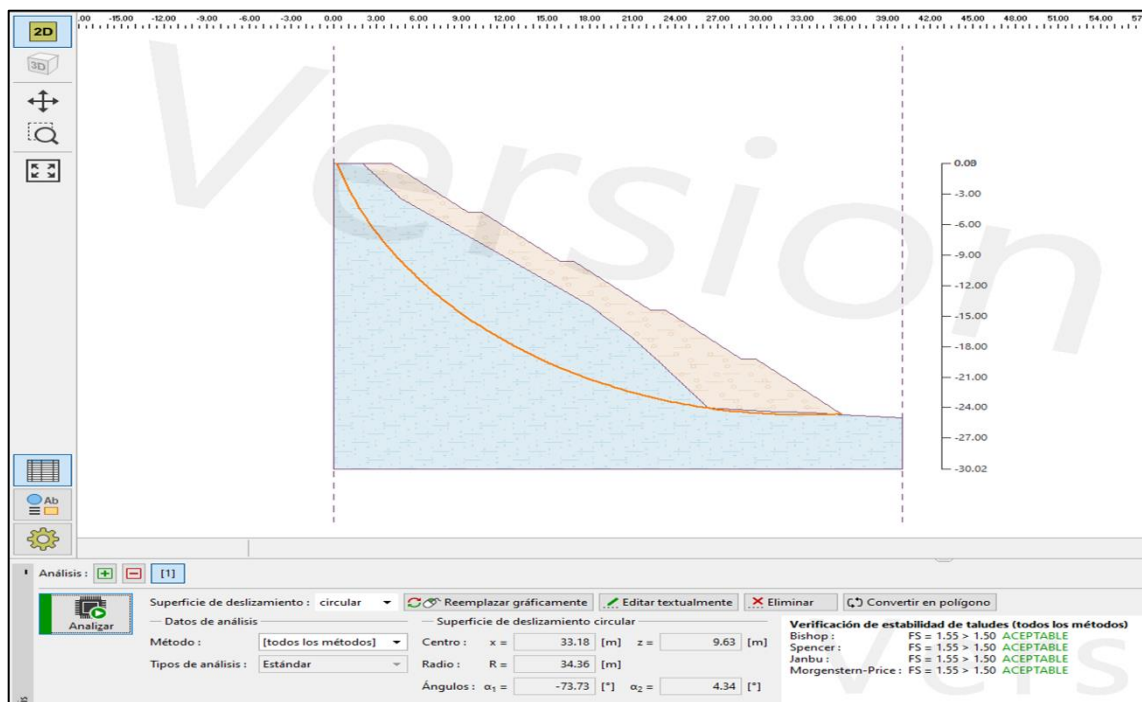
Verificación del FS en condiciones naturales de la sección 1 del terraplén



Nota. Elaboración propia.

Figura 100

Asignación de la pendiente de la sección 1 del terraplén



Nota. Elaboración propia.

Figura 101

Asignación de material de préstamo de la sección del terraplén

Nota. Elaboración propia.

De igual forma se fue realizando el modelamiento para cada una de las secciones del terraplén, con lo cual se obtuvo la geometría y los factores de seguridad mediante dos métodos de los varios que ofrece el software que son: Bishop, Spencer, Janbú y Morgenstern-Price.

5.1.16. Geometría en condiciones naturales del terraplén

La geometría en condiciones naturales, se obtuvo del levantamiento topográfico realizado, así como del seccionamiento cada 20 metros por tramo, teniendo de esta forma los siguientes datos geométricos iniciales:

Tabla 33*Geometría del terraplén en condiciones naturales*

Tramo 1	Datos geométricos de diseño		
	Altura (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)
Sección 01 (Progresiva 0+20)	24.45	20	109%
Sección 02 (Progresiva 0+40)	18.85	20	89%
Sección 03 (Progresiva 0+60)	12.52	20	64%

Nota. Elaboración propia.**5.1.17. Geometría con material de préstamo en terraplén**

Se hizo uso de material de préstamo como propuesta para el terraplén, con lo cual se presenta la geometría al modificar las condiciones:

Tabla 34 *Geometría del terraplén con material de préstamo*

Tramo 1	Datos geométricos de diseño		
	Altura (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)
Sección 01 (Progresiva 0+20)	24.73	20	77.71%
Sección 02 (Progresiva 0+40)	19.21	20	69.57%
Sección 03 (Progresiva 0+60)	12.25	20	61.93%

Nota. Elaboración propia.**5.1.18. Factor de seguridad en condiciones naturales del terraplén**

Para este caso el factor de seguridad de diseño de terraplén considerado fue el menor valor, ya que dicho valor representa la criticidad, cabe recalcar que los datos muy dispersos no se tomaron en cuenta.

Tabla 35

Factor de seguridad en condiciones naturales del terraplén

Tramo 1	Factor de seguridad		
	Bishop	Spencer	FS de diseño
Sección 01 (Progresiva 0+20)	1.43	1.45	1.43
Sección 02 (Progresiva 0+40)	1.42	1.43	1.42
Sección 03 (Progresiva 0+60)	1.43	1.44	1.43

Nota. Elaboración propia.

5.1.19. Factor de seguridad del terraplén con material de préstamo

Para este caso el factor de seguridad de diseño de coincide en cuanto a la evaluación mediante amos métodos:

Tabla 36

Factor de seguridad en condiciones naturales del terraplén

Tramo 1	Factor de seguridad		
	Bishop	Spencer	FS de diseño
Sección 01 (Progresiva 0+20)	1.55	1.55	1.55
Sección 02 (Progresiva 0+40)	1.89	1.89	1.89
Sección 03 (Progresiva 0+60)	2.31	2.31	2.31

Nota. Elaboración propia.

5.1.20. Análisis de regresión lineal respecto a la geometría del talud

Para el análisis de regresión lineal, se consideraron los indicadores planteados en la matriz de operacionalización de variables, también, se establecieron criterios de exclusión desde un punto de vista estadístico, en el cual se consideró que las variables independientes no pueden tener una relación directa; como por ejemplo en el caso del índice de plasticidad, el cual resulta directamente de la diferencia entre el límite líquido y el

límite plástico, de igual forma el resto de indicadores se fueron evaluando y excluyendo como variables independientes para la regresión lineal.

Teniendo finalmente 12 variables independientes referentes al estado natural del talud, siendo estas variables:

X1 = Índice de plasticidad del talud natural

X2 = Contenido de Humedad del talud natural

X3 = Coeficiente de permeabilidad del talud natural

X4 = Porosidad del talud natural

X5 = Densidad natural del talud

X6 = Ángulo de fricción del talud natural

X7 = Cohesión del talud natural

X8 = Capacidad de carga del talud natural

X9 = Resistencia a la compresión del talud natural

X10 = Asentamiento del talud natural

X11 = Altura del talud natural

X12 = Pendiente del talud natural

Y como variable dependiente se tuvo:

Y = Pendiente del talud con muro claveteado

Tabla 37

Pendiente estabilizada con muro claveteado

Tramo	Sección	Pendiente estabilizada (%) Y
Tramo 1	Sección 1	300.00
	Sección 2	225.00
	Sección 3	225.00
	Sección 4	188.00
	Sección 5	150.00
Tramo 2	Sección 1	150.00
	Sección 2	225.00
	Sección 3	225.00
	Sección 4	187.50
	Sección 5	187.50
Tramo 3	Sección 1	24.67
	Sección 2	23.41
	Sección 3	40.12

Tramo	Sección	Pendiente estabilizada (%)
		Y
Tramo 4	Sección 4	37.92
	Sección 5	43.87
	Sección 1	41.12
	Sección 2	36.14
	Sección 3	29.60
	Sección 4	28.80
	Sección 5	34.63
	Suma	2403.28
Promedio		120.16

Nota. Elaboración propia.

La sección 1 del tramo 1 corresponde a la calicata 2.

La sección 2 del tramo 1 corresponde a las calicatas 2, 3 y 7

La sección 3 del tramo 1 corresponde a las calicatas 2, 3 y 7

La sección 4 del tramo 1 corresponde a las calicatas 2, 3 y 7

La sección 5 del tramo 1 corresponde a las calicatas 2, 3 y 7

La sección 1 del tramo 2 corresponde a las calicatas 3, 4 y 6

La sección 2 del tramo 2 corresponde a las calicatas 3, 4 y 6

La sección 3 del tramo 2 corresponde a las calicatas 3, 4 y 6

La sección 4 del tramo 2 corresponde a las calicatas 3, 4 y 6

La sección 5 del tramo 2 corresponde a las calicatas 3, 4 y 6

La sección 1 del tramo 3 corresponde a las calicatas 3, 5 y 6

La sección 2 del tramo 3 corresponde a las calicatas 3, 5 y 6

La sección 3 del tramo 3 corresponde a las calicatas 3, 5 y 6

La sección 4 del tramo 3 corresponde a las calicatas 3, 5 y 6

La sección 5 del tramo 3 corresponde a las calicatas 3, 5 y 6

La sección 1 del tramo 4 corresponde a las calicatas 3 y 5

La sección 2 del tramo 4 corresponde a las calicatas 3 y 5

La sección 3 del tramo 4 corresponde a las calicatas 3 y 5

La sección 4 del tramo 4 corresponde a las calicatas 3 y 5

La sección 5 del tramo 4 corresponde a las calicatas 3 y 5

Como se observa, existen secciones que poseen más de una calicata como suelo de estudio, esto debido al área de influencia de las calicatas elaboradas, es por ello que antes del análisis de regresión lineal se determinó un valor promedio de todas las calicatas que intervienen en una determinada sección, quedando de esta forma la siguiente tabla de variables para el análisis de regresión lineal respecto a la geometría del talud.

Se consideró dos análisis de regresión lineal, uno mediante un cálculo manual mediante MS Excel y otro mediante la herramienta “análisis de datos” de MS Excel, esto debido a que ambos muestran un análisis distinto por el hecho de poseer varias variables independientes (12 variables independientes).

Primero se muestra el cálculo manual mediante MS Excel:

Tabla 38

Variables para la regresión lineal respecto a la geometría del talud

Tramo	Sección	Pendiente estabilizada	Índice de plasticidad	Contenido de humedad	Coefficiente de permeabilidad	Porosidad	Densidad Natural	Ángulo de fricción	Cohesión	Capacidad de Carga	Resistencia a la compresión	Asentamiento	Altura natural	Pendiente natural
		(%)	(%)	(%)	(cm/s)	(%)	(g/cm ³)	(°)	(kPa)	(Ton/m ²)	(kPa)	(cm)	(m)	(%)
		Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12
Tramo 1	Sección 1	300.00	23.00	6.72	0.0077	0.3900	1.69	17.00	7.85	9.35	15.00	0.2800	13.4500	32.00
	Sección 2	225.00	14.20	9.21	0.0068	0.4167	1.60	16.00	17.98	13.32	36.00	0.2467	18.7800	241.00
	Sección 3	225.00	14.20	9.21	0.0068	0.4167	1.60	16.00	17.98	13.32	36.00	0.2467	19.4700	196.00
	Sección 4	188.00	14.20	9.21	0.0068	0.4167	1.60	16.00	17.98	13.32	36.00	0.2467	19.6800	80.00
	Sección 5	150.00	14.20	9.21	0.0068	0.4167	1.60	16.00	17.98	13.32	36.00	0.2467	23.1100	87.00
Tramo 2	Sección 1	150.00	4.93	9.26	0.0056	0.4233	1.58	16.00	18.96	11.66	28.67	0.1733	35.4300	150.00
	Sección 2	225.00	4.93	9.26	0.0056	0.4233	1.58	16.00	18.96	11.66	28.67	0.1733	39.7300	225.00
	Sección 3	225.00	4.93	9.26	0.0056	0.4233	1.58	16.00	18.96	11.66	28.67	0.1733	38.6300	225.00
	Sección 4	187.50	4.93	9.26	0.0056	0.4233	1.58	16.00	18.96	11.66	28.67	0.1733	19.1600	187.50
	Sección 5	187.50	4.93	9.26	0.0056	0.4233	1.58	16.00	18.96	11.66	28.67	0.1733	19.5300	187.50
Tramo 3	Sección 1	24.67	4.40	7.82	0.0054	0.4167	1.57	16.33	21.90	13.51	34.67	0.2000	11.6900	24.67
	Sección 2	23.41	4.40	7.82	0.0054	0.4167	1.57	16.33	21.90	13.51	34.67	0.2000	10.6600	23.41
	Sección 3	40.12	4.40	7.82	0.0054	0.4167	1.57	16.33	21.90	13.51	34.67	0.2000	17.7500	40.12
	Sección 4	37.92	4.40	7.82	0.0054	0.4167	1.57	16.33	21.90	13.51	34.67	0.2000	16.7000	37.92
	Sección 5	43.87	4.40	7.82	0.0054	0.4167	1.57	16.33	21.90	13.51	34.67	0.2000	18.7700	43.87
Tramo 4	Sección 1	41.12	4.90	7.39	0.0063	0.4400	1.52	16.50	14.71	12.21	29.50	0.1800	18.2400	41.12
	Sección 2	36.14	4.90	7.39	0.0063	0.4400	1.52	16.50	14.71	12.21	29.50	0.1800	15.7400	36.14
	Sección 3	29.60	4.90	7.39	0.0063	0.4400	1.52	16.50	14.71	12.21	29.50	0.1800	12.8300	29.60
	Sección 4	28.80	4.90	7.39	0.0063	0.4400	1.52	16.50	14.71	12.21	29.50	0.1800	11.8100	28.80
	Sección 5	34.63	4.90	7.39	0.0063	0.4400	1.52	16.50	14.71	12.21	29.50	0.1800	11.9000	34.63
Suma	20	2403.28	150.97	165.87	0.12	8.46	31.46	325.17	357.62	249.55	623.17	4.03	393.06	1951.28

Nota. Elaboración propia

Tabla 39

Matriz de observaciones de las variables explicativas respecto a la geometría del talud (datos a reemplazar)

n	ΣX1	ΣX2	ΣX3	ΣX4	ΣX5	ΣX6	ΣX7	ΣX8	ΣX9	ΣX10	ΣX11	ΣX12
ΣX1	ΣX1 ΣX1	ΣX1 ΣX2	ΣX1 ΣX3	ΣX1 ΣX4	ΣX1 ΣX5	ΣX1 ΣX6	ΣX1 ΣX7	ΣX1 ΣX8	ΣX1 ΣX9	ΣX1 ΣX10	ΣX1 ΣX11	ΣX1 ΣX12
ΣX2	ΣX2 ΣX1	ΣX2 ΣX2	ΣX2 ΣX3	ΣX2 ΣX4	ΣX2 ΣX5	ΣX2 ΣX6	ΣX2 ΣX7	ΣX2 ΣX8	ΣX2 ΣX9	ΣX2 ΣX10	ΣX2 ΣX11	ΣX2 ΣX12
ΣX3	ΣX3 ΣX1	ΣX3 ΣX2	ΣX3 ΣX3	ΣX3 ΣX4	ΣX3 ΣX5	ΣX3 ΣX6	ΣX3 ΣX7	ΣX3 ΣX8	ΣX3 ΣX9	ΣX3 ΣX10	ΣX3 ΣX11	ΣX3 ΣX12
ΣX4	ΣX4 ΣX1	ΣX4 ΣX2	ΣX4 ΣX3	ΣX4 ΣX4	ΣX4 ΣX5	ΣX4 ΣX6	ΣX4 ΣX7	ΣX4 ΣX8	ΣX4 ΣX9	ΣX4 ΣX10	ΣX4 ΣX11	ΣX4 ΣX12
ΣX5	ΣX5 ΣX1	ΣX5 ΣX2	ΣX5 ΣX3	ΣX5 ΣX4	ΣX5 ΣX5	ΣX5 ΣX6	ΣX5 ΣX7	ΣX5 ΣX8	ΣX5 ΣX9	ΣX5 ΣX10	ΣX5 ΣX11	ΣX5 ΣX12
ΣX6	ΣX6 ΣX1	ΣX6 ΣX2	ΣX6 ΣX3	ΣX6 ΣX4	ΣX6 ΣX5	ΣX6 ΣX6	ΣX6 ΣX7	ΣX6 ΣX8	ΣX6 ΣX9	ΣX6 ΣX10	ΣX6 ΣX11	ΣX6 ΣX12
ΣX7	ΣX7 ΣX1	ΣX7 ΣX2	ΣX7 ΣX3	ΣX7 ΣX4	ΣX7 ΣX5	ΣX7 ΣX6	ΣX7 ΣX7	ΣX7 ΣX8	ΣX7 ΣX9	ΣX7 ΣX10	ΣX7 ΣX11	ΣX7 ΣX12
ΣX8	ΣX8 ΣX1	ΣX8 ΣX2	ΣX8 ΣX3	ΣX8 ΣX4	ΣX8 ΣX5	ΣX8 ΣX6	ΣX8 ΣX7	ΣX8 ΣX8	ΣX8 ΣX9	ΣX8 ΣX10	ΣX8 ΣX11	ΣX8 ΣX12
ΣX9	ΣX9 ΣX1	ΣX9 ΣX2	ΣX9 ΣX3	ΣX9 ΣX4	ΣX9 ΣX5	ΣX9 ΣX6	ΣX9 ΣX7	ΣX9 ΣX8	ΣX9 ΣX9	ΣX9 ΣX10	ΣX9 ΣX11	ΣX9 ΣX12
ΣX10	ΣX10 ΣX1	ΣX10 ΣX2	ΣX10 ΣX3	ΣX10 ΣX4	ΣX10 ΣX5	ΣX10 ΣX6	ΣX10 ΣX7	ΣX10 ΣX8	ΣX10 ΣX9	ΣX10 ΣX10	ΣX10 ΣX11	ΣX10 ΣX12
ΣX11	ΣX11 ΣX1	ΣX11 ΣX2	ΣX11 ΣX3	ΣX11 ΣX4	ΣX11 ΣX5	ΣX11 ΣX6	ΣX11 ΣX7	ΣX11 ΣX8	ΣX11 ΣX9	ΣX11 ΣX10	ΣX11 ΣX11	ΣX11 ΣX12
ΣX12	ΣX12 ΣX1	ΣX12 ΣX2	ΣX12 ΣX3	ΣX12 ΣX4	ΣX12 ΣX5	ΣX12 ΣX6	ΣX12 ΣX7	ΣX12 ΣX8	ΣX12 ΣX9	ΣX12 ΣX10	ΣX12 ΣX11	ΣX12 ΣX12

Nota. Elaboración propia

Tabla 40

Matriz de observaciones de las variables explicativas respecto a la geometría del talud (datos reemplazados)

20.00	150.97	165.87	0.12	8.46	31.46	325.17	357.62	249.55	623.17	4.03	393.06	1951.28
150.97	1674.10	1258.89	0.98	63.03	240.58	2458.05	2511.69	1855.83	4582.33	33.54	2890.41	15705.18
165.87	1258.89	1391.45	1.00	70.10	261.08	2692.16	2992.15	2072.51	5198.48	33.46	3360.46	17393.96
0.12	0.98	1.00	0.00	0.05	0.19	1.97	2.13	1.51	3.76	0.02	2.36	11.79
8.46	63.03	70.10	0.05	3.58	13.29	137.49	151.15	105.54	263.65	1.70	166.08	822.65

31.46	240.58	261.08	0.19	13.29	49.51	511.42	562.20	392.27	979.13	6.36	619.40	3087.27
325.17	2458.05	2692.16	1.97	137.49	511.42	5288.14	5803.04	4055.21	10117.19	65.60	6362.86	31394.29
357.62	2511.69	2992.15	2.13	151.15	562.20	5803.04	6632.12	4514.68	11390.19	71.51	7146.03	35824.87
249.55	1855.83	2072.51	1.51	105.54	392.27	4055.21	4514.68	3135.50	7873.10	50.37	4865.80	24093.76
623.17	4582.33	5198.48	3.76	263.65	979.13	10117.19	11390.19	7873.10	19878.03	125.78	12190.38	61090.54
4.03	33.54	33.46	0.02	1.70	6.36	65.60	71.51	50.37	125.78	0.83	77.99	391.60
393.06	2890.41	3360.46	2.36	166.08	619.40	6362.86	7146.03	4865.80	12190.38	77.99	9131.30	47714.99
1951.28	15705.18	17393.96	11.79	822.65	3087.27	31394.29	35824.87	24093.76	61090.54	391.60	47714.99	317583.05

Nota. Elaboración propia.

Con este cálculo manual se obtuvo la ecuación:

$$y = 3072.98 - 65.35X_1 + 79.99X_2 + 223267.13X_3 - 11449.64X_4 + 312.28X_5 - 12.78X_6 - 20.89X_7 - 11.39X_8 - 4.09X_9 + 4068.28X_{10} + 0.56X_{11} + 0.49X_{12}$$

Ahora, la comparación entre la pendiente estabilizada y la pendiente proyectada mediante esta ecuación es como se presenta a continuación:

Tabla 41*Comparación de pendiente estabilizada y pendiente proyectada del cálculo manual*

Tramo	Sección	Pendiente estabilizada	Pendiente proyectada
		(%)	(%)
		(1)	(2)
Tramo 1	Sección 1	300.00	502.38
	Sección 2	225.00	389.65
	Sección 3	225.00	367.91
	Sección 4	188.00	311.02
	Sección 5	150.00	316.38
Tramo 2	Sección 1	150.00	329.07
	Sección 2	225.00	368.34
	Sección 3	225.00	367.72
	Sección 4	187.50	338.39
	Sección 5	187.50	338.60
Tramo 3	Sección 1	24.67	207.57
	Sección 2	23.41	206.37
	Sección 3	40.12	218.56
	Sección 4	37.92	216.89
	Sección 5	43.87	220.97
Tramo 4	Sección 1	41.12	171.97
	Sección 2	36.14	168.12
	Sección 3	29.60	163.28
	Sección 4	28.80	162.31
	Sección 5	34.63	165.23
Suma		2403.28	5530.71
Promedio		120.16	276.54

Nota. Elaboración propia.

Tabla 42

Análisis de varianza Anova mediante cálculo manual respecto a la geometría del talud

Tabla de Anova					
Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fo	F crítica
Regresión	671786.13	12	55982.18	0.7848	3.5747
Error	499335.87	7	71333.7		
Total	166399.31	19	8757.858		

Nota. *Elaboración propia*

Posterior a ello, se realizó el análisis de varianza Anova, como se muestra en la tabla anterior obteniendo un valor F crítico de 3.5747 y un valor Fo de 0.7848, para la interpretación del mismo se planteó como hipótesis nula (H0) e hipótesis alternativa (H1):

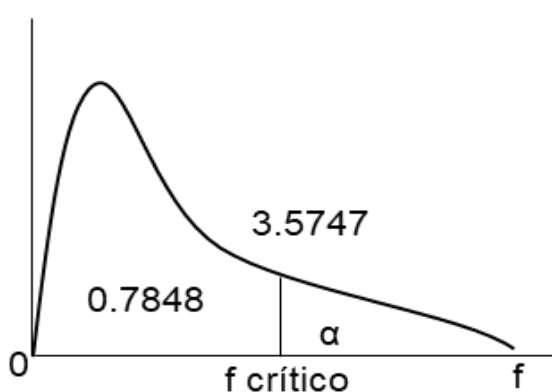
H0: Las propiedades del suelo no guardan relación con la geometría del talud

H1: Las propiedades del suelo guardan relación con la geometría del talud

Ya que el valor de Fo es mayor al valor de F crítico, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa, teniendo como conclusión primaria que las propiedades del suelo no guardan una relación directa con la geometría del talud.

Figura 102

Gráfica de la varianza considerando un F crítico respecto a la geometría del talud



Nota. *Elaboración propia.*

Los coeficientes de determinación y correlación correspondientes son:

Tabla 43

Coefficientes de determinación y correlación correspondientes al cálculo manual de la geometría del talud

Coefficientes	Valores
Coeficiente de determinación	$R^2 = 0.247697$
Coeficiente de determinación ajustada	$R^2_{aj} = 0.071451$
Coeficiente de correlación	$R = 0.497692$

Nota. *Elaboración propia*

El coeficiente de determinación de 0.247697 indica que la proporción de la variabilidad en los datos posee una precisión al 24.77%.

El coeficiente de determinación ajustada de 0.071451 indica que no se puede realizar pronósticos, ya que no alcanza el valor mínimo de 0.7

El coeficiente de correlación de 0.497692 indica que existe una intensidad de relación baja entre las variables

Como se puede observar, el cálculo manual nos lleva a un resultado en el cual no guarda relación las propiedades del suelo con el diseño del talud, ahora, se presenta el análisis mediante la herramienta “análisis de datos de regresión” de MS Excel:

Tabla 44

Estadística de regresión correspondientes al cálculo de MS Excel mediante la herramienta “análisis de datos” respecto a la geometría del talud

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0.99342248
Coeficiente de determinación R^2	0.98688823
R^2 ajustado	0.51929818
Error típico	12.9549194
Observaciones	20

Nota. *Elaboración propia*

MS Excel en su cálculo, determina que:

El coeficiente de determinación es de 0.98688823, con lo cual indica que la proporción de la variabilidad en los datos posee una precisión al 98.69%.

El coeficiente de determinación ajustada es de 0.51929818, con lo cual indica que aún no se puede realizar pronósticos, ya que no alcanza el valor mínimo de 0.7, pero incrementa un 50% respecto al cálculo manual

El coeficiente de correlación es de 0.99342248, con lo cual indica que existe una intensidad de relación muy alta entre las variables

Tabla 45

Análisis de varianza Anova de MS Excel respecto a la geometría del talud

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	Fo	Valor crítico de F
Regresión	12	164217.519	13684.7932	163.079288	2.60366075
Residuos	13	2181.78916	167.829936		
Total	25	166399.308			

Nota. *Elaboración propia*

Ahora, por otro lado, el análisis de varianza Anova que calcula MS Excel nos da un valor Fo de 163.0792882 y un valor F crítico de 2.603660748, y de acuerdo a lo que se planteó como hipótesis nula (H0) e hipótesis alternativa (H1), en el cálculo manual:

H0: Las propiedades del suelo no guardan relación con la geometría del talud

H1: Las propiedades del suelo guardan relación con la geometría del talud

Ya que el valor de Fo es mayor al valor de F crítico, se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula, teniendo como conclusión que las propiedades del suelo guardan una relación muy estrecha y directa con la geometría del talud.

También la ecuación que nos arroja corresponde a:

$$y = -32.41 + 10.75X_1 + 22.06X_2 + 5.579X_7 - 8.66X_9 + 0.56X_{11} + 0.49X_{12}$$

Haciendo la comparativa con la ecuación del cálculo manual, el cálculo que realiza MS Excel, reduce el coeficiente de alguna de las variables independientes a prácticamente cero, a partir de esta consideración se obtiene una mayor correlación entre las propiedades del suelo y la geometría del talud.

Tabla 46

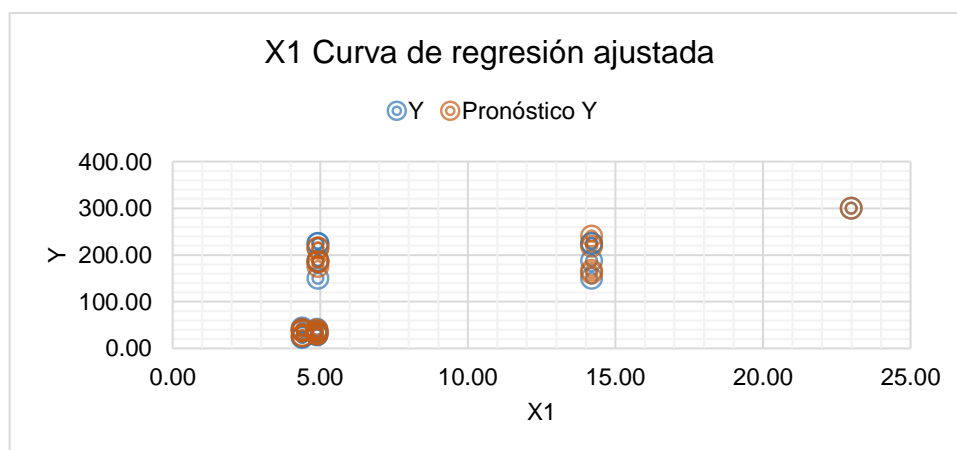
Comparación de pendiente estabilizada y pendiente proyectada de MS Excel

Tramo	Sección	Pendiente estabilizada (%)	Pendiente proyectada (%)
Tramo 1	Sección 1	300.00	300.00
	Sección 2	225.00	240.40
	Sección 3	225.00	218.67
	Sección 4	188.00	161.78
	Sección 5	150.00	167.14
Tramo 2	Sección 1	150.00	175.65
	Sección 2	225.00	214.91
	Sección 3	225.00	214.30
	Sección 4	187.50	184.97
	Sección 5	187.50	185.17
Tramo 3	Sección 1	24.67	27.50
	Sección 2	23.41	26.30
	Sección 3	40.12	38.48
	Sección 4	37.92	36.81
	Sección 5	43.87	40.90
Tramo 4	Sección 1	41.12	39.84
	Sección 2	36.14	36.00
	Sección 3	29.60	31.15
	Sección 4	28.80	30.19
	Sección 5	34.63	33.11

Nota. Elaboración propia

Figura 103

Curva de regresión ajustada del índice de plasticidad



Nota. Elaboración propia.

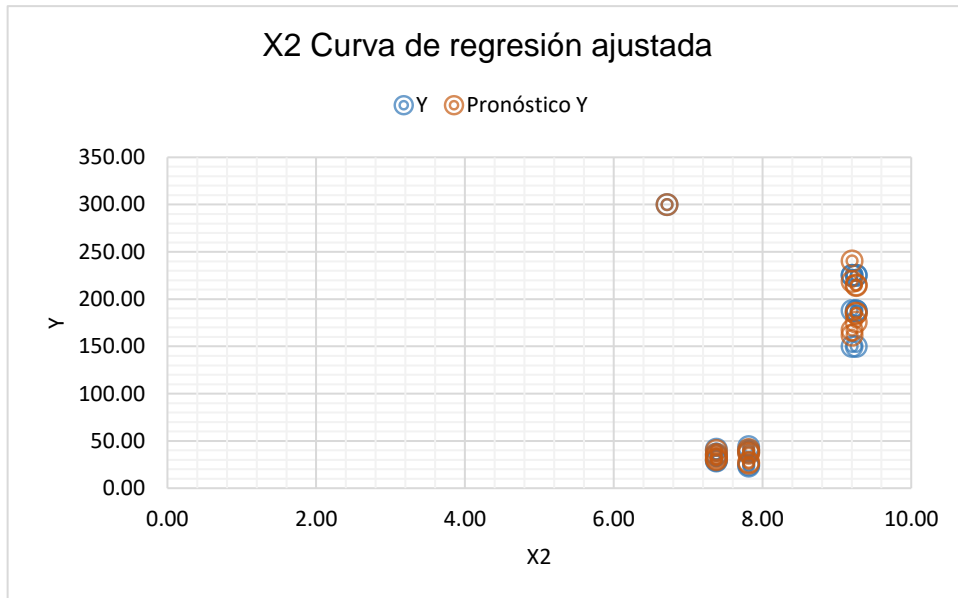
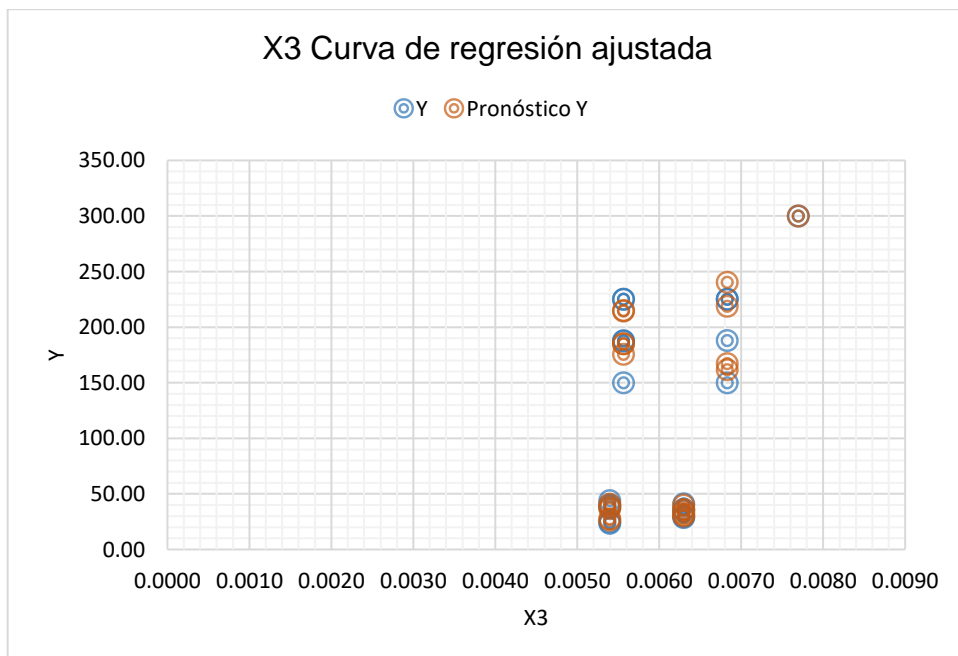
Figura 104*Curva de regresión ajustada del Contenido de humedad**Nota. Elaboración propia.***Figura 105***Curva de regresión ajustada del Coeficiente de permeabilidad**Nota. Elaboración propia.*

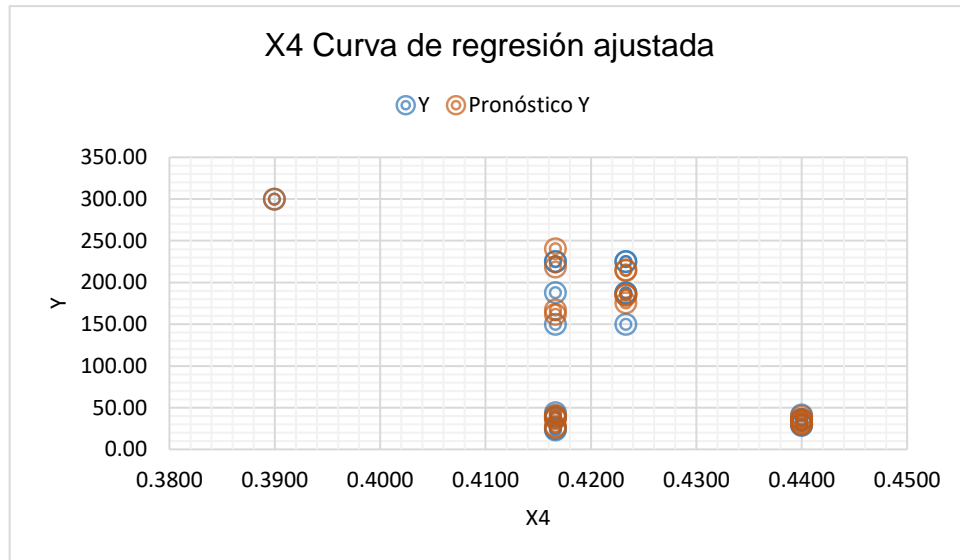
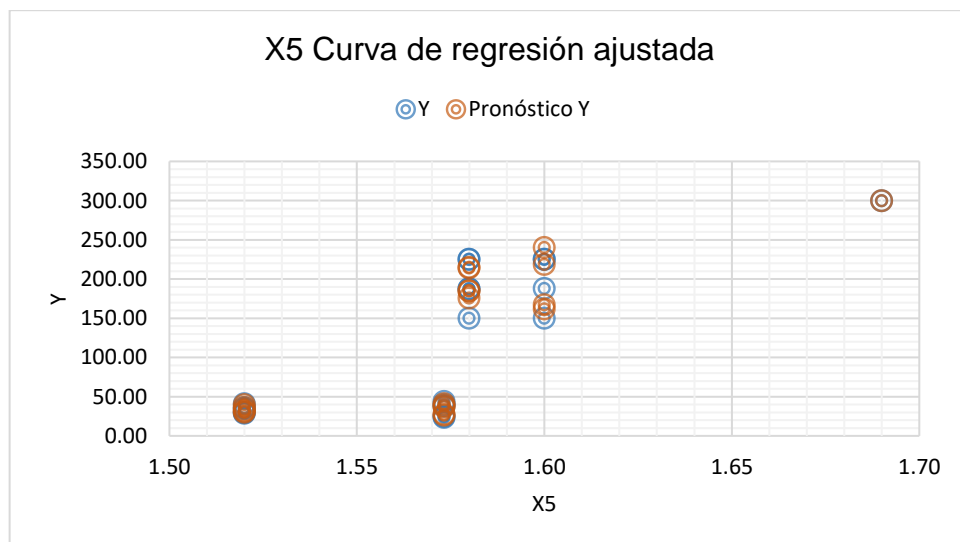
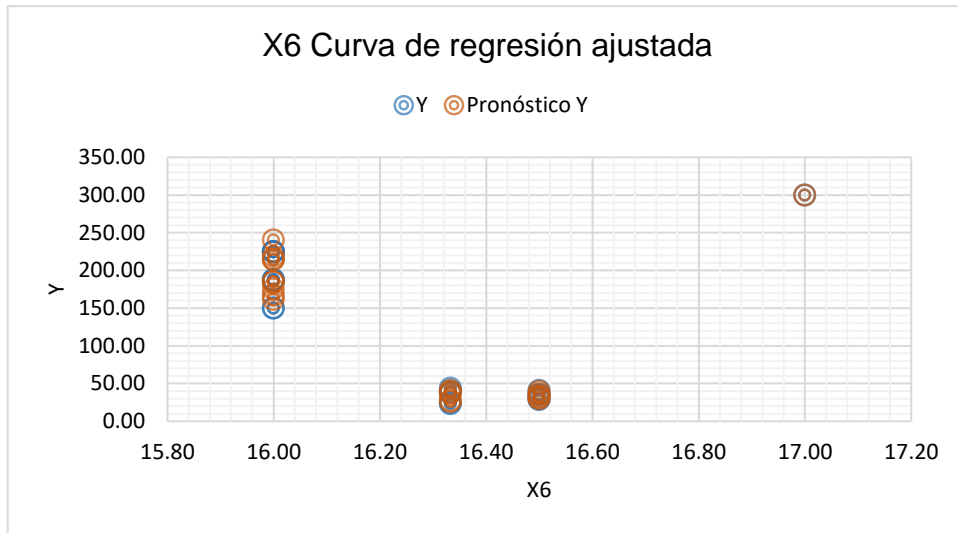
Figura 106*Curva de regresión ajustada de la Porosidad**Nota. Elaboración propia.***Figura 107***Curva de regresión ajustada de la Densidad Natural**Nota. Elaboración propia.*

Figura 108

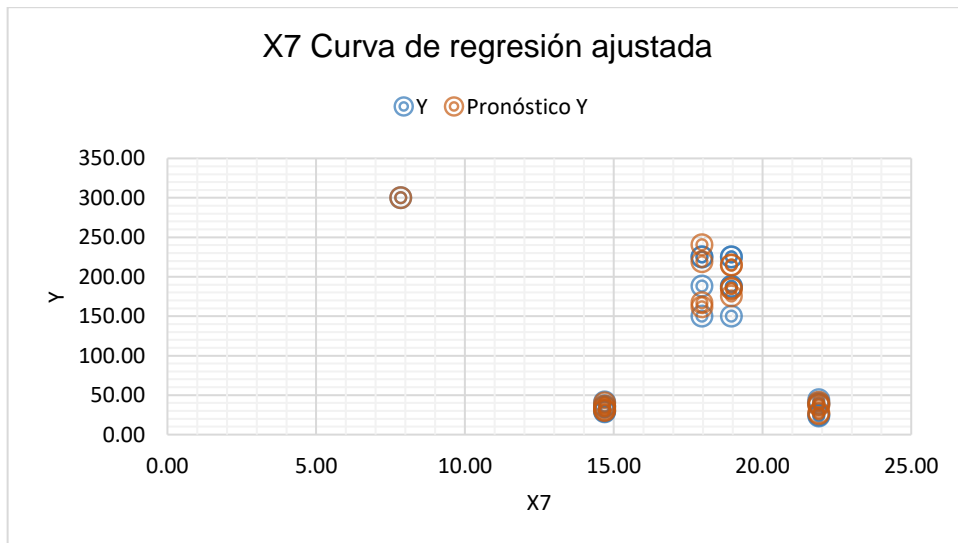
Curva de regresión ajustada del Ángulo de fricción



Nota. Elaboración propia.

Figura 109

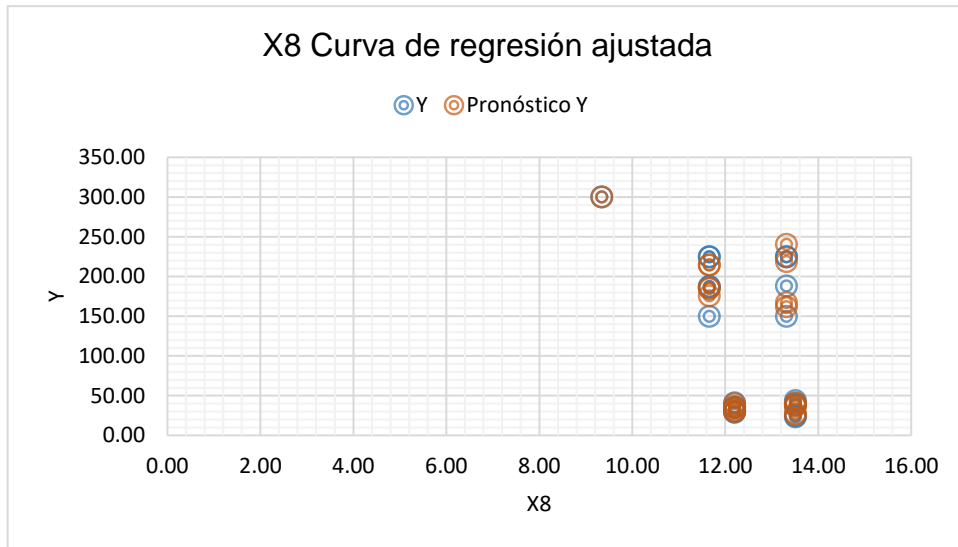
Curva de regresión ajustada de la Cohesión



Nota. Elaboración propia.

Figura 110

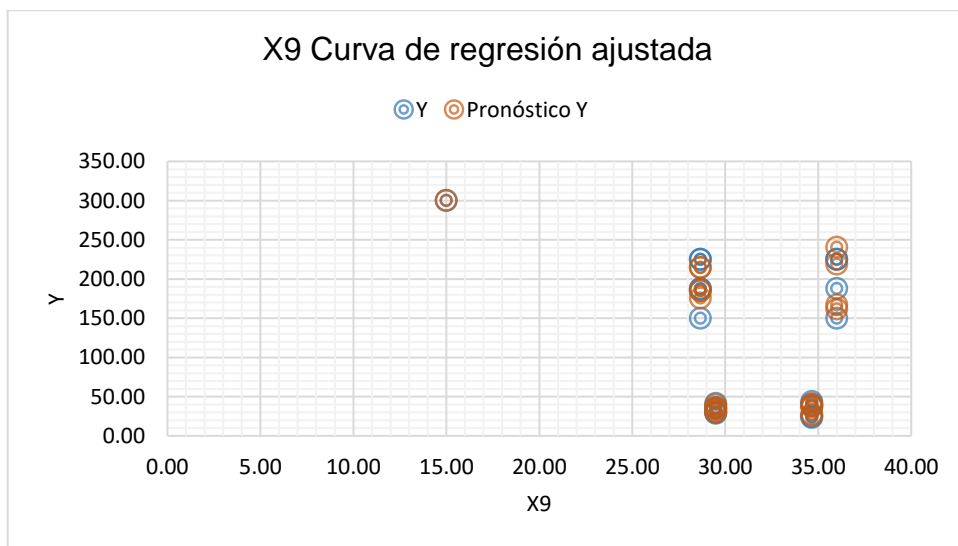
Curva de regresión ajustada de la Capacidad de Carga



Nota. Elaboración propia.

Figura 111

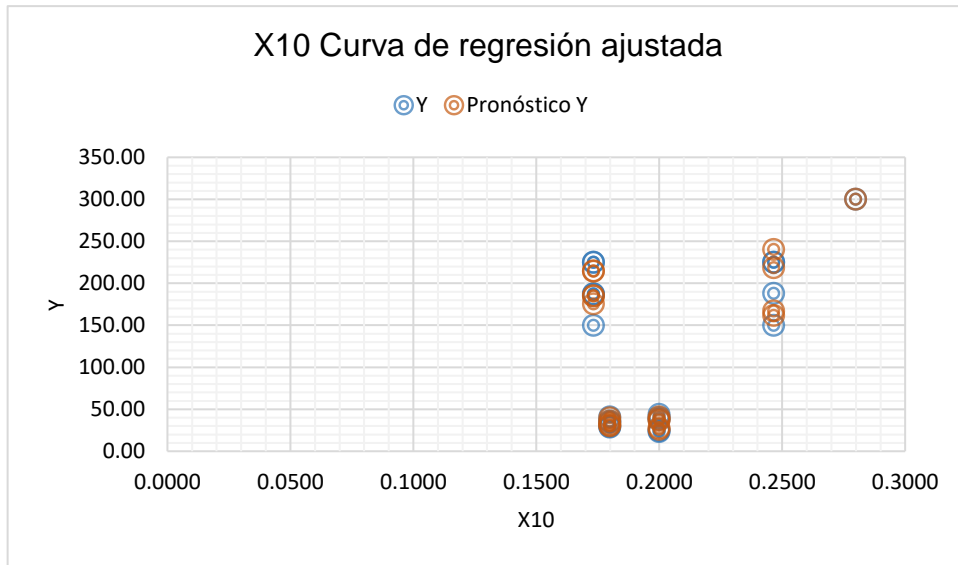
Curva de regresión ajustada de la Resistencia a la compresión



Nota. Elaboración propia.

Figura 112

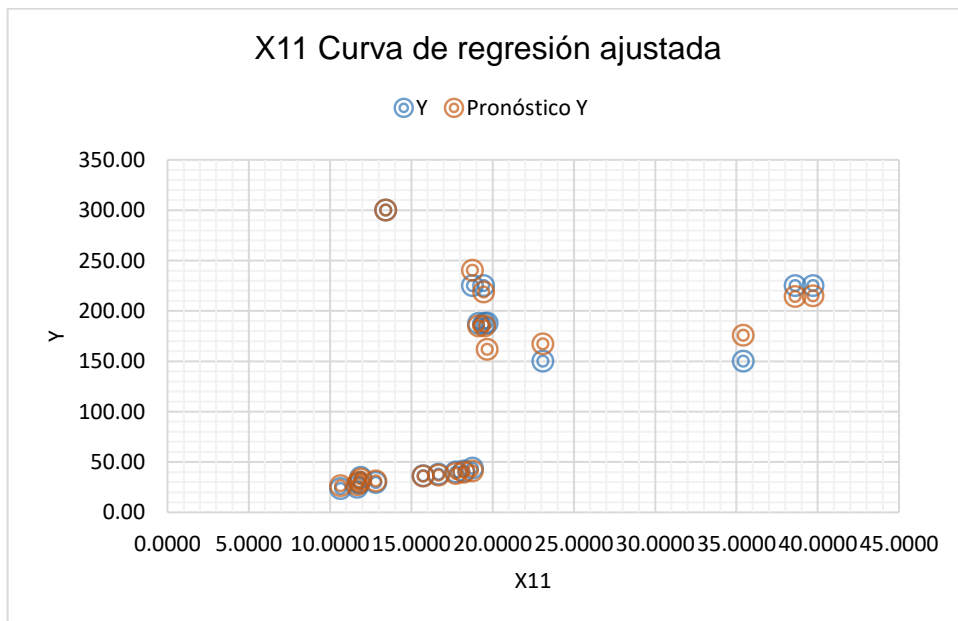
Curva de regresión ajustada del Asentamiento



Nota. Elaboración propia.

Figura 113

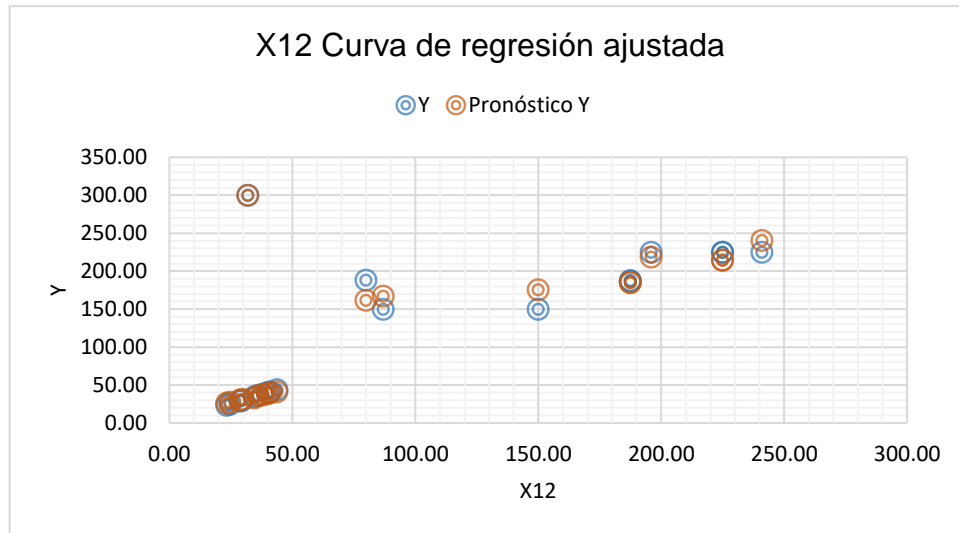
Curva de regresión ajustada de la Altura natural



Nota. Elaboración propia.

Figura 114

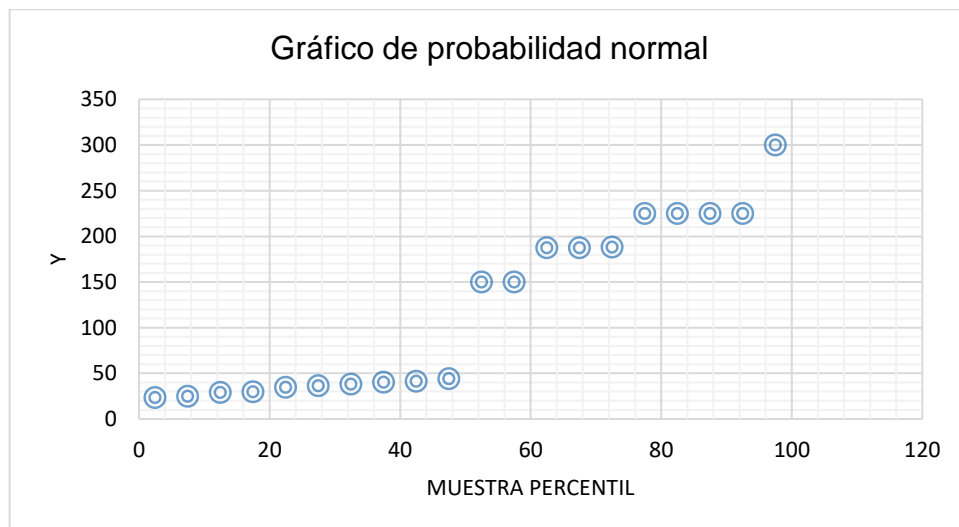
Curva de regresión ajustada de la Pendiente natural



Nota. Elaboración propia.

Figura 115

Gráfico de probabilidad normal de la geometría



Nota. Elaboración propia.

5.1.21. Análisis de regresión lineal respecto al Factor de Seguridad del talud

Para el análisis de regresión lineal, se consideraron los indicadores planteados en la matriz de operacionalización de variables, también, se establecieron criterios de exclusión desde un punto de vista estadístico, en el cual se consideró que las variables independientes no pueden tener una relación directa; como por ejemplo en el caso del índice de plasticidad,

el cual resulta directamente de la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, de igual forma el resto de indicadores se fueron evaluando y excluyendo como variables independientes para la regresión lineal.

Teniendo finalmente 12 variables independientes referentes al estado natural del talud, siendo estas variables:

X1 = Índice de plasticidad del talud natural

X2 = Contenido de Humedad del talud natural

X3 = Coeficiente de permeabilidad del talud natural

X4 = Porosidad del talud natural

X5 = Densidad natural del talud

X6 = Ángulo de fricción del talud natural

X7 = Cohesión del talud natural

X8 = Capacidad de carga del talud natural

X9 = Resistencia a la compresión del talud natural

X10 = Asentamiento del talud natural

X11 = Pendiente del suelo natural

X12 = FS del suelo natural

Y como variable dependiente se tuvo:

Y = FS del talud con muro claveteado

Tabla 47

FS estabilizado con muro claveteado

Tramo	Sección	FS estabilizado (%)
		Y
Tramo 1	Sección 1	1.59
	Sección 2	1.53
	Sección 3	1.52
	Sección 4	1.51
	Sección 5	1.55
Tramo 2	Sección 1	1.59
	Sección 2	1.57
	Sección 3	1.57
	Sección 4	1.53
	Sección 5	2.45
Tramo 3	Sección 1	3.41
	Sección 2	2.93

Tramo	Sección	FS estabilizado (%) Y
	Sección 3	2.65
	Sección 4	2.33
	Sección 5	1.92
	Sección 1	2.26
	Sección 2	2.39
Tramo 4	Sección 3	2.17
	Sección 4	3.26
	Sección 5	2.98
	Suma	2403.28
	Promedio	120.16

Nota. Elaboración propia.

La sección 1 del tramo 1 corresponde a la calicata 1.

La sección 2 del tramo 1 corresponde a las calicatas 2, 3 y 7

La sección 3 del tramo 1 corresponde a las calicatas 2, 3 y 7

La sección 4 del tramo 1 corresponde a las calicatas 2, 3 y 7

La sección 5 del tramo 1 corresponde a las calicatas 2, 3 y 7

La sección 1 del tramo 2 corresponde a las calicatas 3, 4 y 6

La sección 2 del tramo 2 corresponde a las calicatas 3, 4 y 6

La sección 3 del tramo 2 corresponde a las calicatas 3, 4 y 6

La sección 4 del tramo 2 corresponde a las calicatas 3, 4 y 6

La sección 5 del tramo 2 corresponde a las calicatas 3, 4 y 6

La sección 1 del tramo 3 corresponde a las calicatas 3, 5 y 6

La sección 2 del tramo 3 corresponde a las calicatas 3, 5 y 6

La sección 3 del tramo 3 corresponde a las calicatas 3, 5 y 6

La sección 4 del tramo 3 corresponde a las calicatas 3, 5 y 6

La sección 5 del tramo 3 corresponde a las calicatas 3, 5 y 6

La sección 1 del tramo 4 corresponde a las calicatas 3 y 5

La sección 2 del tramo 4 corresponde a las calicatas 3 y 5

La sección 3 del tramo 4 corresponde a las calicatas 3 y 5

La sección 4 del tramo 4 corresponde a las calicatas 3 y 5

La sección 5 del tramo 4 corresponde a las calicatas 3 y 5

Como se observa, existen secciones que poseen más de una calicata como suelo de estudio, esto debido al área de influencia de las calicatas elaboradas, es por ello que antes del análisis de regresión lineal se determinó un valor promedio de todas las calicatas que intervienen en una determinada sección, quedando de esta forma la siguiente tabla de variables para el análisis de regresión lineal respecto al factor de seguridad del talud.

Se consideró dos análisis de regresión lineal, uno mediante un cálculo manual mediante MS Excel y otro mediante la herramienta “análisis de datos” de MS Excel, esto debido a que ambos muestran un análisis distinto por el hecho de poseer varias variables independientes (12 variables independientes).

Primero se muestra el cálculo manual mediante MS Excel:

Tabla 48

Variables para la regresión lineal respecto al factor de seguridad del talud

Tramo	Sección	FS estabilizado	Índice de plasticidad	Contenido de humedad	Coefficiente de permeabilidad	Porosidad	Densidad Natural	Ángulo de fricción	Cohesión	Capacidad de Carga	Resistencia a la compresión	Asentamiento	Pendiente natural	FS natural
		Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12
Tramo 1	Sección 1	1.59	23.00	6.72	0.0077	0.3900	1.69	17.00	7.85	9.35	15.00	0.2800	32.0000	1.28
	Sección 2	1.53	14.20	9.21	0.0068	0.4167	1.60	16.00	17.98	13.32	36.00	0.2467	241.00	0.73
	Sección 3	1.52	14.20	9.21	0.0068	0.4167	1.60	16.00	17.98	13.32	36.00	0.2467	196.00	0.82
	Sección 4	1.51	14.20	9.21	0.0068	0.4167	1.60	16.00	17.98	13.32	36.00	0.2467	80.00	1.25
	Sección 5	1.55	14.20	9.21	0.0068	0.4167	1.60	16.00	17.98	13.32	36.00	0.2467	87.00	0.98
Tramo 2	Sección 1	1.59	4.93	9.26	0.0056	0.4233	1.58	16.00	18.96	11.66	28.67	0.1733	150.00	1.25
	Sección 2	1.57	4.93	9.26	0.0056	0.4233	1.58	16.00	18.96	11.66	28.67	0.1733	225.00	0.65
	Sección 3	1.57	4.93	9.26	0.0056	0.4233	1.58	16.00	18.96	11.66	28.67	0.1733	225.00	0.79
	Sección 4	1.53	4.93	9.26	0.0056	0.4233	1.58	16.00	18.96	11.66	28.67	0.1733	187.50	1.41
	Sección 5	2.45	4.93	9.26	0.0056	0.4233	1.58	16.00	18.96	11.66	28.67	0.1733	187.50	2.45
Tramo 3	Sección 1	3.41	4.40	7.82	0.0054	0.4167	1.57	16.33	21.90	13.51	34.67	0.2000	24.67	3.41
	Sección 2	2.93	4.40	7.82	0.0054	0.4167	1.57	16.33	21.90	13.51	34.67	0.2000	23.41	2.93
	Sección 3	2.65	4.40	7.82	0.0054	0.4167	1.57	16.33	21.90	13.51	34.67	0.2000	40.12	2.65
	Sección 4	2.33	4.40	7.82	0.0054	0.4167	1.57	16.33	21.90	13.51	34.67	0.2000	37.92	2.33
	Sección 5	1.92	4.40	7.82	0.0054	0.4167	1.57	16.33	21.90	13.51	34.67	0.2000	43.87	1.92
Tramo 4	Sección 1	2.26	4.90	7.39	0.0063	0.4400	1.52	16.50	14.71	12.21	29.50	0.1800	41.12	2.26
	Sección 2	2.39	4.90	7.39	0.0063	0.4400	1.52	16.50	14.71	12.21	29.50	0.1800	36.14	2.39
	Sección 3	2.17	4.90	7.39	0.0063	0.4400	1.52	16.50	14.71	12.21	29.50	0.1800	29.60	2.17
	Sección 4	3.26	4.90	7.39	0.0063	0.4400	1.52	16.50	14.71	12.21	29.50	0.1800	28.80	3.26
	Sección 5	2.98	4.90	7.39	0.0063	0.4400	1.52	16.50	14.71	12.21	29.50	0.1800	34.63	2.98
Suma	20	42.71	150.97	165.87	0.12	8.46	31.46	325.17	357.62	249.55	623.17	4.03	1951.28	37.91

Nota. Elaboración propia.

Tabla 49

Matriz de observaciones de las variables explicativas respecto al factor de seguridad del talud (datos a reemplazar)

n	ΣX1	ΣX2	ΣX3	ΣX4	ΣX5	ΣX6	ΣX7	ΣX8	ΣX9	ΣX10	ΣX11	ΣX12
ΣX1	ΣX1 ΣX1	ΣX1 ΣX2	ΣX1 ΣX3	ΣX1 ΣX4	ΣX1 ΣX5	ΣX1 ΣX6	ΣX1 ΣX7	ΣX1 ΣX8	ΣX1 ΣX9	ΣX1 ΣX10	ΣX1 ΣX11	ΣX1 ΣX12
ΣX2	ΣX2 ΣX1	ΣX2 ΣX2	ΣX2 ΣX3	ΣX2 ΣX4	ΣX2 ΣX5	ΣX2 ΣX6	ΣX2 ΣX7	ΣX2 ΣX8	ΣX2 ΣX9	ΣX2 ΣX10	ΣX2 ΣX11	ΣX2 ΣX12
ΣX3	ΣX3 ΣX1	ΣX3 ΣX2	ΣX3 ΣX3	ΣX3 ΣX4	ΣX3 ΣX5	ΣX3 ΣX6	ΣX3 ΣX7	ΣX3 ΣX8	ΣX3 ΣX9	ΣX3 ΣX10	ΣX3 ΣX11	ΣX3 ΣX12
ΣX4	ΣX4 ΣX1	ΣX4 ΣX2	ΣX4 ΣX3	ΣX4 ΣX4	ΣX4 ΣX5	ΣX4 ΣX6	ΣX4 ΣX7	ΣX4 ΣX8	ΣX4 ΣX9	ΣX4 ΣX10	ΣX4 ΣX11	ΣX4 ΣX12
ΣX5	ΣX5 ΣX1	ΣX5 ΣX2	ΣX5 ΣX3	ΣX5 ΣX4	ΣX5 ΣX5	ΣX5 ΣX6	ΣX5 ΣX7	ΣX5 ΣX8	ΣX5 ΣX9	ΣX5 ΣX10	ΣX5 ΣX11	ΣX5 ΣX12
ΣX6	ΣX6 ΣX1	ΣX6 ΣX2	ΣX6 ΣX3	ΣX6 ΣX4	ΣX6 ΣX5	ΣX6 ΣX6	ΣX6 ΣX7	ΣX6 ΣX8	ΣX6 ΣX9	ΣX6 ΣX10	ΣX6 ΣX11	ΣX6 ΣX12
ΣX7	ΣX7 ΣX1	ΣX7 ΣX2	ΣX7 ΣX3	ΣX7 ΣX4	ΣX7 ΣX5	ΣX7 ΣX6	ΣX7 ΣX7	ΣX7 ΣX8	ΣX7 ΣX9	ΣX7 ΣX10	ΣX7 ΣX11	ΣX7 ΣX12
ΣX8	ΣX8 ΣX1	ΣX8 ΣX2	ΣX8 ΣX3	ΣX8 ΣX4	ΣX8 ΣX5	ΣX8 ΣX6	ΣX8 ΣX7	ΣX8 ΣX8	ΣX8 ΣX9	ΣX8 ΣX10	ΣX8 ΣX11	ΣX8 ΣX12
ΣX9	ΣX9 ΣX1	ΣX9 ΣX2	ΣX9 ΣX3	ΣX9 ΣX4	ΣX9 ΣX5	ΣX9 ΣX6	ΣX9 ΣX7	ΣX9 ΣX8	ΣX9 ΣX9	ΣX9 ΣX10	ΣX9 ΣX11	ΣX9 ΣX12
ΣX10	ΣX10 ΣX1	ΣX10 ΣX2	ΣX10 ΣX3	ΣX10 ΣX4	ΣX10 ΣX5	ΣX10 ΣX6	ΣX10 ΣX7	ΣX10 ΣX8	ΣX10 ΣX9	ΣX10 ΣX10	ΣX10 ΣX11	ΣX10 ΣX12
ΣX11	ΣX11 ΣX1	ΣX11 ΣX2	ΣX11 ΣX3	ΣX11 ΣX4	ΣX11 ΣX5	ΣX11 ΣX6	ΣX11 ΣX7	ΣX11 ΣX8	ΣX11 ΣX9	ΣX11 ΣX10	ΣX11 ΣX11	ΣX11 ΣX12
ΣX12	ΣX12 ΣX1	ΣX12 ΣX2	ΣX12 ΣX3	ΣX12 ΣX4	ΣX12 ΣX5	ΣX12 ΣX6	ΣX12 ΣX7	ΣX12 ΣX8	ΣX12 ΣX9	ΣX12 ΣX10	ΣX12 ΣX11	ΣX12 ΣX12

Nota. Elaboración propia.

Tabla 50

Matriz de observaciones de las variables explicativas respecto al factor de seguridad del talud (datos reemplazados)

20.00	150.97	165.87	0.12	8.46	31.46	325.17	357.62	249.55	623.17	4.03	1951.28	37.91
150.97	1674.10	1258.89	0.98	63.03	240.58	2458.05	2511.69	1855.83	4582.33	33.54	15705.18	237.68
165.87	1258.89	1391.45	1.00	70.10	261.08	2692.16	2992.15	2072.51	5198.48	33.46	17393.96	304.02
0.12	0.98	1.00	0.00	0.05	0.19	1.97	2.13	1.51	3.76	0.02	11.79	0.23
8.46	63.03	70.10	0.05	3.58	13.29	137.49	151.15	105.54	263.65	1.70	822.65	16.11
31.46	240.58	261.08	0.19	13.29	49.51	511.42	562.20	392.27	979.13	6.36	3087.27	59.24
325.17	2458.05	2692.16	1.97	137.49	511.42	5288.14	5803.04	4055.21	10117.19	65.60	31394.29	618.78
357.62	2511.69	2992.15	2.13	151.15	562.20	5803.04	6632.12	4514.68	11390.19	71.51	35824.87	684.27
249.55	1855.83	2072.51	1.51	105.54	392.27	4055.21	4514.68	3135.50	7873.10	50.37	24093.76	477.04
623.17	4582.33	5198.48	3.76	263.65	979.13	10117.19	11390.19	7873.10	19878.03	125.78	61090.54	1187.30
4.03	33.54	33.46	0.02	1.70	6.36	65.60	71.51	50.37	125.78	0.83	391.60	7.42
1951.28	15705.18	17393.96	11.79	822.65	3087.27	31394.29	35824.87	24093.76	61090.54	391.60	317583.05	2670.36
37.91	237.68	304.02	0.23	16.11	59.24	618.78	684.27	477.04	1187.30	7.42	2670.36	87.35

Nota. Elaboración propia.

Con este cálculo manual se obtuvo la ecuación:

$$y = -50.13 + 1.03X_1 - 1.43X_2 - 5976.72X_3 + 233.27X_4 + 12.48X_5 - 1.28X_6 + 0.07X_7 - 0.18X_8 + 0.04X_9 - 7.58X_{10} + 0.002X_{11} + 0.80X_{12}$$

Ahora, la comparación entre el Factor de Seguridad estabilizado y el Factor de Seguridad proyectado mediante esta ecuación es como se presenta a continuación:

Tabla 51

Comparación de Factor de Seguridad estabilizado y Factor de Seguridad proyectado del cálculo manual

Tramo	Sección	FS estabilizado	FS proyectado
Tramo 1	Sección 1	1.59	6.59
	Sección 2	1.53	6.63
	Sección 3	1.52	6.59
	Sección 4	1.51	6.64
	Sección 5	1.55	6.44
Tramo 2	Sección 1	1.59	6.74
	Sección 2	1.57	6.46
	Sección 3	1.57	6.57
	Sección 4	1.53	6.97
	Sección 5	2.45	7.80
Tramo 3	Sección 1	3.41	8.49
	Sección 2	2.93	8.11
	Sección 3	2.65	7.92
	Sección 4	2.33	7.66
	Sección 5	1.92	7.35
Tramo 4	Sección 1	2.26	7.66
	Sección 2	2.39	7.75
	Sección 3	2.17	7.56
	Sección 4	3.26	8.42
	Sección 5	2.98	8.21
Suma		42.71	146.55
Promedio		2.14	7.33

Nota. Elaboración propia

Tabla 52

Análisis de varianza Anova mediante cálculo manual respecto al factor de seguridad del talud

Tabla de Anova					
Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fo	Fcrítica
Regresión	548.78	12	45.7318	0.5931	3.5747
Error	539.75	7	77.1069		
Total	7.84	19	0.4128		

Nota. *Elaboración propia*

Posterior a ello, se realizó el análisis de varianza Anova, como se muestra en la tabla anterior obteniendo un valor F crítico de 3.5747 y un valor Fo de 0.5931, para la interpretación del mismo se planteó como hipótesis nula (H0) e hipótesis alternativa (H1):

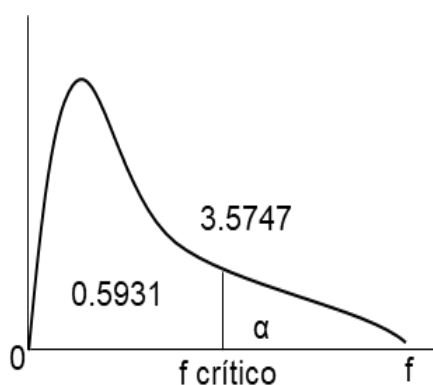
H0: Las propiedades del suelo no guardan relación con el FS del talud

H1: Las propiedades del suelo guardan relación con el FS del talud

Ya que el valor de Fo es menor al valor de F crítico, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa, teniendo como conclusión primaria que las propiedades del suelo no guardan una relación directa con el factor de seguridad del talud.

Figura 116

Gráfica de la varianza considerando un F crítico respecto al factor de seguridad del talud



Nota. *Elaboración propia*

Los coeficientes de determinación y correlación correspondientes son:

Tabla 53

Coefficientes de determinación y correlación correspondientes al cálculo manual del factor de seguridad del talud

Coefficientes	Valores
Coefficiente de determinación	$R^2 = 0.1453$
Coefficiente de determinación ajustada	$R^2_{aj} = 0.0578$
Coefficiente de correlación	$R = 0.3812$

Nota. *Elaboración propia*

El coeficiente de determinación de 0.1453 indica que la proporción de la variabilidad en los datos posee una precisión al 14.53%.

El coeficiente de determinación ajustada de 0.0578 indica que no se puede realizar pronósticos, ya que no alcanza el valor mínimo de 0.7

El coeficiente de correlación de 0.3812 indica que existe una intensidad de relación baja entre las variables

Como se puede observar, el cálculo manual nos lleva a un resultado en el cual no guarda relación las propiedades del suelo con el factor de seguridad del talud, ahora, se presenta el análisis mediante la herramienta “análisis de datos de regresión” de MS Excel:

Tabla 54

Estadística de regresión correspondientes al cálculo de MS Excel mediante la herramienta “análisis de datos” respecto al factor de seguridad del talud

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.976491971
Coefficiente de determinación R^2	0.95353657
R^2 ajustado	0.470553449
Error típico	0.167432117
Observaciones	20

Nota. *Elaboración propia*

MS Excel en su cálculo, determina que:

El coeficiente de determinación es de 0.95353657, con lo cual indica que la proporción de la variabilidad en los datos posee una precisión al 95.35%.

El coeficiente de determinación ajustada es de 0.470553449, con lo cual indica que aún no se puede realizar pronósticos, ya que no alcanza el valor mínimo de 0.7, pero incrementa un 42% respecto al cálculo manual

El coeficiente de correlación es de 0.976491971, con lo cual indica que existe una intensidad de relación muy alta entre las variables

Tabla 55

Análisis de varianza Anova de MS Excel respecto al factor de seguridad del talud

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	Fo	Valor crítico de F
Regresión	12	7.479059319	0.623254943	44.46498899	2.603660748
Residuos	13	0.364435681	0.028033514		
Total	25	7.843495			

Nota. *Elaboración propia*

Ahora, por otro lado, el análisis de varianza Anova que calcula MS Excel nos da un valor Fo de 44.46498899 y un valor F crítico de 2.603660748, y de acuerdo a lo que se planteó como hipótesis nula (H0) e hipótesis alternativa (H1), en el cálculo manual:

H0: Las propiedades del suelo no guardan relación con el FS del talud

H1: Las propiedades del suelo guardan relación con el FS del talud

Ya que el valor de Fo es mayor al valor de F crítico, se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula, teniendo como conclusión que las propiedades del suelo guardan una relación muy estrecha y directa con el factor de seguridad del talud.

También la ecuación que nos arroja corresponde a:

$$y = 0.91 + 0.009X_1 - 0.12X_2 - 0.0009X_7 + 0.01X_9 + 0.002X_{11} + 0.79X_{12}$$

Haciendo la comparativa con la ecuación del cálculo manual, el cálculo que realiza MS Excel, reduce el coeficiente de alguna de las variables independientes a prácticamente cero, a partir de esta consideración se obtiene una mayor correlación entre las propiedades del suelo y el factor de seguridad del talud.

Tabla 56

Comparación de factor de seguridad estabilizado y factor de seguridad proyectado de MS

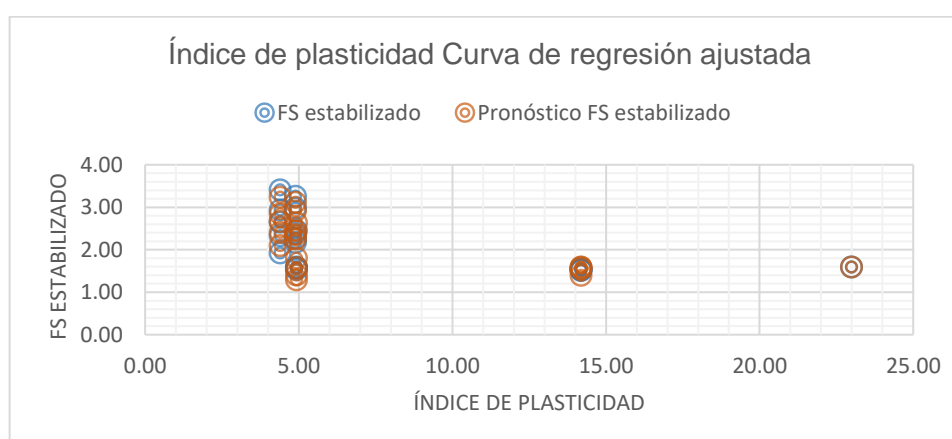
Excel

Tramo	Sección	Factor de seguridad estabilizada (%)	Factor de seguridad proyectada (%)
Tramo 1	Sección 1	1.59	1.5900
	Sección 2	1.53	1.5856
	Sección 3	1.52	1.5426
	Sección 4	1.51	1.5895
	Sección 5	1.55	1.3922
Tramo 2	Sección 1	1.59	1.5795
	Sección 2	1.57	1.2926
	Sección 3	1.57	1.4041
	Sección 4	1.53	1.8026
	Sección 5	2.45	2.6313
Tramo 3	Sección 1	3.41	3.2314
	Sección 2	2.93	2.8457
	Sección 3	2.65	2.6652
	Sección 4	2.33	2.4046
	Sección 5	1.92	2.0931
Tramo 4	Sección 1	2.26	2.3495
	Sección 2	2.39	2.4404
	Sección 3	2.17	2.2484
	Sección 4	3.26	3.1149
	Sección 5	2.98	2.9067

Nota. Elaboración propia

Figura 117

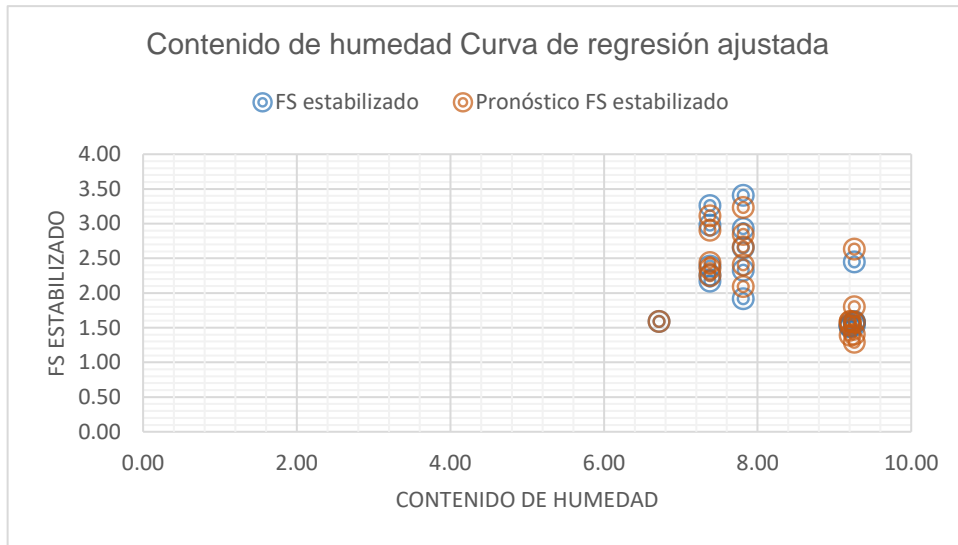
Índice de plasticidad Curva de regresión ajustada del FS



Nota. Elaboración propia.

Figura 118

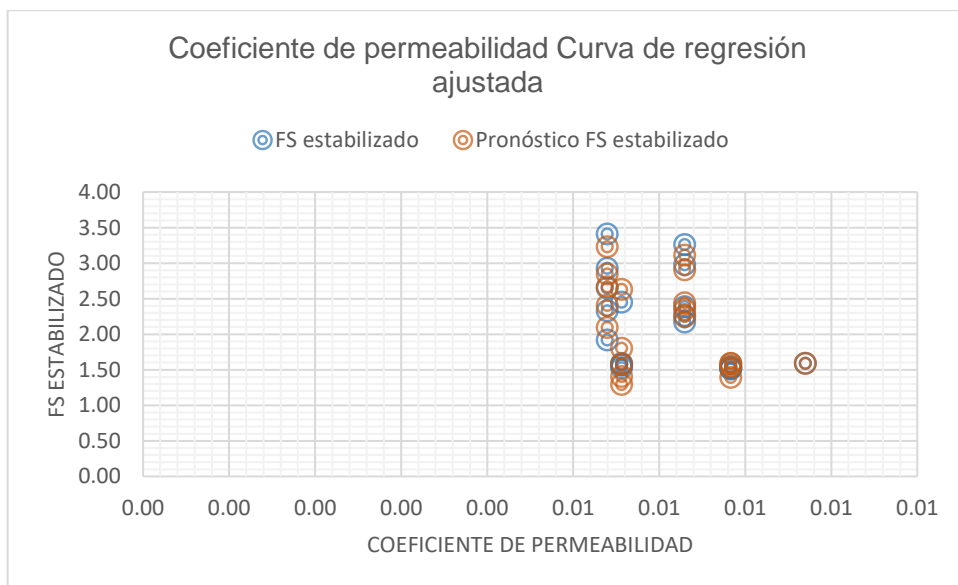
Contenido de humedad Curva de regresión ajustada del FS



Nota. Elaboración propia.

Figura 119

Coefficiente de permeabilidad Curva de regresión ajustada del FS



Nota. Elaboración propia.

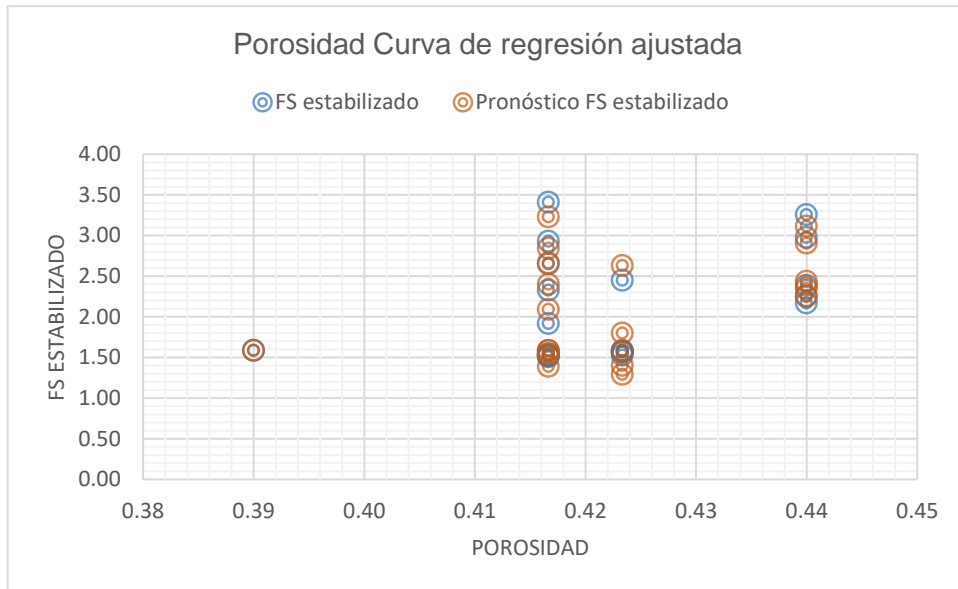
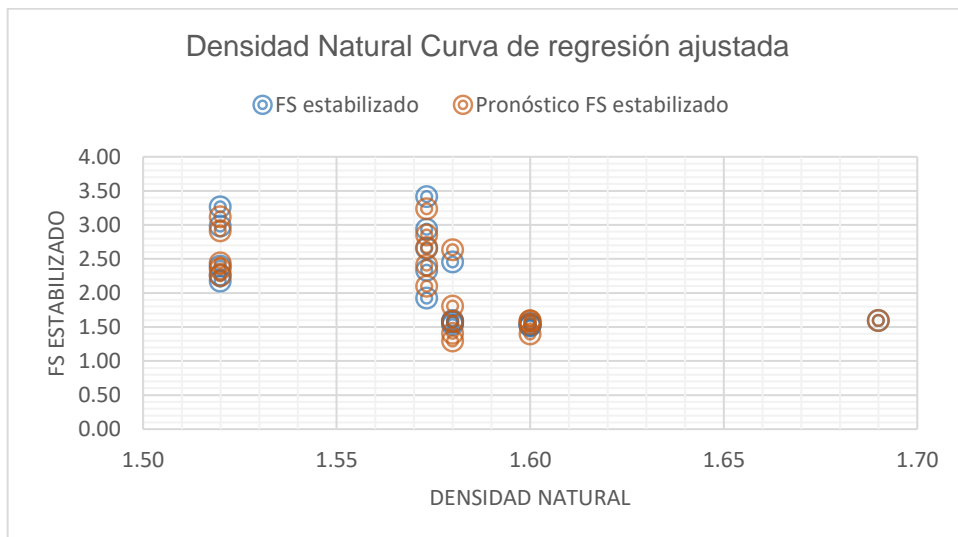
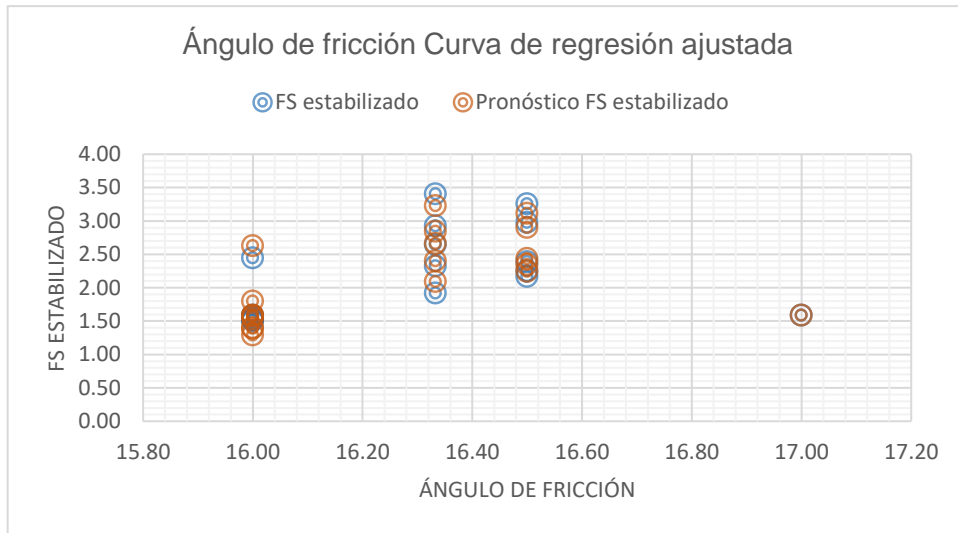
Figura 120*Porosidad Curva de regresión ajustada del FS**Nota. Elaboración propia.***Figura 121***Densidad Natural Curva de regresión ajustada del FS**Nota. Elaboración propia.*

Figura 122

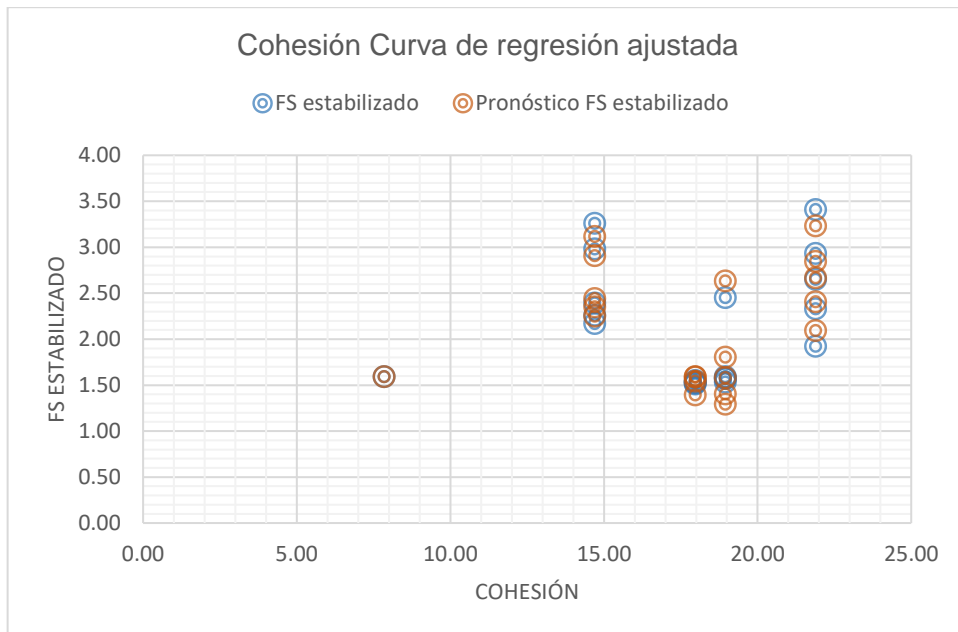
Ángulo de fricción Curva de regresión ajustada del FS



Nota. Elaboración propia.

Figura 123

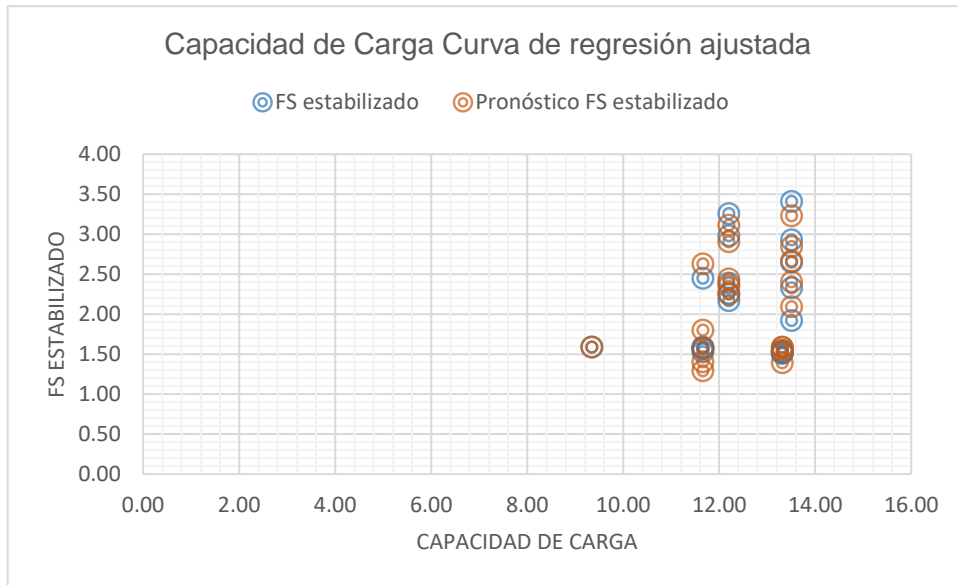
Cohesión Curva de regresión ajustada del FS



Nota. Elaboración propia.

Figura 124

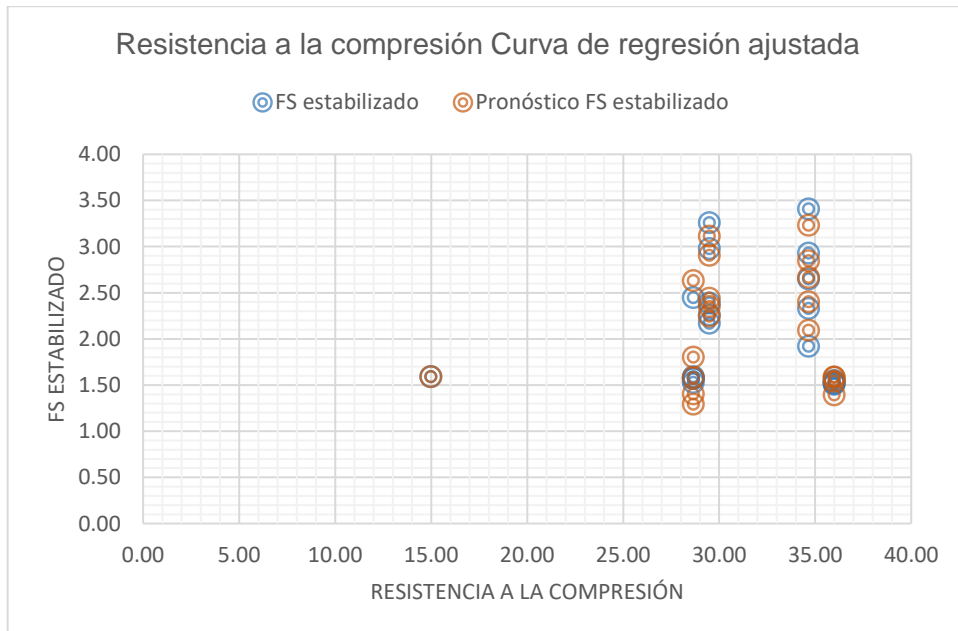
Capacidad de Carga Curva de regresión ajustada del FS



Nota. Elaboración propia.

Figura 125

Resistencia a la compresión Curva de regresión ajustada del FS



Nota. Elaboración propia.

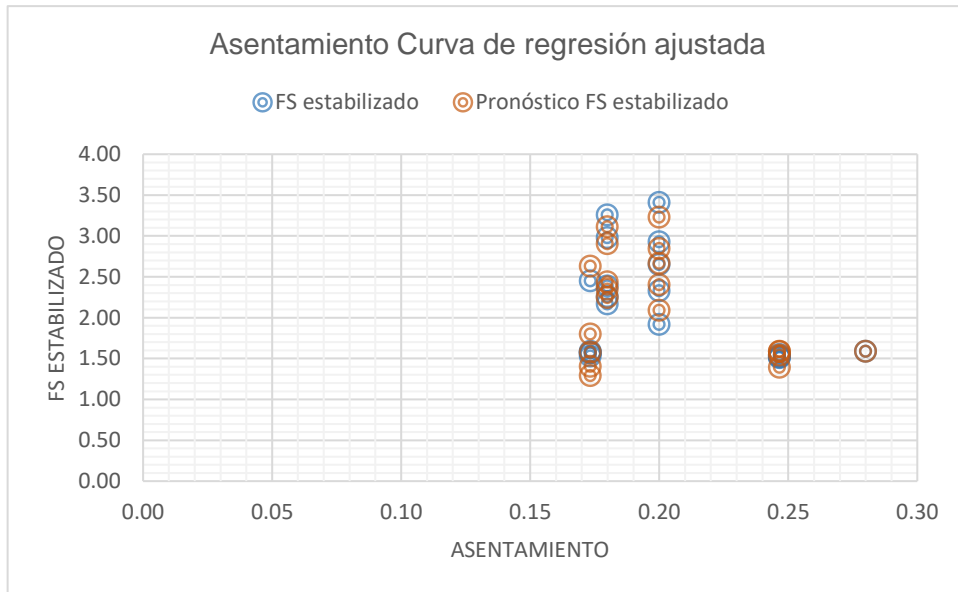
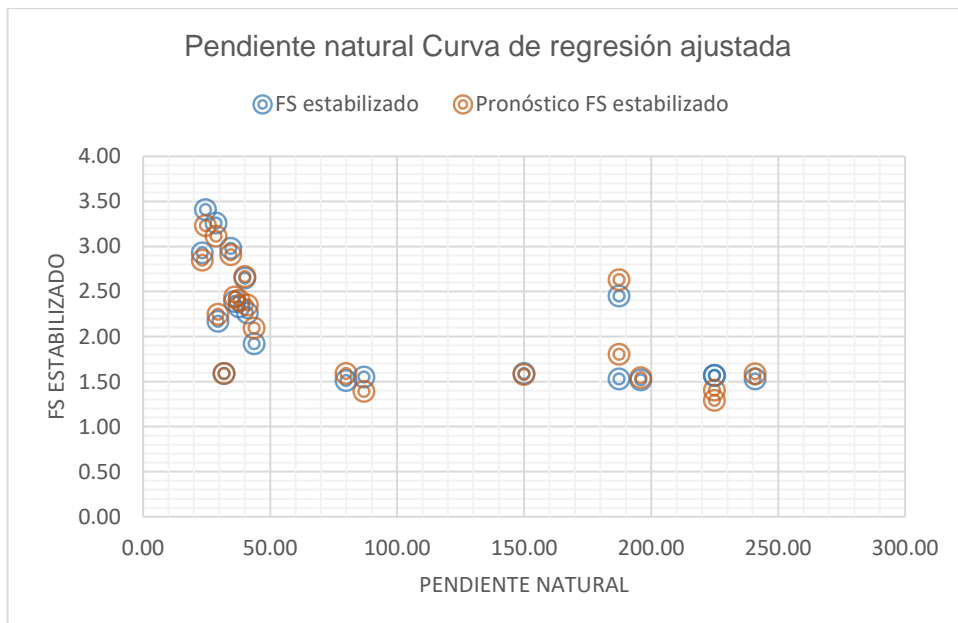
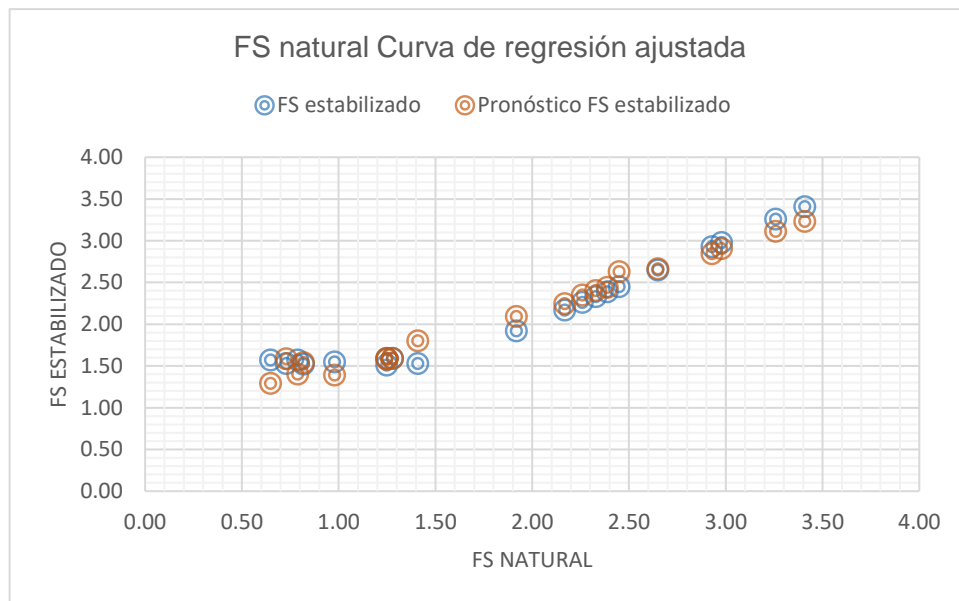
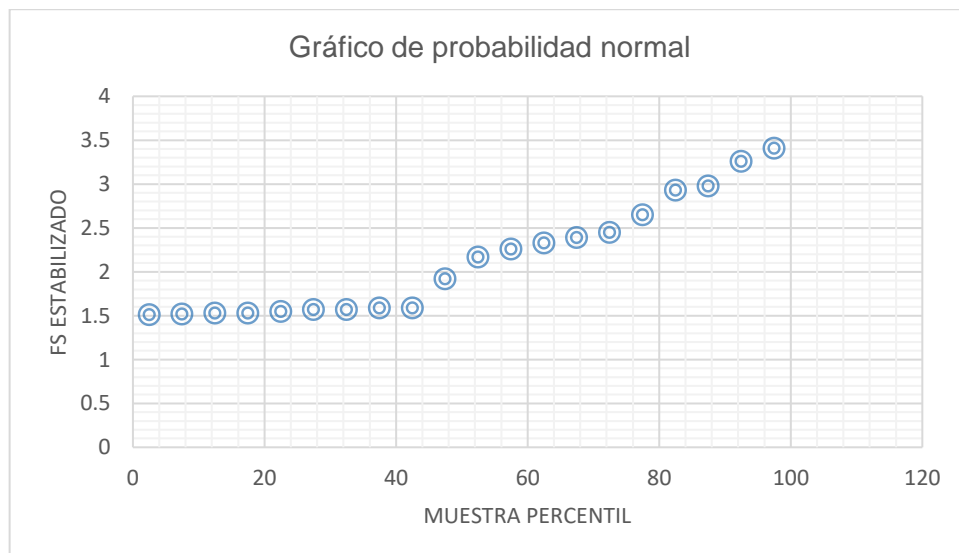
Figura 126*Asentamiento Curva de regresión ajustada del FS**Nota. Elaboración propia.***Figura 127***Pendiente natural Curva de regresión ajustada del FS**Nota. Elaboración propia.*

Figura 128*FS natural Curva de regresión ajustada**Nota. Elaboración propia.***Figura 129***Gráfico de probabilidad normal del FS**Nota. Elaboración propia.***5.1.22. Análisis de regresión lineal respecto a la geometría del terraplén**

Para el análisis de regresión lineal, se consideraron los indicadores planteados en la matriz de operacionalización de variables, también, se establecieron criterios de exclusión desde un punto de vista estadístico, en el cual se consideró que las variables independientes

no pueden tener una relación directa; como por ejemplo en el caso del índice de plasticidad, el cual resulta directamente de la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, de igual forma el resto de indicadores se fueron evaluando y excluyendo como variables independientes para la regresión lineal.

Teniendo finalmente 10 variables independientes referentes al estado natural del terraplén, siendo estas variables:

X1 = Índice de plasticidad del terraplén natural

X2 = Contenido de Humedad del terraplén natural

X3 = Coeficiente de permeabilidad del terraplén natural

X4 = Porosidad del terraplén natural

X5 = Densidad natural del terraplén

X6 = Ángulo de fricción del terraplén natural

X7 = Cohesión del terraplén natural

X8 = Resistencia a la compresión del terraplén natural

X9 = Altura del terraplén natural

X10 = Pendiente del terraplén natural

Y como variable dependiente se tuvo:

Y = Pendiente del terraplén con material de préstamo

Tabla 57

Pendiente estabilizada con material de préstamo

Tramo	Sección	Pendiente estabilizada (%) Y
Tramo 1	Sección 1	77.71
	Sección 2	69.57
	Sección 3	61.93
Suma		2403.28
Promedio		120.16

Nota. Elaboración propia.

La sección 1 del tramo 1 corresponde a la calicata 1.

La sección 2 del tramo 1 corresponde a la calicata 1.

La sección 3 del tramo 1 corresponde a la calicata 1.

Se obtuvo la siguiente tabla de variables para el análisis de regresión lineal respecto a la geometría del terraplén.

Se consideró dos análisis de regresión lineal, uno mediante un cálculo manual mediante MS Excel y otro mediante la herramienta “análisis de datos” de MS Excel, esto debido a que ambos muestran un análisis distinto por el hecho de poseer varias variables independientes (10 variables independientes).

Primero se muestra el cálculo manual mediante MS Excel:

Tabla 58

Variables para la regresión lineal respecto a la geometría del terraplén

Tramo	Sección	Pendiente estabilizada	Índice de plasticidad	Contenido de humedad	Coefficiente de permeabilidad	Porosidad	Densidad Natural	Ángulo de fricción	Cohesión	Resistencia a la compresión	Altura natural	Pendiente natural
		(%)	(%)	(%)	(cm/s)	(%)	(g/cm ³)	(°)	(kPa)	(kPa)	(m)	(%)
		Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
Tramo 1	Sección 1	77.71	16.20	8.87	0.0058	0.4300	1.57	16.00	39.23	78.00	24.45	109.00
	Sección 2	69.57	16.20	8.87	0.0058	0.4300	1.57	16.00	39.23	78.00	18.85	89.00
	Sección 3	61.93	16.20	8.87	0.0058	0.4300	1.57	16.00	39.23	78.00	12.52	64.00
Suma	3	209.21	48.60	26.61	0.02	1.29	4.71	48.00	117.69	234.00	55.82	262.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 59

Matriz de observaciones de las variables explicativas respecto a la geometría del terraplén (datos a reemplazar)

n	ΣX1	ΣX2	ΣX3	ΣX4	ΣX5	ΣX6	ΣX7	ΣX8	ΣX9	ΣX10
ΣX1	ΣX1 ΣX1	ΣX1 ΣX2	ΣX1 ΣX3	ΣX1 ΣX4	ΣX1 ΣX5	ΣX1 ΣX6	ΣX1 ΣX7	ΣX1 ΣX8	ΣX1 ΣX9	ΣX1 ΣX10
ΣX2	ΣX2 ΣX1	ΣX2 ΣX2	ΣX2 ΣX3	ΣX2 ΣX4	ΣX2 ΣX5	ΣX2 ΣX6	ΣX2 ΣX7	ΣX2 ΣX8	ΣX2 ΣX9	ΣX2 ΣX10
ΣX3	ΣX3 ΣX1	ΣX3 ΣX2	ΣX3 ΣX3	ΣX3 ΣX4	ΣX3 ΣX5	ΣX3 ΣX6	ΣX3 ΣX7	ΣX3 ΣX8	ΣX3 ΣX9	ΣX3 ΣX10
ΣX4	ΣX4 ΣX1	ΣX4 ΣX2	ΣX4 ΣX3	ΣX4 ΣX4	ΣX4 ΣX5	ΣX4 ΣX6	ΣX4 ΣX7	ΣX4 ΣX8	ΣX4 ΣX9	ΣX4 ΣX10
ΣX5	ΣX5 ΣX1	ΣX5 ΣX2	ΣX5 ΣX3	ΣX5 ΣX4	ΣX5 ΣX5	ΣX5 ΣX6	ΣX5 ΣX7	ΣX5 ΣX8	ΣX5 ΣX9	ΣX5 ΣX10
ΣX6	ΣX6 ΣX1	ΣX6 ΣX2	ΣX6 ΣX3	ΣX6 ΣX4	ΣX6 ΣX5	ΣX6 ΣX6	ΣX6 ΣX7	ΣX6 ΣX8	ΣX6 ΣX9	ΣX6 ΣX10
ΣX7	ΣX7 ΣX1	ΣX7 ΣX2	ΣX7 ΣX3	ΣX7 ΣX4	ΣX7 ΣX5	ΣX7 ΣX6	ΣX7 ΣX7	ΣX7 ΣX8	ΣX7 ΣX9	ΣX7 ΣX10
ΣX8	ΣX8 ΣX1	ΣX8 ΣX2	ΣX8 ΣX3	ΣX8 ΣX4	ΣX8 ΣX5	ΣX8 ΣX6	ΣX8 ΣX7	ΣX8 ΣX8	ΣX8 ΣX9	ΣX8 ΣX10
ΣX9	ΣX9 ΣX1	ΣX9 ΣX2	ΣX9 ΣX3	ΣX9 ΣX4	ΣX9 ΣX5	ΣX9 ΣX6	ΣX9 ΣX7	ΣX9 ΣX8	ΣX9 ΣX9	ΣX9 ΣX10
ΣX10	ΣX10 ΣX1	ΣX10 ΣX2	ΣX10 ΣX3	ΣX10 ΣX4	ΣX10 ΣX5	ΣX10 ΣX6	ΣX10 ΣX7	ΣX10 ΣX8	ΣX10 ΣX9	ΣX10 ΣX10

Nota. Elaboración propia.

Tabla 60

Matriz de observaciones de las variables explicativas respecto a la geometría del terraplén (datos reemplazados)

3.00	48.60	26.61	0.02	1.29	4.71	48.00	117.69	234.00	55.82	262.00
48.60	787.32	431.08	0.28	20.90	76.30	777.58	1906.58	3790.80	904.24	4244.40
26.61	431.08	236.03	0.15	11.44	41.78	425.75	1043.91	2075.58	495.10	2323.94
0.02	0.28	0.15	0.00	0.01	0.03	0.28	0.68	1.36	0.32	1.52
1.29	20.90	11.44	0.01	0.55	2.03	20.64	50.61	100.62	24.00	112.66
4.71	76.30	41.78	0.03	2.03	7.39	75.36	184.77	367.38	87.63	411.34
48.00	777.58	425.75	0.28	20.64	75.36	767.97	1883.00	3743.92	893.05	4191.91
117.69	1906.58	1043.91	0.68	50.61	184.77	1883.00	4616.98	9179.82	2189.70	10278.26
234.00	3790.80	2075.58	1.36	100.62	367.38	3743.92	9179.82	18252.00	4353.73	20436.00
55.82	904.24	495.10	0.32	24.00	87.63	893.05	2189.70	4353.73	1109.68	5143.55
262.00	4244.40	2323.94	1.52	112.66	411.34	4191.91	10278.26	20436.00	5143.55	23898.00

Nota. Elaboración propia.

Con este cálculo manual se obtuvo la ecuación:

$$y = -131738806367545 - 21451444745150.5X_1 + 8466226714629.84X_2 + 31103628850385200X_3 + 845689961624826X_4 + 133178214415972X_5 + 688.72X_6 - 9485870248436.26X_7 + 296794136560.06X_8 + 3.7X_9 - 0.62X_{10}$$

Ahora, la comparación entre la pendiente estabilizada y la pendiente proyectada mediante esta ecuación es:

Tabla 61

Comparación de pendiente estabilizada y pendiente proyectada del cálculo manual

Tramo	Sección	Pendiente estabilizada	Pendiente proyectada
		(%)	(%)
		(1)	(2)
Tramo 1	Sección 1	77.71	341.29
	Sección 2	69.57	332.31
	Sección 3	61.93	325.15
Suma		209.21	998.75
Promedio		69.74	332.92

Nota. Elaboración propia.

Tabla 62

Análisis de varianza Anova mediante cálculo manual respecto a la geometría del terraplén

Tabla de Anova					
Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fo	Fcrítica
Regresión	207924.38	10	20792.43791	0.6004	4.0600
Error	207794.05	6	34632.34116		
Total	124.55	16	7.784116667		

Nota. *Elaboración propia*

Posterior a ello, se realizó el análisis de varianza Anova, como se muestra en la tabla anterior obteniendo un valor F crítico de 4.0600 y un valor Fo de 0.6004, para la interpretación del mismo se planteó como hipótesis nula (H0) e hipótesis alternativa (H1):

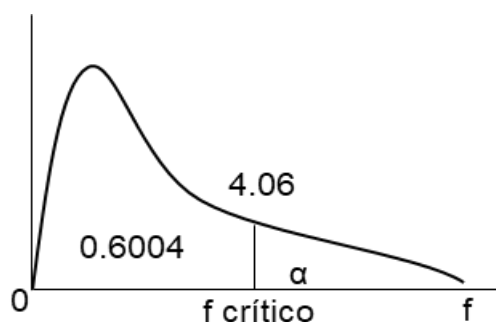
H0: Las propiedades del suelo no guardan relación con la geometría del terraplén

H1: Las propiedades del suelo guardan relación con la geometría del terraplén

Ya que el valor de Fo es menor al valor de F crítico, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa, teniendo como conclusión primaria que las propiedades del suelo no guardan una relación directa con la geometría del terraplén.

Figura 130

Gráfica de la varianza considerando un F crítico respecto a la geometría del talud



Nota. *Elaboración propia.*

Los coeficientes de determinación y correlación correspondientes son:

Tabla 63

Coefficientes de determinación y correlación correspondientes al cálculo manual de la geometría del terraplén

Coefficientes	Valores	
Coefficiente de determinación	$R^2 =$	0.1199
Coefficiente de determinación ajustada	$R^2_{aj} =$	0.4268
Coefficiente de correlación	$R =$	0.3462

Nota. *Elaboración propia*

El coeficiente de determinación de 0.1199 indica que la proporción de la variabilidad en los datos posee una precisión al 11.99%.

El coeficiente de determinación ajustada de 0.4268 indica que no se puede realizar pronósticos, ya que no alcanza el valor mínimo de 0.7

El coeficiente de correlación de 0.3462 indica que existe una intensidad de relación baja entre las variables

Como se puede observar, el cálculo manual nos lleva a un resultado en el cual no guarda relación las propiedades del suelo con el diseño del terraplén, ahora, se presenta el análisis mediante la herramienta “análisis de datos de regresión” de MS Excel:

Tabla 64

Estadística de regresión correspondientes al cálculo de MS Excel mediante la herramienta “análisis de datos” respecto a la geometría del terraplén

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	1
Coefficiente de determinación R^2	1
R^2 ajustado	1
Error típico	0
Observaciones	3

Nota. *Elaboración propia*

MS Excel en su cálculo, determina que:

El coeficiente de determinación es de 1, con lo cual indica que la proporción de la variabilidad en los datos posee una precisión al 100%.

El coeficiente de determinación ajustada es de 1, con lo cual indica que sí se puede realizar pronósticos, ya que supera el valor mínimo de 0.7, e incrementa un 48% respecto al cálculo manual

El coeficiente de correlación es de 1, con lo cual indica que existe una intensidad de relación completa entre las variables

Tabla 65

Análisis de varianza Anova de MS Excel respecto a la geometría del terraplén

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados
Regresión	10	124.5458667	12.45458667
Residuos	0	0	65535
Total	10	124.5458667	

Nota. *Elaboración propia*

Ahora, por otro lado, el análisis de varianza Anova que calcula MS Excel no nos da un valor de F_0 ni un valor $F_{crítico}$, con lo cual no se puede analizar la aceptación o negación de las hipótesis nulas.

La ecuación que nos arroja corresponde a:

$$y = 56.03 + 3.73X_9 - 0.64X_{12}$$

Haciendo la comparativa con la ecuación del cálculo manual, el cálculo que realiza MS Excel, reduce el coeficiente de algunas de las variables independientes a prácticamente cero, a partir de esta consideración se obtiene una mayor correlación entre las propiedades del suelo y la geometría del terraplén.

Tabla 66

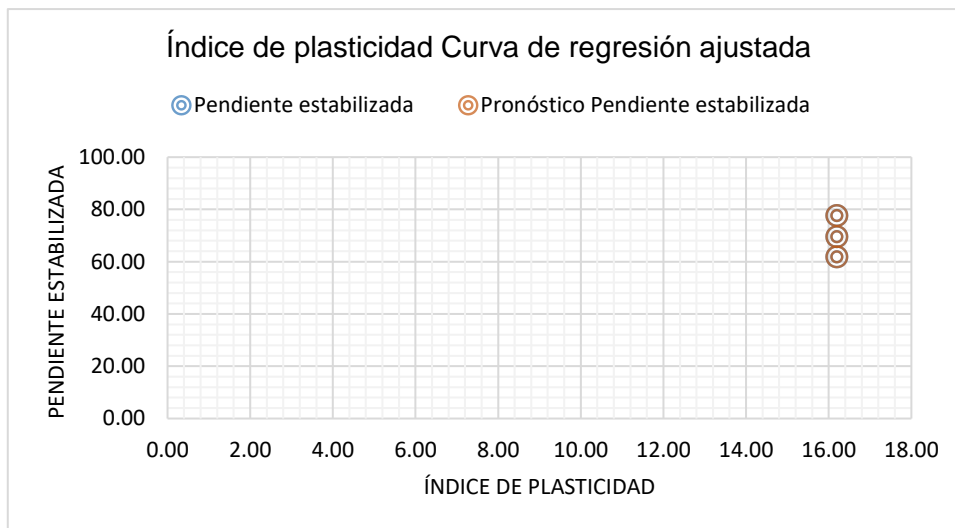
Comparación de pendiente estabilizada y pendiente proyectada del talud de MS Excel

Tramo	Sección	Pendiente estabilizada (%)	Pendiente proyectada (%)
	Sección 1	77.71	77.71
Tramo 1	Sección 2	69.57	69.57
	Sección 3	61.93	61.93

Nota. *Elaboración propia*

Figura 131

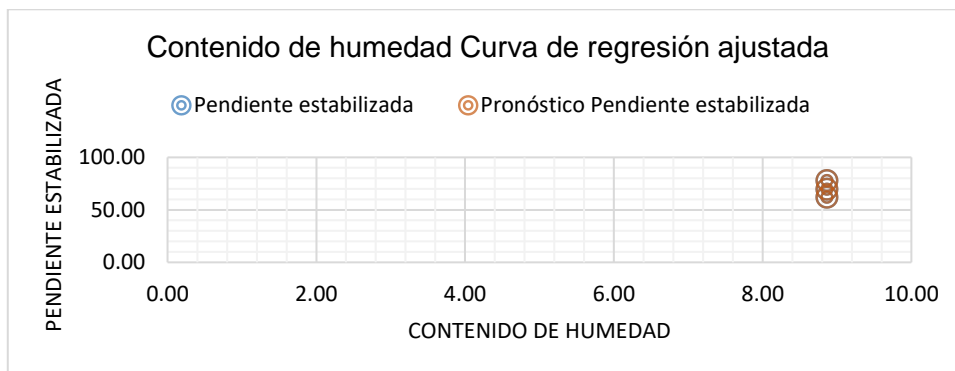
Curva de regresión ajustada del índice de plasticidad



Nota. Elaboración propia.

Figura 132

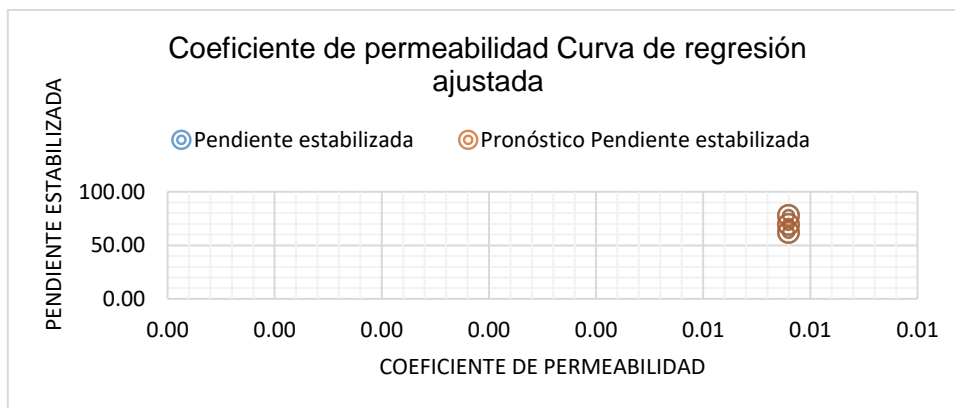
Curva de regresión ajustada del Contenido de humedad



Nota. Elaboración propia.

Figura 133

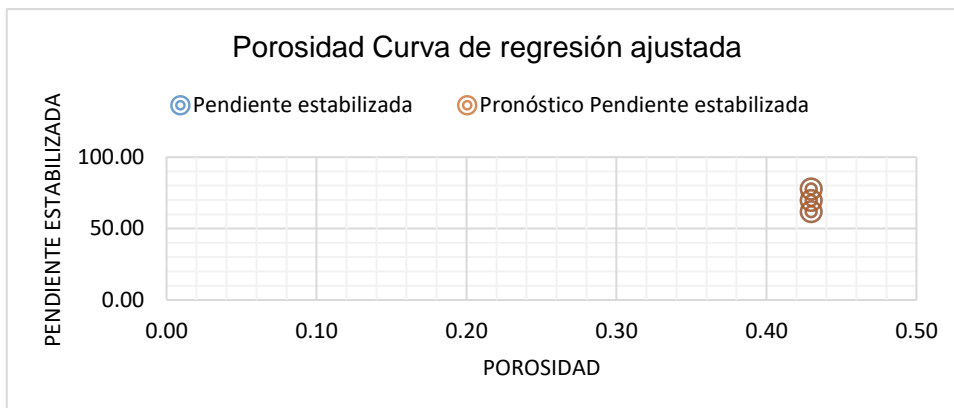
Curva de regresión ajustada del Coeficiente de permeabilidad



Nota. Elaboración propia.

Figura 134

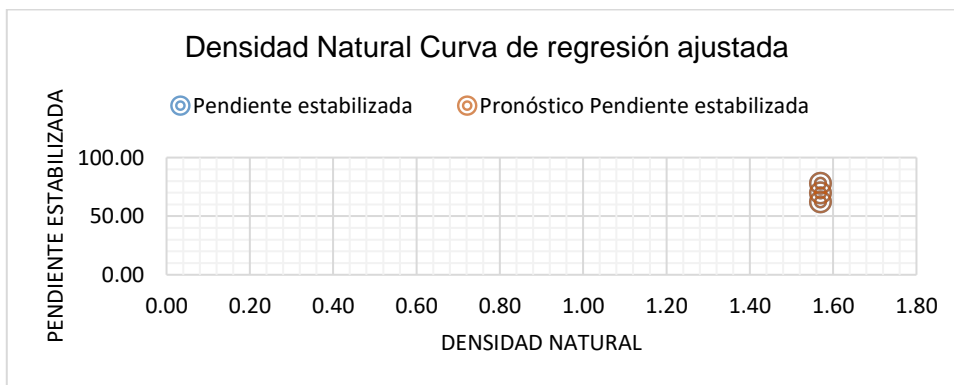
Curva de regresión ajustada de la Porosidad



Nota. Elaboración propia.

Figura 135

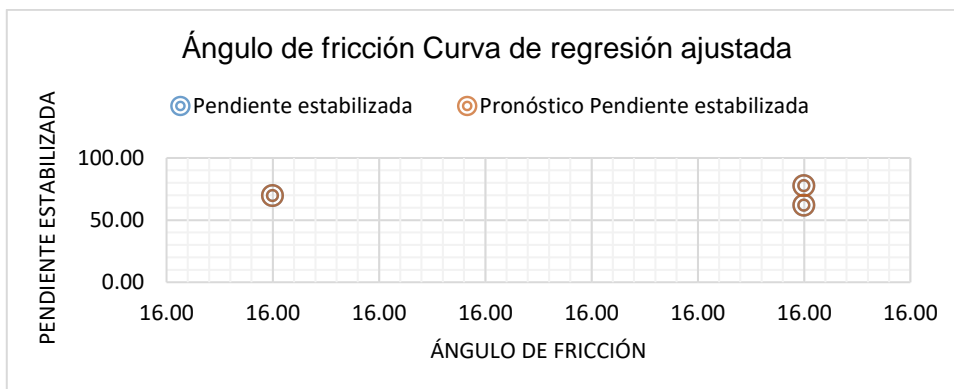
Curva de regresión ajustada de la Densidad Natural



Nota. Elaboración propia.

Figura 136

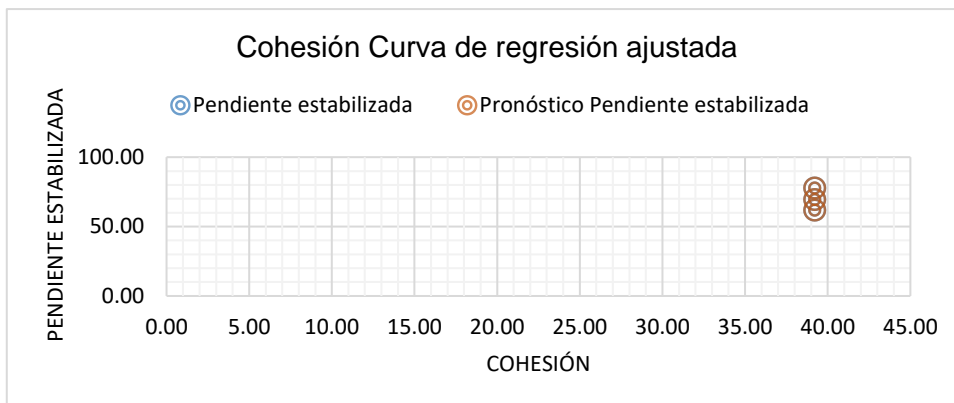
Curva de regresión ajustada del Ángulo de fricción



Nota. Elaboración propia.

Figura 137

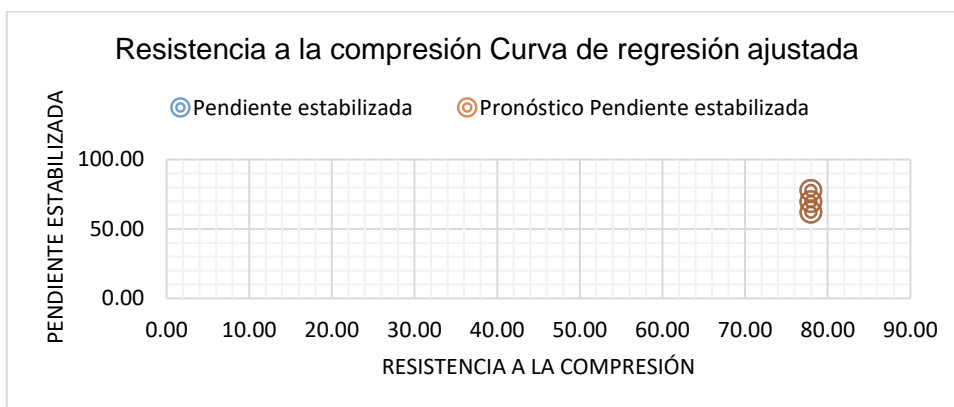
Curva de regresión ajustada de la Cohesión



Nota. Elaboración propia.

Figura 138

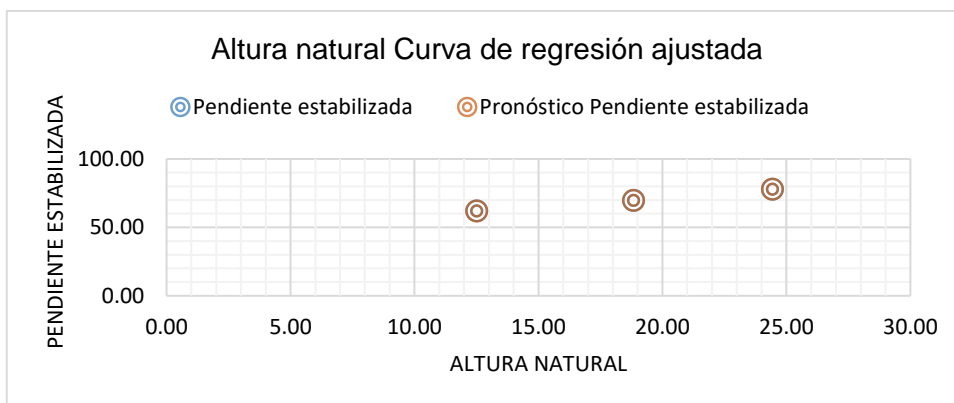
Curva de regresión ajustada de la Resistencia a la compresión



Nota. Elaboración propia.

Figura 139

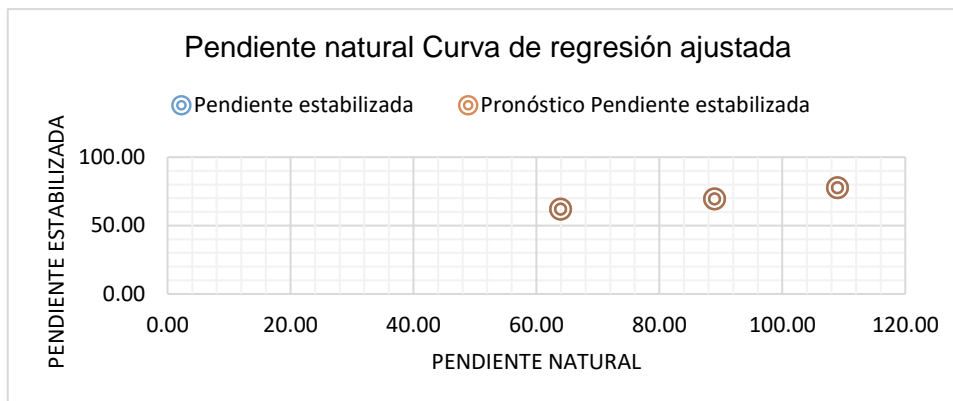
Curva de regresión ajustada de la Altura natural



Nota. Elaboración propia.

Figura 140

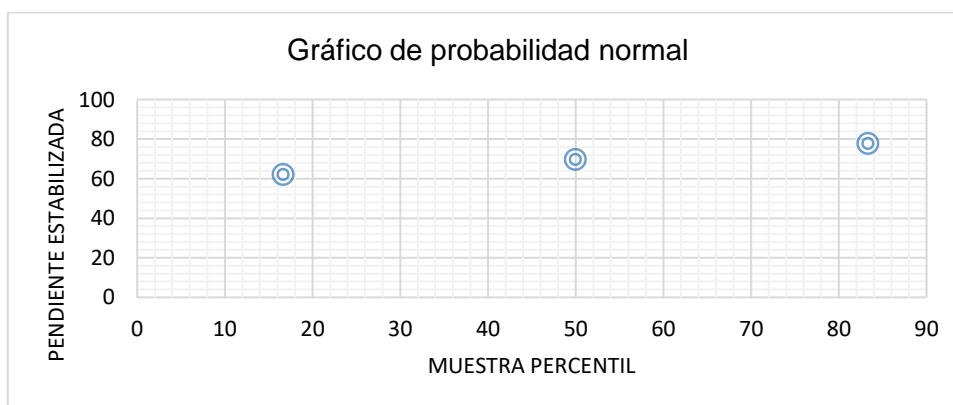
Curva de regresión ajustada de la Pendiente natural



Nota. Elaboración propia.

Figura 141

Gráfico de probabilidad normal de la geometría del terraplén



Nota. Elaboración propia.

5.1.23. Análisis de regresión lineal respecto al Factor de Seguridad del terraplén

Para el análisis de regresión lineal, se consideraron los indicadores planteados en la matriz de operacionalización de variables, también, se establecieron criterios de exclusión desde un punto de vista estadístico, en el cual se consideró que las variables independientes no pueden tener una relación directa; como por ejemplo en el caso del índice de plasticidad, el cual resulta directamente de la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, de igual forma el resto de indicadores se fueron evaluando y excluyendo como variables independientes para la regresión lineal.

Teniendo finalmente 10 variables independientes referentes al estado natural del terraplén, siendo estas variables:

X1 = Índice de plasticidad del terraplén natural

X2 = Contenido de Humedad del terraplén natural

X3 = Coeficiente de permeabilidad del terraplén natural

X4 = Porosidad del terraplén natural

X5 = Densidad natural del terraplén

X6 = Ángulo de fricción del terraplén natural

X7 = Cohesión del terraplén natural

X8 = Resistencia a la compresión del terraplén natural

X9 = Pendiente del suelo natural

X10 = FS del suelo natural

Y como variable dependiente se tuvo:

Y = FS del terraplén con material de préstamo

Tabla 67

FS estabilizado con material de préstamo

Tramo	Sección	FS estabilizado Y
Tramo 1	Sección 1	1.55
	Sección 2	1.89
	Sección 3	2.31
	Suma	2403.28
	Promedio	120.16

Nota. Elaboración propia.

La sección 1 del tramo 1 corresponde a la calicata 1.

La sección 2 del tramo 1 corresponde a la calicata 1.

La sección 3 del tramo 1 corresponde a la calicata 1.

Se obtuvo la siguiente tabla de variables para el análisis de regresión lineal respecto al factor de seguridad del terraplén.

Se consideró dos análisis de regresión lineal, uno mediante un cálculo manual mediante MS Excel y otro mediante la herramienta “análisis de datos” de MS Excel, esto

debido a que ambos muestran un análisis distinto por el hecho de poseer varias variables independientes (10 variables independientes).

Primero se muestra el cálculo manual mediante MS Excel:

Tabla 68

Variables para la regresión lineal respecto al factor de seguridad del terraplén

Tramo	Sección	FS estabilizado	Índice de plasticidad	Contenido de humedad	Coefficiente de permeabilidad	Porosidad	Densidad Natural	Ángulo de fricción	Cohesión	Resistencia a la compresión	Pendiente natural	FS natural
		Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
Tramo 1	Sección 1	1.55	16.20	8.87	0.0058	0.4300	1.57	16.00	39.23	78.00	109.00	1.43
	Sección 2	1.89	16.20	8.87	0.0058	0.4300	1.57	16.00	39.23	78.00	89.00	1.42
	Sección 3	2.31	16.20	8.87	0.0058	0.4300	1.57	16.00	39.23	78.00	64.00	1.43
Suma	3	5.75	48.60	26.61	0.02	1.29	4.71	48.00	117.69	234.00	262.00	4.28

Nota. Elaboración propia

Tabla 69

Matriz de observaciones de las variables explicativas respecto al factor de seguridad del terraplén (datos a reemplazar)

n	$\Sigma X1$	$\Sigma X2$	$\Sigma X3$	$\Sigma X4$	$\Sigma X5$	$\Sigma X6$	$\Sigma X7$	$\Sigma X8$	$\Sigma X9$	$\Sigma X10$
$\Sigma X1$	$\Sigma X1 \Sigma X1$	$\Sigma X1 \Sigma X2$	$\Sigma X1 \Sigma X3$	$\Sigma X1 \Sigma X4$	$\Sigma X1 \Sigma X5$	$\Sigma X1 \Sigma X6$	$\Sigma X1 \Sigma X7$	$\Sigma X1 \Sigma X8$	$\Sigma X1 \Sigma X9$	$\Sigma X1 \Sigma X10$
$\Sigma X2$	$\Sigma X2 \Sigma X1$	$\Sigma X2 \Sigma X2$	$\Sigma X2 \Sigma X3$	$\Sigma X2 \Sigma X4$	$\Sigma X2 \Sigma X5$	$\Sigma X2 \Sigma X6$	$\Sigma X2 \Sigma X7$	$\Sigma X2 \Sigma X8$	$\Sigma X2 \Sigma X9$	$\Sigma X2 \Sigma X10$
$\Sigma X3$	$\Sigma X3 \Sigma X1$	$\Sigma X3 \Sigma X2$	$\Sigma X3 \Sigma X3$	$\Sigma X3 \Sigma X4$	$\Sigma X3 \Sigma X5$	$\Sigma X3 \Sigma X6$	$\Sigma X3 \Sigma X7$	$\Sigma X3 \Sigma X8$	$\Sigma X3 \Sigma X9$	$\Sigma X3 \Sigma X10$
$\Sigma X4$	$\Sigma X4 \Sigma X1$	$\Sigma X4 \Sigma X2$	$\Sigma X4 \Sigma X3$	$\Sigma X4 \Sigma X4$	$\Sigma X4 \Sigma X5$	$\Sigma X4 \Sigma X6$	$\Sigma X4 \Sigma X7$	$\Sigma X4 \Sigma X8$	$\Sigma X4 \Sigma X9$	$\Sigma X4 \Sigma X10$
$\Sigma X5$	$\Sigma X5 \Sigma X1$	$\Sigma X5 \Sigma X2$	$\Sigma X5 \Sigma X3$	$\Sigma X5 \Sigma X4$	$\Sigma X5 \Sigma X5$	$\Sigma X5 \Sigma X6$	$\Sigma X5 \Sigma X7$	$\Sigma X5 \Sigma X8$	$\Sigma X5 \Sigma X9$	$\Sigma X5 \Sigma X10$
$\Sigma X6$	$\Sigma X6 \Sigma X1$	$\Sigma X6 \Sigma X2$	$\Sigma X6 \Sigma X3$	$\Sigma X6 \Sigma X4$	$\Sigma X6 \Sigma X5$	$\Sigma X6 \Sigma X6$	$\Sigma X6 \Sigma X7$	$\Sigma X6 \Sigma X8$	$\Sigma X6 \Sigma X9$	$\Sigma X6 \Sigma X10$
$\Sigma X7$	$\Sigma X7 \Sigma X1$	$\Sigma X7 \Sigma X2$	$\Sigma X7 \Sigma X3$	$\Sigma X7 \Sigma X4$	$\Sigma X7 \Sigma X5$	$\Sigma X7 \Sigma X6$	$\Sigma X7 \Sigma X7$	$\Sigma X7 \Sigma X8$	$\Sigma X7 \Sigma X9$	$\Sigma X7 \Sigma X10$
$\Sigma X8$	$\Sigma X8 \Sigma X1$	$\Sigma X8 \Sigma X2$	$\Sigma X8 \Sigma X3$	$\Sigma X8 \Sigma X4$	$\Sigma X8 \Sigma X5$	$\Sigma X8 \Sigma X6$	$\Sigma X8 \Sigma X7$	$\Sigma X8 \Sigma X8$	$\Sigma X8 \Sigma X9$	$\Sigma X8 \Sigma X10$
$\Sigma X9$	$\Sigma X9 \Sigma X1$	$\Sigma X9 \Sigma X2$	$\Sigma X9 \Sigma X3$	$\Sigma X9 \Sigma X4$	$\Sigma X9 \Sigma X5$	$\Sigma X9 \Sigma X6$	$\Sigma X9 \Sigma X7$	$\Sigma X9 \Sigma X8$	$\Sigma X9 \Sigma X9$	$\Sigma X9 \Sigma X10$
$\Sigma X10$	$\Sigma X10 \Sigma X1$	$\Sigma X10 \Sigma X2$	$\Sigma X10 \Sigma X3$	$\Sigma X10 \Sigma X4$	$\Sigma X10 \Sigma X5$	$\Sigma X10 \Sigma X6$	$\Sigma X10 \Sigma X7$	$\Sigma X10 \Sigma X8$	$\Sigma X10 \Sigma X9$	$\Sigma X10 \Sigma X10$

Nota. Elaboración propia

Tabla 70

Matriz de observaciones de las variables explicativas respecto al factor de seguridad del terraplén (datos reemplazados)

3.00	48.60	26.61	0.02	1.29	4.71	48.00	117.69	234.00	262.00	4.28
48.60	787.32	431.08	0.28	20.90	76.30	777.58	1906.58	3790.80	4244.40	69.34
26.61	431.08	236.03	0.15	11.44	41.78	425.75	1043.91	2075.58	2323.94	37.96
0.02	0.28	0.15	0.00	0.01	0.03	0.28	0.68	1.36	1.52	0.02
1.29	20.90	11.44	0.01	0.55	2.03	20.64	50.61	100.62	112.66	1.84
4.71	76.30	41.78	0.03	2.03	7.39	75.36	184.77	367.38	411.34	6.72
48.00	777.58	425.75	0.28	20.64	75.36	767.97	1883.00	3743.92	4191.91	68.48
117.69	1906.58	1043.91	0.68	50.61	184.77	1883.00	4616.98	9179.82	10278.26	167.90
234.00	3790.80	2075.58	1.36	100.62	367.38	3743.92	9179.82	18252.00	20436.00	333.84
262.00	4244.40	2323.94	1.52	112.66	411.34	4191.91	10278.26	20436.00	23898.00	373.77
4.28	69.34	37.96	0.02	1.84	6.72	68.48	167.90	333.84	373.77	6.11

Nota. Elaboración propia

Con este cálculo manual se obtuvo la ecuación:

$$y = 3069950355.90 - 46585820.89X_1 - 1.43X_2 - 141564215.47X_3 - 524162166674.81X_4 - 1974973422.86X_5 - 0.24X_6 - 0.54X_7 - 0.14X_8 - 0.02X_9 - 0.20X_{10}$$

Ahora, la comparación entre el Factor de Seguridad estabilizado y el Factor de Seguridad proyectado mediante esta ecuación es como se presenta a continuación:

Tabla 71

Comparación de Factor de Seguridad estabilizado y Factor de Seguridad del terraplén proyectado del cálculo manual

Tramo	Sección	FS estabilizado	FS proyectado
Tramo 1	Sección 1	1.55	-21.68
	Sección 2	1.89	-21.34
	Sección 3	2.31	-20.92
Suma		5.75	-63.95
Promedio		1.92	-21.32

Nota. Elaboración propia

Tabla 72

Análisis de varianza Anova mediante cálculo manual respecto al factor de seguridad del terraplén

Tabla de Anova					
Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fo	Fcrítica
Regresión	1619.75	10	161.9752354	0.6001	4.0600
Error	1619.46	6	269.9104149		
Total	0.29	16	0.018116667		

Nota. *Elaboración propia*

Posterior a ello, se realizó el análisis de varianza Anova, como se muestra en la tabla anterior obteniendo un valor F crítico de 4.0600 y un valor Fo de 0.6001, para la interpretación del mismo se planteó como hipótesis nula (H0) e hipótesis alternativa (H1):

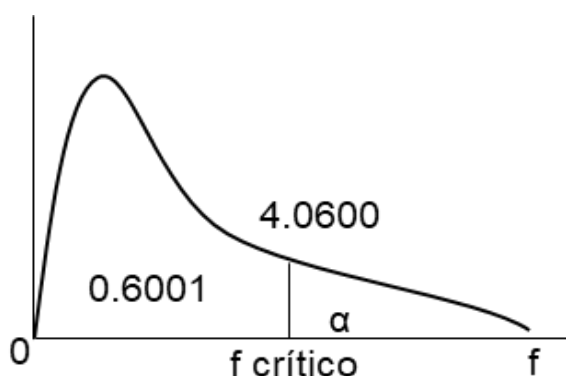
H0: Las propiedades del suelo no guardan relación con el FS del terraplén

H1: Las propiedades del suelo guardan relación con el FS del terraplén

Ya que el valor de Fo es menor al valor de F crítico, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa, teniendo como conclusión primaria que las propiedades del suelo no guardan una relación directa con el factor de seguridad del terraplén.

Figura 142

Gráfica de la varianza considerando un F crítico respecto al factor de seguridad del terraplén



Nota. *Elaboración propia.*

Los coeficientes de determinación y correlación correspondientes son:

Tabla 73

Coefficientes de determinación y correlación correspondientes al cálculo manual del factor de seguridad del terraplén

Coefficientes	Valores
Coefficiente de determinación	$R^2 = 0.1789$
Coefficiente de determinación ajustada	$R^2_{aj} = 0.1471$
Coefficiente de correlación	$R = 0.4230$

Nota. *Elaboración propia*

El coeficiente de determinación de 0.1789 indica que la proporción de la variabilidad en los datos posee una precisión al 17.89%.

El coeficiente de determinación ajustada de 0.1471 indica que no se puede realizar pronósticos, ya que no alcanza el valor mínimo de 0.7

El coeficiente de correlación de 0.4230 indica que existe una intensidad de relación baja entre las variables

Como se puede observar, el cálculo manual nos lleva a un resultado en el cual no guarda relación las propiedades del suelo con el factor de seguridad del terraplén, ahora, se presenta el análisis mediante la herramienta “análisis de datos de regresión” de MS Excel:

Tabla 74

Estadística de regresión correspondientes al cálculo de MS Excel mediante la herramienta “análisis de datos” respecto al factor de seguridad del terraplén

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	1
Coefficiente de determinación R^2	1
R^2 ajustado	1
Error típico	0
Observaciones	3

Nota. *Elaboración propia*

MS Excel en su cálculo, determina que:

El coeficiente de determinación es de 1, con lo cual indica que la proporción de la variabilidad en los datos posee una precisión al 100%.

El coeficiente de determinación ajustada es de 1, con lo cual indica que sí se puede realizar pronósticos, ya que supera el valor mínimo de 0.7, e incrementa un 48% respecto al cálculo manual

El coeficiente de correlación es de 1, con lo cual indica que existe una intensidad de relación completa entre las variables

Tabla 75

Análisis de varianza Anova de MS Excel respecto al factor de seguridad del terraplén

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados
Regresión	10	0.289866667	0.028986667
Residuos	0	0	65535
Total	10	0.289866667	

Nota. *Elaboración propia*

Ahora, por otro lado, el análisis de varianza Anova que calcula MS Excel no nos da un valor de F_0 ni un valor $F_{crítico}$, con lo cual no se puede analizar la aceptación o negación de las hipótesis nulas.

La ecuación que nos arroja corresponde a:

$$y = 3.71 - 0.017X_9 - 0.22X_{10}$$

Haciendo la comparativa con la ecuación del cálculo manual, el cálculo que realiza MS Excel, reduce el coeficiente de algunas de las variables independientes a prácticamente cero, a partir de esta consideración se obtiene una mayor correlación entre las propiedades del suelo y el factor de seguridad del terraplén.

Tabla 76

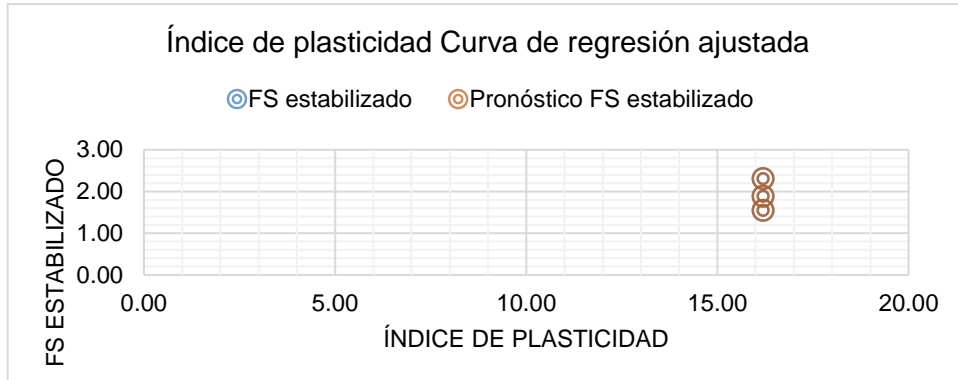
Comparación de factor de seguridad estabilizado y factor de seguridad proyectado de MS Excel

Tramo	Sección	Fator de seguridad estabilizado	Factor de seguridad proyectado
	Sección 1	1.55	1.55
Tramo 1	Sección 2	1.89	1.89
	Sección 3	2.31	2.31

Nota. *Elaboración propia*

Figura 143

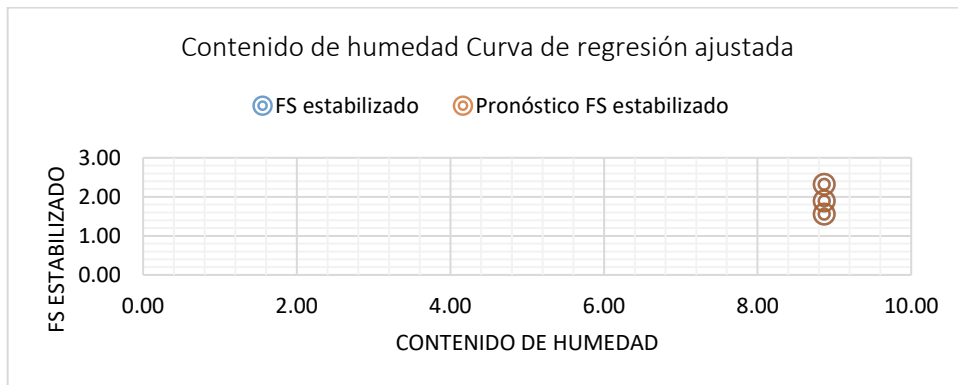
Índice de plasticidad Curva de regresión ajustada del FS



Nota. Elaboración propia.

Figura 144

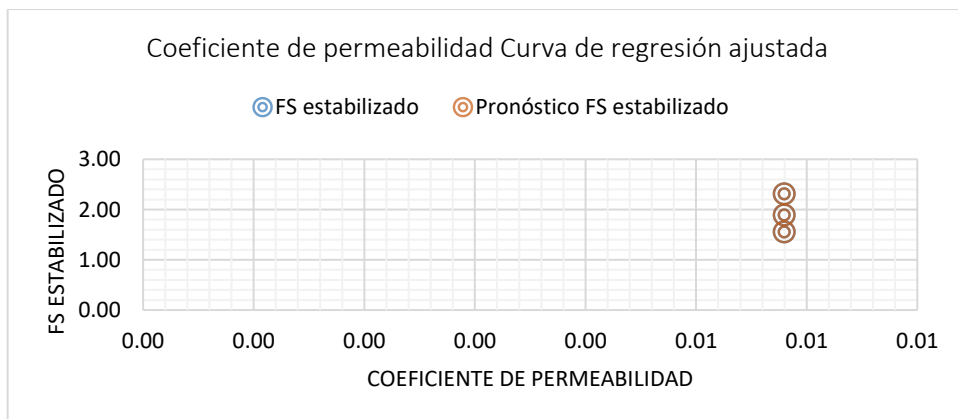
Contenido de humedad Curva de regresión ajustada del FS



Nota. Elaboración propia.

Figura 145

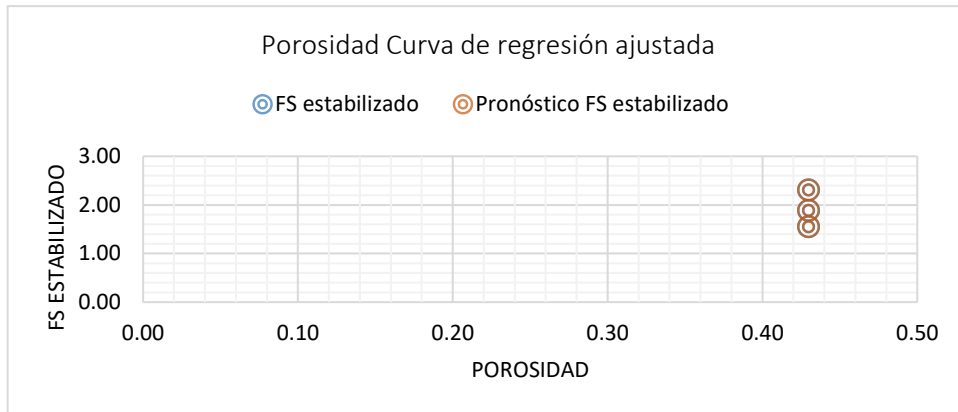
Coefficiente de permeabilidad Curva de regresión ajustada del FS



Nota. Elaboración propia

Figura 146

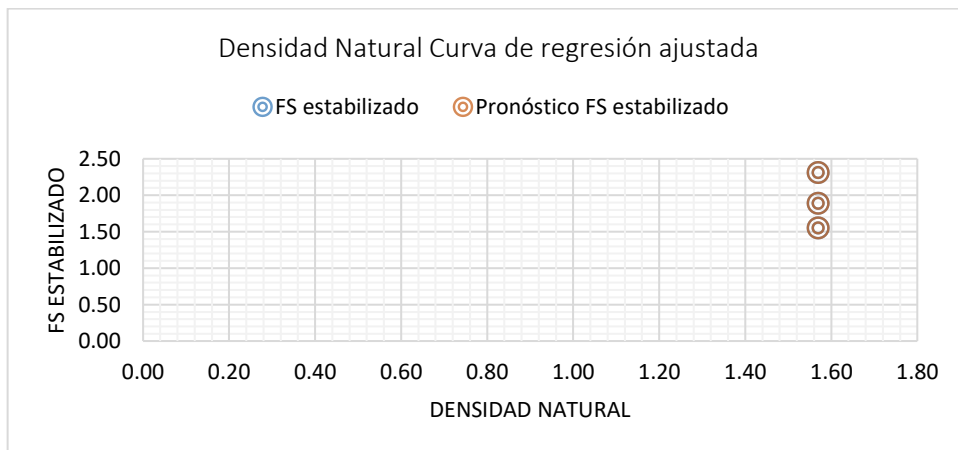
Porosidad Curva de regresión ajustada del FS



Nota. Elaboración propia

Figura 147

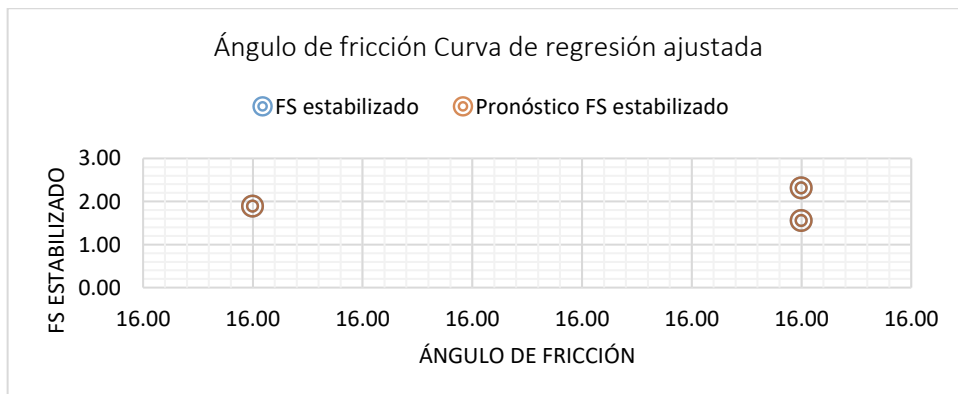
Densidad Natural Curva de regresión ajustada del FS



Nota. Elaboración propia

Figura 148

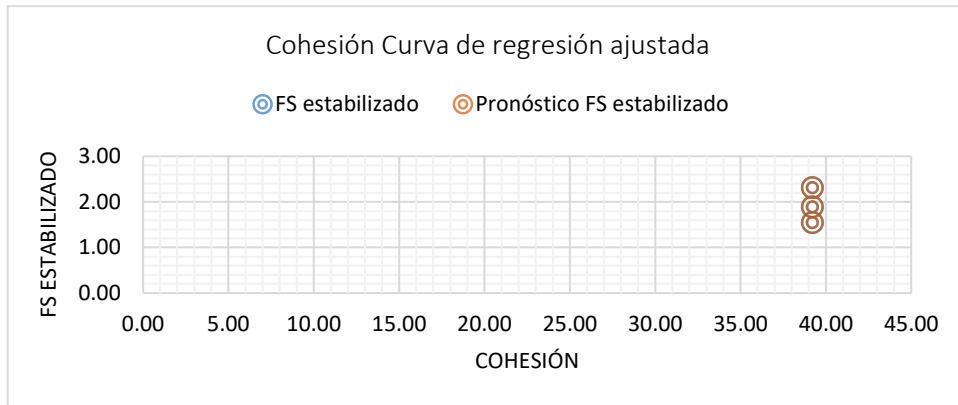
Ángulo de fricción Curva de regresión ajustada del FS



Nota. Elaboración propia.

Figura 149

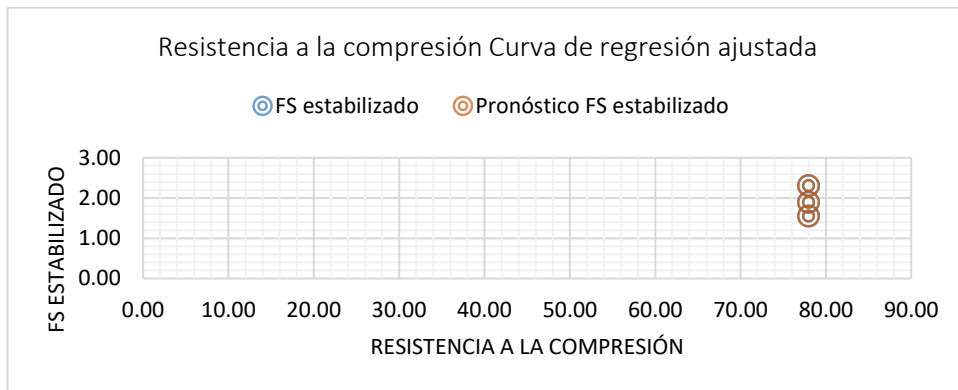
Cohesión Curva de regresión ajustada del FS



Nota. Elaboración propia.

Figura 150

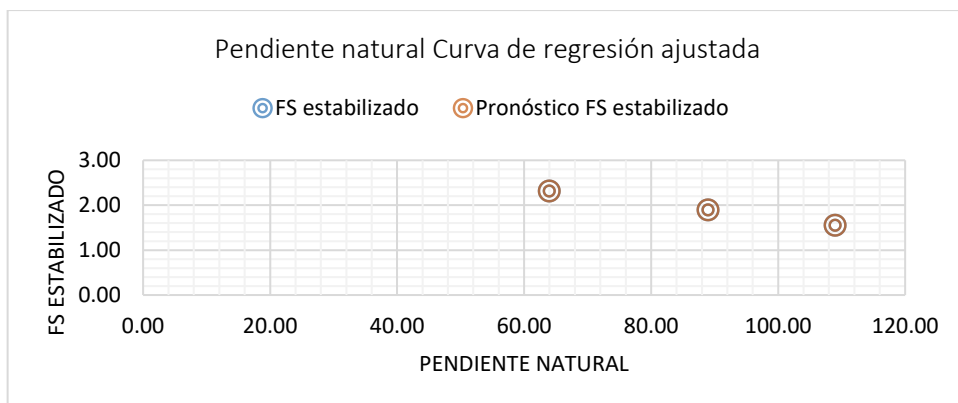
Resistencia a la compresión Curva de regresión ajustada del FS



Nota. Elaboración propia.

Figura 151

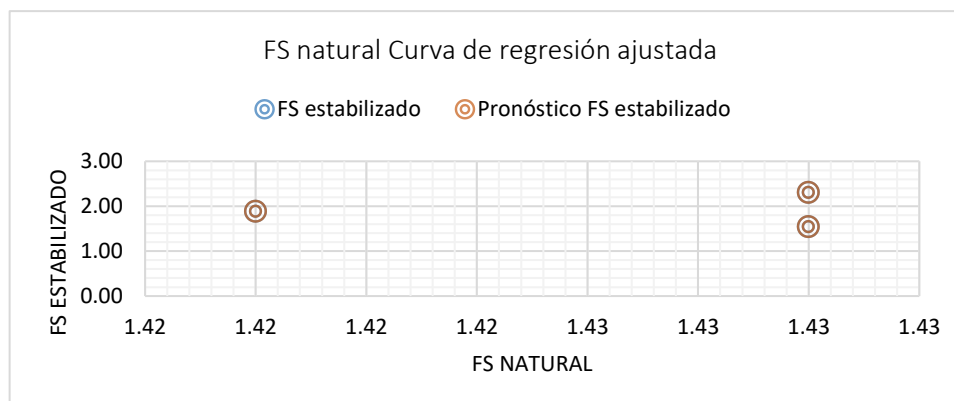
Pendiente natural Curva de regresión ajustada del FS



Nota. Elaboración propia.

Figura 152

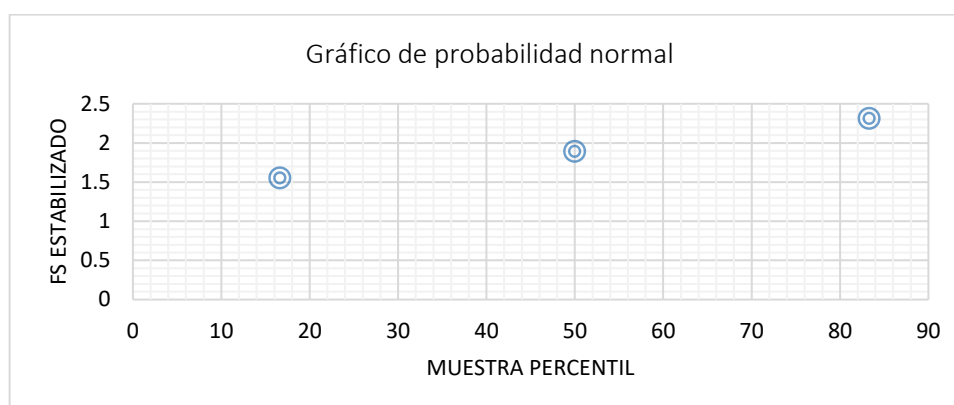
FS natural Curva de regresión ajustada



Nota. Elaboración propia.

Figura 153

Gráfico de probabilidad normal del FS



Nota. Elaboración propia.

5.1.24. Resultados respecto al objetivo específico 1

Tabla 77

Geometría del talud/terraplén - pendiente

Talud/terraplén	Sección	Pendiente estabilizada (%)	Pendiente proyectada (%)
Talud Tramo 1	Sección 1	300.00	300.00
	Sección 2	225.00	240.40
	Sección 3	225.00	218.67
	Sección 4	188.00	161.78
	Sección 5	150.00	167.14
Talud Tramo 2	Sección 1	150.00	175.65
	Sección 2	225.00	214.91
	Sección 3	225.00	214.30
	Sección 4	187.50	184.97
Talud Tramo 3	Sección 5	187.50	185.17
	Sección 1	24.67	27.50
	Sección 2	23.41	26.30

	Sección 3	40.12	38.48
	Sección 4	37.92	36.81
	Sección 5	43.87	40.90
	Sección 1	41.12	39.84
	Sección 2	36.14	36.00
Talud Tramo 4	Sección 3	29.60	31.15
	Sección 4	28.80	30.19
	Sección 5	34.63	33.11
	Sección 1	77.71	77.71
Terraplén Tramo 1	Sección 2	69.57	69.57
	Sección 3	61.93	61.93

Nota. *Elaboración propia*

Interpretación:

La tabla 77 muestra la comparación entre la pendiente (análisis geométrico), del talud al realizar el diseño y después de haber realizado el análisis de regresión lineal mediante la herramienta “análisis de datos” del MS Excel, con lo cual existe una correlación significativa de 99.34% entre las propiedades físico mecánicas y la geometría del diseño de un talud/terraplén.

Así mismo se presenta la comparación entre la pendiente (análisis geométrico), del terraplén después de haber realizado el análisis de regresión lineal existiendo una correlación significativa entre las propiedades físico mecánicas y la geometría del diseño de un terraplén del 100.00%; cabe recordar que el cálculo del MS Excel realiza un ajuste a tal punto de obtener coeficientes igual a cero "0".

5.1.25. Resultados respecto al objetivo específico 2

Tabla 78

Factor de Seguridad del talud/terraplén

Tramo	Sección	Factor de seguridad estabilizada	Factor de seguridad proyectada
	Sección 1	1.59	1.5900
	Sección 2	1.53	1.5856
Talud Tramo 1	Sección 3	1.52	1.5426
	Sección 4	1.51	1.5895
	Sección 5	1.55	1.3922
	Sección 1	1.59	1.5795
Talud Tramo 2	Sección 2	1.57	1.2926
	Sección 3	1.57	1.4041
	Sección 4	1.53	1.8026
	Sección 5	2.45	2.6313
	Sección 1	3.41	3.2314
Talud Tramo 3	Sección 2	2.93	2.8457
	Sección 3	2.65	2.6652
	Sección 4	2.33	2.4046
	Sección 5	1.92	2.0931

	Sección 1	2.26	2.3495
	Sección 2	2.39	2.4404
Talud	Sección 3	2.17	2.2484
Tramo 4	Sección 4	3.26	3.1149
	Sección 5	2.98	2.9067
	Sección 1	1.55	1.55
Terraplén	Sección 2	1.89	1.89
Tramo 1	Sección 3	2.31	2.31

Nota. *Elaboración propia*

Interpretación:

La tabla 78 muestra la comparación entre el factor de seguridad al realizar el diseño del talud y después de haber realizado el análisis de regresión lineal mediante la herramienta “análisis de datos” del MS Excel, con lo cual existe una correlación significativa de 97.65% entre las propiedades físico mecánicas y el factor de seguridad de un talud.

De igual forma se presenta la comparación entre el factor de seguridad al realizar el diseño del terraplén y después de haber realizado el análisis de regresión lineal mediante la herramienta “análisis de datos” del MS Excel, los resultados indican la existencia de una correlación significativa del 100% entre las propiedades físico mecánicas y el factor de seguridad de un terraplén.

5.1.26. Resultados respecto al objetivo general

Existe una correlación entre las propiedades físico mecánicas y el diseño de taludes y terraplenes, no obstante, al ser suelos finos, se vuelve difícil tratar de encontrar una correlación de forma manual con un bajo margen de error, lo cual fue demostrado al analizarlo en la presente investigación, tras realizar el análisis mediante el apoyo de herramientas de análisis estadístico, es posible encontrar una correlación entre las propiedades físico mecánicas y el diseño de un talud/terraplén, sin embargo, se arriesga la inclusión de algunas propiedades del suelo. El análisis realizado fue empírico y por ende es necesario aun realizar más estudios para poder predecir valores del factor de seguridad y pendiente más confiables.

5.2. Discusión de resultados

En esta parte de la tesis se presentan los resultados del análisis de datos obtenidos en base a los estudios realizados, los cuales se constatan con investigaciones realizadas por

otros autores previamente mencionados en el Capítulo II (Marco teórico), destacándose la similitud y diferencia entre ellas.

Con respecto al Objetivo específico 1:

Se optó por calcular la relación existente entre las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos con la geometría del diseño de terraplenes y taludes en la Urbanización San Luis, Abancay. Según Suárez (1998), los parámetros geométricos tales como la pendiente, altura, largo, ancho son la representación de la estructura topográfica de un talud e influyen notablemente con la estabilidad del diseño.

De los resultados alcanzados en la investigación, se encontró una correlación significativa del 99.34% entre las propiedades físico-mecánicas y la geometría del diseño de taludes, y del 100% para terraplenes, utilizando regresión lineal en MS Excel.

Estos resultados refuerzan lo aportado por Hernández et al. (2019), quienes su investigación emplearon técnicas de análisis estadístico como el análisis de regresión múltiple a través del software R studio y Minitab Inc con la que obtuvieron una variación de 0.04 a 0.17 m por año en el avance lateral del talud, concluyendo que las variables con mayor importancia son la pendiente, la curvatura y la altura del terreno y que los suelos con contenido de arcillas y limos tienden a ser más inestables. Así mismo Quispe y Pumayalli (2022), evaluaron un talud por medio del Software Slide, teniendo como resultados valores relativamente estables del FS en tres secciones del talud 1.009, 1.105 y 1.025, concluyeron la existencia de una relación directa entre estos FS con la variación de cada parámetro evaluado. Adicionalmente Nuñez (2023), demostró una relación entre el nivel de saturación con la inestabilidad del talud, a partir de una disminución del FS de 1.67 a 0.36 y de 1.18 a 0.25.

Los antecedentes y sus diferencias con esta investigación tienen que ver con el empleo de distintos ensayos geotécnicos (diferencias en el tipo de suelo), software de modelamiento y estadísticos, métodos de estabilización, sin embargo, independientemente de la metodología utilizada en cada proyecto se observa que los valores obtenidos demuestran que

las características geotécnicas y topográficas son críticas para evaluar la estabilidad estructural de un talud.

Con respecto al Objetivo específico 2:

Se consideró estimar la relación existente entre las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos con la estabilidad del diseño de terraplenes y taludes en la Urbanización San Luis, Abancay. Posse (1987) afirma que, un suelo que conforme un talud, terraplén, será propenso a deslizarse en función a las fuerzas de gravedad actuantes en ella, la manera de garantizar la estabilidad del diseño está definida por un valor representativo denominado coeficiente de seguridad (FS) el cual dependerá en gran medida del comportamiento de los materiales que conformen el talud.

Los resultados obtenidos en esta investigación a partir de la comparación entre el factor de seguridad al realizar el diseño del talud/terraplén y después de haber realizado el análisis de regresión lineal, sugiere la existencia de una correlación significativa de un 97.65% entre las propiedades físicas y mecánicas y el factor de seguridad de un talud y del 100% para terraplenes.

Los resultados presentan similitud con la investigación de Ventocilla (2018), el cual manifiesta que los resultados de su estudio arrojan un suelo del tipo limo-arenoso, un $FS < 1$, por lo que determinó realizar el revestimiento de los taludes con concreto shotcrete como medida de seguridad. Por su parte Bustamante & García (2018), autores que evaluaron el factor de seguridad en un talud considerando factores como la topografía, propiedades geotécnicas de los suelos para la realización del diseño que en condiciones iniciales resulta ser inestable, optando por la implementación de muros de gaviones para la mejora del factor de seguridad. Mientras que en el estudio de Calderón (2023), se evaluaron las condiciones del suelo que componen un talud, para luego determinar su estabilidad por medio del uso del Software Geo5, dando como resultado un $FS = 0.47$, cuyo coeficiente fue aumentado por medio de Muros anclados y claveteados, obteniendo un $FS = 2.02$.

Con respecto al Objetivo general

Analizar la relación existente entre las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos para su aplicación en el diseño de terraplenes y taludes en la Urbanización San Luis, Abancay – 2023; los resultados de la investigación reflejan una correlación significativa entre las variables, tras realizar en primera instancia un análisis exhaustivo del suelo con ensayos de campo y laboratorio para luego proceder hacer un modelamiento empleando el software geotécnico Geo5 se obtuvieron datos de las condiciones iniciales del talud/terraplén respecto a su geometría y factor de seguridad a partir del cual se realizó un análisis de regresión lineal en MS Excel. Los hallazgos subrayan la importancia de las propiedades físico-mecánicas y la geometría del diseño en la estabilidad de taludes y terraplenes. Sin embargo, debido a la complejidad y variabilidad de los suelos finos, encontrar una correlación manual con un bajo margen de error puede ser desafiante. En conclusión, la integración de métodos estadísticos avanzados y la consideración de diversos factores geotécnicos y geométricos son cruciales para mejorar la estabilidad y el diseño de taludes y terraplenes, ofreciendo soluciones más robustas y efectivas en la ingeniería geotécnica. La investigación ofrece similitud en cuanto algunos aspectos del procedimiento metodológico con el estudio presentado por Alvino y Velázquez (2021), los cuales insertaron los parámetros de resistencia como el tipo de suelo, cohesión, peso específico, ángulo de rozamiento y aspectos topográficos en el software Slide, a partir del cual analizaron un talud y plantearon la estabilidad del mismo con la técnica soil nailing y el método de banquetas, a partir de los cuales obtuvieron FS adecuados. Sin embargo, en el presente estudio a diferencia de los antecedentes presentados no solo se hizo un análisis de estabilidad de un talud/terraplén, sino que este solo fue una parte clave para la realización de un análisis de regresión con motivo de conocer los porcentajes de correlación que presentan las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos con el diseño de terraplenes y taludes.

5.3. Prueba de hipótesis

Al realizar el análisis de regresión múltiple para la variable independiente contra la variable dependiente se determinó el impacto de cada propiedad física y mecánica del suelo sobre la variación de la pendiente y el factor de seguridad, se usó un software estadístico para realizar el análisis.

A pesar de las dificultades inherentes al manejo manual de suelos finos, debido a la alta susceptibilidad a errores, el estudio demostró que, con la ayuda de herramientas estadísticas avanzadas, es posible discernir una correlación notable. En particular, el uso de la herramienta de “Análisis de Datos” de MS Excel reveló que las propiedades físico-mecánicas están significativamente correlacionadas con la geometría del diseño de un talud/terraplén, evidenciando una correlación del 99.34%. Asimismo, se encontró una correlación del 97.65% entre dichas propiedades y el factor de seguridad en el diseño estructural.

Cabe señalar que el análisis fue de naturaleza empírica, lo que subraya la importancia de continuar con investigaciones adicionales para afinar la predicción de los valores del factor de seguridad y de la inclinación. Esta necesidad se refuerza al considerar la posibilidad de que algunas propiedades del suelo puedan no haber sido completamente integradas en el modelo actual.

a. Diseño de la prueba de hipótesis para el talud

Para diseñar la prueba de hipótesis de manera efectiva, nos centraremos en los objetivos específicos relacionados con la geometría del talud y la estabilidad del diseño, así como en los resultados de regresión lineal proporcionados.

Existe una relación estadísticamente significativa entre las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos y la estabilidad del diseño de terraplenes y taludes.

Variables Independientes referentes al estado natural del talud:

Índice de plasticidad del talud natural

Contenido de humedad del talud natural

Coeficiente de permeabilidad del talud natural

Porosidad del talud natural

Densidad natural del talud natural

Ángulo de fricción del talud natural

Cohesión del talud natural

Capacidad de carga del talud natural

Resistencia a la compresión del talud natural

Asentamiento del talud natural

Variación de altura del talud natural

Variable Dependiente:

Variación de pendiente entre el talud con muro claveteado y el talud natural
(para geometría)

Variación de factor de seguridad entre el talud con muro claveteado y el talud
natural (para estabilidad)

b. Diseño de la prueba de hipótesis para el terraplén

Variables independientes referentes al estado natural del terraplén:

Índice de plasticidad del terraplén natural

Contenido de Humedad del terraplén natural

Coeficiente de permeabilidad del terraplén natural

Porosidad del terraplén natural

Densidad natural del terraplén

Ángulo de fricción del terraplén natural

Cohesión del terraplén natural

Resistencia a la compresión del terraplén natural

Altura del terraplén natural

Pendiente del terraplén natural

Variable dependiente:

Variación de pendiente entre el terraplén natural y el terraplén con material de préstamo (para geometría)

Variación de factor de seguridad entre el terraplén natural y el terraplén con material de préstamo (para estabilidad)

4.3.1. Prueba de hipótesis específica 1

HE1: Las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos poseen una correlación con la geometría del diseño de terraplenes y taludes en la Urbanización San Luis, Abancay - 2023.

1. Prueba estadística para la geometría del talud**Tabla 79**

Estadística de regresión correspondientes al cálculo de MS Excel mediante la herramienta “análisis de datos” respecto a la geometría del talud

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0.99342248
Coeficiente de determinación R ²	0.98688823
R ² ajustado	0.51929818
Error típico	12.9549194
Observaciones	20

Nota. *Elaboración propia*

Tabla 80

Análisis de varianza Anova de MS Excel respecto a la geometría del talud

Tabla de Anova					
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	Fo	Valor crítico de F
Regresión	12	164217.519	13684.7932	163.079288	2.60366075
Residuos	13	2181.78916	167.829936		
Total	25	166399.308			

Nota. *Elaboración propia*

El análisis de varianza Anova nos da un valor F_o de 163.0792882 y un valor F crítico de 2.603660748, y de acuerdo a lo que se planteó como hipótesis nula (H_0) e hipótesis alternativa (H_1):

- H_0 : Las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos no guardan relación con la geometría del diseño de taludes.
- H_1 : Las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos guardan relación con la geometría del diseño de taludes.

Ya que el valor de F_o es mayor al valor de F crítico, se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula, teniendo como conclusión que las propiedades del suelo guardan una relación muy estrecha y directa con la geometría del talud.

2. Prueba estadística para la geometría del terraplén

Tabla 81

Estadística de regresión correspondientes al cálculo de MS Excel mediante la herramienta “análisis de datos” respecto a la geometría del terraplén

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	1
Coefficiente de determinación R^2	1
R^2 ajustado	1
Error típico	0
Observaciones	3

Nota. Elaboración propia

Tabla 82

Análisis de varianza Anova de MS Excel respecto a la geometría del terraplén

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados
Regresión	10	124.5458667	12.45458667
Residuos	0	0	65535
Total	10	124.5458667	

Nota. Elaboración propia

El análisis de varianza Anova que calcula MS Excel no nos da un valor de F_o ni un valor F crítico, con lo cual no se puede analizar la aceptación o negación de la hipótesis nula.

4.3.2. Prueba de hipótesis específica 2

HE2: Las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos poseen una correlación con la estabilidad del diseño de terraplenes y taludes en la Urbanización San Luis, Abancay - 2023.

1. Prueba estadística para el factor de seguridad del talud

Tabla 83

Estadística de regresión correspondientes al cálculo de MS Excel mediante la herramienta “análisis de datos” respecto al factor de seguridad del talud

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.976491971
Coefficiente de determinación R ²	0.95353657
R ² ajustado	0.470553449
Error típico	0.167432117
Observaciones	20

Nota. Elaboración propia

Tabla 84

Análisis de varianza Anova de MS Excel respecto al factor de seguridad del talud

Tabla de Anova					
Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	Fo	Valor crítico de F
Regresión	12	7.479059319	0.623254943	44.46498899	2.603660748
Residuos	13	0.364435681	167.829936		
Total	25	7.843495			

Nota. Elaboración propia

El análisis de varianza Anova que calcula MS Excel nos da un valor Fo de 44.46498899 y un valor F crítico de 2.603660748, y de acuerdo a lo que se planteó como hipótesis nula (H0) e hipótesis alternativa (H1):

- H0: Las propiedades del suelo no guardan relación con el Factor de seguridad del talud.

- H1: Las propiedades del suelo guardan relación con el Factor de seguridad del talud.

Ya que el valor de F_o es mayor al valor de F crítico, se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula, teniendo como conclusión que las propiedades del suelo guardan una relación muy estrecha y directa con el factor de seguridad del talud.

2. Prueba estadística para el factor de seguridad del terraplén

Tabla 85

Estadística de regresión correspondientes al cálculo de MS Excel mediante la herramienta “análisis de datos” respecto al factor de seguridad del terraplén

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	1
Coeficiente de determinación R^2	1
R^2 ajustado	1
Error típico	0
Observaciones	3

Nota. Elaboración propia

Tabla 86

Análisis de varianza Anova de MS Excel respecto al factor de seguridad del terraplén

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados
Regresión	10	0.289866667	0.028986667
Residuos	0	0	65535
Total	10	0.289866667	

Nota. Elaboración propia

El análisis de varianza Anova que calcula MS Excel no nos da un valor de F_o ni un valor F crítico, con lo cual no se puede analizar la aceptación o negación de las hipótesis nulas.

4.3.3. Prueba de hipótesis general

HG: Las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos poseen una correlación con el diseño de terraplenes y taludes en la Urbanización San Luis, Abancay - 2023.

La metodología empleada en la tesis es hipotético-deductivo por lo cual se asume que las hipótesis específicas derivan de la hipótesis general, de manera que una vez contrastadas las hipótesis específicas 1 y 2 con las hipótesis generales recién podemos deducir si se acepta o rechaza la hipótesis planteada.

1. Comprobación de la hipótesis general

En la prueba de hipótesis específica 1 se rechazó la hipótesis nula.

En la prueba de hipótesis específica 2 se rechazó la hipótesis nula.

Como se rechaza la hipótesis nula en los dos casos, entonces se rechaza la hipótesis nula de la hipótesis general.

2. Dedución de hipótesis general

Luego de la comprobación, deducimos lo siguiente: Las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos poseen una correlación con el diseño de terraplenes y taludes en la Urbanización San Luis, Abancay - 2023.

La investigación encontró resultados mixtos al comparar los métodos de análisis manuales y estadísticos avanzados. Aunque los análisis de ANOVA manuales sugieren que las propiedades del suelo no tienen una relación directa con la geometría y la estabilidad del diseño de terraplenes y taludes, los análisis de regresión realizados con herramientas avanzadas como MS Excel muestran una alta correlación ($R^2 = 1$). Por lo tanto, se concluye que, al emplear métodos de análisis estadístico avanzados, sí existe una relación significativa entre las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos y su aplicación en el diseño de terraplenes y taludes en la Urbanización San Luis, Abancay. Esto subraya la importancia de

utilizar herramientas analíticas avanzadas para obtener resultados más precisos y confiables en estudios geotécnicos.

VI. Conclusiones

Conclusiones respecto al objetivo específico 1

Se concluye que la investigación realizada en la Urbanización San Luis de Abancay ha revelado una correlación significativa entre las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos y la geometría del diseño de terraplenes y taludes. La investigación ha demostrado que la pendiente de los taludes en su estado natural varía considerablemente entre los tramos evaluados. Por ejemplo, en el tramo 1, la altura varía de 13.45 m a 23.11 m, y la pendiente de 80% a 241%. En el tramo 3, las alturas de los taludes varían de 10.66 m a 18.77 m, con pendientes que oscilan entre 23.41% y 43.87%.

El análisis de regresión lineal indicó que existe una correlación significativa del 99.34% entre las propiedades físico-mecánicas de los suelos y la geometría del diseño de los taludes. Las variables independientes consideradas fueron índice de plasticidad, contenido de humedad, coeficiente de permeabilidad, porosidad, densidad natural, ángulo de fricción, cohesión, capacidad de carga, resistencia a la compresión, asentamiento, altura y pendiente del talud natural.

Los resultados cuantitativos obtenidos muestran que la implementación de materiales cohesivos en la subbase y base de los terraplenes mejora significativamente la estabilidad, con una correlación del 100% en la geometría del diseño de los terraplenes utilizando materiales de préstamo. El factor de seguridad (FS) en condiciones naturales varía entre 1.42 y 1.43 para los taludes, mientras que, al incorporar materiales de préstamo, el FS aumenta significativamente, alcanzando valores entre 1.55 y 2.31.

Conclusiones respecto al objetivo específico 2

La investigación realizada en la Urbanización San Luis de Abancay ha demostrado una correlación significativa entre las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos y la estabilidad del diseño de terraplenes y taludes. Los análisis realizados indicaron que la estabilidad de un talud o terraplén está directamente influenciada por sus propiedades físicas

y mecánicas, lo cual es crítico para determinar su capacidad para soportar las cargas impuestas.

El análisis de regresión lineal reveló una correlación significativa del 97.65% entre las propiedades físico-mecánicas de los suelos y el factor de seguridad (FS) de un talud, y una correlación del 100% para un terraplén, utilizando la herramienta de análisis de datos de MS Excel. Las variables independientes consideradas incluyeron el índice de plasticidad, contenido de humedad, coeficiente de permeabilidad, porosidad, densidad natural, ángulo de fricción, cohesión, capacidad de carga, resistencia a la compresión y asentamiento del suelo natural, entre otras.

En términos cuantitativos, el FS de los taludes en diferentes tramos varió significativamente. Por ejemplo, en el tramo 1, el FS estabilizado varió entre 1.51 y 1.55, mientras que en el tramo 3, varió entre 1.92 y 3.41. Para los terraplenes, se observó que la implementación de materiales de préstamo cohesivos aumentó significativamente el FS, alcanzando valores de hasta 2.31 en el tramo 1.

Finalmente se concluye que las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos tienen una influencia directa y cuantificable en la estabilidad de los taludes y terraplenes. La implementación de estrategias de mejora del suelo, como la inclusión de materiales cohesivos, contribuye a un diseño más seguro y eficiente, adaptado a las condiciones específicas del terreno. Esto se refleja en mayores factores de seguridad, garantizando la estabilidad y eficiencia de estas estructuras geotécnicas.

Conclusiones respecto al objetivo general

El análisis realizado en la Urbanización San Luis de Abancay ha demostrado una relación significativa entre las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos y su aplicación en el diseño de terraplenes y taludes, utilizando análisis de regresión lineal en MS Excel. Este análisis se centró en la comparación de la pendiente como parte del análisis geométrico y el factor de seguridad como parte clave de la estabilidad. La correlación se vio desafiada por la inherente dificultad de trabajar con suelos finos, los cuales presentan una variabilidad significativa en sus capacidades de carga y estabilidad por sí solos. Esta

variabilidad introduce un margen de error elevado al intentar predecir su comportamiento como materiales estabilizantes en estructuras de soporte de tierra.

VII. Recomendaciones

Recomendaciones respecto al objetivo específico 1

La estabilidad y seguridad de los terraplenes y taludes dependen de una comprensión profunda de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos, así como de un diseño geométrico informado. Adoptar un enfoque integral que incluya análisis detallados, modelado geotécnico avanzado y estrategias de mejora del suelo, junto con un monitoreo continuo, será clave para garantizar estructuras seguras y duraderas. Esta recomendación, si se implementa cuidadosamente, permitirá desarrollar diseños de terraplenes y taludes que sean tanto estables como económicamente viables.

Recomendaciones respecto al objetivo específico 2

Para una estimación precisa de la relación entre las propiedades de los suelos finos y la estabilidad de terraplenes y taludes radica en una comprensión profunda y basada en datos de las características geotécnicas del área. Un programa de investigación geotécnica bien diseñado y ejecutado proporcionará la base necesaria para decisiones de diseño informadas, optimizando tanto la seguridad como la eficiencia económica de los proyectos de construcción en terrenos desafiantes.

Recomendaciones respecto al objetivo general

Se recomienda comprender a fondo las interacciones entre las propiedades de los suelos finos y los diseños de terraplenes y taludes, empleando una metodología que combine estudio, análisis, y aplicación práctica. La implementación de técnicas avanzadas de mejora del suelo y un sólido plan de monitoreo contribuirán significativamente a asegurar la estabilidad y sostenibilidad de los diseños.

Esta estrategia integrada proporcionará una base sólida para la toma de decisiones informadas en la planificación y ejecución de proyectos de construcción en suelos finos.

Tomar en cuenta las siguientes medidas:

Realizar Análisis Detallados: Llevar a cabo análisis geotécnicos detallados, incluyendo ensayos de laboratorio y pruebas in situ, para obtener un perfil completo de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos en las áreas de interés.

Modelar Escenarios Diversos: Utilizar software especializado en geotecnia para modelar diferentes diseños de terraplenes y taludes, ajustando variables como la geometría y las técnicas de mejora del suelo, para evaluar su impacto en la estabilidad.

Implementar Estrategias de Mejora del Suelo: Basándose en los resultados obtenidos, diseñar e implementar estrategias de mejora del suelo que puedan aumentar la estabilidad de terraplenes y taludes, como la estabilización química o la inclusión de geotextiles.

Monitoreo Continuo: Establecer un sistema de monitoreo para evaluar la efectividad de las medidas implementadas y la evolución de la estabilidad a lo largo del tiempo, permitiendo intervenciones tempranas en caso de detectarse variaciones en el Factor de Seguridad.

VIII. Referencias bibliográficas

- Alfaro, R., Mamani, J. A., & Pílares, I. A. (2022). Mapeo de inestabilidad de laderas en cuencas de fuerte pendiente mediante el enfoque de talud infinito. *Revista VERITAS ET SCIENTIA-UPT*, 11(1), 112-124.
<https://revistas.upt.edu.pe/ojs/index.php/vestsc/article/view/601>
- Alvino Fano, D. M., & Velásquez Huatuco, C. A. R. (2021). *Análisis comparativo de Método Soil Nailing con mejoramiento de drenaje frente a un corte convencional en suelo aluvial en el departamento de Puno, Perú* [Tesis de Grado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional de la URP.
<https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/4724>
- American Society for Testing and Materials. (2000). *Determinar la densidad de los suelos en el campo por el método del cono de arena ASTM D -1556*. <https://pdfcoffee.com/astm-d-1556-cono-de-arena-1-6-pdf-free.html>
- Arias, F. G. (2012). El proyecto de investigación. *Introducción a la metodología científica*. 6ta. Fideas G. Arias Odón.
<https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf-1.pdf>
- Arrúa, P. (2020, 18 de abril). *Compresibilidad y asentamiento en los suelos* [video]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=92QgslX5yfU>
- Bañón Blázquez, L., & Bevía García, J. F. (1999). *Manual de carreteras*. Volumen I: elementos y proyecto. <https://www.udocz.com/apuntes/76905/manual-de-carreteras-1-luis-nanon-blazquez>
- Briceño Balza, J. E., Belandria Rodríguez, N. T., & León Oviedo, F. M. (2022). Ubicación y Profundidad de la Grieta de Tracción en Taludes con el Empleo de Modelos Numéricos. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia*, 45(2).
<https://produccioncientificaluz.org/index.php/tecnica/article/view/38022/42367>

- Bono Cabré, R. (2012). *Diseños cuasi-experimentales y longitudinales*.
<https://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/30783>
- Bowles, J. E. (1982). *Propiedades Geofísicas de los Suelos*. McGraww-Hill.Colombia.
https://www.academia.edu/36589235/Propiedades_Geofisicas_de_Los_Suelos_Bowles_
- Bustamante, S., & García, C. (2018). *Evaluación del factor de seguridad del talud correspondiente a la quebrada de Sipaspucyo, en función a la topografía, estudios de infiltración y propiedades mecánicas de los suelos* [Tesis de Grado, Universidad Andina del Cusco]. Repositorio Institucional de la UAC.
<https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/2723>
- Bustos, P.G. (2002). *PG-3 Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes*. (2ª. ed.). Ediciones Liteam SL.
<https://www.arquitectosdecadiz.com/wp-content/uploads/2017/12/PG3.pdf>
- Calderón Cabascango, W. B. (2023). *Diseño de un sistema de estabilización de un talud, en el barrio “Espejo” de la parroquia Chillogallo, cantón Quito, provincia de Pichincha* [Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional de la UPS. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25528>
- Campos, C. (2019). *La importancia de un estudio de suelos*.
[https://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/53257/la ingenieria del suelo.pdf?isAllowed=y&sequence=1](https://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/53257/la%20ingenieria%20del%20suelo.pdf?isAllowed=y&sequence=1)
- Das, Braja.M. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*. (7ª. Ed.).
https://www.academia.edu/42603156/Braja_Das_Fundamentos_de_ingenieria_de_cimentaciones_7ed
- Fernandez, C., Loayza, C., Benavente, R., & Acurio, H. (2007). *Mapa de Peligros de la Ciudad de Abancay*. <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/5217>
- Garnica Anguas, P., & Ramírez Culebro, J. A. (2014). Gestión de terraplenes y riesgos ante la inestabilidad. *Publicación Técnica*, (423). <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt423.pdf>

- Gavidia, A. (2020). *Clasificación de suelos mediante SUCS - Mecánica de suelos*.
<https://www.youtube.com/watch?v=tBBRzUBgLP0>
- González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería geológica*. PEARSON EDUCACIÓN.S.A.
https://www.academia.edu/50773034/INGENIERIA_GEOLOGICA_GONZALES_DE_VALLEJO
- Hernández Sánchez, J. M. D. L. D., Fernández Reynoso, D. S., Martínez Menez, M. R., Figueroa Sandoval, B., Rubio Granados, E., & García Rodríguez, J. L. (2019). Evaluación de la estabilidad de taludes en cárcavas, Huasca de Ocampo, Hidalgo, México. *Terra Latinoamericana*, 37(3), 303-313.
<https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/article/view/468/592>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2018). *Metodología de la investigación* (Vol. 4, pp. 310-386). México: McGraw-Hill Interamericana.
<https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/?p=2612>
- Huanca Borda, A. R. (2010). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*.
<https://www.elsolucionario.org/mecanica-suelos-cimentaciones-angel-r-huanca-borda-unica-1ra-edicion/>
- Ibañez Asensio, S., Moreno Ramón, H., & Gisbert Blanquer, J. M. (2010). *Características del infiltrómetro de doble anillo*.
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7840/AD%20Infiltrometro.pdf>
- Instituto Nacional de Defensa Civil (2011). *Manual de estimación del riesgo ante movimientos en masa en laderas* (Cuaderno técnico N.º 03).
<http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc1744/doc1744-contenido.pdf>
- Instituto Nacional de defensa Civil. (2022). *Deslizamiento en el Distrito de Parcoy - La Libertad*. Informe de emergencia N° 1041. <https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2022/06/INFORME-DE-EMERGENCIA-N%C2%BA-1041-12JUL2022-DESLIZAMIENTO-EN-EL-DISTRITO-DE-PARCOY-LA-LIBERTAD-8.pdf>

- Jaduarde. (2023). *¿Qué es yCuál es la Función de un Ingeniero Geotécnico?*
<https://agingenieria3360.com/que-es-ingeniero-geotecnico/>
- Jaramillo Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*.
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/70085>
- Juárez Badillo, E. & Rico Rodriguez, A. (1974). *Mecánica de suelos* (Vol. 1). Editorial Limusa.
<https://veteranos1927.files.wordpress.com/2014/05/mecanica-de-suelos-tomo-1-juarez-badillo.pdf>
- Leoni, A. J. (2015). *Propiedades físicas de los suelos*. <https://ingenieroleoni.com/wp-content/uploads/2015/09/Capitulo-1-Propiedades-F--sicas-de-los-suelos.pdf>
- López, R. (2018). *Evaluación del coeficiente de permeabilidad efectivo en depósitos cuaternarios e implicancias en los diseños de presas alto andinas, casos Cusco y Apurímac* [Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional de la UNSA.
<https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e6d24a57-4c11-432c-8917-9d49edeac091/content>
- Maldonado Mendivil, A. (2021). *Identificación de zonas de riesgo por deslizamientos de laderas debido a la saturación de suelos en la microcuenca Mariño, Abancay* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria de la Molina]. Repositorio Institucional de la UNAM. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4744>
- Markovich. (2022). *¿Qué es la Geotecnia? Campo y concepto. Concepto de La Geotecnia y Campos Relacionados Con La Geotecnia*. <https://www.georedia.com/blog/geotecnia-blog-1/que-es-la-geotecnia-campo-y-concepto-4#>
- Mesa Lavista, M., & Tejeda Piusseaut, E. (2018). *Análisis de la estabilidad de taludes en terraplenes mediante los métodos de equilibrio límite y el método de elementos finitos*. Revista Cubana de Ingeniería, 9(1), 49-56.
<https://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/519>

- del Perú]. Repositorio Institucional de la UNCP.
<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/9255>
- Ortega, L., & Sagado, L. (2001). *Drenaje en suelos agrícolas*.
<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/36217/NR26418.pdf?sequence=1>
- Posse, F. J. A. (1987). *Manual de ingeniería de taludes (No. 3)*. IGME.
<https://es.scribd.com/document/46483959/IGME-Manual-de-Taludes-1%C2%AA-Ed-1987>
- Regal, A. (2007). *La ingeniería del suelo*.
<https://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/53257/laingenieria-del-suelo.pdf?isAllowed=y&sequence=1>
- Reglamento nacional de edificaciones. (2021). Norma CE.020 Suelos y Taludes DS N° 017-2012.
<https://www.gob.pe/institucion/vivienda/informes-publicaciones/2309793-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Reglamento del comité de ética de investigación, Pub. L. No. 0445–2018 (2018).
<http://portal.utea.edu.pe/wp-content/uploads/2018/03/Resolucion-N°-0445-2018-Comite-de-Etica.pdf>
- Quispe, M. W., & Pumayalli, M. C. (2022). *Influencia de la topografía, estudios de infiltración y propiedades mecánicas del suelo en la evaluación del factor de seguridad del talud de la margen izquierda de la quebrada Ayahuayco, Cusco–2022* [Tesis de Grado, Universidad Andina del Cusco]. Repositorio Institucional de la UAC.
<https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/4943>
- Severino Rivera, B. E. (2015). *Riesgos de taludes y terraplenes en obras lineales de la República Dominicana* [Tesis de Doctorado, Universidad politécnica de Madrid]. Repositorio Institucional de la UPM. <https://oa.upm.es/38455/>
- Suarez, J. (1998). *Estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Universidad Industrial de Santander.
<https://www.erosion.com.co/deslizamientos-y-estabilidad-de-taludes-en-zonas-tropicales/>

- Suarez, J. (2009). *Deslizamientos: técnicas de remediación*. (Vol. 2).
<https://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-ii-tecnicas-de-remediacion/>
- Tamayo, & Tamayo. (1999). *Aprende a investigar. La Investigación*. Módulo, 2.
<https://academia.utp.edu.co/grupobasicoclinicayaplicadas/files/2013/06/2.-La-Investigaci%C3%B3n-APRENDER-A-INVESTIGAR-ICFES.pdf>
- Valencia, A. (2008). *El diseño y modelamiento de materiales*. Dyna, 75(156),251-269.
<https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/23316>
- Ventocilla, P. (2018). *Estudio de las características geotécnicas de los suelos residuales para la estabilidad de taludes en el Cerro La Campana - Ruta al terminal Portuario de Puerto Eten* [Tesis de Grado, Universidad Señor de Sipán]. Repositorio Institucional de la USS.
<https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/6034/VentocillaSanchezPedroMiguelRuben.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Yepes Piqueras, V. (2021). *Procedimientos de construcción para la compactación y mejora del terreno*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
https://victoryepes.blogs.upv.es/files/2021/09/TOC_0428_03_01.pdf

IX. Anexos

Anexo 1 :Matriz de consistencia

Anexo 2 :Matriz de operacionalización de variables

Anexo 3 :Cuestionario

Anexo 4 :Informe fotogramétrico

Anexo 5 :Informe de estudio de suelos y laboratorio

Anexo 6 :Informe de modelamiento en software GEO5

Anexo 7 :Validación de instrumentos

Anexo 8 :Certificado de calibración de equipos

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina del repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes.