UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DEL TALUD, PARA GARANTIZAR LA ESTABILIDAD DEL TAJO SUPERFICIAL DEL ÁREA DE EXPLOTACIÓN EN LA UNIDAD MINERA "MOISES RANDY 2010"

TESIS

PRESENTADO POR:

BACH. JAIME ISRAEL TURPO PHUÑO

Para optar por el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA - PERU

2018

007

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

FOLIO N° .....

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Según Resolución. de Comisión Organizadora N° 514-2017-UNAM

El Jurado Dictaminador ha calificado la defensa de la tesis:

TITULADA:

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DEL TALUD, PARA GARANTIZAR LA ESTABILIDAD DEL TAJO SUPERFICIAL DEL ÁREA DE EXPLOTACIÓN EN LA UNIDAD MINERA "MOISES RANDY 2010"

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUE
CERTIFICA: Que el presente documento ES COPIA FIE
ORIGINAL; al que me remito para los fines pertine
Moquegua 23 OCT 2018
Tec. Josefa Quispe Tintay
FEDATARIA ADSCRITA 03

Asesor: Dr. Ingo. Marcos Luis QUISPE PEREZ

Asesor Externo: .....

Tesista: Jaime Israel TURPO PHUÑO

Dictamina como Aprobado por Unanimidad

La defensa del tema de investigación con la nota: Doce (12)

Por lo que Si opta el Grado de Ingeniero de Minas.

Siendo las 18:20 horas, del 03 de julio del año 2018

se procede a firmar la presente.

Presidente del Jurado
MSc. Ing. Arquímedes L. VARGAS LOAIZA

Primer Miembro
MSc. Lic. Victor D. CAHUANA QUISPE

Segundo Miembro
Ing. Jesús A. DURAN ESTUCO

Tesista
Jaime Israel TURPO PHUÑO

DEDICATORIA

A Dios, por el logro y la satisfacción de esta investigación, quien me regala los dones de sabiduría para enfrentar los retos y los obstáculos que se me presentan en la vida.

A Theotokos, por acompañarme siempre.

AGRADECIMIENTOS

A Yovana Isabel Viza Quenaya titular minero de la Concesión "Moises Randy 2010", por haberme brindado la oportunidad y todas las facilidades para el normal desarrollo de la presente investigación.

A mis asesores, Dr. Ing. Marcos Luis Quispe Pérez, investigador y asesor principal del presente trabajo de tesis, por sus contribuciones, dedicación constante, apoyo incondicional y a Lic. Luz Mariel Chauca Valdez por su permanente respaldo técnico y colaboración en la ejecución de la tesis, la gran calidad humana y su confianza puesta en mi persona.

A la memoria de la mujer que me dio la vida que, a pesar de haberlo perdido a muy temprana edad, ha estado siempre acompañando desde la eternidad.

A mi familia, por el apoyo moral y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional de Moquegua, por la incalculable contribución cultural, social y científica puesta en mi formación profesional.

Al Prof. MSc. Christ Jesús Barriga Paria por sus consejos y el gran aporte técnico científico puestas en el proyecto.

Mi agradecimiento infinito a cada una de las personas que contribuyeron de una u otra forma en la presente investigación.

RESUMEN

En minería, la geotecnia ha tomado gran importancia a escala creciente, en particular en términos de proyectos de taludes. En efecto, la importancia creciente que la estabilidad de taludes en rocas y suelos, o rocas alteradas cuyo comportamiento es similar a un suelo, se debe al dimensionamiento que cada vez es más significativo el cual se impone en las excavaciones mineras a cielo abierto. Entonces, la geometría final de la labor representa la optimización de un binomio que envuelve la seguridad y la economía, así el estudio de la estabilidad de los taludes de una mina a cielo abierto implica la determinación de la geometría de excavación con acceso directo al material de interés y con la mayor seguridad posible. Esta geometría contempla la determinación de los ángulos de los taludes individuales, ángulo global, dimensiones de las bermas y alturas de banco. La presente investigación describe que, mediante la aplicación de la metodología propuesta se determinen los parámetros geométricos óptimos del talud a fin de garantizar la estabilidad del tajo superficial del área de explotación de la unidad minera “Moises Randy 2010”.

El talud en estudio se compone de material granular específicamente de clase arena. En esta unidad se ha venido desarrollando las actividades extractivas con un frente del tajo bajo condiciones empíricas, generando un banco que supera los 10 m de altura con una peligrosa verticalidad en el talud, generando un riesgo inminente para las actividades operativas de la

explotación, por lo que se ha visto la necesidad de realizar el análisis de estabilidad de este. Con base en una amplia campaña de investigación geotécnica de los materiales del frente del tajo, que comprendió la recolección de muestras representativas del talud y la realización de ensayos de laboratorio para la caracterización de los suelos y la determinación de los correspondientes parámetros de resistencia. Los resultados obtenidos fueron consistentes tanto con los datos de las investigaciones previas como con las observaciones de campo y confirmaron la adecuación de la metodología de trabajo adoptada en esta investigación, determinándose los parámetros geométricos óptimos de diseño para el talud con el fin de garantizar su estabilidad.

Palabras Claves: *Estabilidad de taludes, Geometría del talud, Equilibrio límite.*

ABSTRACT

In mining, geotechnics has taken great importance on an increasing scale, particularly in terms of slope projects. Indeed, the growing importance of the slope stability in rocks and soils or altered rocks whose behavior is similar to a soil, it is due to the dimensioning that is becoming more significant which is imposed in open-pit mining. Then, the final geometry of the work represents the optimization of a binomial that surrounds safety and economy, thus the study of the slope stability of an open pit mine involves the determination of the excavation geometry with direct access to the material of interest and with the greatest possible security. This geometry contemplates the determination of the angles of the individual slopes, global angle, dimensions of the berms and bank heights. The present investigation describes that, by means of the application of the proposed methodology, the optimal geometrical parameters of the slope are determined to guarantee the stability of the surface pit of the mining activity area of the “Moises Randy 2010” mine.

The study slope is composed by granular material specifically of sand type. In this mine the extractive activities have been developed with a pit front under empirical conditions, generating a bench that exceeds 10 m in height with a hazardous verticality in the slope, generating an imminent risk for the operational activities of the mining activity, for what has been seen the need to perform the stability analysis of this. Based on a wide

geotechnical investigation campaign of the materials of the front of the pit, that included the collection of representative samples of the slope and the accomplishment of laboratory tests for the characterization of the soils and the determination of the corresponding parameters of resistance. The results obtained were consistent both with the data of the previous investigations and with the field observations and confirmed the adequacy of the methodology of work adopted in this investigation, determining the optimal geometrical parameters of design for the slope to guarantee its stability.

Keywords: *Slope Stability, Slope geometry, Limit equilibrium.*

CONTENIDO

DEDICATORIA ..... **iii**
AGRADECIMIENTOS ..... **iv**
RESUMEN ..... **v**
ABSTRACT ..... **vii**
CONTENIDO ..... **ix**
ÍNDICE DE FIGURAS ..... **xiii**
ÍNDICE DE TABLAS ..... **xviii**
LISTA DE ABREVIATURAS Y NOMENCLATURAS ..... **xix**
LISTA DE SÍMBOLOS ..... **xxi**

INTRODUCCIÓN **1**
CAPITULO I **3**
GENERALIDADES 3
1.1. ANTECEDENTES 3
1.2. UBICACIÓN 4
1.2.1. UBICACIÓN POLÍTICA 4
1.2.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA 4
1.3. UBICACIÓN DE LA UNIDAD MINERA 5
1.4. ACCCESIBILIDAD 6
1.5. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD MINERA 7
1.5.1. PRODUCTOS GENERADOS 9
1.5.2. EQUIPOS DE MINA 9

CAPITULO II **12**
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA **12**

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA 12
2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 17
2.2.1. INTERROGANTE GENERAL 17
2.2.2. INTERROGANTES SECUNDARIAS 17
2.3. JUSTIFICACIÓN 18
2.4. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS 20
2.4.1. OBJETIVO GENERAL 20
2.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 20
2.5. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS 20
2.5.1. HIPÓTESIS GENERAL 20
2.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA 21

CAPITULO III 22
MARCO TEÓRICO 22
3.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN 22
3.2. BASES TEÓRICAS 27
3.2.1. TALUDES 27
3.2.2. GEOMETRÍA DEL TALUD EN MINA 29
3.2.3. LOS SUELOS 34
3.2.4. PROPIEDADES DE LOS SUELOS Y SU DETERMINACIÓN 36
3.2.5. CLASIFICACIÓN DE SUELOS 43
3.2.6. TIPOS DE FALLAS EN DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES 44
3.2.7. ESTABILIZACIÓN POR MODIFICACIÓN DE LA GEOMETRÍA 45
3.2.8. RESISTENCIA AL CORTE 46
3.2.9. MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES 48
3.2.10. MÉTODO DE EQUILIBRIO LÍMITE 48
3.2.11. MÉTODOS NUMÉRICOS 58
3.2.12. CONDICIONES PSEUDOESTÁTICO DE TALUDES 58
3.2.13. SOFTWARE GEOTÉCNICO (versión estudiantil) 60
3.3. MARCO CONCEPTUAL 61

CAPITULO IV 65
MARCO METODOLÓGICO..... 65
4.1. TIPO Y DISEÑO 65
4.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN 67
4.3. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES 67
4.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE 67
4.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE..... 67
4.3.3. MATRIZ OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES 67
4.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO 68
4.4.1. LA POBLACIÓN 68
4.4.2. MUESTRA 68
4.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS..... 69
4.6. MÉTODOS Y TÉCNICAS PARA LA PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS..... 70
4.6.1. MUESTREO Y ANÁLISIS EN LABORATORIO 70
4.6.2. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS..... 70
4.6.3. INTERPRETACIÓN Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS 70

CAPITULO V 73
PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS..... 73
5.1. INVESTIGACIÓN PRELIMINAR..... 73
5.1.1. GEOLOGÍA..... 73
5.1.2. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS 75
5.1.3. HIDROLOGÍA 79
5.1.4. RIESGOS SÍSMICOS..... 83
5.2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS 87
5.2.1. PROCEDIMIENTO PARA INGRESO DE PARÁMETROS AL SOFTWARE GEOTECNICO..... 87
5.2.2. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN CONDICIONES ACTUALES . 89
5.2.3. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS ÓPTIMOS DEL TALUD..... 95

5.3. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS 107
5.3.1. HIPÓTESIS GENERAL..... 107
5.3.2. PRIMERA HIPÓTESIS ESPECIFICA 110
5.3.3. SEGUNDA HIPÓTESIS ESPECIFICA..... 111

CONCLUSIONES 113
RECOMENDACIONES..... 116
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 118

ANEXOS..... 121
ANEXO 1 122
MATRIZ DE CONSISTENCIA DEL PROYECTO DE TESIS
ANEXO 2 123
DOCUMENTOS DE DERECHO MINERO
ANEXO 3 129
FICHAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS DE CARGUÍO Y EXCAVACIÓN
ANEXO 4 133
PRUEBAS DE LOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES
ANEXO 5 158
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS GEOTÉCNICOS
ANEXO 6 177
CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la concesión minera “Moises Randy 2010” 4
Figura 2. Ubicación de la unidad minera “Moises Randy 2010” 6
Figura 3. Área de explotación de la unidad minera 8
Figura 4. Secuencia de explotación 9
Figura 5. Tajo de mina “Moises Randy 2010” 15
Figura 6. Grieta de tracción en cresta del talud 16
Figura 7. Talud de origen natural, ladera 28
Figura 8. Talud artificial, excavación minera 28
Figura 9. Parámetros geométricos de un talud en mina 29
Figura 10. Ángulo interrampa 31
Figura 11. Ángulo global del talud 33
Figura 12. Diagrama triangular o de Feret 35
Figura 13. Curva granulométrica de un suelo 37
Figura 14. Tipos diferentes de curvas granulométricas 38
Figura 15. Límites de Atterberg 40
Figura 16. Cuchara de Casagrande 41
Figura 17. Prueba del límite plástico 42
Figura 18. Tipos de fallas en deslizamientos rotacionales 45
Figura 19. Métodos de estabilización de taludes por excavación 45
Figura 20. Círculo de Mohr y envolvente de falla 47
Figura 21. Métodos de cálculo de estabilidad de taludes 48
Figura 22. Ejemplo de factores de seguridad aceptables 50
Figura 23. Dovelas de la masa deslizante 51
Figura 24. Fuerzas actuantes en una dovela 52
Figura 25. Diagrama para determinar el factor de corrección 55
Figura 26. Paralelismo de las fuerzas entre dovelas en el método de Spencer 57
Figura 27. Fuerzas que actúan sobre las dovelas en el método de Spencer y Morgenstern-Price 58

Figura 28. Análisis pseudoestático de equilibrio límite para una falla curva 60
Figura 29. Diseño de investigación cualitativa 66
Figura 30. Diagrama de flujo para determinar los parámetros geométricos óptimos del talud 72
Figura 31. Cartografía geológica 35-u, IV 73
Figura 32. Mapa Geológico de la zona de interés 74
Figura 33. Muestras representativas para los ensayos 76
Figura 34. Esquema corte directo 77
Figura 35. Diagrama de ruptura de Mohr 78
Figura 36. Plano Hidrológico de la zona de interés 79
Figura 37. Esquema del nivel freático de un talud 81
Figura 38. Valor de Ru para distintas posiciones del nivel freático en un talud en suelo 82
Figura 39. Zonificación sísmica Perú 84
Figura 40. Datos de entrada al software geotécnico 88
Figura 41. Plano topográfico y ubicación del perfil 89
Figura 42. Vista del perfil estratigráfico A - A' 90
Figura 43. Factor de seguridad del talud actual por el método Fellenius en condiciones estáticas 91
Figura 44. Factor de seguridad del talud actual por el método Spencer en condiciones estáticas 92
Figura 45. Factor de seguridad del talud actual por el método Fellenius en condiciones pseudoestáticas 94
Figura 46. Factor de seguridad del talud actual por el método Spencer en condiciones pseudoestáticas 94
Figura 47. Resultados por el método Fellenius 99
Figura 48. Talud optimo seleccionado por el método Fellenius en condiciones estáticas 99
Figura 49. Talud optimo seleccionado por el método Fellenius en condiciones pseudoestáticas 100
Figura 50. Resultados por el método Spencer 102
Figura 51. Talud optimo seleccionado por el método Spencer en condiciones estáticas 102
Figura 52. Talud óptimo seleccionado por el método Spencer en condiciones pseudoestáticas 103
Figura 53. Estabilidad del talud basada en la geometría propuesta 106
Figura 54. Título de concesión minera "Moises Randy 2010" 124

Figura 55. Título de concesión minera “Moises Randy 2010” 125
Figura 56. Título de concesión minera “Moises Randy 2010” 126
Figura 57. Título de concesión minera “Moises Randy 2010” 127
Figura 58. Registro concesión minera “Moises Randy 2010” 128
Figura 59. Ficha de producto de Caterpillar 950 F 130
Figura 60. Ficha técnica cargador frontal CAT 950F..... 131
Figura 61. Ficha técnica retroexcavadora sobre ruedas WB93R..... 132
Figura 62. Análisis estático para 32° de talud por el método Fellenius... 134
Figura 63. Análisis pseudoestático para 32° de talud por el método Fellenius..... 134
Figura 64. Análisis estático para 32° de talud por el método Spencer.... 135
Figura 65. Análisis pseudoestático para 32° de talud por el método Spencer..... 135
Figura 66. Análisis estático para 35° de talud por el método Fellenius... 136
Figura 67. Análisis pseudoestático para 35° de talud por el método Fellenius..... 136
Figura 68. Análisis estático para 35° de talud por el método Spencer.... 137
Figura 69. Análisis pseudoestático para 35° de talud por el método Spencer..... 137
Figura 70. Análisis estático para 36° de talud por el método Fellenius... 138
Figura 71. Análisis pseudoestático para 36° de talud por el método Fellenius..... 138
Figura 72. Análisis estático para 36° de talud por el método Spencer.... 139
Figura 73. Análisis pseudoestático para 36° de talud por el método Spencer..... 139
Figura 74. Análisis estático para 38° de talud por el método Fellenius... 140
Figura 75. Análisis pseudoestático para 38° de talud por el método Fellenius..... 140
Figura 76. Análisis estático para 38° de talud por el método Spencer.... 141
Figura 77. Análisis pseudoestático para 38° de talud por el método Spencer..... 141
Figura 78. Análisis estático para 40° de talud por el método Fellenius... 142
Figura 79. Análisis pseudoestático para 40° de talud por el método Fellenius..... 142
Figura 80. Análisis estático para 40 de talud por el método Spencer 143
Figura 81. Análisis pseudoestático para 40° de talud por el método Spencer..... 143
Figura 82. Análisis estático para 41° de talud por el método Fellenius... 144

Figura 83. Análisis pseudoestático para 41° de talud por el método Fellenius 144
Figura 84. Análisis estático para 41° de talud por el método Spencer 145
Figura 85. Análisis pseudoestático para 41° de talud por el método Spencer 145
Figura 86. Análisis estático para 42° de talud por el método Fellenius 146
Figura 87. Análisis pseudoestático para 42° de talud por el método Fellenius 146
Figura 88. Análisis estático para 42° de talud por el método Spencer 147
Figura 89. Análisis pseudoestático para 42° de talud por el método Spencer 147
Figura 90. Análisis estático para 43° de talud por el método Fellenius 148
Figura 91. Análisis pseudoestático para 43° de talud por el método Fellenius 148
Figura 92. Análisis estático para 43° de talud por el método Spencer 149
Figura 93. Análisis pseudoestático para 43° de talud por el método Spencer 149
Figura 94. Análisis estático para 44° de talud por el método Fellenius 150
Figura 95. Análisis pseudoestático para 44° de talud por el método Fellenius 150
Figura 96. Análisis estático para 44° de talud por el método Spencer 151
Figura 97. Análisis pseudoestático para 44° de talud por el método Spencer 151
Figura 98. Análisis estático para 45° de talud por el método Fellenius 152
Figura 99. Análisis pseudoestático para 45° de talud por el método Fellenius 152
Figura 100. Análisis estático para 45° de talud por el método Spencer 153
Figura 101. Análisis pseudoestático para 45° de talud por el método Spencer 153
Figura 102. Análisis estático para 47° de talud por el método Fellenius 154
Figura 103. Análisis pseudoestático para 47° de talud por el método Fellenius 154
Figura 104. Análisis estático para 47° de talud por el método Spencer 155
Figura 105. Análisis pseudoestático para 47° de talud por el método Spencer 155
Figura 106. Análisis estático para 50° de talud por el método Fellenius 156
Figura 107. Análisis pseudoestático para 50° de talud por el método Fellenius 156
Figura 108. Análisis estático para 50° de talud por el método Spencer 157

Figura 109. Análisis pseudoestático para 50° de talud por el método Spencer 157
Figura 110. Análisis granulométrico muestra M-01 159
Figura 111. Ensayo de corte directo muestra M-01 160
Figura 112. Ensayo de corte directo muestra M-01 161
Figura 113. Densidad relativa muestra M-01 162
Figura 114. Densidad in situ muestra M-01 163
Figura 115. Ensayo Proctor modificado muestra M-01 164
Figura 116. Densidad mínima muestra M-01 165
Figura 117. Límite de consistencia muestra M-01 166
Figura 118. Contenido de humedad muestra M-01 167
Figura 119. Análisis granulométrico muestra M-02 168
Figura 120. Ensayo de corte directo muestra M-02 169
Figura 121. Ensayo de corte directo muestra M-02 170
Figura 122. Densidad relativa muestra M-02 171
Figura 123. Densidad in situ muestra M-02 172
Figura 124. Ensayo Proctor modificado muestra M-02 173
Figura 125. Densidad mínima muestra M-02 174
Figura 126. Límite de consistencia muestra M-02 175
Figura 127. Contenido de humedad muestra M-02 176
Figura 128. Certificado de calibración de sistema digital de corte directo 178
Figura 129. Certificado de calibración Balanza digital 30gr 179
Figura 130. Certificado de calibración Balanza digital 600gr 180
Figura 131. Certificado de calibración Balanza digital 6000gr 181

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas UTM de la concesión minera 5
Tabla 2. Coordenadas UTM de la unidad minera 5
Tabla 3. Accesibilidad a la unidad minera..... 7
Tabla 4. Productos generados..... 9
Tabla 5. Características del Cargador Frontal 950F 10
Tabla 6. Características Retroexcavadora sobre ruedas WB93R..... 10
Tabla 7. Características Camión Volquete NL10 10
Tabla 8. Características zaranda metálica estática de 1” 11
Tabla 9. Clasificación granulométrica de los suelos 37
Tabla 10. Símbolos de grupo (SUCS)..... 43
Tabla 11. Tipología de suelos (SUCS)..... 44
Tabla 12. Criterios de aceptabilidad típicos para F.S estático y pseudoestático..... 50
Tabla 13. Matriz de operacionalización de variables 67
Tabla 14. Leyenda de las unidades litoestratigráficas 75
Tabla 15. Ubicación de las muestras..... 76
Tabla 16. Parámetros geotécnicos 78
Tabla 17. Registro histórico de terremotos en el sur peruano 85
Tabla 18. Factor de zona Perú (E.030)..... 86
Tabla 19. Factor de suelo Perú (E.030)..... 86
Tabla 20. Resultados de los análisis del talud actual..... 95
Tabla 21. Resultados de los factores de seguridad por el método Fellenius 98
Tabla 22. Resultados de los factores de seguridad por el método Spencer 101
Tabla 23. Geometría recomendada para las dimensiones lineales 114
Tabla 24. Geometría recomendada para las dimensiones angulares.... 114
Tabla 25. Matriz de consistencia del proyecto de tesis..... 122

LISTA DE ABREVIATURAS Y NOMENCLATURAS

AASHTO	American association of state highway and transportation officials (Asociación americana de oficiales de carreteras estatales y transportes)
ANA	Autoridad nacional del agua
ASTM	American Society of Testing Materials (Sociedad americana de prueba de materiales)
CSIRO	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation
D.L.	Decreto legislativo
DREM	Dirección regional de energía y minas
D.S.	Decreto supremo
EE. UU	Estados Unidos
EM	Energía y minas
F.S	Factor de seguridad
FHWA	Federal Highway Administration (Administración federal de carreteras)
GPS	Global Positioning System (Sistema de posicionamiento global)
GRM	Gobierno regional de Moquegua
IGAC	Instrumento de gestión ambiental correctivo
IGME	Instituto geológico y minero de España
INDECI	Instituto nacional de defensa civil
INGEMMET	Instituto geológico, minero y metalúrgico
IRA	Inter-ramp angle (Ángulo interrampa)

MEF	Método de elementos finitos
MEL	Método de equilibrio limite
NTP	Normas técnicas peruanas
PCM	Presidencia del consejo de ministros
PGA	Peak ground aceleration (Aceleración máxima de suelo)
PPM	Pequeño productor minero
SUCS	Sistema unificado de clasificación de suelos
UTM	Universal Transversal de Mercator
WGS 84	World Geodetic System 1984

LISTA DE SÍMBOLOS

$A-A^{'}$	Perfil longitudinal
$A_{(\max-d)}$	Aceleración máxima de diseño de taludes
$a_{h,v}$	Aceleración máxima horizontal y vertical
B	Ancho de berma
b_r	Ancho de rampa
C	Cohesión
C_c	Coeficiente de curvatura
C_u	Coeficiente de uniformidad
D_{10}	Diámetro equivalente para el cual pasa el 10% del material obtenido de la curva granulométrica (diámetro efectivo)
D_{30}	Diámetro equivalente para el cual pasa el 30% del material obtenido de la curva granulométrica (diámetro efectivo)
D_{60}	Diámetro equivalente para el cual pasa el 60% del material obtenido de la curva granulométrica (diámetro efectivo)
Δd	Desplazamiento
$\overline{E}_{i,i+1}$	Fuerzas horizontales de interacción entre dovelas
$F_{h,v}$	Fuerzas pseudoestáticas horizontales y verticales aplicada al baricentro de la dovela
f_o	Factor de corrección

FS_{Bishop}	Factor de seguridad por Bishop
$FS_{Fellenius}$	Factor de seguridad por Fellenius
$FS_{Jambú}$	Factor de seguridad por Jambú
g	Aceleración de la gravedad (9.8 m/s²)
H	Longitud de la superficie de falla
h_b	Altura de banco
h_i	Altura de cada dovela
h_o	Altura global
h_r	Altura interrampa
hrs	Horas
h_w	Altura de la presión de poros
IP	Índice de plasticidad
$k_{h,v}$	Coeficiente sísmico horizontal y vertical
kN	Quilonewton
km	Kilómetro
km^2	Kilómetro cuadrado
L	Longitud de la superficie de deslizamiento
l_i	Longitud de deslizamiento de cada dovela
LL	Limite liquido
LP	Limite platico
m	Metro
m^2	Metro cuadrado
m^3	Metro cubico
mm	Milímetro
N	Reacción normal del suelo sobre la dovela
PGA	Peak Ground Aceleration (Aceleración Máxima del Suelo)
phi	Ángulo de fricción interna
r_u	Coeficiente de presión intersticial

S	Factor de amplificación sísmica
SP	Arena pobremente graduada
SW	Arena bien graduada
τ	Esfuerzo cortante
τ_i	Esfuerzo cortante del terreno
u_i	Presión de poros en cada dovela
und	Unidades
U_i	Fuerza producida por la presión de poros
W_i	Peso de cada dovela
W_N	Componente normal del peso de la dovela
W_T	Componente tangencial del peso de la dovela
$X_{i,i+1}$	Fuerzas verticales de interacción entre dovelas
Δx	Espesor de cada dovela
γ	Densidad del material
γ_w	Densidad del agua
Z	Profundidad del nivel freático considerada
α_b	Ángulo de banco
α_o	Ángulo global
α_r	Ángulo interrampa
σ_n	Esfuerzo normal
λ_r	Número de rampas en el talud
λ_b	Número de bancos en el talud
ϕ	Ángulo de fricción interna
%	Porcentaje
°	Grados

INTRODUCCIÓN

El análisis de la estabilidad de un talud no es tarea fácil. Las variables tales como la geometría del talud, el nivel freático, fuerzas sísmicas, la estratificación del suelo y sus propiedades de resistencia al corte, etc. brindan una serie de combinaciones de fuerzas actuantes y resistentes que serán evaluadas, sin embargo, el presente proyecto de investigación pretende armonizar estas variables y canalizarlas a través de una metodología que al ser aplicados permite garantizar su estabilidad. Todos estos aspectos se resumen en la siguiente temática.

El capítulo I, muestra los aspectos generales de la unidad mina en la que se ejecutó el presente proyecto de investigación; como los antecedentes, ubicación, descripción de la actividad minera, equipos, etc.

El capítulo II describe la problemática en la que se basa la investigación en cuanto a la necesidad de determinar parámetros geométricos del talud que garantice la estabilidad del tajo del área de explotación en la unidad minera “Moises Randy 2010”.

El capítulo III, menciona las bases teóricas importantes para apoyar y complementar el conocimiento del lector donde se describe: Los parámetros geométricos del talud, propiedades de los suelos, tipología de

fallas en suelos, métodos de estabilización, métodos de análisis de estabilidad de taludes, etc.

El capítulo IV, presenta el marco metodológico utilizado en el trabajo de investigación, basado en la metodología de investigación propuesta según (Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

El capítulo V, describe la presentación y análisis de resultados obtenidos al haber aplicado la metodología para determinar los parámetros geométricos óptimos del talud.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

"Moises Randy 2010" es una concesión minera de sustancia no metálica, cuya titular minera es Yovana Isabel Viza Quenaya, domiciliada en Calle Lima Nº 368, Urb. Cercado de la ciudad de Moquegua. Que, mediante Resolución Directoral Nº 142-2010/DREM.M-GRM (ver ANEXO 2) de fecha 17 de setiembre del 2010, la Dirección Regional de Energía y Minas del Gobierno Regional de Moquegua otorgó el Título de Concesión Minera no metálica "Moises Randy 2010", con Código Nº 68-00016-10 (Certificado Nº 006-2011/DREM.M-GRM, consentimiento de fecha 04 de febrero del 2011, ver ANEXO 2), ubicada en la Carta Nacional Moquegua (35-U), comprendiendo 100.00 hectáreas de extensión ubicado en el distrito de Torata, provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua.

Ante la confirmación de reservas aptas para el minado, el titular minero se ha acogido al proceso de formalización minera como pequeño productor minero e iniciar la explotación a los depósitos del mineral identificado.

1.2. UBICACIÓN

La concesión minera “Moises Randy 2010”, se encuentra ubicada al sur del Perú aproximadamente a 11 km. al noreste de la ciudad de Moquegua. ver Figura 1.

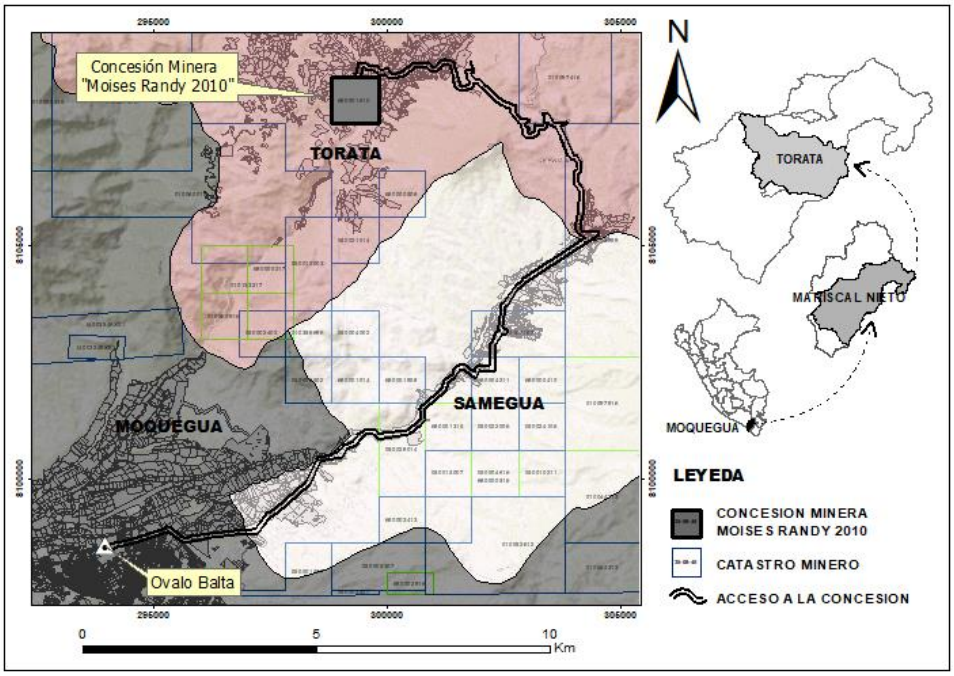


Figura 1. Ubicación de la concesión minera “Moises Randy 2010”
Fuente: INGEMMET, (2018)

1.2.1. UBICACIÓN POLÍTICA

Políticamente, la concesión minera “Moises Randy 2010”, se encuentra ubicada en el sector Coplay, distrito de Torata, provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua.

1.2.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Geográficamente, se encuentra ubicada a una altitud de 1967 m.s.n.m. limitado bajo las siguientes coordenadas.

Tabla 1. Coordenadas UTM de la concesión minera

CODIGO	VERT.	UTM WGS84, 19 S		UTM PSAD56, 19 S		AREA
		ESTE	NORTE	ESTE	NORTE	ha
68-00016-10	NE	299814.03	8108623.52	300000.00	8109000.00	100.00
	SE	299814.03	8107623.53	300000.00	8108000.00	
	SW	298814.04	8107623.53	299000.00	8108000.00	
	NW	298814.04	8108623.53	299000.00	8109000.00	

Fuente: IGAC “Moisés Randy 2010”

1.3. UBICACIÓN DE LA UNIDAD MINERA

La unidad minera se encuentra ubicado dentro de la concesión minera “Moises Randy 2010”, comprende un área de 1.0751 ha y un perímetro de 562.11 m.

El área de la unidad minera se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas UTM.

Tabla 2. Coordenadas UTM de la unidad minera

VERT.	UTM WGS84, 19 S		UTM PSAD56, 19 S	
	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE
P1	299434.0000	8108231.0000	299636.9680	8108594.6820
P2	299457.7644	8108215.5015	299660.7330	8108579.1830
P3	299476.8870	8108171.5615	299679.8550	8108535.2420
P4	299503.1056	8108185.7977	299706.0740	8108549.4790
P5	299522.0000	8108151.0000	299724.9690	8108514.6800
P6	299518.6304	8108146.0328	299721.5990	8108509.7130
P7	299498.9686	8108162.4830	299701.9370	8108526.1640
P8	299487.1932	8108153.0434	299690.1620	8108516.7240
P9	299503.0763	8108127.6608	299706.0450	8108491.3410
P10	299492.0000	8108114.0000	299694.9690	8108477.6800
P11	299498.0000	8108097.0000	299700.9690	8108460.6800
P12	299464.0000	8108087.0000	299666.9680	8108450.6800
P13	299402.0000	8108074.0000	299604.9670	8108437.6800
P14	299382.5014	8108154.9192	299585.4680	8108518.6000
P15	299438.8832	8108166.7063	299641.8510	8108530.3870

Fuente: IGAC “Moises Randy 2010”

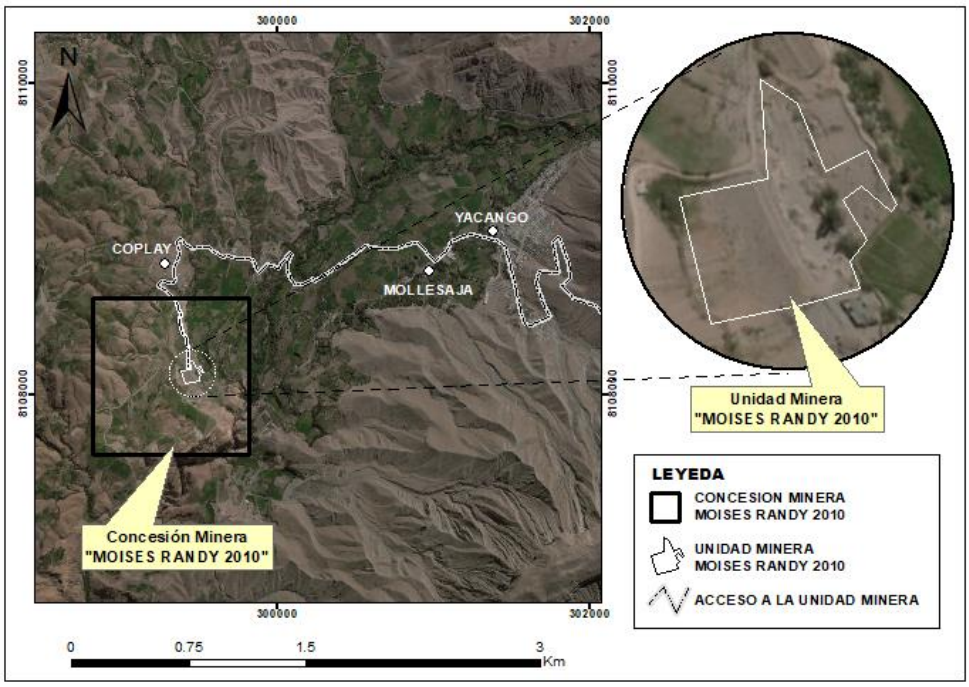


Figura 2. Ubicación de la unidad minera “Moises Randy 2010”
Fuente: Elaborada para la investigación

1.4. ACCCESIBILIDAD

El acceso es por la carretera interoceánica sur. Tomando la ruta que parte desde la ciudad de Moquegua hacia Puno, pasando directamente por el distrito de Samegua llegando a Yacango y el sector Mollesaja, todos estos tramos están completamente asfaltado.

Continuando con la ruta se toma una trocha carrozable partiendo desde el desvió Yacango - Mollesaja que conecta con el centro poblado de Coplay, luego se sigue una vía hacia el punto central donde se encuentra la unidad minera localizada bajo la siguiente coordenada.

- **Este** : 299444 m E
- **Norte** : 8108133 m S
- **Datum** : WGS 84
- **Proyección** : UTM
- **Zona** : 19 Sur
- **Banda** : K

El tiempo total para llegar a la actividad minera partiendo desde la ciudad de Moquegua es de aproximadamente 35 min.

Tabla 3. Accesibilidad a la unidad minera

TRAMO	DISTANCIA	VÍA	CONDICIÓN	TIEMPO
Moquegua - Samegua	4.34 km	Av. Balta-Interoceánica Sur	Asfaltado	5 min
Samegua - Yacango	18.92 km	Interoceánica Sur	Asfaltado	20 min
Yacango - Mollesaja	0.55 km	Acceso local	Asfaltado	02 min
Mollesaja - Coplay	2.38 km	Acceso local	Trocha Carrozable	05 min
Coplay - Zona de Operaciones	0.84 km	Acceso local	Trocha Carrozable	03nmin
TOTAL	**27.03 km**		**TOTAL**	**35 min**

Fuente: IGAC “Moises Randy 2010”

Cercano al centro poblado de Coplay, el área de operaciones se encuentra aproximadamente a 400 m del rio Torata; esta área se encuentra rodeada de predios de cultivos.

1.5. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD MINERA

Debido a la forma en que se encuentra el depósito de agregados, la actividad minera se realiza a tajo abierto. En la cantera de agregados no se realiza la etapa de preparación, se realiza las actividades de desarrollo, explotación y selección del material.

El área de explotación de la actividad minera es de 2724.69 m² con un perímetro de 227.72 m., donde se ubica el tajo superficial de explotación.

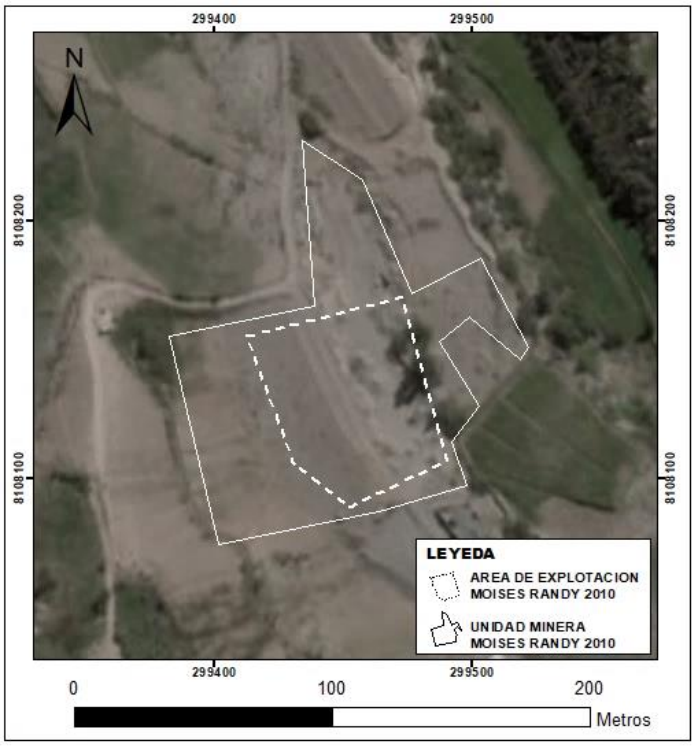


Figura 3. Área de explotación de la unidad minera
Fuente: IGAC “Moises Randy 2010”

Según el plan de minado la explotación minera se desarrolla a una producción diaria de 15 m^3/día, la reserva se calcula a 33840 m^3, a un rendimiento del 80% la vida operativa es de 8 años.

El trabajo de explotación consiste en la extracción de material agregado específicamente arena, ya que, debido a la formación del yacimiento, que consiste en material aluvial proveniente ya sea de un rio o cuenca, que depositó materiales como arena y arena fina, además de contar con un bajo contenido de limo, arcillas etc.

La estratificación se presenta en forma de mantos por lo que se explota según se muestra en la Figura 4, la cual brinda mayor seguridad en las operaciones de minado.

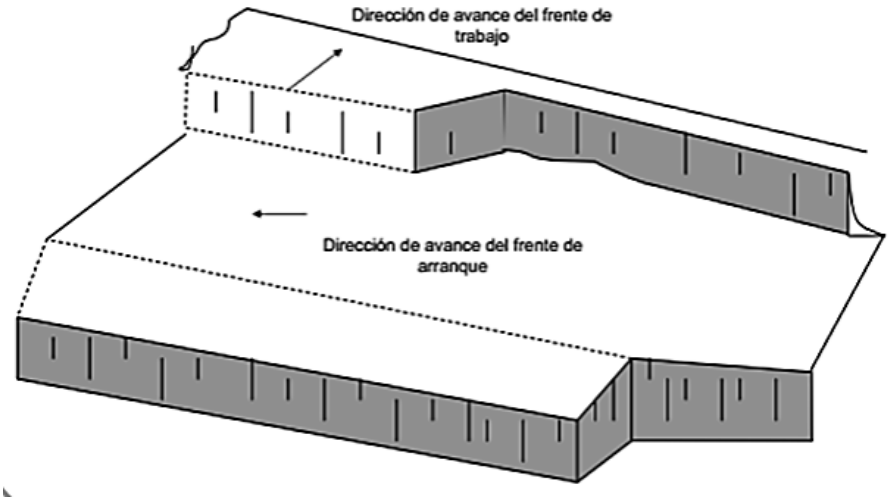


Figura 4. Secuencia de explotación
Fuente: IGAC “Moises Randy 2010”

1.5.1. PRODUCTOS GENERADOS

Se obtienen los siguientes materiales provenientes del área de seleccionado.

Tabla 4. Productos generados

PRODUCTO	UNIDAD	CANTIDAD DIARIA	CANTIDAD MENSUAL
Arena Gruesa < ¼”	m^3	15	352.5

Fuente: IGAC “Moises Randy 2010”

1.5.2. EQUIPOS DE MINA

Cargador frontal y retroexcavadora: Para realizar el escarpe y la extracción, se usa 1 cargador frontal y una retroexcavadora.

Tabla 5. Características del Cargador Frontal 950F

CARGADOR FRONTAL	
Marca	Caterpillar
Modelo	950F
Capacidad cucharon	3.50 m^3
Altura máxima de carga	4.50 m
Altura de descarga	2.90 m
Potencia	170 HP

Fuente: IGAC “Moises Randy 2010”

Tabla 6. Características Retroexcavadora sobre ruedas WB93R

RETROEXCAVADORA SOBRE RUEDAS	
Marca	Komatsu
Modelo	WB93R
Capacidad cucharon	1.03 m^3
Altura máxima de excavación	5.80 m
Altura máxima de carga	4.20 m
Potencia	102 HP

Fuente: IGAC “Moises Randy 2010”

Camión: La faena cuenta con 1 camión, con tolva de 15 m^3 de capacidad, para el transporte de materia prima desde la zona de acopio de los productos finales; y su transporte hacia su destino final en la ciudad de Moquegua, Torata, etc.

Tabla 7. Características Camión Volquete NL10

CAMION VOLQUETE	
Marca	Volvo
Modelo	NL10
Capacidad de Tolva	15.0 m^3
Carrocería	Volquete
Potencia	400 HP
Combustible	Petróleo

Fuente: IGAC “Moises Randy 2010”

Zaranda metálica estática: Sirve para la separación de la arena de materiales no deseados, con apertura de malla de 1”.

Tabla 8. Características zaranda metálica estática de 1”

ZARANDA METALICA ESTÁTICA	
Marca	Nacional
Modelo	S/N
Largo	3.00 m
Ancho	2.50 m
Abertura de malla	1"
Alimentación	Mecánica (Con Cargador y/o Retroexcavadora)

Fuente: IGAC “Moises Randy 2010”

CAPITULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Los fenómenos de inestabilidad de taludes cobran muchas vidas y múltiples daños en la actividad minera, estas llegan a alcanzar perdidas por grandes sumas de dinero cada año en nuestro país y en muchas regiones alrededor del mundo. Sus efectos, pueden causar la paralización parcial o total de los proyectos; sin embargo, pocos son conscientes de su importancia. En gran parte las pérdidas causadas por deslizamientos se pueden evitar si el problema se detecta con anterioridad y se toman medidas de prevención o control.

La inestabilidad de taludes son fenómenos que tienen que ser estudiados siendo uno de los factores primordiales la geometría que se propone y ejecuta, Así Mendoza (2017), analizó de estabilidad de talud de más de 100 metros de suelos en la mina Antapaccay y en base a los cálculos de factores de seguridad requeridos se determinó los parámetros geométricos de diseño. Lopez (2016) analizó la estabilidad del talud final Este del tajo, para una pendiente superior a 45 grados, sus resultados preliminares indicaron factores

de seguridad por debajo del criterio de aceptabilidad establecido. Modificando el diseño a 60 grados del talud hizo estable para cada uno de los dominios estructurales definidos en la mina. También Fernández (2017) estudió la influencia de la variación de parámetros geométricos (ángulo, altura de banco) y geotécnicos (ángulo de fricción, cohesión) sobre el factor de seguridad de un talud.

La actividad minera en la región Moquegua, específicamente la pequeña minería y minería artesanal, desarrolla sus actividades extractivas, en muchos casos sin criterio técnico profesional, lo hacen en forma empírica evadiendo las normas ambientales sin tomar muchas veces en cuenta los protocolos de seguridad e higiene minera.

Ante esta problemática que inminentemente conlleva a riesgos potenciales contra la seguridad y salud de los trabajadores, riesgos de ocasionar impactos potenciales al medio ambiente y hasta contaminación ambiental en algunos casos; es que las autoridades del sector como incentivo a que sigan desarrollando la actividad minera y logren su formalización, es decir obtengan los permisos correspondientes que avalen el desarrollo de la actividad con responsabilidad social y ambiental. Este proceso de formalización minera se desarrolla de acuerdo a los lineamientos legales que tuvieron sus inicios con el Decreto Legislativo N° 1105, que establece disposiciones para el proceso de formalización de las

actividades de pequeña minería y minería artesanal, proceso que culminó el 19 de abril del 2014; asimismo mediante Decreto Supremo N° 029-2014-PCM, que aprueba las estrategias de saneamiento de la pequeña minería y de la minería artesanal, que permitió con normas complementarias ampliar el proceso de formalización hasta diciembre del 2016; la normatividad vigente que permite continuar en el Proceso Integral de Formalización Minera de la pequeña minería y minería artesanal son el Decreto Legislativo N° 1293 que declara de interés nacional la formalización de las actividades de la pequeña minería y minería artesanal, Decreto Legislativo N° 1336 que establece disposiciones para el proceso de formalización minera integral y el Decreto Supremo N° 018 -2017-EM que establecen disposiciones complementarias para la simplificación de requisitos y la obtención de incentivos económicos en el marco del Proceso de Formalización Minera Integral; según este marco normativo el proceso de formalización minera debe concluir el 1 de agosto del 2020.

El titular minero de la Concesión “Moises Randy 2010”, se acogió al proceso desde el 2012 manteniendo esta condición hasta la fecha tiempo en el cual viene cumpliendo paso a paso los requerimientos de este proceso.

Actualmente se encuentra en espera de la resolución de aprobación del Instrumento de Gestión Ambiental Correctivo (IGAC),

asimismo se encuentra sujeta a fiscalización minera. Este proceso también busca corregir las malas prácticas mineras aplicadas en la actualidad en el proceso extractivo de la unidad minera.

La actividad minera en la unidad “Moises Randy 2010”, consiste en la explotación del material no metálico, materiales de construcción de tipo arena. Por las características del yacimiento la explotación viene ejecutándose empleando el minado superficial (método de explotación a tajo abierto tipo cantera) cuya geometría del tajo actual se compone por banco que supera los 10 m de altura con una verticalidad en la pendiente del talud ver Figura 5, estas características geométricas del talud resulta ser el principal problema para que se pueda desarrollar la presente investigación ya que dan origen a la inestabilidad del talud y condicionan las actividades operativas de la explotación.

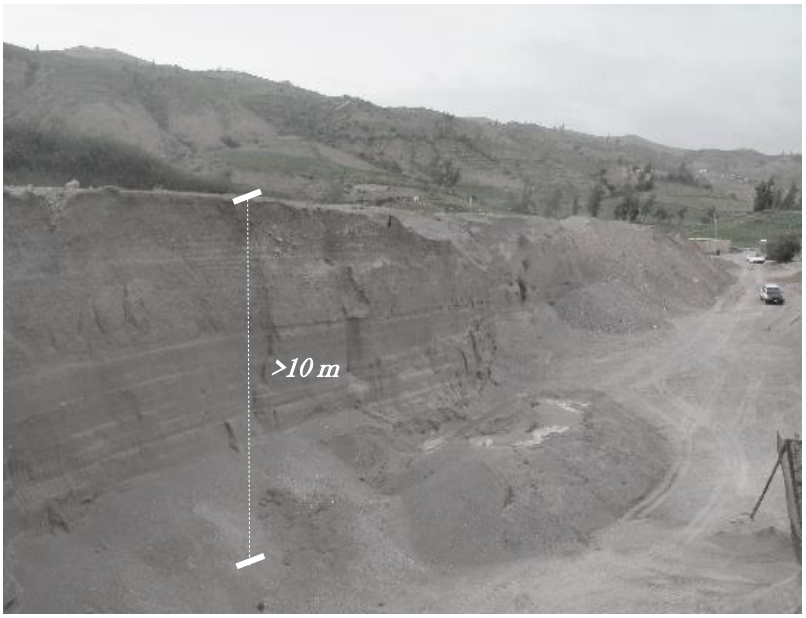


Figura 5. Tajo de mina “Moises Randy 2010”
Fuente: Administración “Moises Randy 2010”

Se ha identificado grietas de tracción en la parte superior de talud. Estas grietas dan claros indicios a que pueda fallar el terreno actual. Ver Figura 6, ya que algún fenómeno de deslizamiento pueda ocurrir en cualquier momento si no se remedia la inestabilidad.



Figura 6. Grieta de tracción en cresta del talud
Fuente: Administración “Moises Randy 2010”

Las causas del problema pueden ser múltiples, pero para la presente investigación se ha considerado la inadecuada actividad de explotación que se ha desarrollado en la unidad minera para generar un tajo sin pendiente y sin conformar bancos; para lo cual se tiene como objeto principal de investigación la inclinación topográfica del tajo y la altura de banco, ya que son los principales factores que condicionan los procesos de deslizamiento por su influencia en la inestabilidad del tajo; tal es así que son parámetros geométricos utilizados consecuentemente en la mayoría de los métodos de cálculo de estabilidad de taludes.

El campo de la estabilidad de taludes, en su desarrollo a través de los años ha tendido a ser calculable en términos numéricos tan precisos como pueda serlo cualquier otra estructura; es por ello que se ha visto por conveniente ejecutar el cálculo de estabilidad considerando las características geotécnicas para cada unidad litológica con el objetivo de obtener los nuevos parámetros geométricos del talud. El cambio de geometría del talud es un método de estabilización que permite redistribuir las fuerzas debidas al peso de los materiales obteniéndose una nueva configuración más estable (Gonzales de Vallejo et al., 2003), por ello se hace necesario determinar esos cambios geométricos para lograr la estabilidad de taludes en la operación minera.

2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.2.1. INTERROGANTE GENERAL

¿Cómo determinar los parámetros geométricos óptimos del talud para garantizar la estabilidad del tajo superficial del área de explotación en la unidad minera “Moises Randy 2010”?

2.2.2. INTERROGANTES SECUNDARIAS

- ¿Se cree que estudiando el comportamiento del suelo se puede determinar el ángulo de banco óptimo del área de explotación en la unidad minera “Moises Randy 2010”?

- ¿Cómo reducir los riesgos de deslizamientos en el talud del área de explotación en la unidad minera “Moises Randy 2010”?

2.3. JUSTIFICACIÓN

Con la ejecución del presente proyecto se logrará plasmar los conocimientos teóricos y prácticos adquiridos en la Universidad, ya que está enfocado en la experiencia y aplicación de los conocimientos específicos en el campo laboral, las razones mencionadas son las que me permiten impulsar el desarrollo del presente proyecto de investigación.

Esta investigación tiene como objetivo principal determinar los parámetros geométricos óptimos del talud para garantizar la estabilidad del tajo superficial del área de explotación en la unidad minera “Moises Randy 2010”, se utilizará software de análisis geotécnico que calcula los factores de seguridad para distintas geometrías del talud, incluye los criterios de rotura: Mohr-Coulomb y ofrece diversos métodos de análisis, tales como: Fellenius, Bishop, Spencer, entre otros.

El presente estudio surge ante la necesidad del titular minero en encontrar las mejores alternativas técnicas para garantizar la estabilidad del tajo actual de explotación. Se pretende proponer un

nuevo diseño geométrico que brinde una alternativa para la solución que afronta la cantera.

En referencia al informe Cantera Moises Randy 2010, (2014) quien ha realizado una evaluación de estabilidad física de componentes mineros de la cantera “Moises Randy 2010”, a fin de cumplir lo exigido por las autoridades competentes. Los datos de ingeniería considerados en el informe presentado han sido en base a presunciones razonables. La información corresponde al IGAC presentado en su primera versión a la GREM Moquegua, los cálculos se hicieron en base a datos teóricos, el estudio fue retirado. El trabajo de investigación que se presentó supera las dificultades de anticrisis teóricos por lo que se propone solución en base a datos reales.

Al definir los parámetros geométricos del talud se podrán plasmar los elementos que corresponden a posteriores estudios tales como el diseño y dimensionamiento geométrico de la mina, la determinación del ritmo de producción, secuencia de extracción, vida operativa de la mina, etc. Cabe resaltar que los estudios mencionados son en parte requisitos fundamentales y necesarios para obtener la categorización de Pequeño Productor Minero (PPM).

De esta manera, el estudio aportará, conocimientos que pueden ser utilizados por alumnos y profesionales interesados en el campo de la estabilidad de taludes, además para demostrar que en los

pequeños productores mineros de la región Moquegua se puede desarrollar minería responsable.

2.4. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS

2.4.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar los parámetros geométricos óptimos del talud para garantizar la estabilidad del tajo superficial del área de explotación en la unidad minera “Moises Randy 2010”.

2.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar el comportamiento del suelo para determinar el ángulo de banco óptimo del área de explotación en la unidad minera “Moises Randy 2010”.
- Determinar la altura de banco óptimo para el tajo superficial del área de explotación en la unidad minera “Moises Randy 2010”, con la finalidad de reducir los riesgos de deslizamientos.

2.5. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

2.5.1. HIPÓTESIS GENERAL

Mediante la aplicación de la metodología del diagrama de flujo propuesto se determinará los parámetros geométricos óptimos del talud a fin de garantizar la estabilidad del tajo superficial del área de explotación en la unidad minera “Moises Randy 2010”.

2.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA

- Estudiando el comportamiento del suelo se determinará el ángulo de banco óptimo para el tajo superficial del área de explotación en la unidad minera “Moises Randy 2010”.
- Al determinar la altura de banco óptimo para el tajo superficial del área de explotación en la unidad minera “Moises Randy 2010”, se reducirán los riesgos de deslizamientos.

CAPITULO III

MARCO TEÓRICO

3.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Gran parte de las investigaciones sobre la estabilidad de taludes, tanto en el ámbito nacional como internacional, están orientadas a aspectos técnicos relacionados con la actividad minera y obras de construcción civil. En muchas de estas investigaciones se han optado por modificar la geometría de sus taludes para lograr su estabilidad. Asimismo, existen trabajos utilizando diferentes métodos de estabilización como el uso de drenajes, el aumento de la resistencia del terreno mediante la introducción de elementos estructurales resistentes en el talud, Construcción de muros u otros elementos de contención.

En cuanto a los métodos de estabilización; muchas alternativas en obras civiles presentan buenas soluciones para la estabilidad del talud, más éstas no se ven reflejados en la actividad minera ya que las aplicaciones de estos métodos demandan una inversión económica adicional. La mayoría de titulares mineros de la región Moquegua para estabilizar sus taludes recurren a modificar la

geometría de sus taludes disminuyendo así las fuerzas desestabilizadoras con la finalidad de contribuir con la seguridad en las operaciones.

En el ámbito nacional existen investigaciones, así:

Mendoza (2017) llevó a cabo un estudio para calcular factores de seguridad y determinar los parámetros de diseño de taludes de suelos de más de 100 metros de altura en la mina Antapaccay ubicado en la provincia de Espinar, región Cusco. En cuanto a la metodología se eligió aquella sección que superaba ligeramente los criterios de aceptabilidad, F.S > 1.3 en condiciones estáticas y F.S > 1.0 en condiciones pseudoestáticas. Los estudios fueron realizados por equilibrio limite. Los métodos empleados para el cálculo de factores de seguridad fueron el de Bishop, Spencer y Morgenster-Price; cabe resaltar que para ejecutar los cálculos se recogió 6 muestras de suelos de diferentes zonas del área de estudio; los ensayos elementales que se emplearon en laboratorio fueron: humedad, peso específico, límites de consistencia, granulometrías, permeabilidad, corte directo con el objetivo de identificar sus principales características geotécnicas; finalmente se determinó los siguientes parámetros geométricos: 37° de ángulo de banco, 28° de ángulo global, 10 m. de altura de banco y 4.2 m de ancho de banco, además se incluyó una plataforma de 20 m de ancho a mitad del talud. Los factores de seguridad mínimo a nivel de

banco resultaron 1.937 y 1.419 a nivel global en condiciones estáticas; mientras que, en condiciones pseudoestáticas 1.525 a nivel de banco y 1.084 a nivel global.

Lopez (2016) analizó la estabilidad del talud final Este del tajo de una mina de caolín ubicado en Francia, para una pendiente superior a 45°. La metodología empleada consistió en hacer un análisis computacional, con la utilización de softwares de especialidad, se realizaron los trabajos de modelamiento geotécnico, se utilizó en esta etapa, la información recopilada de campo (in-situ), obtenidos durante los trabajos de mapeo geotécnico en el tajo. Para los trabajos de laboratorio se realizaron ensayos con el objetivo de determinar las propiedades físicas y mecánicas de la roca. Finalmente, para el cálculo de la estabilidad del talud se empleó el método de equilibrio límite (Janbu), haciendo uso del software especializado y así obtuvo un diseño de 60° de talud que hace estable para cada uno de los dominios estructurales definidos en la mina.

Cantera Moises Randy 2010 (2014) ha realizado una evaluación de estabilidad física de componentes de la cantera Moises Randy 2010. La metodología empleada para el modelamiento de los taludes se usó el programa de cómputo especializado. Para calcular el factor de seguridad se usó el concepto de equilibrio límite, método de Bishop. Se ha considerado

que las propiedades de los materiales que conforman el perfil del tajo final son homogéneas e isotrópicas y los datos de ingeniería incluidos en este informe han sido obtenidos a partir de presunciones razonables e información bibliográfica proporcionada por la Cantera, para ello se consideró las siguientes características geotécnicas del yacimiento: Densidad 1.95 KN/ m^3, cohesión de 0.6 KPa y ángulo de fricción de 35.44°. Los resultados de los factores de seguridad obtenidos de los análisis de estabilidad realizados para los casos estático y pseudoestático, según correspondan son: En condiciones estáticas 1.89 y pseudoestático de 1.85, estos valores han sido mayor que el recomendado para este tipo de tajo de 1.1 por lo tanto se ha considerado el tajo final estable. Finalmente, los parámetros obtenidos son: altura de banco 5 m. Banqueta de 3 m, un ángulo de cara de banco de 32° y un ángulo interrampa de 24°.

En el ámbito exterior existen investigaciones, así:

Morales & Valiente (2017) de la Universidad de Cartagena; Colombia ha evaluado geotécnicamente la inestabilidad de los taludes donde se localiza el Jardín Social Lipaya al suroccidente de la ciudad de Barranquilla, mediante el análisis de los factores de seguridad por los métodos de equilibrio límite para determinar el nivel de riesgo de la zona y diseñar conceptualmente obras de mitigación y control. Los factores de seguridad obtenidos de la

presente investigación de las superficies de falla para cada uno de los métodos varían entre 0.8 y 1.3.

Fernández (2017) de la Universidad Politécnica de Cartagena; Colombia ha estudiado la influencia de la variación de parámetros geométricos y geotécnicos sobre el factor de seguridad de un talud, además evaluó el Factor de Seguridad frente la estabilidad de un talud mediante el método de rebanadas a partir de la teoría del equilibrio límite utilizando el software Geoslope.

Gutiérrez & Vélez (2016) de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña; Colombia analizó la estabilidad de taludes por medio de un método no determinístico, en el cual el software SLOPE/W con ayuda del método Montecarlo asoció el factor de seguridad a una probabilidad de falla. Se realizaron 12160 simulaciones de taludes delimitados por su altura, ángulo de inclinación, altura piezométrica y parámetros resistentes del suelo. Dichos cálculos y análisis se realizaron a través del software SLOPE/W con el método de Morgenstern-Price.

3.2. BASES TEÓRICAS

3.2.1. TALUDES

Se entiende como taludes a cualquier superficie inclinada, de un macizo rocoso o suelo, que forme un ángulo con la horizontal (Gerscovich, 2013), los taludes se clasifican en taludes naturales, que se presentan en forma de laderas, y en taludes artificiales que pueden ser los cortes y terraplenes. (Juárez, 1973).

La medida de la inclinación de un talud o ladera. Puede medirse en grados (°), en porcentaje (%) o en relación (H/1), en la cual H es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical.

3.2.1.1. Taludes naturales

Los taludes naturales son las que están conformados por suelos residuales, coluviales y rocas que forman laderas. Los suelos de origen residual generalmente permanecen en el lugar donde se formaron producto del intemperismo químico y físico sobre una roca. Las laderas y taludes se estudian de forma conjunta.



Figura 7. Talud de origen natural, ladera
Fuente: Llorente, (2015)

3.2.1.2. Taludes artificiales

Los taludes artificiales resultan como consecuencia de la intervención humana en una obra de ingeniería cortes, excavaciones, construcción de terraplenes, etc.



Figura 8. Talud artificial, excavación minera
Fuente: Llorente, (2015)

3.2.2. GEOMETRÍA DEL TALUD EN MINA

Los parámetros que definen un talud en mina son las que se muestran en la Figura 9.

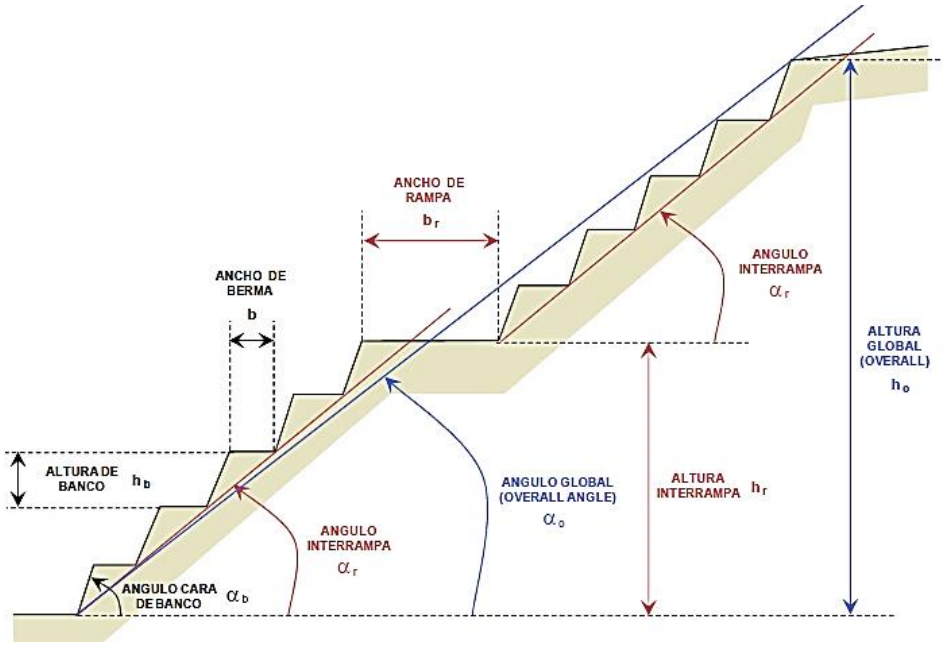


Figura 9. Parámetros geométricos de un talud en mina
Fuente: Morales, (2009)

3.2.2.1. Altura de banco (h_b)

Es la distancia vertical entre dos niveles o, lo que es lo mismo, entre el pie y la cabeza de un talud (Herrera, 2007).

Las alturas de los bancos, fundamentalmente se definen por criterios operativos (Mendoza, 2017). Ya que se busca aprovechar la eficiencia de los equipos de carguío y/o de excavación descritas en sus especificaciones técnicas.

3.2.2.2. Ángulo de banco (α_b)

Es la medida de la inclinación de la cara de banco. En el ámbito minero se mide en grados (°). Generalmente este

parámetro queda definido por las características geotécnicas del terreno a nivel de banco, pero también depende fuertemente de la acción sísmica que se desarrolla en la zona (Morales, 2009).

3.2.2.3. Ancho de berma (B)

El ancho de berma es la distancia entre el pie del banco y la cresta que pertenecen al mismo nivel (Mendoza, 2017).

El ancho de berma se define de acuerdo al criterio original propuesto por Ritchie (1963) y modificado por Evans y Call en (1992).

$$B = 0.2h_b + 2.0 \text{; para } h_b < 9.0m \quad (1)$$

$$B = 0.2h_b + 4.5 \text{; para } h_b > 9.0m \quad (2)$$

Donde:

- B es ancho de la berma (m).
- h_b es la altura de banco (m).

3.2.2.4. Altura interrampa (h_r)

Corresponde a la altura máxima permisible entre rampas (Morales, 2009), este valor queda definido por el producto de la altura de banco y el número de bancos que se componen entre rampas.

3.2.2.5. Ángulo interrampa (α_r)

Corresponde a la inclinación respecto a la horizontal de una línea imaginaria que une las patas de los bancos (Morales, 2009), este valor es utilizado en el plan minero. El ángulo se determina

trigonométricamente a partir de la definición del ancho de berma, ángulo y altura del banco como se muestra en la Figura 10, la abreviación para el ángulo interrampa es IRA.

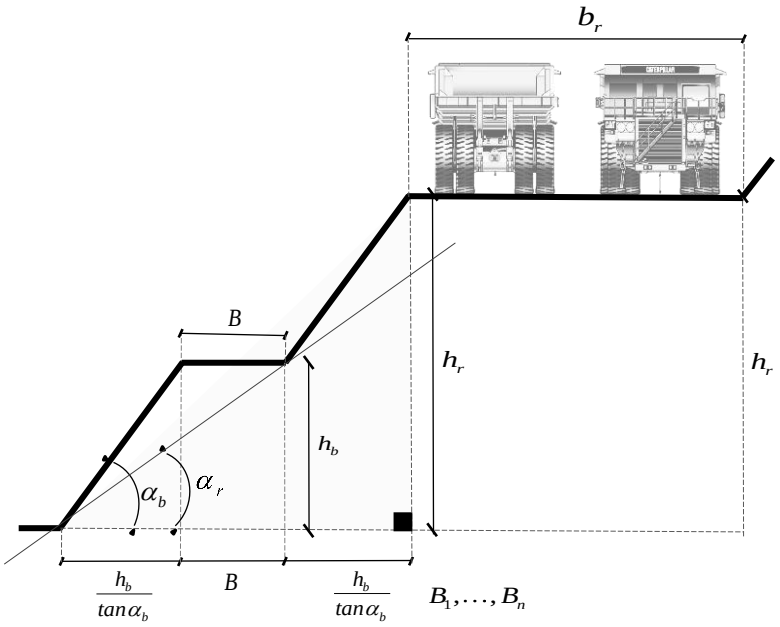


Figura 10. Ángulo interrampa
Fuente: Elaboración propia

Del triángulo rectángulo formado por el ángulo α_r .

$$tan\alpha_r = \frac{h_b}{\frac{h_b}{tan\alpha_b} + B} \tag{3}$$

Por lo tanto, el ángulo interrampa queda definido por:

$$\alpha_r = tan^{-1}.\left(\frac{h_b}{h_b \cdot cot\alpha_b + B}\right) \tag{4}$$

Donde:

- α_r es el ángulo interrampa (°).
- α_b es el ángulo de banco (°).
- h_b es la altura de banco (m).
- B es el ancho de berma (m).

3.2.2.6. Ancho de rampa (b_r)

Este parámetro se define de acuerdo a condiciones operacionales y de seguridad, según el tipo de equipo de transporte (Salas, 2011).

El artículo 262° del Decreto Supremo N° 024-2016-EM exige rampas o vías amplias de no menos tres (3) veces el ancho del vehículo más grande de la mina, en vías de doble sentido y no menos de dos (2) veces de ancho en vías de un solo sentido.

3.2.2.7. Ángulo global (α_o)

Es el ángulo que se encuentra conformado por la horizontal inferior y la línea imaginaria que une el pie de banco más inferior con la cresta del banco más superior (Mendoza, 2017), este valor se determina geométricamente a partir de parámetros ya definidos como la altura de banco, ángulo de banco, berma, ancho de rampa, numero de bancos y numero de rampas. La ecuación propuesta para calcular el ángulo global se ha desarrollado empíricamente por el autor de esta tesis, la misma señala que es aplicable para cualquier conjunto de parámetros geométricos que conforma un talud global.

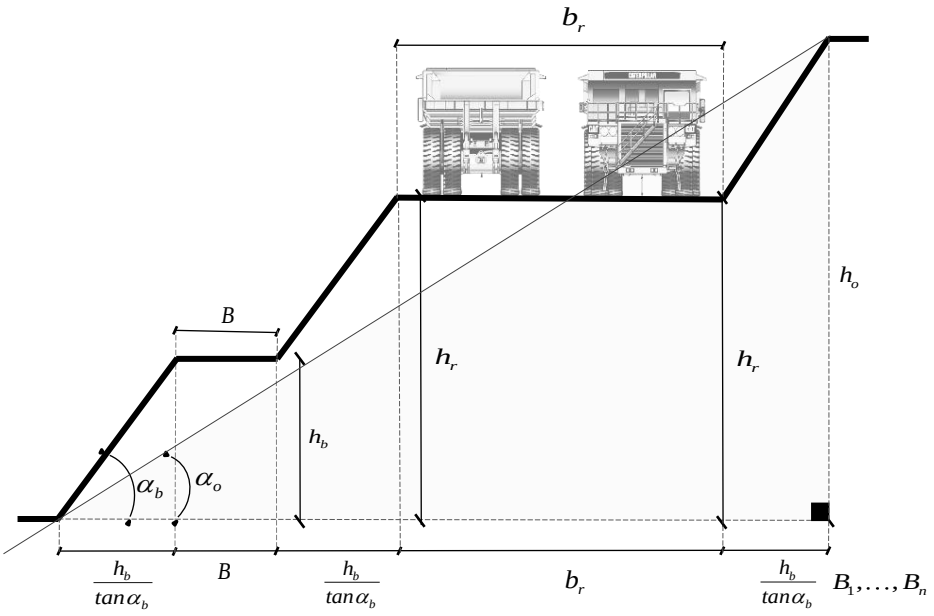


Figura 11. Ángulo global del talud
Fuente: Elaboración propia

Del triángulo rectángulo formado por el ángulo α_o .

$$tan\alpha_o = \frac{\lambda_b \cdot h_b}{\lambda_b \frac{h_b}{tan\alpha_b} + (\lambda_b - \lambda_r - 1) \cdot B + \lambda_r \cdot b_r} \quad (5)$$

Por lo tanto, el ángulo global queda definido por:

$$\alpha_o = tan^{-1}.\left[\frac{\lambda_b \cdot h_b}{\lambda_b \cdot h_b \cdot cot\alpha_b + (\lambda_b - \lambda_r - 1)B + \lambda_r \cdot b_r}\right] \quad (6)$$

Donde:

- α_o es el ángulo global (°).
- α_b es el ángulo de banco (°).
- h_b es la altura de banco (m).
- B es el ancho de berma (m).
- b_r es el ancho de rampa (m).
- λ_r es el número de rampas en el talud (und).
- λ_b es el número de bancos en el talud (und).

3.2.2.8. Altura global (h_o)

Corresponde a la altura de la pared del tajo, medida desde el pie del banco más inferior a la cresta del banco más superior, este valor es calculado por la suma de las alturas interrampas o el total de número de bancos por su altura.

3.2.3. LOS SUELOS

Los suelos son producidos por el intemperismo tanto física como química de rocas que afloran en la superficie terrestre (Bañón & Beviá, 2000). Los suelos que permanecen donde se forman se les denominan **suelos residuales**, de otro modo existen suelos que son transportados por medio de agentes físicos y son depositados hacia otros lugares, se les denomina **suelos transportados**. Según el agente de transporte, se subdividen en tres categorías principales: Los aluviales o fluviales son depositados por agua en movimiento, los glaciales son depositados por acción glaciar y los eólicos depositados por acción del viento (Das, 2001).

La clasificación composicional de un suelo lo define el tamaño de las partículas que lo componen.

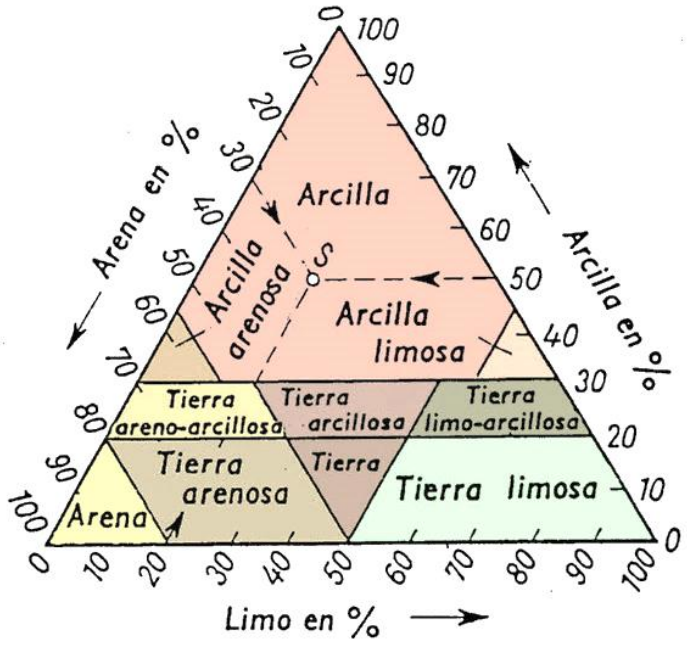


Figura 12. Diagrama triangular o de Feret
Fuente: Bañón & Beviá, (2000)

3.2.3.1. Suelos granulares

Estos suelos están formados por partículas agregadas y sin cohesión. Las características granulométricas lo condicionan el tipo de transporte, si el suelo es de origen eólico presentará un tamaño de grano uniforme, si el trasporte es fluvial presentará una granulometría progresiva, de otro modo, en ambientes glaciares no existe un patrón granulométrico definido.

Este tipo de suelos granulares se caracterizan por tener una elevada permeabilidad y buena capacidad portante, lo que facilita una inmediata evacuación del agua en presencia de cargas externas. En esta clase de suelos se distinguen dos grandes grupos: Las gravas y las arenas, la división es definida por su granulometría.

Las propiedades geotécnicas y resistentes de los suelos granulares son principalmente determinadas por el ángulo de rozamiento interno entre partículas (Bañón & Beviá, 2000).

3.2.3.2. Suelos cohesivos

En contraste con los anterior, este tipo de suelos se caracteriza por constituir partículas de grano fino (inferior a 0.08 mm.). De las cuales se establece una subdivisión en dos grandes grupos: los limos que tienen origen físico formados por partículas de grano muy fino (entre 0.02 y 0.002 mm) y arcillas compuestas por partículas microscópicas provenientes de la meteorización química que afecta a las rocas.

3.2.3.3. Suelos orgánicos

Son aquellos suelos formados por la descomposición de restos de materia orgánica ya sean de origen animal o vegetal predominando esta última cubriendo generalmente los primeros metros de la superficie.

3.2.4. PROPIEDADES DE LOS SUELOS Y SU DETERMINACIÓN

3.2.4.1. Distribución granulométrica

Para conocer la proporción de cada material que tiene un suelo se realizan análisis granulométricos. La finalidad de este análisis es de determinar las proporciones de los distintos tamaños de grano existentes en una muestra representativa, o, dicho de otro modo, su granulometría. Para realizar este ensayo

se emplea una serie de tamices de malla tipo cuadrada y abertura decreciente, por los cuales se hace pasar una cantidad fijada de suelo, quedando retenida en cada tamiz la fracción de suelo cuyo tamaño de partículas tengan sean superior a la abertura de dicho tamiz. Una vez realizado el tamizado se construye una gráfica semilogarítmica donde se representa el porcentaje en peso de muestra retenida o el que pasa para cada abertura de tamiz (Bañón & Beviá, 2000).

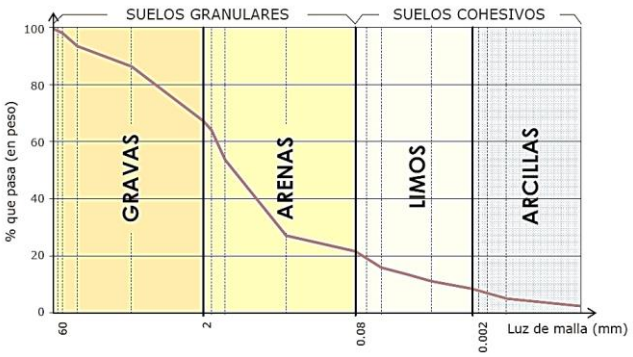


Figura 13. Curva granulométrica de un suelo
Fuente: Bañón & Beviá, (2000)

Como aplicación directa de este ensayo, se establecerse una clasificación genérica de suelos atendiendo a su granulometría.

Tabla 9. Clasificación granulométrica de los suelos

TIPO	DENOMINACIÓN		TAMAÑO (mm)
SUELOS GRANULARES	Bolos y bloques		> 60
	Grava	Gruesa	60 - 20
		Media	20 - 6
		Fina	2 - 6
	Arena	Gruesa	0.6 - 2
		Media	0.2 - 0.6
		Fina	0.08 - 0.2
SUELOS COHESIVOS	Limo	Grueso	0.02 - 0.08
		Medio	0.006 - 0.02
		Fino	0.002 - 0.006
	Arcilla		< 0.002

Fuente: Bañón & Beviá, (2000)

La interpretación de la curva granulométrica proporciona información acerca del comportamiento del suelo. Si se presta atención en la regularidad de la curva se puede distinguir dos tipos de granulometrías.

Granulometría discontinua: Representa un tipo de suelo en el que la mayoría de los granos son del mismo tamaño. En este caso, se habla de suelos **mal graduados**. La arena de playa es un claro ejemplo de este tipo de suelos.

Granulometría continua: Es un suelo en el que los tamaños de las partículas están distribuidos sobre un amplio rango y se le llama **bien graduados**.

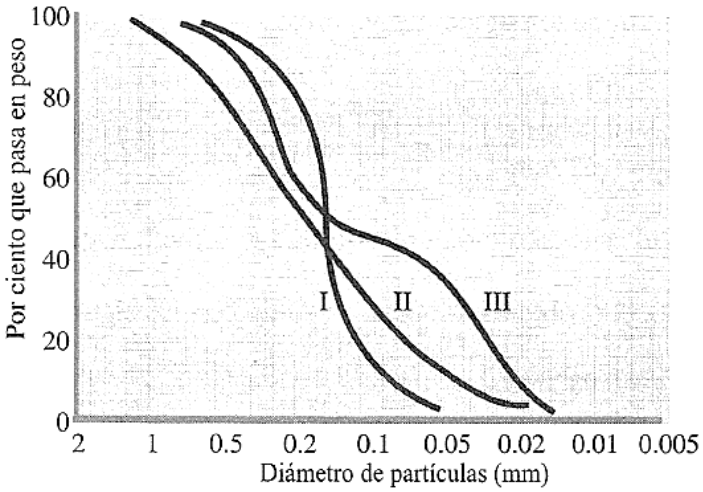


Figura 14. Tipos diferentes de curvas granulométricas
Fuente: Das, (2001)

La curva I representa al suelo mal graduado, la curva II al suelo bien graduado y la curva III representa a tal suelo y se le llama de granulometría discontinua.

Para definir numéricamente la escala granulométrica de un suelo se usa el **coeficiente de curvatura**, dada por la siguiente expresión:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} \quad (7)$$

Donde: $D_{(10,30,60)}$ es la abertura del tamiz o diámetro efectivo (mm) por donde pasa el peso en (%) de la totalidad de la muestra de suelo analizada. Un suelo bien graduado presenta valores de C_c comprendidos entre 1 y 3.

Otro parámetro muy empleado para dar idea del grado de uniformidad de un suelo es el coeficiente de uniformidad, definido por Hazen como la relación entre las aberturas de tamices por donde pasan el 60% y el 10% en peso de la totalidad de la muestra analizada:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (8)$$

Según este coeficiente, un suelo que arroje valores inferiores a 2 se considera muy uniforme, mientras que un coeficiente inferior a 5 define un suelo uniforme.

3.2.4.2. Estados de consistencia

A principios de 1900, un científico sueco, Albert Mauritz Atterberg, desarrolló un método para describir la consistencia de los suelos de grano fino con contenidos de agua variables. Describe que estos estados de consistencia pueden darse en los

suelos coherentes en función de su grado de humedad: líquido, plástico, semisólido y sólido.

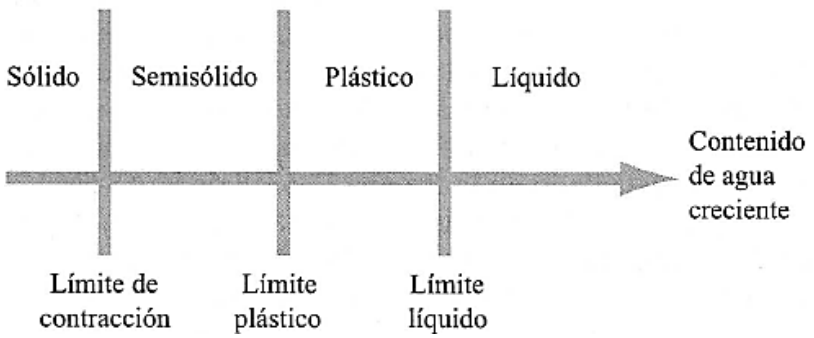


Figura 15. Límites de Atterberg
Fuente: Das, (2001)

Límite líquido (LL): Se determina amasando bien el suelo seco con bastante agua y extendiendo la masa sobre un molde denominado Cuchara de Casagrande ver Figura 16. Se abre, en el centro de la masa extendida, un surco con un acanalador, formando un canal de unos 2 mm de ancho en su parte baja. El molde se coloca sobre una base y se somete a golpes controlados. El límite líquido es la humedad de la muestra cuando al dar 25 golpes se cierra el canal unos 12 mm. Como es difícil conseguir esta condición, se determina la humedad por interpolación, a partir de dos muestras, en las que debe conseguirse el cierre de 12 mm con más y menos golpes que 25.

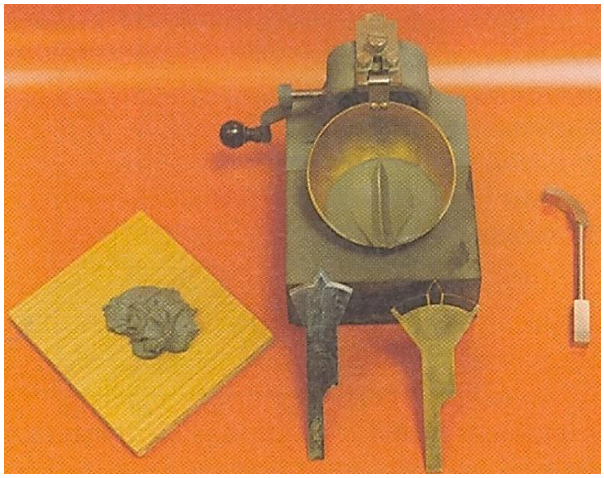


Figura 16. Cuchara de Casagrande
Fuente: Gonzales de Vallejo et al., (2003)

Cuchara de Casagrande para determinar el límite líquido. Se observa la **arcilla** amasada y colocada sobre la cuchara con el canal ya abierto. También pueden verse tres tipos de acanaladores usados en la práctica.

El límite plástico (LP): Se determina amasando suelo seco con poca agua y formando elipsoides, arrollándolos con la palma de la mano sobre una superficie lisa, hasta llegar a un diámetro de unos 3 mm y una longitud de 25-30 mm. Si, en ese momento, los elipsoides se cuartean en fracciones de unos 6 mm, su humedad es la del límite plástico (que se determina secando en estufa varios elipsoides en análogas condiciones). Si no se cuartean se vuelven a forman elipsoides para que pierdan humedad y lleguen a cuartearse (Gonzales de Vallejo et al., 2003).

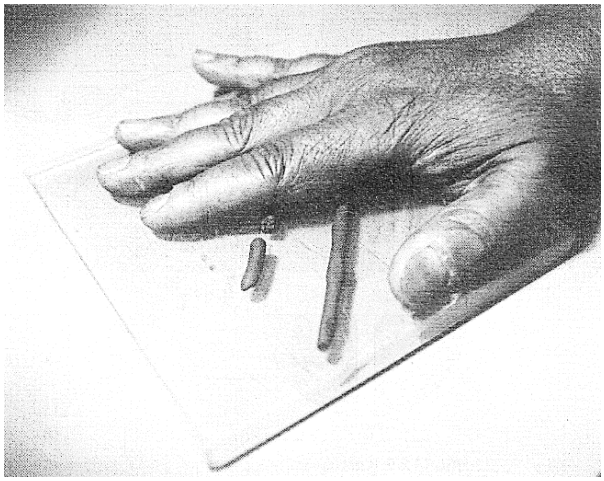


Figura 17. Prueba del límite plástico
Fuente: Das, (2001)

A la diferencia entre ambos límites se denomina índice de plasticidad (IP), y da una idea del grado de plasticidad que presenta el suelo; un suelo muy plástico tendrá un alto índice de plasticidad:

$$IP = LL - LP \tag{9}$$

Cuando el suelo tiene unos límites altos, esto quiere decir que es capaz de contener una gran cantidad de agua sin cambiar de estado. Estos suelos, al eliminar esta agua por presión, serán muy deformables. Unos límites bajos, en cambio, implican rápidos cambios de estado por pequeñas modificaciones del contenido de agua (limos), por otro lado, cabe mencionar que los suelos de tipo arena no presentan límites.

3.2.5. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

De las múltiples clasificaciones existentes, se describirá la que sin duda es la más racional y completa clasificación de Casagrande modificada.

3.2.5.1. Clasificación general de Casagrande modificada

Casagrande en 1942 ideó este sistema genérico de clasificación de suelos, que fue empleado por el Cuerpo de Ingenieros del ejército de los EE.UU para la construcción de pistas de aterrizaje durante la II Guerra Mundial. Diez años después, y vista la gran utilidad de este sistema en Ingeniería Civil, fue ligeramente modificado por el Bureau of Reclamation, naciendo el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS); este sistema fue adoptado por la ASTM (American Society of Testing Materials) como parte de sus métodos normalizados.

La clasificación se vale de unos símbolos, consistentes en un prefijo que designa el tipo de suelo y un sufijo que caracteriza sus propiedades. En la siguiente tabla se muestran dichos símbolos y su significación.

Tabla 10. Símbolos de grupo (SUCS)

TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUFIJO
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobremente graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Límite líquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Límite líquido bajo (<50)	H

Fuente: Bañón & Beviá, (2000)

En función de estos símbolos, pueden establecerse diferentes combinaciones que definen uno y otro tipo de suelo.

Tabla 11. Tipología de suelos (SUCS)

SÍMBOLO	CARACTRISTICAS GENERALES		
GW	GRAVAS (>50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (Finos<5%)	Bien graduadas
GP			Pobremente graduadas
GM		Con finos (Finos>12%)	Componente limoso
GC			Componente arcilloso
SW	ARENAS (<50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (Finos<5%)	Bien graduadas
SP			Pobremente graduadas
SM		Con finos (Finos>12%)	Componente limoso
SC			Componente arcilloso
ML	LIMOS	Baja plasticidad (LL<50)	
MH		Alta plasticidad (LL>50)	
CL	ARCILLAS	Baja plasticidad (LL<50)	
CH		Alta plasticidad (LL>50)	
OL	SUELOS ORGÁNICOS	Baja plasticidad (LL<50)	
OH		Alta plasticidad (LL>50)	
Pt	TURBA	Suelos altamente orgánicos	

Fuente: Bañón & Beviá, (2000)

3.2.6. TIPOS DE FALLAS EN DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES

El ingeniero sueco Pettersson, tras estudiar con detenimiento estos modelos, concluyó que la falla de un suelo se produce a lo largo de una superficie de curvatura variable, que posteriormente asimiló a un arco de circunferencia dada su mayor simplicidad de cálculo.

Las fallas que actúan en rotación pueden presentarse pasando la superficie de falla por el pie del talud (falla de base), o delante del pie (falla por el pie del talud). Además, pueden presentarse las llamadas fallas locales, que ocurren en el cuerpo del talud, pero interesando zonas relativamente superficiales (Juárez, 1973). En la

Figura 18 se presentan estos tipos de fallas más usuales en taludes ideales.

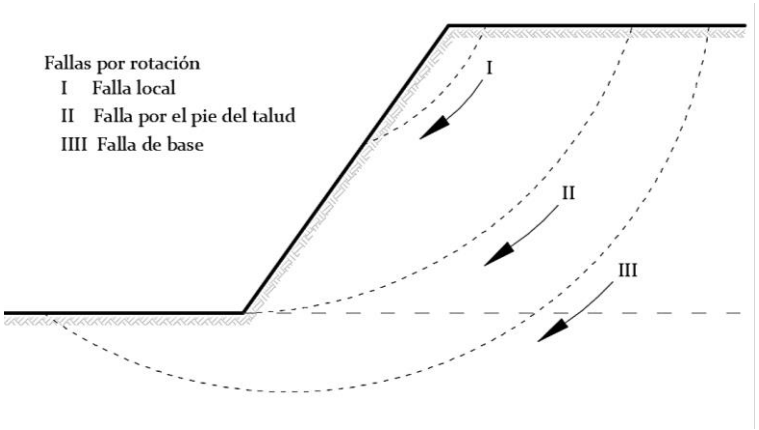


Figura 18. Tipos de fallas en deslizamientos rotacionales
Fuente: Juárez, (1973)

3.2.7. ESTABILIZACIÓN POR MODIFICACIÓN DE LA GEOMETRÍA

Mediante la modificación de la geometría de los taludes se redistribuyen las fuerzas debidas al peso de los materiales, obteniéndose una nueva configuración más estable (Gonzales de Vallejo et al., 2003). Las actuaciones más frecuentes son:

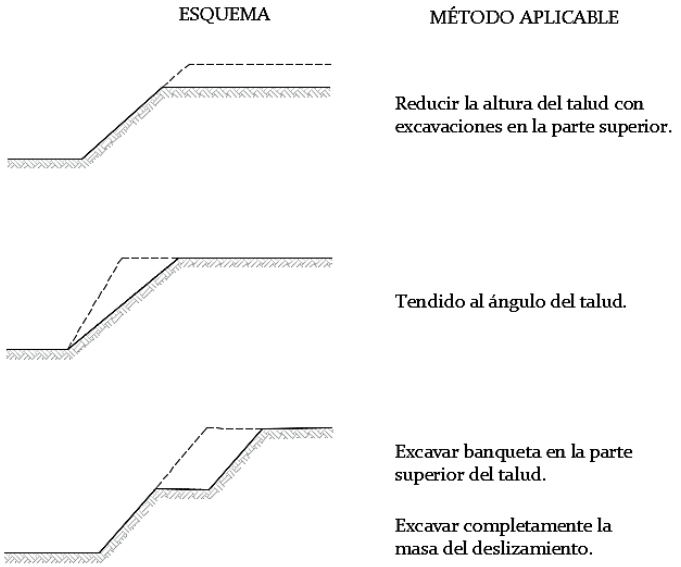


Figura 19. Métodos de estabilización de taludes por excavación
Fuente: Alva, (2016), modificado de Turnbull & Hvorslev, (1967)

3.2.8. RESISTENCIA AL CORTE

Hoyos (2001) define a la resistencia al corte, como resistencia al deslizamiento que ofrece una masa de suelo en el plano de falla, por otro lado, Das (2001) lo define como la resistencia interna por unidad de área que el suelo ofrece para resistir la falla y el deslizamiento sobre un plano dentro de él.

3.2.8.1. Criterio de rotura de Mohr Coulomb

Según la teoría de Mohr un material falla debido a una combinación crítica de esfuerzo normal y esfuerzo cortante. Así entonces, la resistencia al corte viene dada por la siguiente expresión:

$$\tau = f(\sigma_n) \tag{10}$$

Donde

- τ es el esfuerzo cortante sobre el plano de falla.
- σ_n es el esfuerzo normal sobre el plano de falla.

La teoría de la resistencia de un material que actúa ante un esfuerzo cortante se define como la suma de su cohesión y del rozamiento en el plano de rotura, para tal rozamiento como el producto del esfuerzo normal (σ_n) a dicho plano y la tangente del ángulo de rozamiento interno. Esta ecuación se llama criterio de falla de Mohr-Coulomb y queda expresado como:

$$\tau = c + \sigma_n \cdot tan\phi \tag{11}$$

Donde:

- τ es el esfuerzo cortante.
- σ_n es el esfuerzo normal.
- c es la cohesión.
- ϕ es el ángulo de fricción.

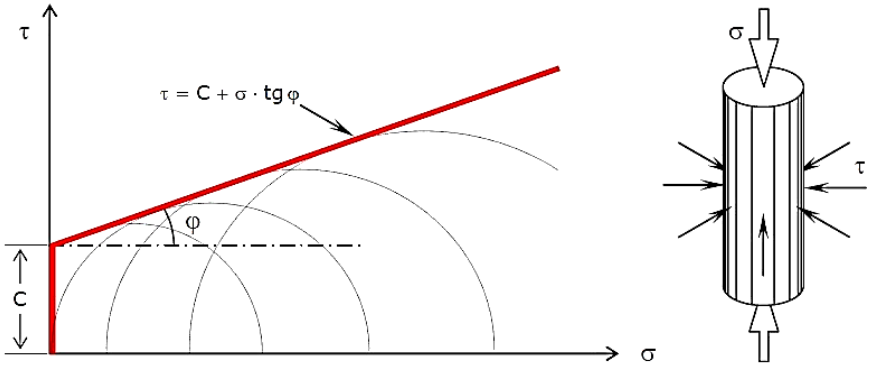


Figura 20. Círculo de Mohr y envolvente de falla
Fuente: Bañón & Beviá, (2000)

Los parámetros geotécnicos y del suelo pueden ser estimados mediante ensayos de laboratorio como el ensayo de corte directo y el ensayo triaxial. Este último mucho más preciso que el primero debido a que simula de manera más cercana a la realidad las cargas verticales y horizontales a las que está sometido el suelo analizado.

La finalidad de hallar estas propiedades es para determinar el Factor de Seguridad al deslizamiento del talud, de esta manera identificar que tan estable es un talud en estudio y si se necesitaría algún tipo de estabilización que eleve su factor de seguridad hasta valores recomendados, tanto para el caso estático como dinámico (análisis sísmico).

3.2.9. MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Desde el punto de vista determinístico existen dos métodos para abordar el análisis de estabilidad de un talud: el de equilibrio límite (MEL) y métodos numéricos, elementos finitos (MEF).

En la Figura 21 se muestra un diagrama que recoge la clasificación de los métodos de cálculo de estabilidad de taludes

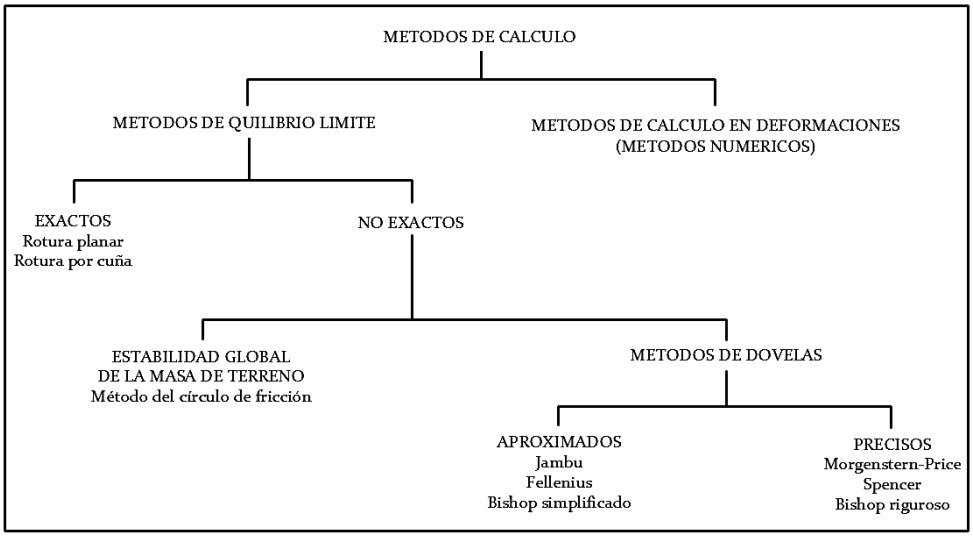


Figura 21. Métodos de cálculo de estabilidad de taludes
Fuente: IGME, (1991)

3.2.10. MÉTODO DE EQUILIBRIO LÍMITE

El método de equilibrio límite se basan en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable. Para ello supone que, en el caso de una falla, las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de la superficie de falla equivalentes a un factor de seguridad de 1.0 (Suarez, 1998).

3.2.10.1. Factor de seguridad

En la casi generalidad de los métodos de equilibrio limite la seguridad de un determinado talud se cuantifica por medio del factor o coeficiente de seguridad (F.S). El factor de seguridad se define como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla (Das, 2001)

$$FS = \frac{\sum Resistencia\ al\ corte}{\sum Esfuerzo\ al\ cortante} \quad (12)$$

En superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes:

$$FS = \frac{\sum Momento\ resistente}{\sum Momento\ actuante} \quad (13)$$

Pocos son los autores que han desarrollado el tema sobre los niveles de aceptación para los Factores de Seguridad recomendados en los diseños de taludes. Los valores más comunes han sido fijados por observaciones y a las experiencias de prueba y error en el campo, Un ejemplo de los valores de los Factores de Seguridad aceptables establecidos con estos métodos esta dado en la Figura 22.

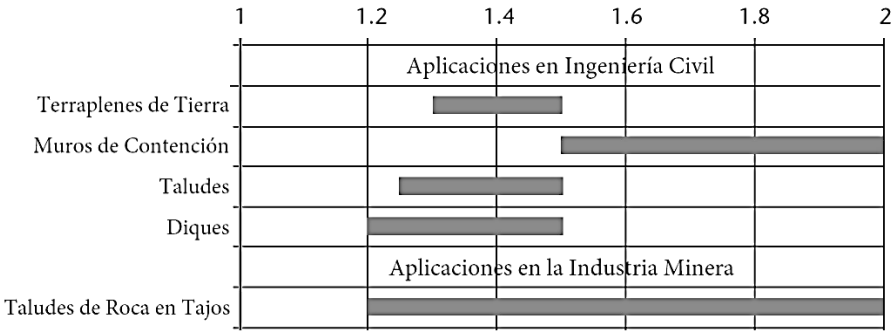


Figura 22. Ejemplo de factores de seguridad aceptables
Fuente: Read & Stacey, 2009, modificado de Priest & Brown, (1983)

Por cuestiones prácticas los valores más usados en la ingeniería civil y de minas van desde los rangos de 1.2 para taludes no críticos a 1.5 para taludes críticos. En cuanto a los valores estáticos y pseudoestáticos típicos usados en la industria minera se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 12. Criterios de aceptabilidad típicos para F.S estático y pseudoestático

Escala del Talud	Consecuencia de Falla	Criterio de Aceptabilidad	
		FS (min) (Estático)	FS (min) (Pseudoestático)
Banco	Alta-Baja	1.1	NA
Inter-rampa	Baja	1.15-1.2	1
	Media	1.2	1
	Alta	1.2-1.3	1.1
General	Baja	1.2-1.3	1
	Media	1.3	1.05
	Alta	1.3-1.5	1.1

Fuente: Read & Stacey, (2009)

3.2.10.2. Métodos para determinar el factor de seguridad

Los métodos conocidos para el análisis de fallas de taludes con geometría curva son el método de la masa total, hoy prácticamente en desuso y el método de las dovelas.

Método de las dovelas

Los métodos de dovelas consideran el problema bidimensional por lo que la estabilidad del talud se analiza en una sección transversal del mismo y consiste en dividir la superficie de deslizamiento en varios segmentos (dovelas) de igual ancho y analizar las condiciones de equilibrio de cada uno (Gonzales de Vallejo et al., 2003).

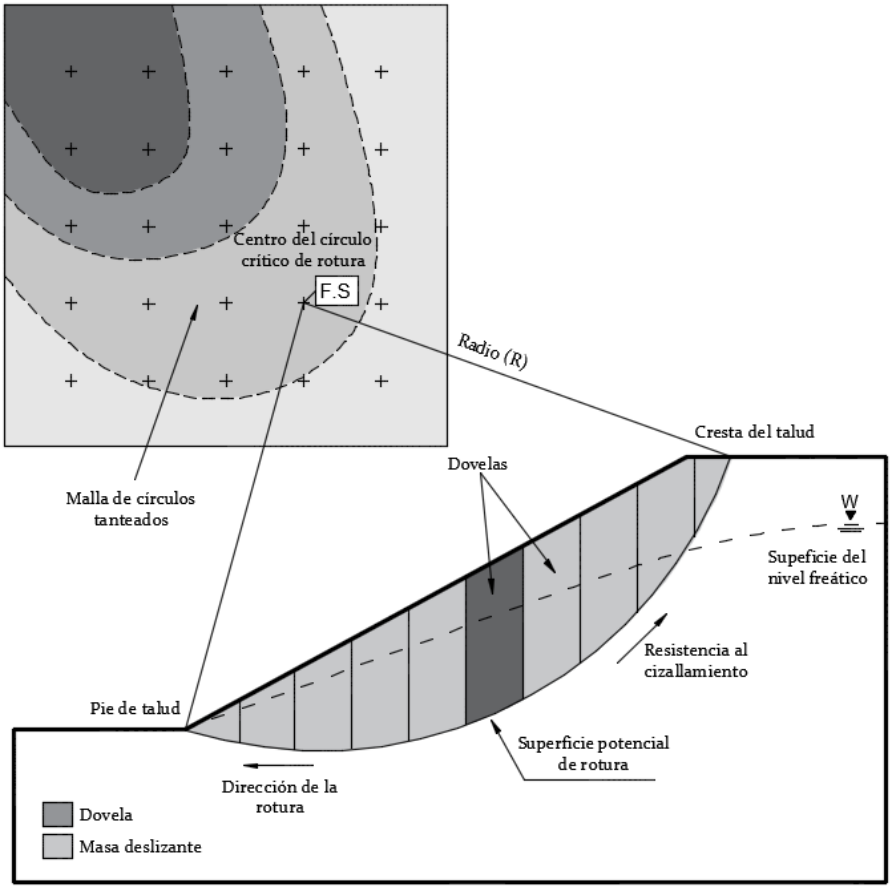


Figura 23. Dovelas de la masa deslizante
Fuente: Modificado de Llorente, (2015)

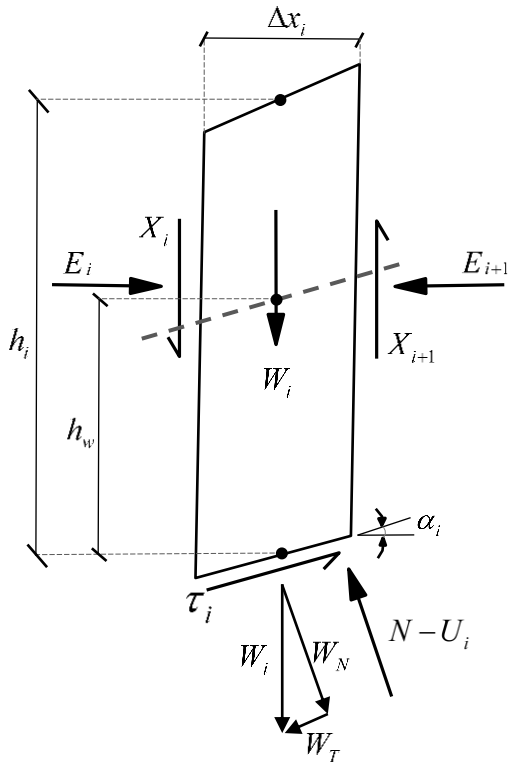


Figura 24. Fuerzas actuantes en una dovela
Fuente: Elaborada para la investigación

Donde:

- $W_N = W_i \cdot cos\alpha_i$
- $W_T = W_i \cdot sen\alpha_i$
- $U_i = u_i \cdot \Delta x_i$
- W_i es el peso de cada dovela $W_i = \Delta x \cdot h_i \cdot \gamma$
- W_N componente normal del peso de la dovela.
- W_T componente tangencial del peso de la dovela.
- N reacción normal del suelo sobre la dovela.
- u_i es la presión de poros en cada dovela: $u_i = h_w \cdot \gamma_w$
- U_i fuerza producida por la presión de poros.
- Δx es el espesor de cada dovela: $\Delta x = H / n°$ de dovelas
- C es la cohesión
- ϕ es el ángulo de fricción
- α_i es el ángulo de la superficie de falla en cada dovela.

- τ_i resistencia al corte del terreno: $\tau_i = c + \sigma_n \cdot tan\phi$.
- $X_{i,i+1}$ fuerzas verticales de interacción entre dovelas.
- $\overline{E}_{i,i+1}$ fuerzas horizontales de interacción entre dovelas.

a) Método Ordinario o de Fellenius (1927)

Este método conocido también como método sueco, asume superficies de falla tipo circular y divide el área en rebanadas verticales, obtiene las fuerzas actuantes y resultantes para cada tajada y con la sumatoria de estas fuerzas obtiene el Factor de Seguridad (Suarez, 1998).

El método asume que las fuerzas verticales $X_{i,i+1}$ y horizontales $\overline{E}_{i,i+1}$ de interacción entre dovelas no se consideran.

$$FS_{Fellenius} = \frac{c \cdot L + tan\phi \cdot \sum_{i=1}^{n} (W_i \cdot cos\alpha_i - u_i \cdot l_i)}{\sum_{i=1}^{n} W_i \cdot sin\alpha_i} \quad (14)$$

Donde:

- c es la cohesión
- α_b es la longitud de la superficie de deslizamiento
- ϕ es el ángulo de fricción
- W_i es el peso de cada dovela: $W_i = \Delta x \cdot h_i \cdot \gamma$
- Δx es el espesor de la dovela: $\Delta x = H / n°$ de dovelas
- h_i es la altura de cada dovela
- γ es el peso específico del material
- α_i es el ángulo de cada dovela
- u_i es la presión de agua en cada dovela: $u_i = h_w \cdot \gamma_w$

- l_i es la longitud de deslizamiento de cada dovela: $l_i = \Delta x \cdot cos\alpha_i$

b) Método de Bishop (1955)

Bishop asume que las fuerzas de interacción entre dovelas son horizontales $\overline{E}_{i,i+1}$; es decir, que no tiene en cuenta las fuerzas verticales $X_{i,i+1}$. El método se basa en satisfacer la ecuación del momento de equilibrio (Suarez, 1998).

El factor de seguridad se encuentra entre la iteración sucesiva de la siguiente expresión.

$$FS_{Bishop} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left[c \cdot \Delta x + (W_i - u_i \cdot \Delta x)tan\phi\right] \cdot \left[1 / M_i(\alpha)\right]}{\sum_{i=1}^{n} W_i \cdot sin\alpha_i} \quad (15)$$

Donde:

$$M_i(\alpha) = cos\alpha_i \left[1 + \frac{tan\alpha_i \cdot tan\phi}{FS_{Bishop}}\right] \quad (16)$$

- c es la cohesión
- ϕ es el ángulo de fricción
- W_i es el peso de cada dovela: $W_i = \Delta x \cdot h_i \cdot \gamma$
- Δx es el espesor de la dovela: $\Delta x = H / n°$ de dovelas
- h_i es la altura de cada dovela
- γ es el peso específico del material
- α_i es el ángulo de cada dovela
- u_i es la presión de agua en cada dovela: $u_i = h_w \cdot \gamma_w$

c) Método de Jambu (1968)

El método de Janbu supone que la resultante de fuerzas entre rebanadas es horizontal $\overline{E}_{i,i+1}$. Además, establece un factor de corrección f_o. El factor f_o depende de la curvatura de la superficie de falla.

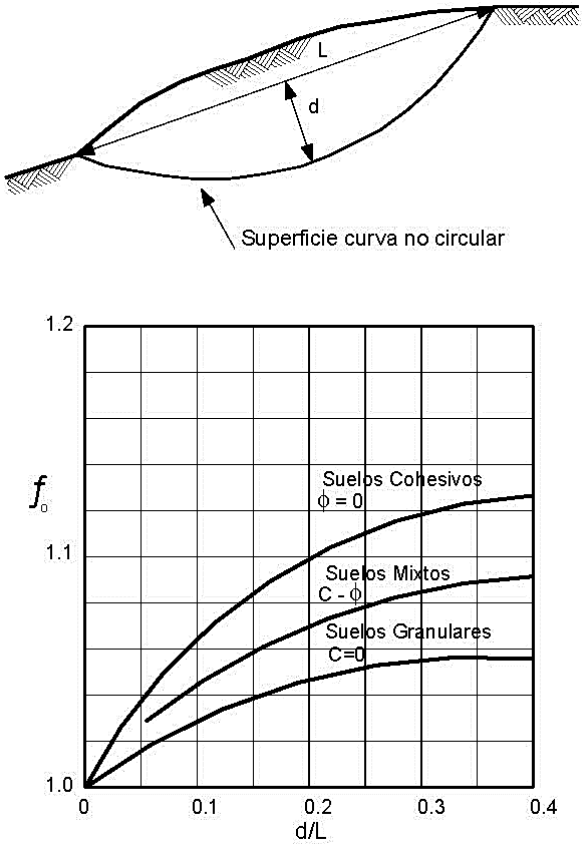


Figura 25. Diagrama para determinar el factor de corrección
Fuente: Suarez, (2009)

En ciertos casos el factor de corrección puede surgir por motivos de inexactitudes mientras que en otros pude mejorar el análisis.

Este método tan solo satisface el equilibrio de fuerzas y no el de momentos (Suarez, 2009).

$$FS_{Jambú} = \frac{f_o \sum_{i=1}^{n} [c \cdot \Delta x + (W_i - u_i \cdot \Delta x).tan\phi] \cdot \left[1 \Big/ \text{Cos}\,\alpha_i \cdot M_i(\alpha) \right]}{\sum_{i=1}^{n} W_i \cdot tan\alpha_i} \quad (17)$$

Donde:

$$M_i(\alpha) = cos\alpha_i \left[1 + \frac{tan\alpha_i \cdot tan\phi}{FS_{Jambú}} \right] \quad (18)$$

- c es la cohesión
- ϕ es el ángulo de fricción
- W_i es el peso de cada dovela: $W_i = \Delta x \cdot h_i \cdot \gamma$
- Δx es el espesor de la dovela: $\Delta x = H / n°$ de dovelas
- h_i es la altura de cada dovela
- γ es el peso específico del material
- α_i es el ángulo de cada dovela
- u_i es la presión de agua en cada dovela: $u_i = h_w \cdot \gamma_w$
- f_o factor de corrección.

d) Método de Spencer (1967)

Este método supone que la interacción entre dovelas actúa como una componente de empuje con un ángulo de inclinación constante, por lo que, mediante iteraciones, se analiza tanto el equilibrio de momentos como de fuerzas en función a ese ángulo (θ). El método de Spencer es aplicable para casi todo tipo de

geometría de talud y perfiles de suelo para el cálculo del factor de seguridad. (Suarez, 2009).

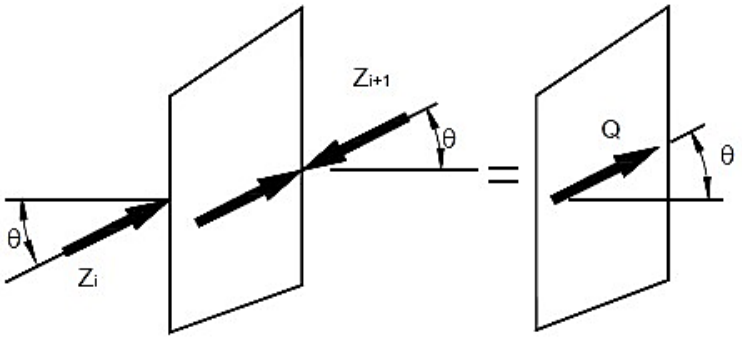


Figura 26. Paralelismo de las fuerzas entre dovelas en el método de Spencer
(Fuente: Suarez, 2009)

e) Método de Morgenstern-Price (1965)

Similar al anterior, se basa en lograr el equilibrio de momentos como de fuerzas. La gran diferencia se debe a que la interacción entre las rebanadas viene dada por una función, la cual evalúa las interacciones a lo largo de la superficie de falla. La posibilidad de suponer una determinada función para determinar los valores de las fuerzas entre dovelas, lo hace un método más riguroso que el de Spencer.

El método de Morgenstern y Price, al igual que el de Spencer, es un método muy preciso, prácticamente aplicable a todas las geometrías y perfiles de suelo (Suarez, 2009).

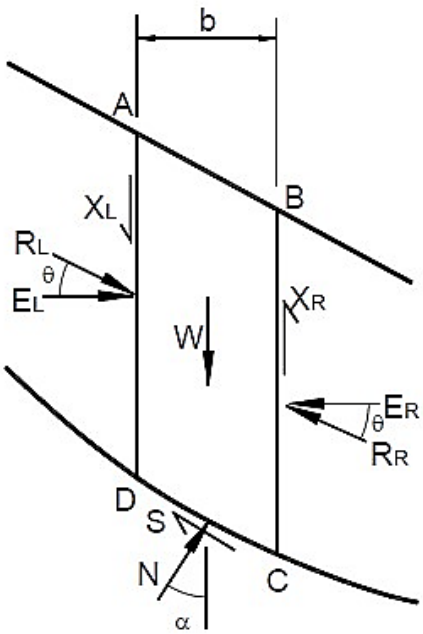


Figura 27. Fuerzas que actúan sobre las dovelas en el método de Spencer y Morgenstern-Price
Fuente: Suarez, (2009)

3.2.11. MÉTODOS NUMÉRICOS

El método consiste en dividir la masa de suelo en unidades discretas que se llaman elementos finitos, las cuales se interconectan en sus nodos y en bordes predefinidos. El método típicamente utilizado es el de la formulación de desplazamientos que presenta los resultados en forma de esfuerzos y desplazamientos a los puntos nodales (Suarez, 2009).

3.2.12. CONDICIONES PSEUDOESTÁTICO DE TALUDES

En el análisis pseudoestático, se agrega sobre todos los elementos analizados en el talud, una fuerza horizontal equivalente a un coeficiente k multiplicado por el peso del elemento. Terzaghi en 1950 propuso que la fuerza debería aplicarse en el centro de

gravedad de cada dovela. Años después Makdisi y Seed en 1978 indicaron que la fuerza sísmica se aplica arriba del centro de gravedad de las dovelas.

El método es el mismo para los diferentes métodos de equilibrio límite con la diferencia de que se integran en las ecuaciones las fuerzas pseudoestáticas horizontales y verticales por consecuencia del evento sísmico. Estas fuerzas son proporcionales al peso del bloque potencial de deslizamiento. Los coeficientes sísmicos son k_v y k_h y se encuentran en función de la aceleración de la gravedad. Por lo general k_v se asume igual a cero debido a que su valor no es muy representativo. Mientras que, en un análisis conservador debe ser igual a la máxima aceleración pico esperada en la zona.

Para evaluar la acción sísmica se consideran las siguientes fuerzas pseudoestáticas.

$$F_{h,v} = \frac{a_{h,v}}{g} W = k_{h,v} \cdot W \tag{19}$$

$$k_{h,v} = \frac{a_{h,v}}{g} \tag{20}$$

Donde:

- $F_{h,v}$ son las fuerzas pseudoestáticas horizontales y verticales aplicada al baricentro de la dovela.
- $k_{h,v}$ es el coeficiente sísmico horizontal y vertical.
- W es el peso de la dovela.

- $a_{h,v}$ es la aceleración máxima horizontal y vertical.
- g es la aceleración de la gravedad (9.8 m/s²).

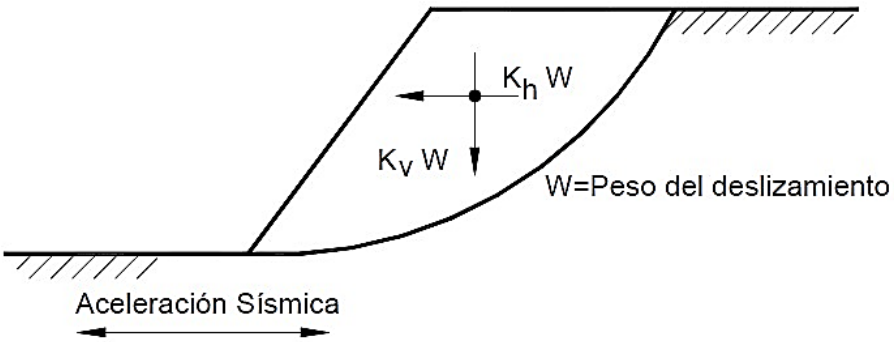


Figura 28. Análisis pseudoestático de equilibrio límite para una falla curva
Fuente: Suarez, (2009)

3.2.13. SOFTWARE GEOTÉCNICO (versión estudiantil)

Hoy en día, hacen referencia a una gran cantidad de herramientas computacionales para el análisis de estabilidad de taludes. Para la presente investigación no ha sido la excepción su uso, ya que los cálculos manuales son muy tediosos y complejos.

El software geotécnico está basado en el análisis de estabilidad de taludes por equilibrio límite que calcula factores de seguridad para distintas geometrías, dibujadas por el usuario o importadas desde otro programa de dibujo. Se pueden analizar tanto suelos como rocas, por ello, el software incluye los criterios de rotura: Mohr-Coulomb; Hoek-Brown, Barton-Brandis entre otros.

Se puede hacer una selección entre deferentes métodos de análisis, tales como: Fellenius, Janbu, Bishop, Spencer, Morgentern-Price, entre otros. Además, se pueden realizar análisis estadísticos y pseudoestáticos de sensibilidad y probabilísticos.

3.3. MARCO CONCEPTUAL

La presente definición de términos es para conducir a una mejor compresión de la investigación.

- **Agregado.-** Material granular relativamente inerte, como arena, grava, roca triturada utilizado en la industria de la construcción (Hoyos, 2001).
- **Ángulo de fricción.-** Ángulo entre el eje de esfuerzos normales y la tangente a la envolvente de Mohr en un punto que representa una condición dada de esfuerzo de ruptura de un material sólido (Hoyos, 2001). Este ángulo es útil para el cálculo de factores de seguridad de estabilidad de taludes y se expresa como (Ø).
- **Arena.-** La arena es un conjunto de fragmentos sueltos de rocas o minerales de partículas cuyo tamaño varía entre 0,06 y 2 mm (Gonzales de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortaño, L. & Oteo, C., 2003).
- **Cantera.-** Es el término genérico que se utiliza para referirse a las explotaciones de rocas industriales, ornamentales y de materiales de construcción.
- **Cohesión.-** Es una característica propia de los materiales que presentan resistencia al corte bajo un esfuerzo normal nulo.

Es una componente de la resistencia al corte del suelo dada por el término (c) en la ecuación de Coulomb (Hoyos, 2001).

- **Densidad.-** Masa de un cuerpo o de un material por unidad de volumen. Relación numérica entre la masa, y el volumen de un cuerpo (Hoyos, 2001).
- **Deslizamientos.-** Término genérico que comprende una amplia variedad de procesos de erosión en masa que incluye el transporte pendiente abajo de masas de suelo o de roca. Esta misma se desplaza a lo largo de una superficie de deslizamiento (Hoyos, 2001).
- **Diseño.-** Plan o estrategia que se desarrolla para obtener la información que se requiere en una investigación.
- **Diseño transversal.-** Recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado.
- **Diseño transversal descriptiva.-** Indaga la incidencia de las modalidades, categorías o niveles de una o más variables de un objeto de estudio, son estudios puramente descriptivos.
- **Dovela.-** Consiste en dividir la superficie de deslizamiento en varios segmentos de ancho y analizar las condiciones de equilibrio de cada rebanada (Gonzales de Vallejo et al., 2003).
- **Equilibrio Limite.-** El sistema de equilibrio límite supone que, en el caso de una falla, las fuerzas actuantes y resistentes

son iguales a lo largo de la superficie de falla equivalentes a un factor de seguridad de 1.0 (Suarez, 1998).

- **Factor de seguridad.-** Es la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla (Das, 2001).
- **Geotecnia.-** Es un conjunto de técnicas de ingeniería del terreno aplicadas a las cimentaciones, refuerzo, sostenimiento, mejora y excavación del terreno y las citadas disciplinas de la mecánica del suelo, mecánica de rocas e ingeniería geológica (Gonzales de Vallejo et al., 2003).
- **IGAC.-** Es un Instrumento de Gestión Ambiental Correctivo (IGAC), regulado en el Decreto Supremo N° 004-2012-MINAM, es uno de los requisitos para lograr la formalización de las actividades de pequeña minería y minería artesanal.
- **Investigación.-** Es el conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno.
- **Investigación descriptiva.-** Busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis.

- **Investigación no experimental.-** Estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos.
- **Método de Investigación cualitativa.-** Utiliza la recolección de datos sin medición numérica para descubrir o afinar preguntas de investigación en el proceso de interpretación.
- **Tajo.-** Es el frente de minado, lugar donde se ejecuta la explotación.
- **Talud.-** Cualquier superficies inclinadas respecto a la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las masas de tierra (Gerscovich, 2013).
- **Topografía.-** Técnica que consiste en describir y representar en un plano la superficie o el relieve de un terreno.
- **Yacimiento.-** Lugar en el que se encuentran de forma natural minerales, rocas o fósiles, especialmente cuando puede ser objeto de explotación.

CAPITULO IV
MARCO METODOLÓGICO

4.1. TIPO Y DISEÑO

Según el grado de abstracción el presente proyecto de investigación es contemplado con fines aplicativos, ya que, la investigación consiste en el empleo practico de los conocimientos y teorías fundamentales de estabilidad de taludes con el objetivo de determinar los parámetros geométricos óptimos del talud, para garantizar la estabilidad del tajo superficial cuando se adecue el tajo presente con los parámetros de diseño propuestos.

En tanto a la naturaleza de manipulación de datos es de carácter cualitativo, ya que para determinar los parámetros geométricos de diseño del talud no se realizará una estadística exhaustiva, sino más bien se hará uso de cálculos geotécnicos y criterios ingenieriles para establecer dichos parámetros y lograr su estabilidad.

En cuanto al diseño de investigación, es del tipo no experimental, el tipo de diseño a utilizarse es el diseño transversal - descriptivo, ya que se tomarán muestras del suelo en un solo momento, en un tiempo único con la finalidad de describir las

variables y analizar la influencia que tiene al realizar los cálculos geotécnicos y así determinar los parámetros óptimos de del talud y lograr su estabilidad.

Con referencia a la metodología de investigación se utilizará la metodología de investigación propuesto por (Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

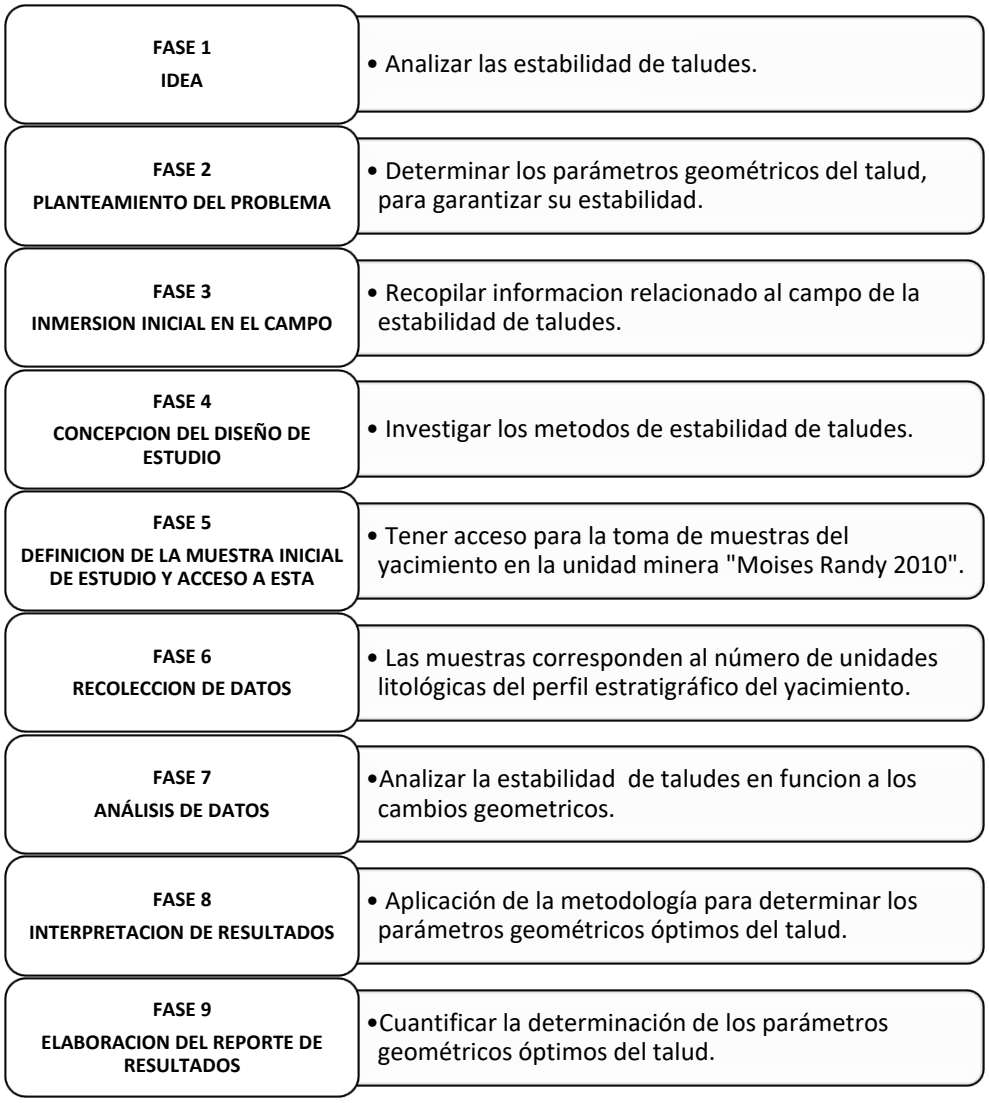


Figura 29. Diseño de investigación cualitativa
Fuente: Elaboración propia a partir de Hernández et al., (2014)

4.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación utilizará un nivel de investigación de carácter descriptivo ya que el propósito del presente proyecto de investigación es determinar los parámetros geométricos de diseño del talud para garantizar la estabilidad del talud del área de explotación en la unidad minera “Moises Randy 2010”. Para ello se requiere analizar, precisar y describir la geometría óptima del talud.

4.3. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

4.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

- Parámetros geométricos del talud.
- Ángulo de banco.
- Altura de banco.

4.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE

- Estabilidad del tajo.
- Comportamiento del suelo.
- Riesgos de deslizamientos.

4.3.3. MATRIZ OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 13. Matriz de operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
Variable independiente			
Parámetros geométricos del talud.	Angulo de banco.	Diseño geométrico del talud.	Software de diseño (Versión estudiantil)
Variable dependiente			
Estabilidad del tajo.	Comportamiento del suelo.	Factor de seguridad del talud	Software geotécnico (Versión estudiantil)

Fuente: Elaborada para la investigación

4.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO

4.4.1. LA POBLACIÓN

La población estará constituida por el número de unidades litológicas del perfil estratigráfico del yacimiento que se encuentra en el tajo del área de explotación en la unidad minera “Moises Randy 2010”. Para la presente se ha identificado dos unidades litológicas en el yacimiento.

4.4.2. MUESTRA

La población está conformada por el número de unidades litológicas.

El cálculo del tamaño de la muestra está basado en la ecuación para muestreo en poblaciones finitas tal como resalta (Hernández et al., 2014).

$$n = \frac{N \cdot Z_{\alpha}^{2} \cdot p \cdot q}{e^{2} \cdot (N-1) + Z_{\alpha}^{2} \cdot p \cdot q} \tag{21}$$

Donde:

- N = total de la población ***(2 unidades litológicas).***
- Z_{α} = factor probabilístico 2.576 (si la seguridad es del 99%).
- p = proporción esperada (en este caso 5% = 0.05).
- $q = 1 - p$ (en este caso 1 - 0.05 = 0.95).
- e = error máximo (5%).
- n = tamaño de la muestra.

Se considerará n = tamaño de la muestra, para la evaluación de las variables.

Reemplazando valores tenemos:

$$n = \frac{(2)\cdot(2.576^2)\cdot(0.05)\cdot(0.95)}{0.05^2(2-1)+2.576^2\cdot(0.05)\cdot(0.95)} \quad (22)$$

$$n = 1.98 \quad (23)$$

$$n = 2 \quad (24)$$

El tamaño de la muestra calculado es 2; por lo tanto, se considerará a toda la población como muestra para la evaluación de las variables.

4.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS

La toma de muestra de la presente investigación se hará respetando las Normas Técnicas Peruanas NTP 339.151 (ASTM D4220) que consiste en tomar muestras alteradas del suelo y colocarlas en bolsas de plástico, en cantidad suficiente para realizar el ensayo de corte directo en laboratorios geotécnicos con la finalidad de obtener las propiedades físico mecánica de los suelos, (densidad, cohesión y ángulo de fricción, etc.) encontrados en el tajo superficial del área de explotación en la unidad minera “Moises Randy 2010”.

4.6. MÉTODOS Y TÉCNICAS PARA LA PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

4.6.1. MUESTREO Y ANÁLISIS EN LABORATORIO

Se tomará muestras del área en estudio y se procederá a analizarlo en el laboratorio para obtener las propiedades geotécnicas del suelo (Densidad, cohesión, ángulo de fricción, etc.) que se requieren para la presente investigación.

4.6.2. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Una vez realizada la recogida de muestras de campo, se analizará los datos geotécnicos de las muestras y se prepararan en datos manejables para su interpretación.

4.6.3. INTERPRETACIÓN Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Para el presente proyecto de investigación se desarrollarán estudios de riesgos sísmicos, geológicos, geotécnicos e hidrológicos de la zona de interés y se ejecutará el levantamiento topográfico del área en explotación y para determinar los parámetros geométricos óptimos del talud se realizarán el siguiente procedimiento como se describe a continuación.

Definición de los parámetros geotécnicos en el software de análisis: Se introducirán los parámetros geotécnicos como son: Cohesión, ángulo de fricción, densidad, etc. de las unidades litológicas del yacimiento al software de análisis. Previas

configuraciones se seleccionará el método de análisis de estabilidad de taludes (Equilibrio Límite) y el método para calcular el factor de seguridad (Fellenius, Bishop, Jambu, Spencer, Morgenstern-Price, etc.)

Definición de los parámetros geométricos del talud en el software de análisis: Se introducirá la geometría del talud (altura de banco, ángulo de talud, berma) así como la geometría de cada unidad litológica del yacimiento al software de análisis.

Ejecución de análisis en condiciones estáticas y pseudoestáticas: Para calcular el factor de seguridad en condiciones sísmicas se introducirá al software la constante de sismicidad que corresponde a la zona de estudio, en contraste para condiciones estáticas la constante de sismicidad será nula. Si el factor de seguridad resultante no cumple con la condición de estabilidad tanto para el análisis estático y pseudoestático se definirá una nueva geometría en el talud y se calculará el nuevo factor de seguridad, este procedimiento iterativo se desarrollará cuantas veces sea necesario hasta satisfacer las condiciones de estabilidad tal como se muestra en la Figura 30.

Determinación de los parámetros geométricos del talud: Al cumplir con las condiciones de estabilidad, se cuantificará la determinación de los parámetros geométricos óptimos del talud por medio de presentaciones gráficas.

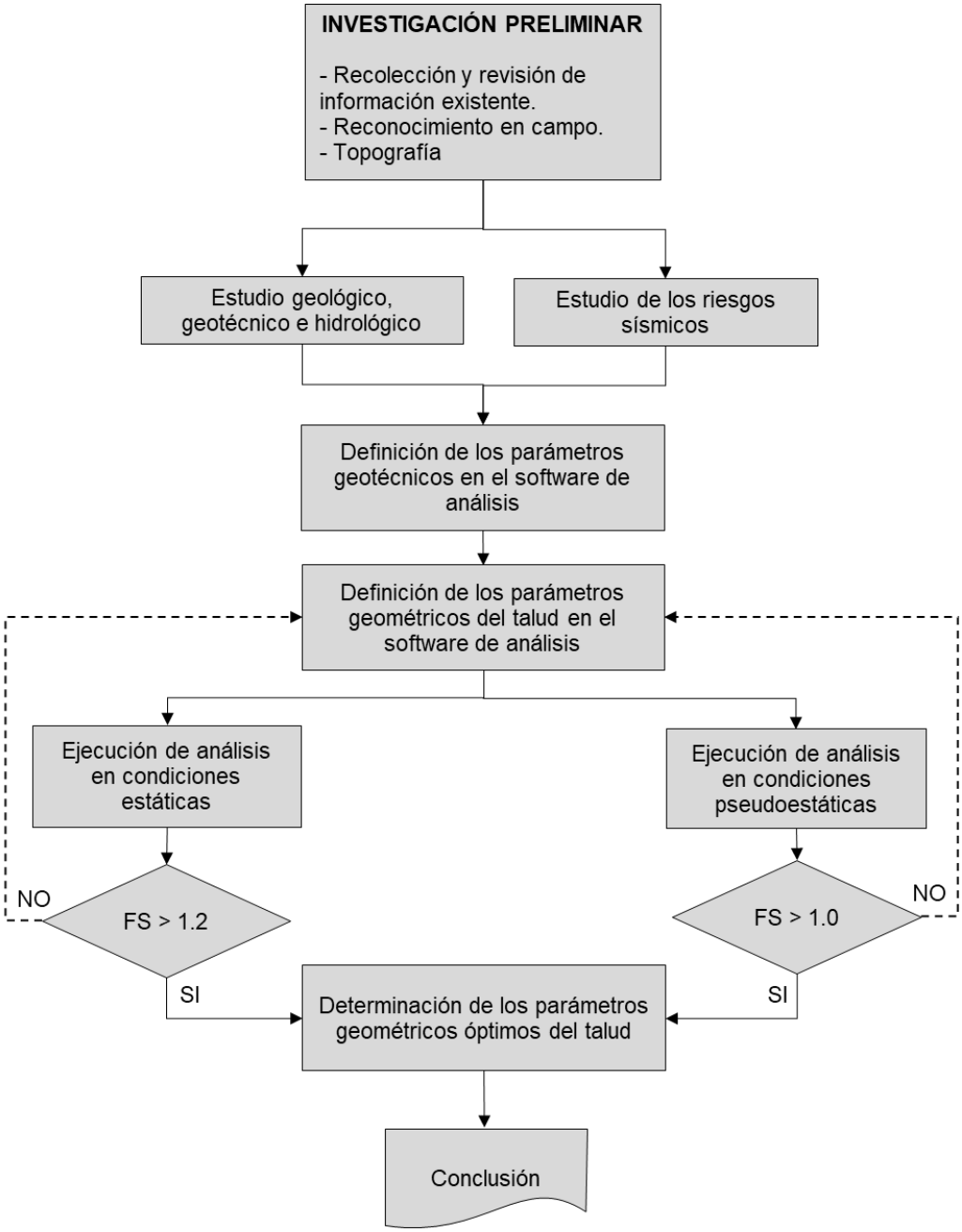


Figura 30. Diagrama de flujo para determinar los parámetros geométricos óptimos del talud
Fuente: Elaboración propia a partir de Mendoza, (2017).

CAPITULO V

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. INVESTIGACIÓN PRELIMINAR

5.1.1. GEOLOGÍA

El área de estudio y zonas cercanas al área de actividad minera fue estudiada por el Instituto Geológico Minero Metalúrgico “INGEMMET”, se describen todas las formaciones geológicas de interés en el Mapa Geológico del Cuadrángulo de Moquegua hoja 35-U, IV, Moquegua, zona 19 Sur que se encuentra a una escala de 1:50 000.

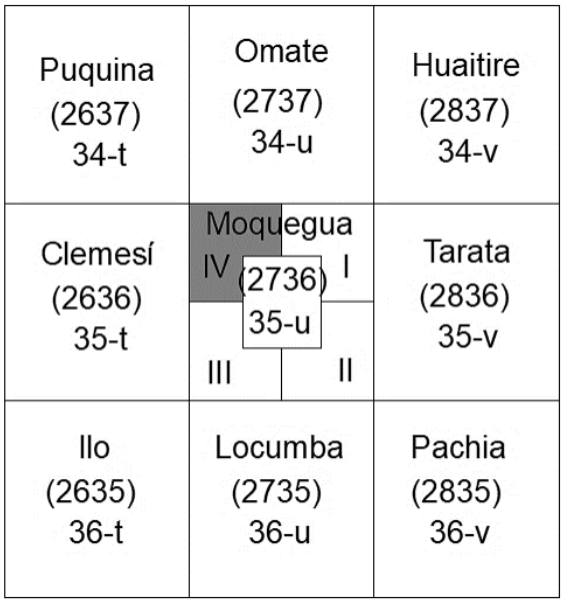


Figura 31. Cartografía geológica 35-u, IV
Fuente: INGEMMET, (1995)

La geología de la zona está comprendida por Depósitos Cuaternarios Aluviales (Qh-Al5) que está compuesto por gravas, arenas y limos.

Se denomina así a acumulaciones aluviales de pie de monte, terrazas aluviales y conos de deyección. Se supone que estos depósitos han sido depositados por la acción de numerosos torrentes que descendían del Flanco Andino. Los abanicos aluviales fueron incrementando su grosor y amplitud lateral hasta anastomosarse unos con otros y constituir una cubierta aluvial continua del tipo piedemonte. Lo que dieron lugar a depósitos de áridos que son utilizados para explotación de canteras.

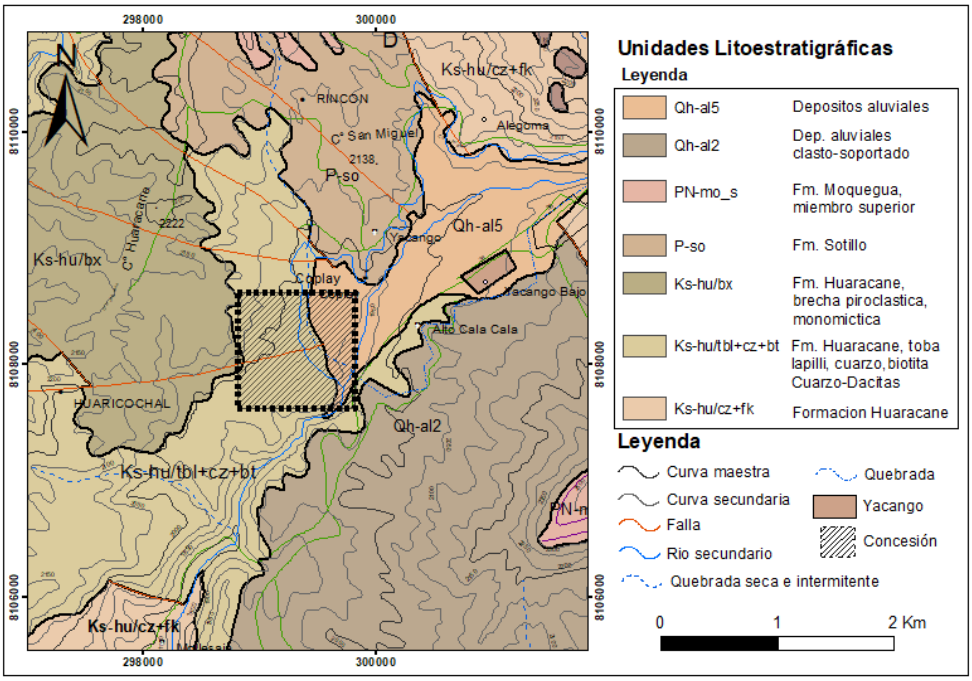


Figura 32. Mapa Geológico de la zona de interés
Fuente: INGEMMET, (2000)

Los depósitos aluviales, que se presentan y diferencian en terrazas y abanicos, encontrándose desde Torata, Pampas del

Arrastrado, hasta el sector Estuquiña, están compuestos por clastos angulosos, sub-angulosos a redondeados de naturaleza polimictica, mayormente volcánicas con diámetros de 0,05 a 0,30 m; englobadas en una matriz areno-arcillosa. Aisladamente se encuentran lentes de areniscas y tobas redepositadas.

Estos depósitos corresponden a la zona de la actividad minera “Moises Randy 2010”.

En cuanto a la litoestratigráfica, el área de interés pertenece a la Era Cenozoica, sistema Cuaternario, serie Holocena, Depósitos Aluviales, conformado por depósitos de gravas, areniscas y limos.

Tabla 14. Leyenda de las unidades litoestratigráficas

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS				TIPO DE DEPOSITO LITOFACIES
CENOZOICA	CUATERNARIO	HOLOCENA	Depositos aluviales			Qh-al5	Gravas, arenas y limos
						Qh-al2	Bloques, gravas y arenas
	PALEÓGENO	EOCENA-OLIGOCENA	Formación Moquegua Superior			PN-mo_s	Conglomerados polimícticos, areniscas gruesas en los niveles superiores tobas líticas.
			Formación Sotillo			P-so	Arenisacas y limolitas rojas.
MESOZOICA	CRETÁCEO	SUPERIOR	Grupo Toquepala (KsP-to)	Formación Huaracane	miembro 6	Ks-hu/bx	Brecha piroclástica, monomíctica, maciza en bloques, gris rojizo, composicion dacitas.
					miembro 5	Ks-hu/tbl+cz+bt	Flujos piroclásticos de toba-lapilli de cuarzo biotita gris rosadas.
					miembro 4	Ks-hu/cz+fk	Lavas piroclásticas soldadas de cuarzo-feldespato, macizos porfiriliticos, gris rojizo, composición riolitas.

Fuente: INGEMMET, (2000)

5.1.2. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

5.1.2.1. ENSAYOS

Los ensayos geotécnicos realizados durante la investigación son, el de corte directo, humedad, peso específico y

granulometría con la finalidad de identificar sus principales parámetros geotécnicos. Para ello se recogió 2 muestras una muestra por cada estrato, la ubicación de las muestras se observa en la Tabla 15.

Tabla 15. Ubicación de las muestras

MUESTRA	UTM WGS84, 19 Sur	
	ESTE	NORTE
M-01	299445 m E	8108114 m S
M-02	299467 m E	8108111 m S

Fuente: Elaborada para la investigación

Las muestras representativas que se tomaron para los ensayos se pueden apreciar en la siguiente imagen.

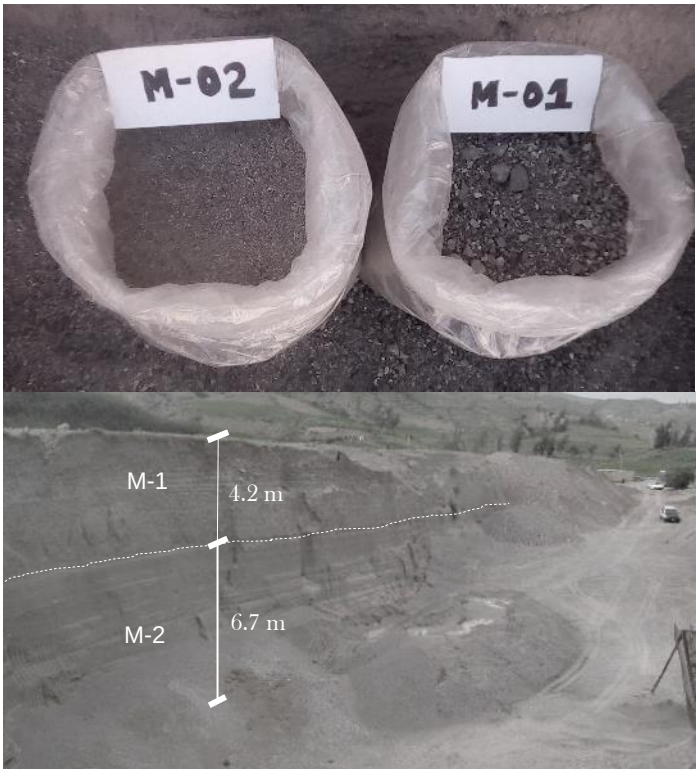


Figura 33. Muestras representativas para los ensayos
Fuente: Elaborada para la investigación

En nuestro país los ensayos más comunes para determinar el ángulo de fricción y cohesión en un análisis de estabilidad de

taludes son el ensayo de corte directo y los ensayos triaxiales. Para la presente investigación se ejecutó el ensayo de corte directo.

Corte directo

El objetivo del ensayo de corte directo es determinar el ángulo de fricción interna y la cohesión del suelo. Estos parámetros son importantes, para determinar la capacidad al corte del suelo. El ensayo consiste en aplicar esfuerzos de corte y normales, a tres muestras de suelo, y determinar el instante de falla de cada uno.

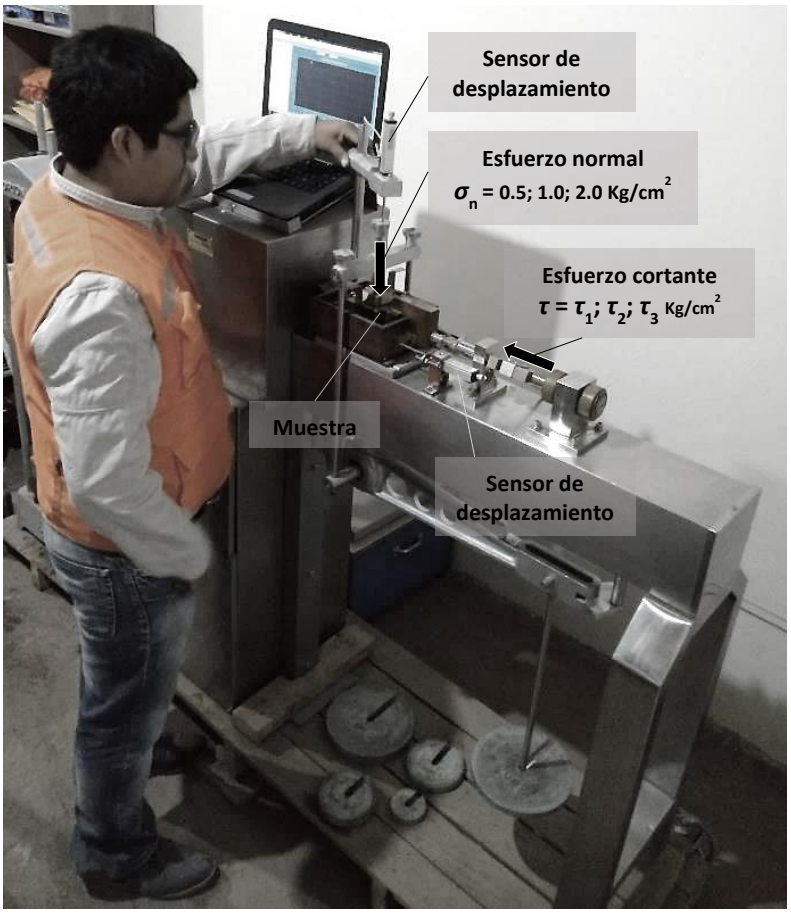


Figura 34. Esquema corte directo
Fuente: Elaborada para la investigación

Con estos tres pares ordenados se grafica el diagrama de ruptura de Mohr como se muestra en el Figura 35. También, se hace uso del análisis de regresión lineal, para obtener el ángulo de fricción interna y la cohesión del suelo (Rodríguez, 2016).

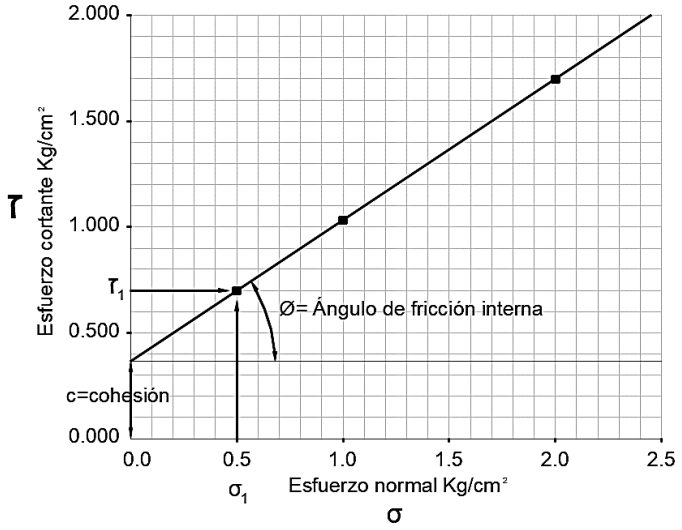


Figura 35. Diagrama de ruptura de Mohr
Fuente: Rodríguez, (2016)

Parámetros geotécnicos

De los ensayos geotécnicos desarrollados en el laboratorio (Ver ANEXO 5) para cada muestra de suelo se obtuvieron los siguientes parámetros:

Tabla 16. Parámetros geotécnicos

MUESTRA	CLASIFICACION SUCS	PARAMETROS GEOTECNICOS				
		γ		C		ϕ
		(g/cm³)	(KN/m³)	(Kg/cm²)	(KN/m²)	(°)
M-01	SW	1.54	15.11	0.000	0.00	37.9
M-02	SP	1.47	14.41	0.008	0.78	34.7

Nota: 1g/cm³= 9.81KN/m³; 1Kg/cm² = 98.1KN/m²

Fuente: Elaborada para la investigación

5.1.3. HIDROLOGÍA

La actividad minera desarrollada en la concesión minera “Moises Randy 2010”, Hidrográficamente se encuentran en la Cuenca Ilo - Moquegua, asimismo las actividades mineras se desarrollan a considerable distancia del Rio Torata a 400 m, como se observa en el plano hidrológico, el mismo que es parte de esta cuenca, por lo que el presente estudio describe las características generales de la cuenca y su clasificación dentro de la misma.

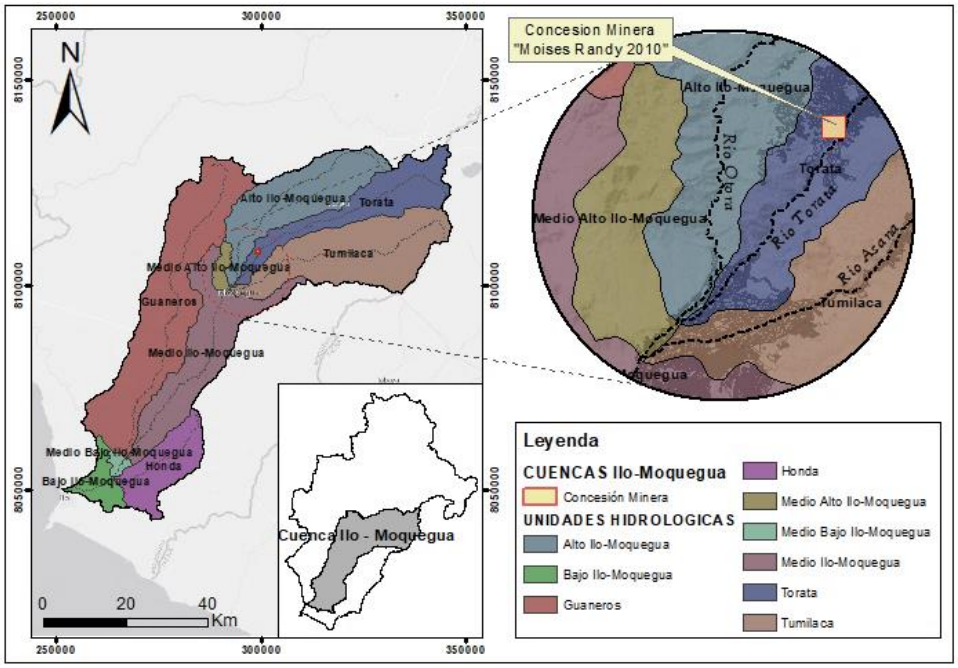


Figura 36. Plano Hidrológico de la zona de interés
Fuente: ANA, (2015)

La cuenca Ilo – Moquegua comprende 09 unidades hidrográficas a nivel 6.

La Intercuenca Torata abarca un área de 402.23 km^2, limita por el norte con el Embalse Pasto Grande y la unidad hidrográfica Alto Ilo – Moquegua por el sur con las unidades hidrográficas Medio Alto

Ilo – Moquegua y Tumilaca, por el este con la cuenca de locumba. El rio principal que cruza esta cuenca es el rio Torata.

5.1.3.1. Línea piezométrica

No se ha identificado ninguna fuente de agua subterránea ni alguna huella indicadora de la presencia de un nivel freático, por lo que, dada la altura del perfil estratigráfico, la posible presencia de un acuífero no es posible. Sin embargo, al considerar el área de cultivo aledaño a la zona de explotación minera es que se puede considerar ligeras filtraciones ya que el sistema de riego que se desarrolla es tecnificado.

5.1.3.2. Presión intersticial

Debido a que se desconoce la ubicación de la línea piezométrica se introduce al proyecto de investigación el concepto de presión intersticial.

La forma de la superficie freática en un talud luego de la excavación, depende de diferentes factores, entre los que se encuentran la permeabilidad de los materiales, la geometría o forma del talud y las condiciones de contorno tal como se muestra en la Figura 37. (Gonzales de Vallejo et al., 2003).

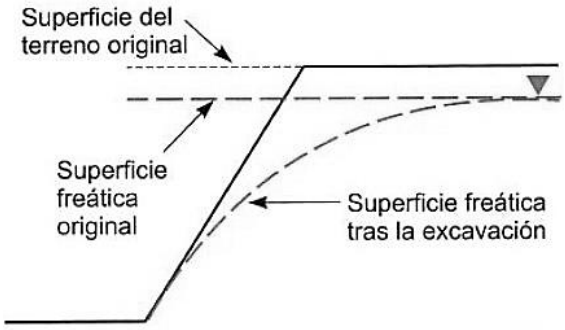


Figura 37. Esquema del nivel freático de un talud
Fuente: Gonzales de Vallejo et al., (2003)

La presencia de agua en el interior del talud da lugar a la aparición de presiones intersticiales que pueden ser conocidas a partir de la red de flujo establecida.

El cálculo de las presiones intersticiales es generalmente complicado, pudiendo hacerse a partir de modelos de presiones intersticiales obtenido para el terreno, o a partir de medidas directas con piezómetros.

La presión intersticial queda caracterizada mediante el coeficiente de presión intersticial (r_u) Este coeficiente mide, en definitiva, la altura alcanzada por el agua en un talud y se expresa de la siguiente manera:

$$r_u = \frac{u}{\gamma \cdot z} \qquad (25)$$

Donde:

- r_u coeficiente de presión intersticial.
- u presión intersticial, $u = z_w . \gamma_w$.
- γ peso específico del suelo.
- Z profundidad considerada.
- Para el caso de $u = 0$, $r_u = 0$.

La ventaja de utilizar el coeficiente de presión intersticial r_u en el análisis de estabilidad de taludes se apoya en su rápida asociación a una altura determinada del nivel freático. En la Figura 38 se ilustra esta relación.

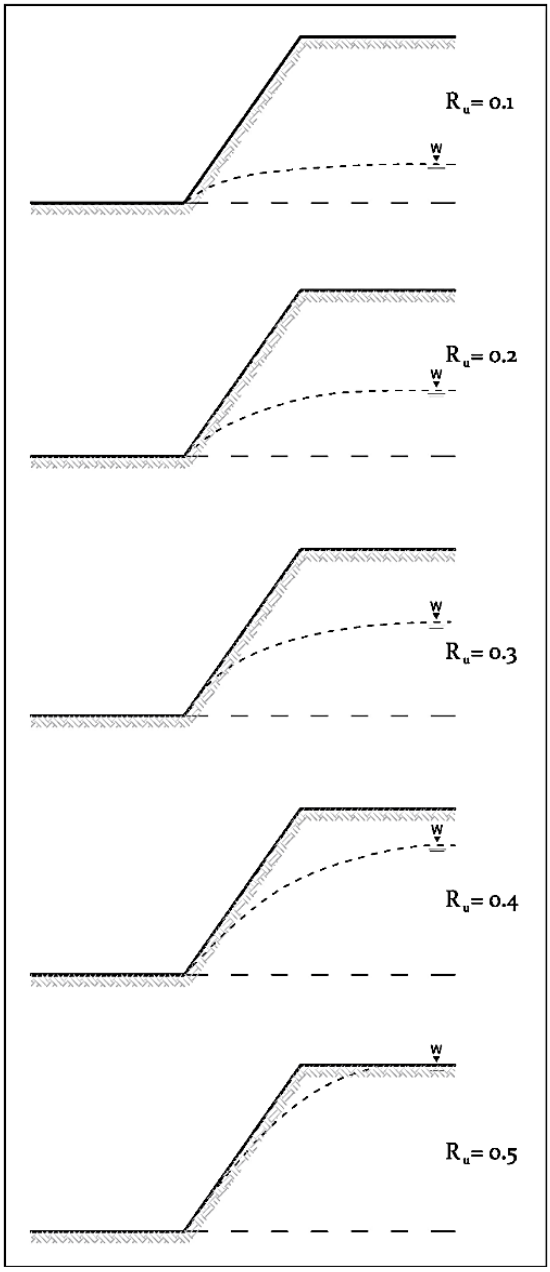


Figura 38. Valor de Ru para distintas posiciones del nivel freático en un talud en suelo
Fuente: Modificado de IGME, (1991)

5.1.4. RIESGOS SÍSMICOS

5.1.4.1. Introducción

El Perú está comprendido entre una de las regiones de más alta actividad sísmica que existe en la tierra por lo tanto está expuesto a este riesgo, que trae consigo la pérdida de vidas humanas y pérdidas materiales. Una forma de saber el comportamiento sísmico de una zona determinada es a través de la evaluación de riesgo sísmico a nivel de predecir las posibles aceleraciones que podrían ocurrir en un área de interés.

En nuestro país la actividad sísmica es ocasionado por la subducción de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana, generando considerables índices de sismos que ocurren en toda la costa peruana. Según estudios, la placa de Nazca en el sur del Perú buza en 30° y alcanza profundidades de hasta 300 km.

5.1.4.2. Zonificación sísmica

El área de estudio en la concesión minera “Moises Randy 2010” está considerada como una zona de alta sismicidad (Zona 3) de acuerdo a la zonificación sísmica actualizada por la norma E.030 Diseño sismo resistente (2016) del Reglamento Nacional de Edificaciones, la zona 3 registra una aceleración sísmica de 0.35 g tal como se muestra en la Figura 39.



Figura 39. Zonificación sísmica Perú
Fuente: Norma E.030, (2016)

5.1.4.3. Antecedentes sísmicos ocurridos en Moquegua

De acuerdo al registro de los movimientos sísmicos ocurridos en los últimos 50 años, se tiene:

- **01 de octubre de 2005 a las 12:19 hrs.,** se produjo un movimiento sísmico en el distrito de Omate, de la provincia de Sanchez Cerro del departamento de Moquegua, con una profundidad de 14 km y de magnitud 5.4 de la escala de Richter.

- **23 de junio del 2001 a las 15:33 hrs.,** ocurrió un movimiento sísmico de magnitud 8.2 en la escala RÍchter, el cual alcanzó una intensidad de VIII grados en la escala Mercalli Modificada en la ciudad de Moquegua.
- **13 de enero de 1960 a las 10:40 hrs.,** el pueblo de Chuquibamba quedó reducido a escombros, siendo igualmente destructor en Moquegua y la ciudad de Arequipa. En el epicentro la intensidad fue del grado VIII en la escala de Mercalli. La profundidad focal se estima en 60 km., y una magnitud de 6.2 en la escala de Richter. (INDECI, 2006)

También se tiene registros históricos de terremotos ocurridos en el sur del Perú como se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17. Registro histórico de terremotos en el sur peruano

Terremotos importantes en el sur peruano (1582-1868) +7.0*			
Fecha	**Epicentro(s)**	**Área afectada**	**Magnitud**
22-01-1582	Arequipa	Arequipa hasta Tacna	8.5
19-02-1600	Moquegua	Arequipa hasta Moquegua	7.5
24-11-1604	Tacna-Arica	Ica hasta Antofagasta	9.2
16-09-1615	Tarapacá	Tacna hasta Antofagasta	8.4
31-03-1650	Cusco	Cusco hasta Arequipa	7.8
20-10-1687	Lima-Ica-Arequipa	Ancash hasta Arica	9.0
22-08-1715	Arequipa	Arequipa hasta Tacna	8.0
08-01-1725	Arequipa	Arequipa hasta Tacna	7.0
04-12-1750	Tacna-Arica	Tacna hasta Arica	7.5
13-05-1784	Arequipa	Arequipa hasta Arica	8.6
10-07-1821	Arequipa	Arequipa hasta Tacna	7.9
08-10-1831	Tarapacá	Tacna hasta Tarapacá	7.5
18-09-1833	Tacna	Moquegua hasta Arica	8.0
13-08-1868	Tacna-Arica	Ica hasta Antofagasta	9.5

**Estimación del autor. Elaboración propia*

Fuente: Peralta, (2017)

5.1.4.4. Aceleración máxima de diseño

El esquema asigna a cada zona un factor Z o PGA (Peak Ground Aceleration) según se indica en la Tabla 17. El factor Z se entiende como la aceleración máxima horizontal en el terreno para un período de retorno T=500 años (Valiente, R., Sobrecases, S., & Díaz, A., 2015) y se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad.

Tabla 18. Factor de zona Perú (E.030)

	Factor de zona			
Zona	4	3	2	1
PGA	0.45	0.35	0.25	0.10

Fuente: Valiente et al., (2015)

La presente Norma clasifican a los suelos considerando las propiedades mecánicas del suelo, el espesor del estrato, el período fundamental de vibración y la velocidad de propagación de las ondas de corte, en ese sentido la Norma clasifica en cuatro tipos a los perfiles de suelos en el Perú.

Tabla 19. Factor de suelo Perú (E.030)

Clasificación de suelos de acuerdo a la amplificación sísmica (E.030)				
Zonas Sismicas	**S0**	**S1**	**S2**	**S3**
	Roca Dura	**Roca o suelos muy rígidos**	**Suelos Intermedios**	**Suelos Blandos**
Zona 4	0.80	1.00	1.05	1.10
Zona 3	0.80	1.00	1.15	1.20
Zona 2	0.80	1.00	1.20	1.40
Zona 1	0.80	1.00	1.60	2.00

Fuente: Valiente et al., (2015)

La aceleración máxima horizontal de diseño $A_{(\max -d)}$ se determina de la siguiente forma:

$$A_{(\max-d)} = PGA \cdot S \quad (26)$$

Donde:

- $A_{(\max-d)}$ Aceleración máxima de diseño de taludes.
- PGA sus siglas en Ingles (Peak Ground Aceleration). Aceleración Máxima del Suelo.
- S factor de amplificación sísmica.

Para un análisis pseudoestático en el diseño de los taludes, la Norma AASHTO y la FHWA (Administración Federal de Carreteras) recomienda reducir el anterior valor a la mitad (Valiente et al., 2015). Por otro lado, Marcuson (1981) sugiere utilizar valores entre 1/3 y ½ de la aceleración máxima esperada con la respectiva amplificación (Suarez, 2009).

Generalmente, el coeficiente sísmico seudoestático corresponde a una aceleración horizontal y usualmente no se tienen en cuenta las aceleraciones verticales, sin embargo, de incluirse en un estudio las aceleraciones verticales, la Norma E.030 indica que; para el análisis en la dirección vertical podrá usarse valores iguales a los 2/3 de la aceleración máxima empleado para las direcciones horizontales.

5.2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5.2.1. PROCEDIMIENTO PARA INGRESO DE PARÁMETROS AL SOFTWARE GEOTECNICO

Los parámetros de entrada se describen a continuación:

- Los parámetros geométricos, estos se deducen de los perfiles estratigráficos resultados del estudio de suelos suministrado.
- Los parámetros geotécnicos, estos se definen por los resultados del laboratorio de los estudios de suelo.
- Los parámetros sísmicos, se basan su deducción de los registros de actividad sísmica de la zona.
- Los hidrológicos, en donde se ubica el nivel freático y la influencia de parámetros como la relación de presión intersticial o presión de poros (Ru).

El esquema que se utiliza para el ingreso de los datos al software geotécnico se muestra en el siguiente gráfico.

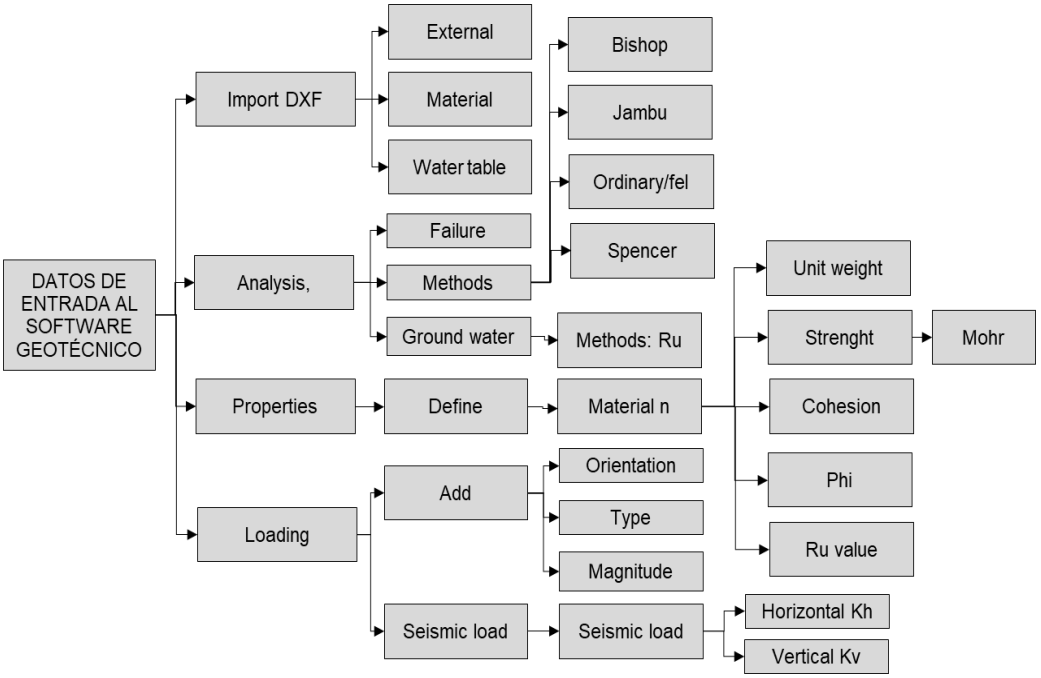


Figura 40. Datos de entrada al software geotécnico
Fuente: Tutorial del software

5.2.2. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN CONDICIONES ACTUALES

5.2.2.1. Perfil evaluado para el análisis de estabilidad

Para el análisis de estabilidad de taludes se tomó un perfil representativo de la zona de interés. El perfil está denomina como corte A - A'.

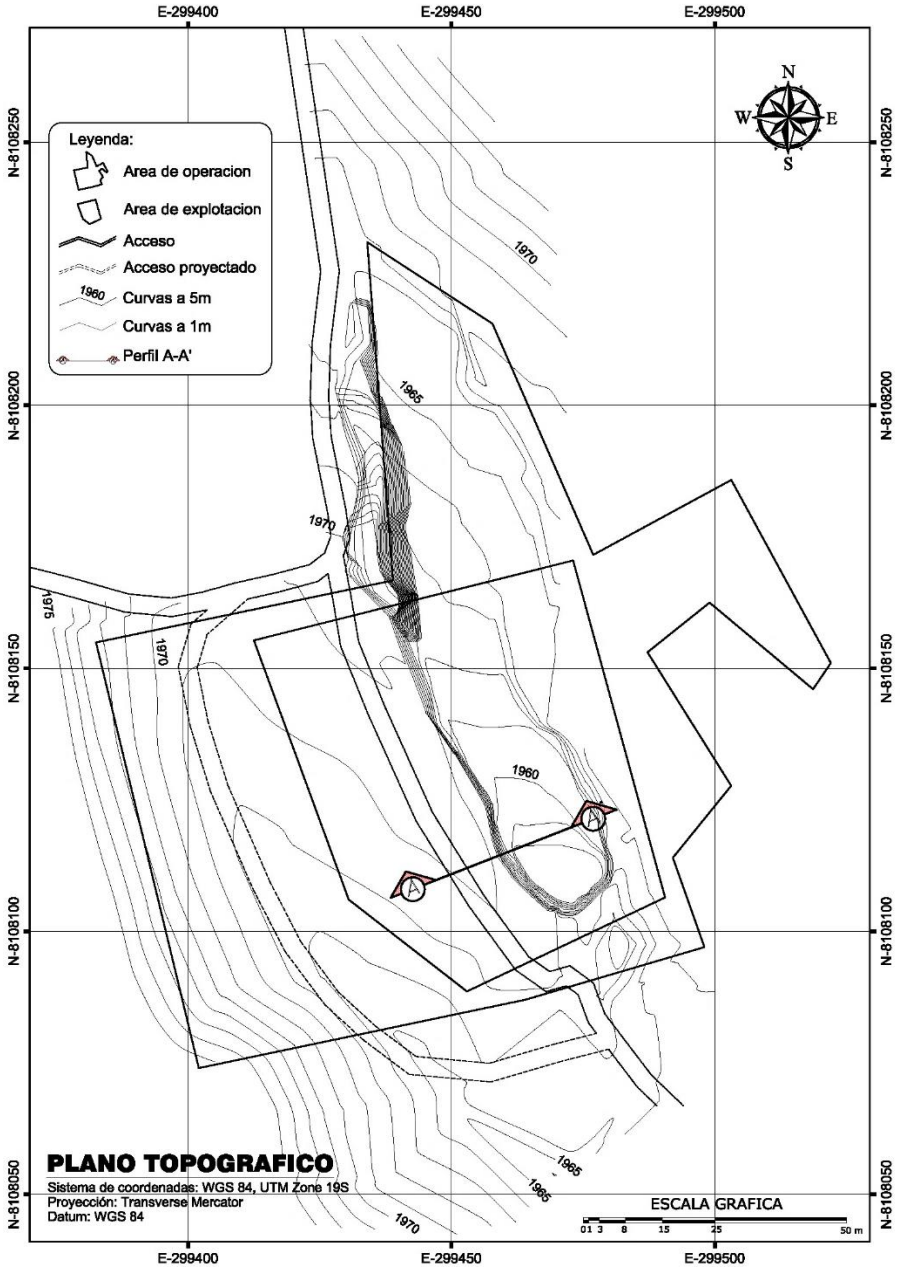


Figura 41. Plano topográfico y ubicación del perfil
Fuente: IGAC "Moisés Randy 2010"

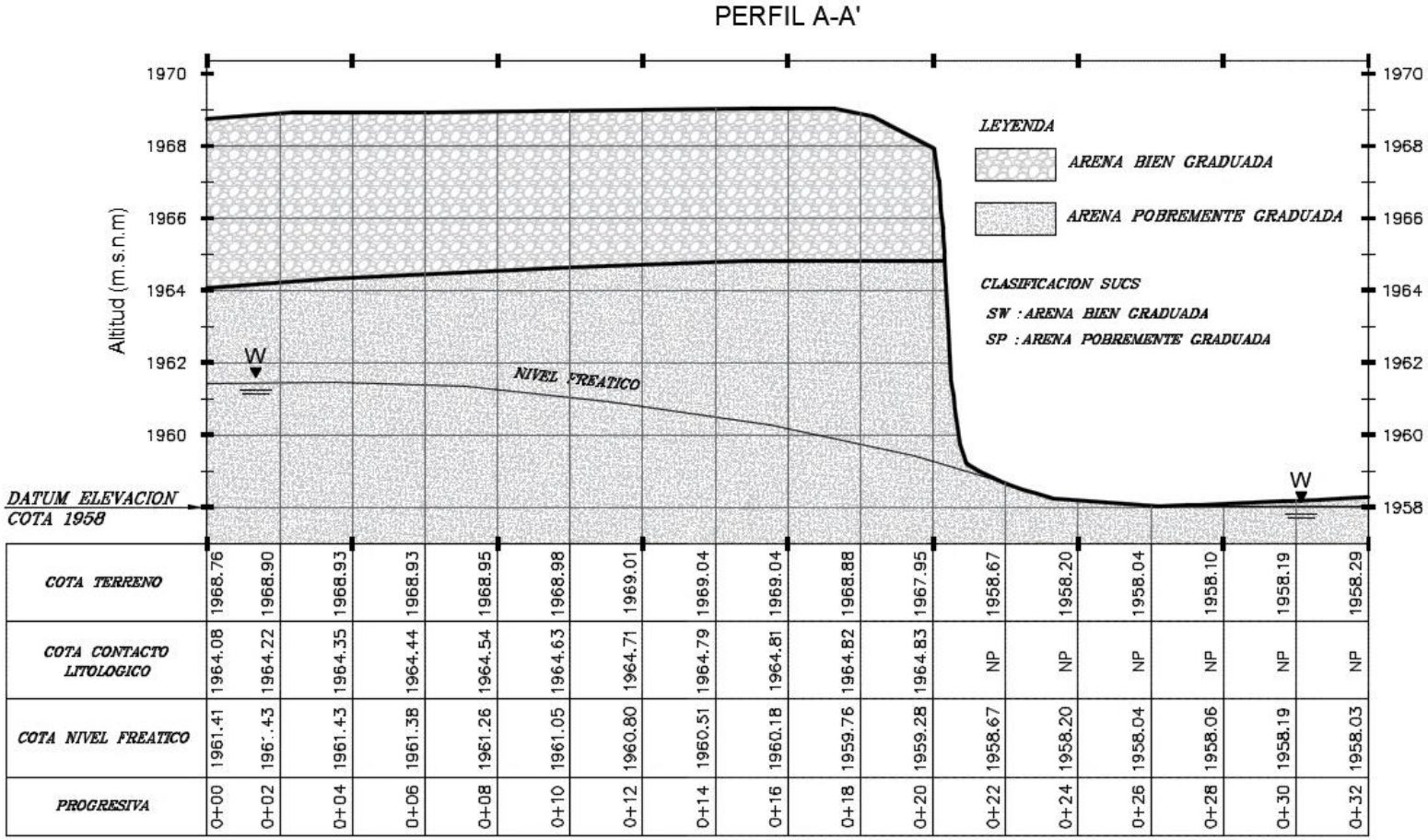


Figura 42. Vista del perfil estratigráfico A - A'
Fuente: Elaborada para la investigación

5.2.2.2. Análisis de estabilidad en condiciones actuales

a) Análisis estático

En los siguientes gráficos y tablas se presentan los factores de seguridad obtenidos para los métodos de análisis (Fellenius y Spencer) a una presión intersticial de Ru = 0.1.

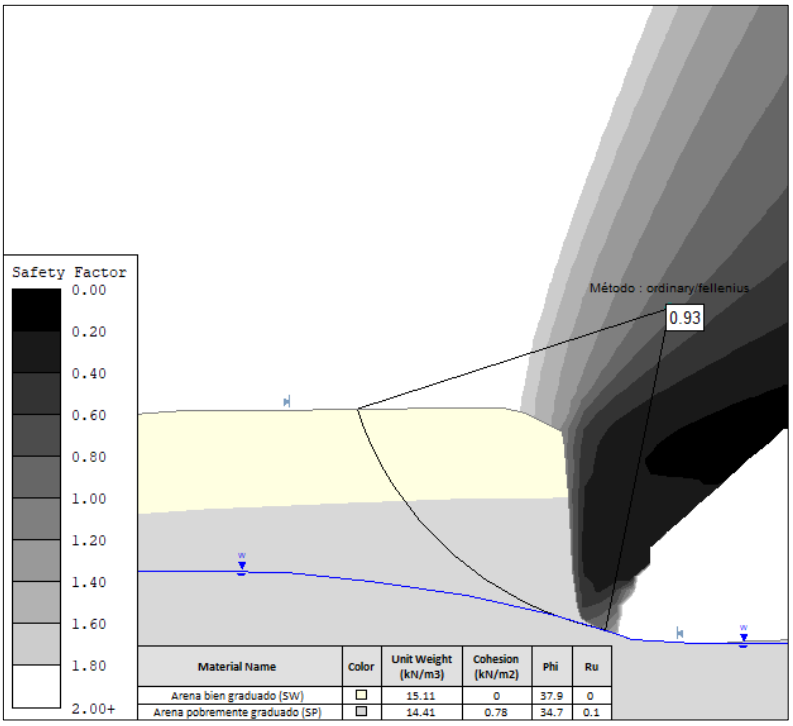


Figura 43. Factor de seguridad del talud actual por el método Fellenius en condiciones estáticas
Fuente: Elaborada para la investigación

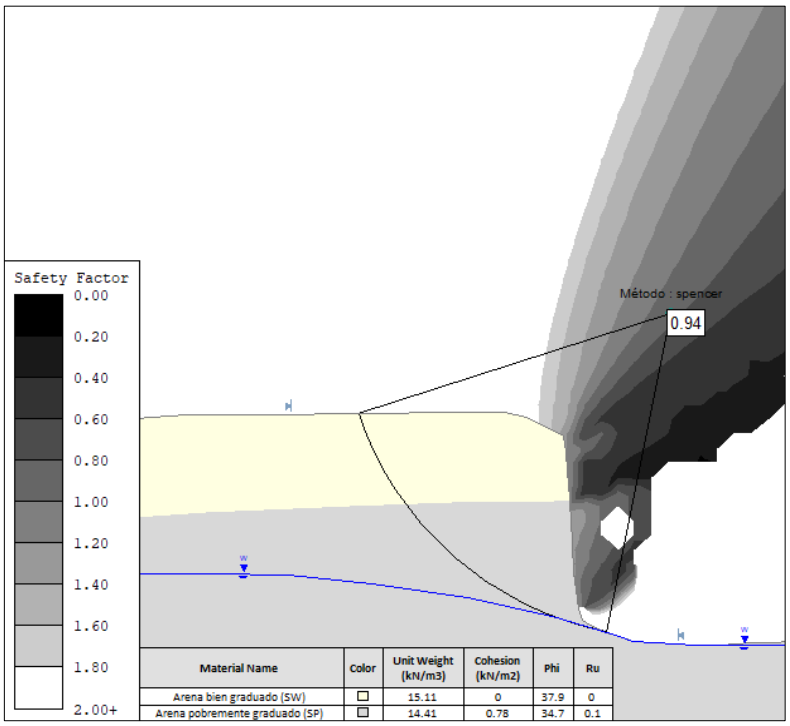


Figura 44. Factor de seguridad del talud actual por el método Spencer en condiciones estáticas
Fuente: Elaborada para la investigación

b) Análisis pseudoestático

Se emplea el análisis pseudoestático debido a que la unidad minera se encuentra en la zona sísmica 3, que según la norma sísmica E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones la aceleración máxima del suelo le corresponde el valor de 0.35. Para determinar la aceleración máxima de diseño se realizó el análisis basado en Marcuson (1981), el cual consiste en tomar la tercera parte de la aceleración máxima de diseño luego de haber sido amplificado, este valor también es conocido como el coeficiente sísmico k_h.

El coeficiente sísmico k_h se calcula de la siguiente manera.

$$A_{(\max-d)} = PGA \cdot S \,;\, donde \;\; k_h = A_{(\max-d)} \tag{27}$$

Por tener el suelo características de resistencia intermedia (ver Tabla 19) y pertenecer a la zona sísmica 3, se considera la amplificación $S = 1.15$.

$$A_{(\max-d)} = \frac{(0.35)\cdot(1.15)}{3} \tag{28}$$

$$A_{(\max-d)} = 0.13 = k_h \tag{29}$$

Considerado los movimientos verticales, por lo tanto, se ha tomado las dos terceras partes del coeficiente sísmico horizontal tal como sugiere la Norma E.030.

$$k_v = \frac{2}{3}(0.13) \tag{30}$$

$$k_v = 0.09 \tag{31}$$

A continuación, se muestran los gráficos y tablas con los factores de seguridad obtenidos por los 2 métodos de análisis (Fellenius y Spencer) para una presión intersticial de Ru = 0.1

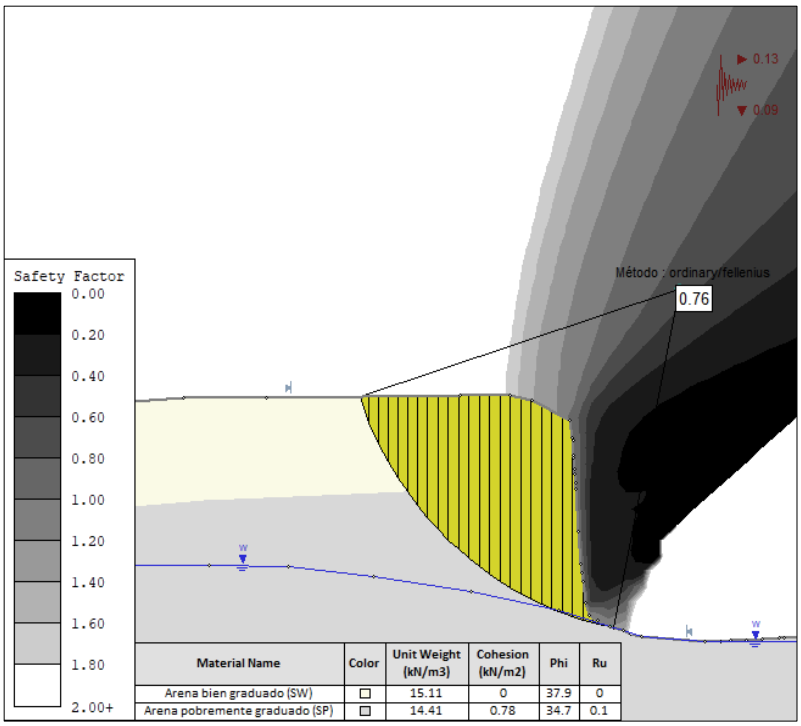


Figura 45. Factor de seguridad del talud actual por el método Fellenius en condiciones pseudoestáticas
Fuente: Elaborada para la investigación

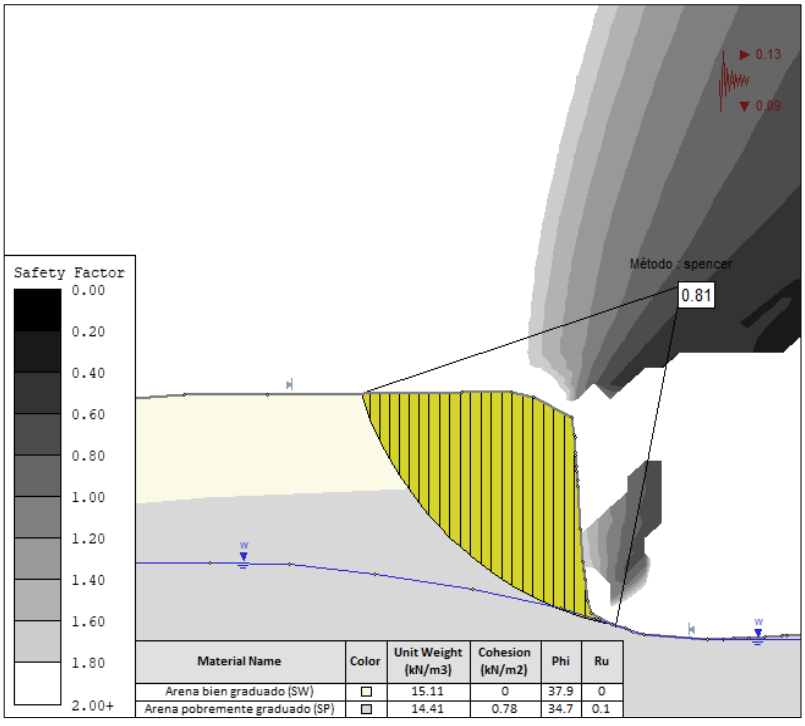


Figura 46. Factor de seguridad del talud actual por el método Spencer en condiciones pseudoestáticas
Fuente: Elaborada para la investigación

A continuación, se presenta un resumen de los resultados obtenidos de los análisis de estabilidad realizados por cada método.

Tabla 20. Resultados de los análisis del talud actual

METODOS DE CALCULO	FACTOR DE SEGURIDAD		CONDICIÓN
	Estático	Pseudoestático Kh=0.13, Kv=0.09	
Fellenius	0.93	0.76	Inestable
Spencer	0.94	0.81	Inestable

Fuente: Elaborada para la investigación

Para la condición estática, los factores de seguridad obtenidos son menores a 1.2 que es el recomendado para este caso, por lo tanto, se considera INESTABLE el talud actual.

Para la condición pseudoestática, con una aceleración sísmica de K_h= 0.13 y K_v= 0.09, los factores de seguridad obtenidos para ambos métodos son menores a 1.0 que el recomendado, por lo tanto, se considera INESTABLE el talud actual.

Debido al diagnóstico de la situación actual del talud se requiere elaborar un estudio para determinar la geometría óptima del talud a fin de garantizar su estabilidad.

5.2.3. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS ÓPTIMOS DEL TALUD

En esta sección se determinarán primeramente los parámetros geométricos elementales como son altura de banco, berma, y ángulo de banco, para determinar este último se aplicará la metodología

propuesta ver Figura 30. El resto de parámetros son calculados a partir de los parámetros elementales ya descritos.

5.2.3.1. Determinación de la altura del talud

Para determinar la altura del talud o de banco, esta implica reunir criterios operativos entre ellas revisar las características de alcance de los equipos de carguío y/o de excavación seleccionados para la operación minera. Entonces, de acuerdo a las fichas técnicas de los equipos (ver ANEXO 3). Se tiene que la altura máxima del cucharon del cargador frontal CAT 950F es 4.5 m y para la retroexcavadora Komatsu WB93R la altura máxima de excavación es 5.8 m. del promedio de las alturas máximas y si se busca aprovechar la eficiencia de los equipos de carguío y/o de excavación, por lo tanto, la altura de banco óptimo para esta operación es de 5 m.

5.2.3.2. Determinación del ancho de berma del talud

Basado en la ecuación desarrollada por Ritchie (1963) y modificado por Evans y Call en 1992 se calcula el ancho de berma del talud, sin embargo, existe condiciones en la selección de la ecuación, si el talud es mayor o menor a 9 m. De lo anterior la altura del talud es 5 m y por ser menor a 9 m el ancho de berma se calcula utilizando la ecuación (1).

$$W = 0.2 \cdot (5) + 2.0 \quad (32)$$

$$W = 3m \quad (33)$$

Por lo tanto, el ancho de berma es 3 m.

5.2.3.3. Determinación del ángulo del talud

Este parámetro generalmente queda definido en base a las características geotécnicas del terreno para ello es necesario hacer pruebas siguiendo el procedimiento del diagrama de flujo para determinar los parámetros geométricos óptimos del talud tal como señala la Figura 30.

Análisis de estabilidad

El ANEXO 4, muestra las pruebas para hallar el ángulo del talud optimo con el software geotécnico, analizados para condiciones estáticas y pseudoesáticas en los diferentes cabios del ángulo del talud; dando un total de 24 pruebas donde se indican los factores de seguridad obtenidos por los métodos de análisis (Fellenius y Spencer).

Resultados por el método de Fellenius

En la siguiente tabla se muestra los factores de seguridad obtenidos por cada ángulo de talud de las pruebas.

Tabla 21. Resultados de los factores de seguridad por el método Fellenius

Angulo del talud (°)	F.S Estádico	F.S Pseudoestático
32	1.44	1.09
35	1.33	1.02
36	1.30	1.00
38	1.25	0.97
40	1.20	0.94
41	1.18	0.93
42	1.15	0.91
43	1.13	0.89
44	1.11	0.87
45	1.08	0.85
47	1.05	0.83
50	0.98	0.78

Fuente: Elaborada para la investigación

Por el método de Fellenius se ha identificado un talud óptimo de 36° por cumplir el factor mínimo requerido para su estabilidad. Para condiciones estáticas se obtuvo un factor de seguridad de 1.30 y en condiciones pseudoestáticas un factor de seguridad de 1.00. Los factores mínimos requeridos para lograr la estabilidad son de 1.2 para condiciones estáticas y 1.00 para pseudoestáticas.

El ángulo óptimo seleccionado se presenta en la Figura 47.

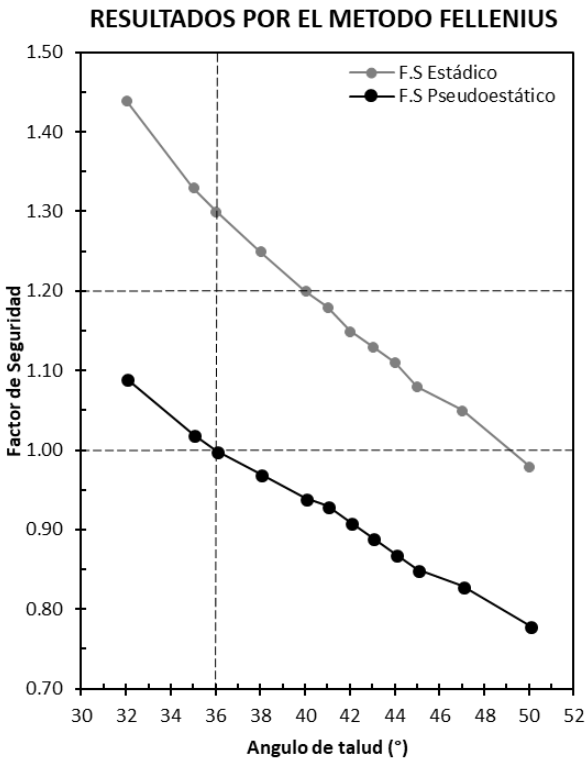


Figura 47. Resultados por el método Fellenius
Fuente: Elaborada para la investigación

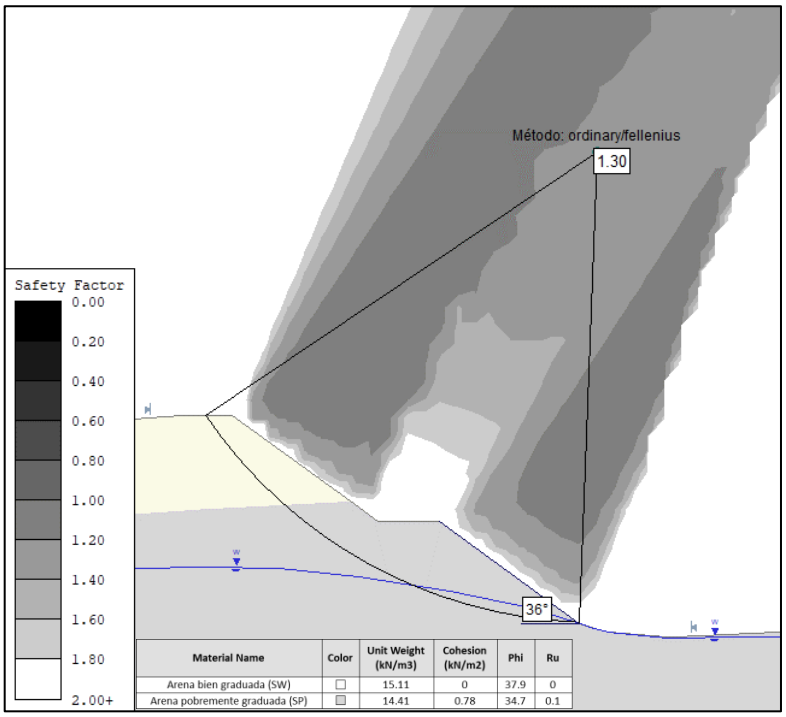


Figura 48. Talud optimo seleccionado por el método Fellenius en condiciones estáticas
Fuente: Elaborada para la investigación

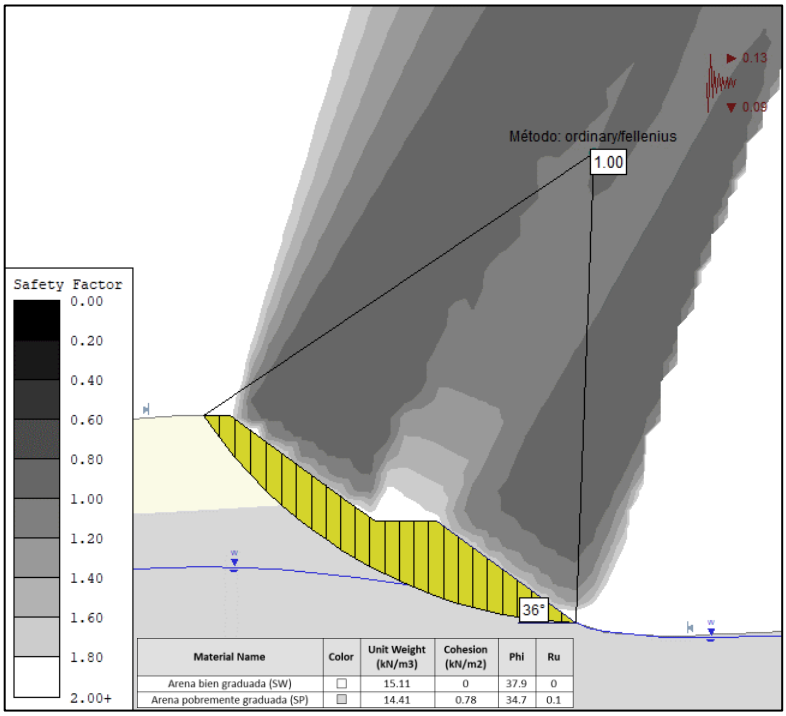


Figura 49. Talud optimo seleccionado por el método Fellenius en condiciones pseudoestáticas
Fuente: Elaborada para la investigación

Resultados por el método Spencer

En la siguiente tabla se muestra los factores de seguridad obtenidos para cada ángulo de talud en prueba, desarrollados por el método Spencer.

Tabla 22. Resultados de los factores de seguridad por el método Spencer

Angulo del talud (°)	F.S Estádico	F.S Pseudoestático
32	1.49	1.14
35	1.38	1.07
36	1.34	1.06
38	1.33	1.05
40	1.30	1.04
41	1.28	1.03
42	1.25	1.01
43	1.22	0.98
44	1.19	0.96
45	1.17	0.95
47	1.14	0.93
50	1.08	0.88

Fuente: Elaborada para la investigación

Por el método de Spencer se ha identificado un talud óptimo de 42° por cumplir el factor mínimo requerido para su estabilidad. Para condiciones estáticas se obtuvo un factor de seguridad de 1.25 y en condiciones pseudoestáticas un factor de seguridad de 1.01. Los factores mínimos requeridos para lograr la estabilidad son de 1.20 para condiciones estáticas y 1.00 para pseudoestáticas.

El ángulo óptimo seleccionado se presenta en las figuras (Figura 47, Figura 50).

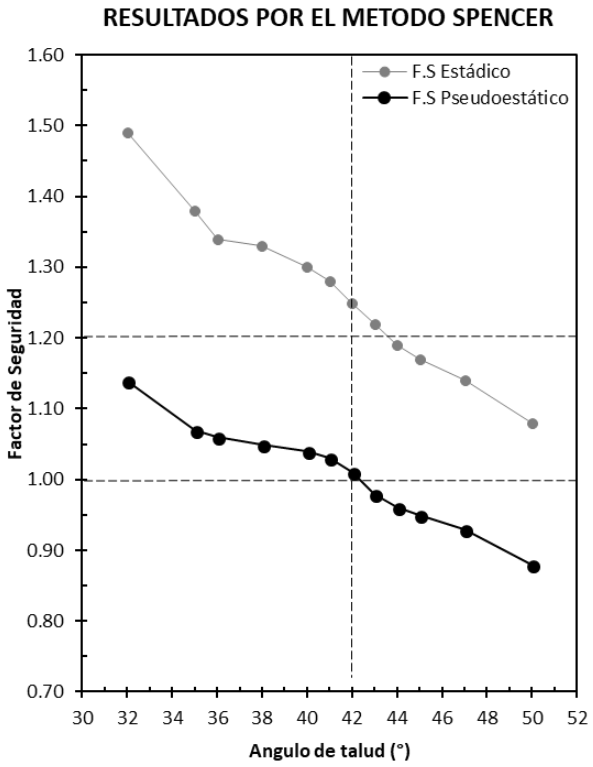


Figura 50. Resultados por el método Spencer
Fuente: Elaborada para la investigación

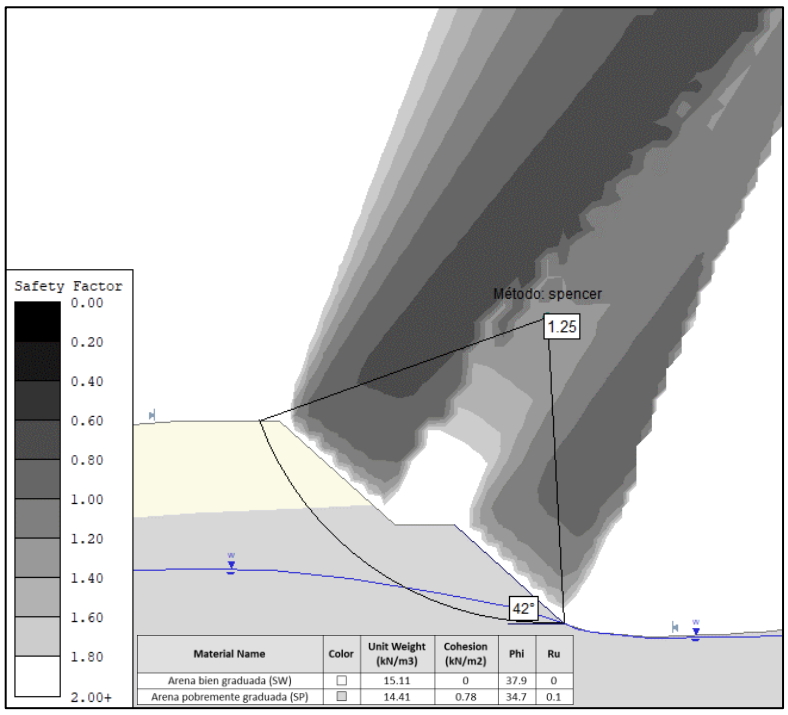


Figura 51. Talud optimo seleccionado por el método Spencer en condiciones estáticas
Fuente: Elaborada para la investigación

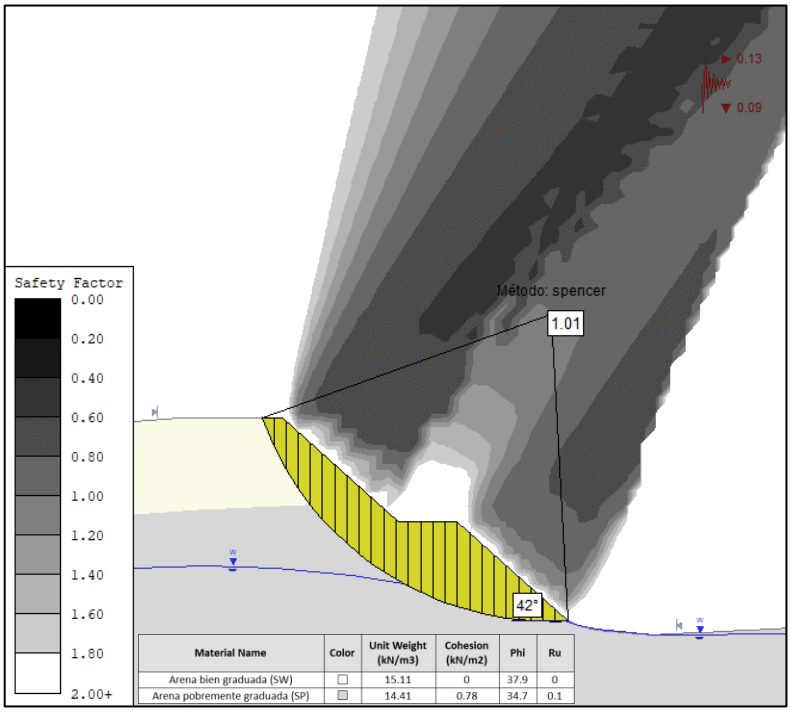


Figura 52. Talud óptimo seleccionado por el método Spencer en condiciones pseudoestáticas
Fuente: Elaborada para la investigación

Los resultados que se obtienen al analizar la estabilidad de taludes por el método de Fellenius son valores conservadores, por lo que se tomó como base para los demás métodos y los valores de Spencer a diferencia de Fellenius son más reales y precisos, debido a que considera más componentes de fueras y momentos entre dovelas.

Para tal efecto se seleccionará el ángulo de talud que se propone por el método de Spencer la cual es de 42°.

5.2.3.4. Determinación del ángulo interrampa del talud

Para determinar el ángulo interrampa del talud, se hace uso de la ecuación (4). Esta debido a que ya se conoce los valores de altura de banco, berma y ángulo de talud.

De los siguientes valores:

- Ángulo de banco, $\alpha_b = 42°$.
- Altura de banco, $h_b = 5m$.
- Ancho de berma, $B = 3m$.
- Ángulo interrampa, α_r .

Ecuación para calcular el ángulo interrampa.

$$\alpha_r = tan^{-1} \cdot \left(\frac{h_b}{h_b \cdot cot\alpha_b + B} \right) \quad (34)$$

Reemplazando valores.

$$\alpha_r = tan^{-1} \cdot \left(\frac{5}{5 \cdot cot(42°) + 3} \right) \quad (35)$$

$$\alpha_r = 30.3° \quad (36)$$

Por lo tanto, el ángulo interrampa es 30.3°.

5.2.3.5. Determinación del ángulo global del talud

El ángulo global del talud es calculado geométricamente a partir de los parámetros elementales ya definidos como son: La altura de banco, ángulo de banco, berma y el número de bancos que las compone.

De la ecuación (6) el ángulo global es:

$$\alpha_o = tan^{-1}.\left[\frac{\lambda_b \cdot h_b}{\lambda_b \cdot h_b \cdot cot\alpha_b + (\lambda_b - 1)B}\right] \quad (37)$$

Donde:

- Ángulo global, α_o
- Ángulo de banco, $\alpha_b = 42°$
- Altura de banco, $h_b = 5m$
- Ancho de berma, $B = 3m$
- Número de bancos, $\lambda_b = 2$

Reemplazando los valores se tiene.

$$\alpha_o = tan^{-1}.\left[\frac{(2)\cdot(5)}{(2)\cdot(5)\cdot cot(42°) + (2-1)B}\right] \quad (38)$$

$$\alpha_o = 35.3° \quad (39)$$

Por lo tanto, el ángulo global es 35.3°

5.2.3.6. Determinación de la altura global del talud

La altura global del talud se puede calcular por la suma de las alturas interrampas o el producto de la altura de banco y el número de bancos existentes en el talud. Para el presente el talud en análisis no cuenta con rampas, por lo tanto, la ecuación para determinar la altura global es:

$$h_o = N_b \cdot h_b \quad (40)$$

Donde:

- Altura global, h_o
- Número de bancos, $N_b = 2$
- Altura de banco, $h_b = 5m$

Reemplazando los valores se tiene.

$$h_o = (2) \cdot (5m) \quad (41)$$

$$h_o = 10m \quad (42)$$

Por lo tanto, la altura global es de 10 m.

A partir de los estudios realizados la modificación de la geometría muestra un efecto positivo en la estabilidad del talud.



Figura 53. Estabilidad del talud basada en la geometría propuesta
Fuente: Elaborada para la investigación

5.3. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

5.3.1. HIPÓTESIS GENERAL

Mediante la aplicación de la metodología del diagrama de flujo propuesto se determinará los parámetros geométricos óptimos del talud a fin de garantizar la estabilidad del tajo superficial del área de explotación en la unidad minera "Moises Randy 2010".

Identificado el diagnostico de inestabilidad que presentaba el talud actual (ver Tabla 20) y para obtener los resultados de la investigación ya descritos anteriormente, se tuvo que aplicar la metodología del diagrama de flujo que señala la Figura 30, se ejecutó de la siguiente manera:

Primera etapa: Se desarrolló una investigación preliminar como buscar información existente, las cuales fueron proporcionados por la administración de la concesión minera "Moises Randy 2010". Por otro lado, el reconocimiento en campo y fundamentalmente el levantamiento topográfico de la zona de interés.

Segunda etapa: Se realizó el estudio geológico de la zona proporcionado por INGEMMET (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico), se elaboró el perfil estratigráfico, también se realizó los estudios de riesgo sísmico de la zona, estas se obtuvieron de la data histórica de los registros de INDECI. De la misma manera se obtuvo la aceleración máxima de la zona como señala la Norma Técnica E.030. Las propiedades geotécnicas fueron obtenidas por estudios

realizados en laboratorio de mecánica de suelos (ver ANEXO 5). Y finalmente los estudios hidrológicos proporcionados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

Tercera etapa: Esta etapa consta el trabajo en gabinete donde se desarrolló el análisis la interpretación y presentación de resultados apoyado con el software de análisis. en la cual se ha establecido los siguientes procedimientos.

a) **Definición de los parámetros geotécnicos en el software de análisis:** Se introdujo los parámetros y las unidades geotécnicas como:

Unidad geotécnica SW (Arena bien graduada):

- Cohesión : 0.00 KN/m^2
- Ángulo de fricción : 37.9°
- Densidad : 15.11 KN/m^3

Unidad geotécnica SP (Arena pobremente graduada):

- Cohesión : 0.78 KN/m^2
- Ángulo de fricción : 34.7°
- Densidad : 14.41 KN/m^3

Previas configuraciones se seleccionó el método de análisis de estabilidad de taludes (Equilibrio Límite) y el método para calcular el factor de seguridad (Fellenius, Spencer).

b) **Definición de los parámetros geométricos del talud en el software de análisis:** Se introdujo la geometría del talud que hasta el momento se determinaron.

- Altura de banco : 5 m.

- Berma : 3 m.
- Ángulo de talud : Variable

c) **Ejecución de análisis en condiciones estáticas y pseudoestáticas:** Para poder calcular el factor de seguridad en condiciones sísmicas se introdujo al software la constante de sismicidad que corresponde a la zona de estudio.

- Coeficiente de carga sísmica : K_h=0.13, K_v=0.09

En contraste para condiciones estáticas la constante de sismicidad es nula. La condición del análisis es: Si el factor de seguridad resultante no cumple con las condiciones de estabilidad, tanto para el análisis estático y pseudoestático.

- Condición estática : F.S > 1.2
- Condición pseudoestática : F.S > 1.0

Entonces se definirá una nueva geometría (Ángulo de banco) y se calculará el nuevo factor de seguridad. Este procedimiento iterativo se desarrolló varias veces hasta que pudo satisfacer las condiciones de estabilidad, el ángulo obtenido fue.

- Ángulo de banco : 42° (Spencer), 36° (Fellenius)

d) **Determinación de los parámetros geométricos óptimos del talud:** Se cuantificó la determinación del ángulo óptimo del talud como se muestra en las Figuras 47, Figura 50.

Finalmente, de acuerdo al análisis de estabilidad de taludes desarrollado para el tajo de la unidad minera “Moises Randy 2010”, se obtuvo los siguientes parámetros geométricos óptimos del talud.

- Altura de banco : 5 m
- Ancho de berma : 3 m
- Ángulo de banco : 42°
- Ángulo interrampa : 30.3°
- Altura interrampa : 10 m
- Angulo global : 35.3°
- Altura global : 10 m

Debido a que los parámetros mencionados cumplen las condiciones de estabilidad y estas por la aplicación de la metodología propuesta, entonces, aceptamos la hipótesis general que establece que: Mediante la aplicación de la metodología del diagrama de flujo propuesto se determinará los parámetros geométricos óptimos del talud a fin de garantizar la estabilidad del tajo superficial del área de explotación en la unidad minera “Moises Randy 2010”.

5.3.2. PRIMERA HIPÓTESIS ESPECIFICA

Estudiando el comportamiento del suelo se determinará el ángulo de banco óptimo para el tajo superficial del área de explotación en la unidad minera “Moises Randy 2010”.

Para determinar el ángulo de banco óptimo se tomó como guía principal el diagrama de flujo que se muestra en la Figura 30. La cual plantea presentar cambios del ángulo de talud mediante pruebas, realizando iteraciones hasta que cumpla las condiciones de estabilidad.

Debido a que la estabilidad de un talud depende tanto de su geometría (pendiente y altura), así como de las características

geotécnicas del suelo que lo forma (ángulo de fricción y cohesión) que definen su resistencia al corte (Bañón & Beviá, 2000). En base a ello se realizaron 24 pruebas de análisis de estabilidad con el apoyo del software geotécnico (ver ANEXO 4), el ángulo que cumple las condiciones de estabilidad es 42° por el método Spencer.

Con todo lo anterior se acepta la hipótesis que afirma que: Estudiando el comportamiento del suelo se determinará el ángulo de banco óptimo para el tajo superficial del área de explotación en la unidad minera “Moises Randy 2010”.

5.3.3. SEGUNDA HIPÓTESIS ESPECIFICA

Al determinar la altura de banco óptimo para el tajo superficial del área de explotación en la unidad minera “Moises Randy 2010”, se reducirán los riesgos de deslizamientos.

La hipótesis planteada menciona que al encontrar una altura óptima de banco para el tajo superficial se reducirán los riesgos de deslizamientos.

La altura de banco es un parámetro que afecta a la estabilidad del talud debido a que cuanta más elevación tenga el talud mayor será su riesgo de deslizamiento (Fernández, 2017). Esto se puede comprobar con los resultados del factor de seguridad en los cálculos que se han realizado en un software geotécnico. Como se observa en las Figuras (Figura 43, Figura 44, Figura 45 y Figura 46) con la altura de banco en condiciones actuales se detectó factores de

seguridad que son inferiores al recomendado y efectivamente como se muestra en las Figuras (Figura 48, Figura 49, Figura 51 y Figura 52), al reducir la altura de banco a 5 m, el análisis arroja valores que cumplen la condición de estabilidad, estos indicadores demuestran que con dicha altura se reducirán los riesgos de deslizamientos.

CONCLUSIONES

- Para el inicio de un nuevo proyecto de minería o mismo que este en desarrollando, la geotécnica asume cada vez mayor importancia en las operaciones de planeamiento, diseño y método de explotación, principalmente en lo que se refiere a los estudios de estabilidad de taludes en minas a cielo abierto, siendo uno de los factores primordiales la geometría que se propone y ejecuta. En estos estudios, los taludes se subdividen en varios sectores y se definen secciones de referencia para los análisis, de modo a establecer un programa de explotación del mineral condicionado por la seguridad de las excavaciones en los frentes de la mina.

- Entonces para la optimización de la geometría final del talud de la mina, se vio la necesidad de un trabajo analítico respaldado por los parámetros geotécnicos y el estudio de cada una de las secciones investigadas; la presente tesis trabajó armónicamente los factores operacionales y de seguridad para la geometría final indicada en la metodología y la presentación y análisis de resultados.

- Las condiciones geológico-geotécnicas del área fueron de gran importancia para el desenvolvimiento de esta tesis, así como del programa de investigación de toda la descripción de los materiales con base en sus características físicas y los parámetros de resistencia. Para la unidad minera Moisés Randy 2010, esta campaña experimental fue realizada para tornar factible el estudio de estabilidad del talud actual mostrada en el capítulo V, y los resultados fueron correlacionados, consolidando a metodología propuesta en el capítulo VI.

- Se consiguió determinar los parámetros geométricos óptimos a fin de garantizar la estabilidad del tajo del área de explotación en la mina, los parámetros geométricos obtenidos del análisis de estabilidad de los taludes para alcanzar un factor de seguridad que se encuentre entre los rangos sugeridos por Read & Stacey (2009) según la Tabla 12 y exigidos por normatividad peruana, fueron:

Tabla 23. Geometría recomendada para las dimensiones lineales

Extensiones	**Valor (m)**
Altura de banco	5
Ancho de berma	3
Altura de talud total	10

Fuente: Elaborada para la investigación

Tabla 24. Geometría recomendada para las dimensiones angulares

Inclinaciones	**Valor (°)**
Ángulo de Banco	42.0
Ángulo Interrampa	30.3
Ángulo Global	35.3

Fuente: Elaborada para la investigación

Es importante resaltar que los valores obtenidos y analizados fueron de un total de 24 pruebas realizadas, siendo que fueron comparadas en condiciones estáticas y pseudoestáticas. Los métodos utilizados para la evaluación de la geometría óptima fueron realizados considerando un área de ruptura circular mediante el método de Fellenius, como una base de comparación de fuente reservada, y Spencer como método convencional para el análisis de taludes tomando en cuenta el equilibrio de fuerzas y momentos.

- Los resultados de los ensayos de laboratorio y de los análisis de estabilidad demostraron que la descripción de los materiales con base en sus características físicas presentes en estas áreas posee valores congruentes con las observaciones de campo e investigaciones de envergadura similar. Zonas detectadas con algún tipo de agrietamiento por tracción se mostraron con un grado mínimo de influencia para el análisis de estabilidad.

- Otro factor significativo de la investigación fue el comportamiento del nivel freático, que deberá ser acompañado con especial cuidado a lo largo de los períodos húmedos en caso de una pequeña ascensión del mismo. En el caso de una elevación considerable del nivel freático en los taludes, se impondría una reducción del ángulo global.

RECOMENDACIONES

- La realización de esta investigación, fundamentado en un enfoque incorporado y sectorizado de la estabilidad de los taludes de la mina Moisés Randy 2010, facilito la implantación de una metodología efectiva de control geotécnico para la explotación, con gran repercusión en la dinámica de las operaciones. Este modelo en función de los datos de campo, laboratorio y gabinete, han demostrado ser una herramienta incondicional para la estabilidad de taludes. Futuros análisis estarán auxiliados por la obtención de un banco de datos cada vez más amplio y un conocimiento cada vez mayor del comportamiento geotécnico de los taludes de la mina, que dependerá entonces de la continuidad de trabajos de esta clase.

- Es interesante el desarrollo de un banco de datos de superficies reales de nuestra región con informaciones representativas de los diversos ambientes geotécnicos a fin de aplicar la metodología propuesta en esta investigación para elaborar un único gráfico de estabilidad de toda la región o gráficos de estabilidad divididos por dominio geotécnico, consiguiendo agrupar diferentes unidades mineras que se desarrollan a lo largo de la zona.

- Continuando con la realización de trabajos similares para la obtención de un banco de datos cada vez mayor, se conseguirá implementar enfoques estadísticos de los análisis de estabilidad de los taludes estudiados, considerando la variabilidad de los parámetros geotécnicos del suelo y/o roca.

- Para analizar el comportamiento de suelos y/o rocas con diferentes propiedades geotécnicas del área que en este estudio se desarrolló, se debe plantear otros escenarios con diferentes condiciones hidrogeológicas, se vuelve interesante trabajar con coeficientes de poro-presión (Ru) debido a que esta posee influencia considerable en el análisis de estabilidad y la misma es muy difícil de estimar o en un caso hipotético poco probable identificar el nivel piezométrico que el talud la compone considerándolo como una variable y verificar cuál es la influencia de esta variación en el análisis de la estabilidad.

- Integrar en la práctica operacional de la mina la actualización del mapeo geotécnico conforme a los avances de los frentes de explotación para la constante actualización de los datos geológicos y estructurales de la mina. A partir de los datos de campo, se debe alimentar el banco de datos y reevaluar la probabilidad de ruptura de los taludes, a través de análisis equilibrio limite, a partir de análisis de estabilidad utilizando la metodología propuesta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alva, J. (2016). *Análisis de estabilidad de taludes*. [diapositivas en PDF]. Recuperado el 15 de Setiembre de 2017 de: http://www.jorgealvahurtado.com/files/Analisis%20de%20Estabilidad%20de%20Taludes.pdf

ANA. (2015). *Cuencas hidrográficas del Perú*. Recuperado el 15 de Setiembre de 2017, de GEO GPS PERÚ: http://www.geogpsperu.com/2014/02/descargar-cuencas-hidrograficas-del.html

Bañón, L., & Beviá, J. (2000). *Manual de carreteras. Construcción y Mantenimiento*. Caminos II, Volumen II, (pp. 19).

Cantera Moises Randy 2010. (2014) *Evaluación de estabilidad física de componentes de la cantera Moises Randy 2010*. Recuperado de GREM: http://www.diremmoq.gob.pe/web13/files/ambiental/IGAC_Moises_Randy/Estabilidad_Fisica_Talud_Botadero.pdf

Das, B. (2001). Resistencia cortante del suelo. En *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México Thomson Learning, (pp. 207-247).

Fernández, J. (2017). *Estudio de la influencia de parámetros geométricos y geotécnicos en la estabilidad de taludes mediante el programa Geoslope*. Universidad Politécnica de Cartagena. Colombia.

Gerscovich, D. (2013). *Estabilidade de taludes*. São Paulo: Oficina de Textos.

Gonzales de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortaño, L. & Oteo, C. (2003). Taludes. En *Ingeniería Geológica*. Madrid Pearson, (pp. 430-510).

Gutiérrez, J. & Vélez, M. (2016). *Análisis probabilístico y de sensibilidad en la estabilidad de taludes utilizando la aplicación SLOPE/W*. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Colombia.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill, Sexta edición México.

Herrera, J. (2007). *Diseño de explotación de cantera*. Universidad Politécnica de Madrid Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Minas, (pp. 7).

Hoyos, F. (2001). *Geotecnia. Diccionario Básico*. Universidad Nacional de Colombia. Escuela de Ingeniería Civil - Facultad de Minas.

IGAC. (2017). *Instrumento de gestión Ambiental Correctivo "Moises Randy 2010"*. Concesión Minera "Moises Randy 2010".

IGME. (1991). Aspectos hidrogeológicos. En *Manual de ingeniería de taludes.* Instituto Geológico y Minero de España, (pp. 168-170).

IGME. (1991). Métodos de cálculo. En *Manual de Ingeniería de Taludes*. Instituto Geológico y Minero de España, (pp. 188-290).

INDECI. (2006). *Compendio estadístico de prevención y atención de desastres 2006 sismos ocurridos en el Perú*. Recuperado el 20 de setiembre de 2017, de INDECI: http://www.indeci.gob.pe/compend_estad/2006/7_otras_estad/7.1_sismos/7.1.4_hist_sismos.pdf

INGEMMET. (1995). *Carta Geológica Nacional*. Recuperado el 15 de Setiembre de 2017, de INGEMMET: http://geocatminapp.ingemmet.gob.pe/complementos/Descargas/Mapas/publicaciones/serie_a/mapas/indice.htm.

INGEMMET. (2000). *Mapa geológico del cuadrángulo de Moquegua 35-U, IV*. Recuperado el 15 de Setiembre de 2017, de INGEMMET: http://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/

INGEMMET. (2018). *Catastro Minero*. Recuperado de IGEMMET: http://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/

Juárez, E. (1973). Estabilidad de taludes. En *Mecánica de suelos. Teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos*. Tomo II. México, (pp. 177-183).

Llorente, M. (2015). *Análisis de estabilidad de taludes I*. [diapositivas en PDF]. Recuperado el 15 de Setiembre de 2017 de: https://es.slideshare.net/SocratesMuoz/estabilidad-de-taludes-parte-11

Lopez, E. (2016). *Estudio geotécnico y diseño del talud final de una mina a cielo abierto aplicando modelos numéricos*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

Mendoza, J. (2017). *Análisis de estabilidad de taludes de suelos de gran altura en la mina Antapaccay*. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Morales, H. & Valiente, M. (2017). *Evaluación geotécnica de inestabilidad de taludes. Caso estudio Institución social Jardín Infantil*. Universidad de Cartagena. Colombia.

Morales, M. (2009). *Caracterización geotécnica y determinación de ángulos de talud en yacimiento Franke*, (pp. 72-74).

Normas Legales. (24 de enero de 2016). DS-N°003-2016-VIVENDA. Decreto Supremo que modifica la Norma Técnica E.030 *"Diseño Sismorresistente"* del Reglamento Nacional de Edificaciones. Diario oficial de El Peruano, Lima, Perú.

Normas Legales. (28 de Julio de 2016). DS-N°024-2016-EM. *Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería*. Diario oficial de El Peruano, Lima, Perú.

Peralta, P. (2017). Desastres naturales en el sur peruano. En *Los efectos de los desastres naturales en la producción vitivinícola de Moquegua y Arequipa (1600-1868)*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, (pp. 18)

Read, J., & Stacey, P. (2009). *Guidelines for Open Pit Slope Design*. CSIRO, Collingwood, Australia, (pp. 223, 235).

Rodríguez, W. (2016). Geotecnia aplicada al diseño y construcción de cimentaciones. En *Ingeniería Geotécnica*. Universidad Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque, Perú, (pp. 4).

Salas, D. (2011). *Análisis de estabilidad del diseño del rajo del Proyecto Angostura*, Santander, Colombia, (pp. 42).

Suarez, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Civil. Bucaramanga, Colombia.

Suarez, J. (2009). Análisis de estabilidad. En *Deslizamientos, Análisis Geotécnico*, (pp. 127-172).

Suarez, J. (2009). Comportamiento sísmico de taludes. En *Deslizamiento: Análisis Geotécnico*, (pp. 268-306).

Valiente, R., Sobrecases, S., & Díaz, A. (2015). *Estabilidad de taludes: Conceptos Básicos, Parámetros de Diseño y Métodos de Cálculo*. Revista Civilizate, Núm. 7.

A N E X O S

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA DEL PROYECTO DE TESIS
DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DEL TALUD, PARA GARANTIZAR LA ESTABILIDAD DEL TAJO SUPERFICIAL DEL ÁREA DE EXPLOTACIÓN EN LA UNIDAD MINERA "MOISES RANDY 2010"

Tabla 25. Matriz de consistencia del proyecto de tesis

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	FORMULACIÓN DE OBJETIVOS	FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	VARIBLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN
1.0.- Interrogante General	**1.0.- Objetivo general**	**1.0.- Hipótesis General**			
¿Cómo determinar los parámetros geométricos óptimos del talud para garantizar la estabilidad del tajo superficial del área de explotación en la unidad minera "Moisés Randy 2010"?	Determinar los parámetros geométricos óptimos del talud para garantizar la estabilidad del tajo superficial del área de explotación en la unidad minera "Moisés Randy 2010".	Mediante la aplicación de la metodología del diagrama de flujo propuesto se determinará los parámetros geométricos óptimos del talud a fin de garantizar la estabilidad del tajo superficial del área de explotación en la unidad minera "Moises Randy 2010"	Parámetros geométricos del talud.	Estabilidad del tajo.	**Tipo de investigación.** El tipo de Investigación que se adapta al presente trabajo es el **Aplicativo.**
2.0.- Interrogantes Secundarias	**2.0.- Objetivos específicos**	**2.0.- Hipótesis Específicas**			**Método de investigación.** El método de investigación es **Cualitativa.**
¿Se cree que estudiando el comportamiento del suelo se puede determinar el ángulo de banco óptimo del área de explotación en la unidad minera "Moisés Randy 2010"?	Estudiar el comportamiento del suelo para determinar el ángulo de banco óptimo del área de explotación en la unidad minera "Moisés Randy 2010".	Estudiando el comportamiento del suelo se determinará el ángulo de banco óptimo para el tajo superficial del área de explotación en la unidad minera "Moisés Randy 2010".	Angulo de banco.	Comportamiento del suelo.	**Diseño de investigación.** Para el presente trabajo de investigación de acuerdo a su naturaleza corresponde al diseño **Transversal - Descriptivo.**
¿Cómo reducir los riesgos de deslizamientos en el talud del área de explotación en la unidad minera "Moisés Randy 2010"?	Determinar la altura de banco óptimo para el tajo superficial del área de explotación en la unidad minera "Moisés Randy 2010", con la finalidad de reducir los riesgos de deslizamientos.	Al determinar la altura de banco óptimo para el tajo superficial del área de explotación en la unidad minera "Moisés Randy 2010", se reducirán los riesgos de deslizamientos.	Altura de banco.	Riesgos de deslizamientos.	

Fuente: Elaborada para la investigación

ANEXO 2

DOCUMENTOS DE DERECHO MINERO

GOBIERNO REGIONAL MOQUEGUA
DIRECCION REGIONAL DE ENERGIA Y MINAS
MOQUEGUA

Dirección Regional de Energía y Minas Moquegua
Concesiones Mineras
Cincuenta y seis
FOLIOS LETRAS 56 NUMEROS

RESOLUCION DIRECTORAL

N° 142-2010/DREM.M-GRM

Moquegua, 17 Septiembre del 2010

VISTO, el expediente del petitorio minero **MOISES RANDY 2010** con código No.**68-00016-10**, presentado con fecha **23 DE MARZO DEL 2010**, a las **10:52** horas, ante la mesa de partes de la sede Moquegua, por **YOVANA ISABEL VIZA QUENAYA**, manifestando ser de nacionalidad **peruana** y de estado civil **soltera,** comprendiendo **100** hectáreas de extensión, por sustancias **no metálicas**, ubicado en el Distrito **TORATA,** Provincia **MARISCAL NIETO** y Departamento **MOQUEGUA**;

CONSIDERANDO:

Que, el petitorio se encuentra dentro del sistema de cuadrículas, las cuadrículas peticionadas están libres, se cumplió con presentar el Compromiso Previo en forma de Declaración Jurada de conformidad con el artículo 1° del Decreto Supremo No.042-2003-EM, se han realizado las publicaciones conforme a Ley y no existe oposición en trámite;

Que, el petitorio se ha tramitado con sujeción al procedimiento minero ordinario contenido en el Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería, aprobado por Decreto Supremo No. 014-92-EM del 02 de junio de 1992 y su Reglamento aprobado por Decreto Supremo No. 018-92-EM, de fecha 07 de septiembre de 1992;

Que, de conformidad con la legislación expedida a partir del Decreto Legislativo Nº 708, el título de la concesión minera no otorga por sí solo el derecho a iniciar actividades mineras de exploración o explotación, las cuales sólo pueden iniciarse una vez cumplidos los requisitos establecidos por las leyes y reglamentos pertinentes, bajo pena de sanción administrativa;

Que, procede otorgar el título en razón de haberse cumplido con las formalidades que la Ley establece;

Que, la Ley Nº 27867 - Ley Orgánica de Gobiernos Regionales, dispone que los Gobiernos Regionales ejercerán funciones específicas, las mismas que se formularán en concordancia con las políticas nacionales, encontrándose entre ellas, asumir las funciones en materia de minas, que específicamente resulta: *Otorgar concesiones para pequeña minería y minería artesanal de alcance regional;* conforme lo señala el inciso f) del artículo 59 de la referida ley;

Que, por Resolución Ministerial Nº 009-2008-MEM-DM, publicada con fecha 16 de Enero del 2008, se declaró que el **Gobierno Regional Moquegua,** concluyó el proceso de transferencia de funciones sectoriales en materia de Energía y Minas, siendo competente a partir de esa fecha para el ejercicio de la misma;

De conformidad con la atribución establecida en el inciso f) del artículo 59 de la Ley Orgánica de Gobiernos Regionales, aprobada por Ley Nº 27867 y asumiendo competencia el Gobierno Regional de Moquegua;

Figura 54. Título de concesión minera “Moises Randy 2010”
Fuente: INGEMMET

Dirección Regional de Energía y Minas Moquegua
Concesiones Mineras
cincuenta y siete
LETRAS
FOLIOS: 57
NUMEROS

SE RESUELVE:

ARTICULO PRIMERO.- Otorgar el título de la concesión minera **no metálica MOISES RANDY 2010** con código No.**68-00016-10** a favor de **YOVANA ISABEL VIZA QUENAYA**, ubicada en la Carta Nacional **MOQUEGUA** (35-U), comprendiendo **100.0000** hectáreas de extensión y cuyas coordenadas UTM correspondientes a la zona **19**, son las siguientes:

Dirección Regional de Energía y Minas GR - MOQUEGUA DIRECCION

COORDENADAS U.T.M. DE LOS VÉRTICES DE LA CONCESION		
VÉRTICES	**NORTE**	**ESTE**
1	8 109 000.00	300 000.00
2	8 108 000.00	300 000.00
3	8 108 000.00	299 000.00
4	8 109 000.00	299 000.00

Dirección Regional Energía y Minas GR - MOQUEGUA

ARTICULO SEGUNDO.- La concesión minera que se otorga no autoriza en ningún caso a realizar actividades mineras en áreas donde la legislación lo prohíbe, así no estén dichas áreas expresamente advertidas o consignadas en la presente resolución.

El título de concesión no autoriza por sí mismo a realizar las actividades mineras de exploración ni explotación, sino que previamente el concesionario deberá:

a) Gestionar la aprobación del Instituto Nacional de Cultura de las declaraciones, autorizaciones o certificados que son necesarios para el ejercicio de las actividades mineras.

b) Contar con la certificación ambiental emitida por la autoridad ambiental competente, con sujeción a las normas de participación ciudadana.

c) Obtener el permiso para la utilización de tierras mediante acuerdo previo con el propietario del terreno superficial o la culminación del procedimiento de servidumbre administrativa, conforme a la reglamentación sobre la materia.

d) Obtener las demás licencias, permisos y autorizaciones que son requeridos en la legislación vigente, de acuerdo con la naturaleza y localización de las actividades que va a desarrollar.

La trasgresión y/o incumplimiento de lo señalado en el párrafo precedente, da lugar a la aplicación de las sanciones y multas por parte de las autoridades fiscalizadoras, sin perjuicio de las demás responsabilidades atribuibles a los infractores.

Las restricciones y advertencias consignadas en la presente resolución son de carácter enumerativo y no limitativo, sin perjuicio por tanto de las demás normas legales aplicables que regulan y condicionan las actividades mineras de exploración y explotación.

ARTICULO TERCERO.- El titular de la concesión minera otorgada está obligado a respetar la integridad de los monumentos arqueológicos o históricos, Red Vial Nacional, oleoductos, gasoductos, poliductos, cuarteles, puertos u obras de defensa nacional o Instituciones del Estado con fines de investigación científico-tecnológico que se encuentren dentro del área otorgada en concesión minera, de acuerdo a lo establecido por el artículo 22 del Reglamento de Procedimientos Mineros, aprobado por Decreto Supremo No. 018-92-EM, modificado por el artículo 1º del Decreto Supremo No. 55-2008-EM.

ARTICULO CUARTO.- El ejercicio de los derechos conferidos por el presente título de concesión minera se encuentra sujeto a lo dispuesto en la Ley No. 26505, Ley de la Inversión Privada en el Desarrollo de las Actividades Económicas en las Tierras del Territorio Nacional y de las Comunidades Campesinas y Nativas, su modificatoria Ley No. 26570 y su Reglamento

Figura 55. Título de concesión minera “Moises Randy 2010”
Fuente: INGEMMET

Dirección Regional de Energía y Minas Moquegua
Concesiones Mineras
cincuenta y ocho
FOLIOS: LETRAS
58
NUMEROS

aprobado por Decreto Supremo No. 017-96-AG, modificado por Decreto Supremo No. 015-2003-AG; sin perjuicio de la derogación de los citados dispositivos legales dispuesta por Decreto Legislativo No. 1064, que aprueba el régimen jurídico para el aprovechamiento de las tierras de uso agrario, y que entrará en vigencia al día siguiente de la publicación de su Reglamento en el Diario Oficial "El Peruano".

ARTICULO QUINTO.- El uso de las tierras eriazas de dominio del Estado que se encuentren dentro del área otorgada, se sujetará a lo dispuesto por el Reglamento de la Ley Nº 29151, Ley General del Sistema Nacional de Bienes Estatales, aprobado por Decreto Supremo Nº 007-2008-VIVIENDA.

ARTICULO SEXTO.- El derecho a la exploración y explotación de los recursos minerales concedidos y las acciones destinadas para la protección del medio ambiente, se sujetan a lo dispuesto por Ley No.28611, Ley General del Ambiente, por Ley No.27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación ambiental, modificada por Decreto Legislativo No.1078 y adicionalmente al Decreto Supremo No.016-93-EM, a su modificatoria aprobada por el Decreto Supremo No.059-93-EM, y al Decreto Supremo No.020-2008-EM, en lo que no contravenga dicha ley.

Dirección Regional de Energía y Minas Moquegua

El presente título no confiere derecho a realizar actividades mineras de exploración o explotación si no se cuenta previamente con la certificación ambiental contenida en la resolución expedida por la respectiva autoridad competente.

De conformidad con el artículo 27º de la Ley Nº 26834, Ley de Áreas Naturales Protegidas, el aprovechamiento de recursos naturales en Áreas Naturales Protegidas sólo se autoriza si resulta compatible con la categoría, la zonificación asignada y el Plan Maestro del área, sin perjudicar el cumplimiento de los fines para los cuales se ha establecido el área y previa aprobación de los respectivos estudios ambientales por la autoridad competente.

ARTICULO SETIMO.- El presente título no otorga el derecho de extracción de los materiales que acarrean y depositen las aguas en sus álveos o cauces de los ríos que se ubiquen dentro del área de la concesión minera, de conformidad a lo establecido por la Ley Nº 28221 y demás normas pertinentes que la regulen.

ARTICULO OCTAVO.- El titular de la concesión minera que por la presente resolución se otorga, se encuentra sujeto a los derechos y obligaciones establecidos en el Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería, aprobado por Decreto Supremo No. 014-92-EM, y sus Reglamentos.

ARTICULO NOVENO.- Notifíquese, publíquese y consentida o ejecutoriada que sea la presente resolución, remítase copia certificada de la presente resolución y del certificado de consentimiento respectivo al Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET, a efecto que disponga el ingreso de las coordenadas UTM de la presente concesión minera al Catastro Minero Nacional, y ponga en conocimiento de la Dirección de Derecho de Vigencia para los fines de su competencia.

REGÍSTRESE Y COMUNÍQUESE

Dirección Regional de Energía y Minas DIRECCION G.R. - MOQUEGUA

GOBIERNO REGIONAL MOQUEGUA
DIRECCIÓN REGIONAL DE ENERGÍA Y MINAS
Ing° Aurora L. Catacora Tejada
DIRECTORA REGIONAL

ALCT/DREM.M
Dgp/e.l.
c.c.Archivo

Figura 56. Título de concesión minera “Moises Randy 2010”
Fuente: INGEMMET

Dirección Regional de Energía y Minas Moquegua
Concesiones Mineras
LETRAS: sesenta y cuatro
FOLIOS: 64
NUMEROS

GOBIERNO REGIONAL MOQUEGUA

DIRECCION REGIONAL DE ENERGIA Y MINAS

CERTIFICADO N° 006-2011/DREM.M-GRM

EL DIRECTOR DE LA DIRECCION REGIONAL DE ENERGIA Y MINAS - GOBIERNO REGIONAL MOQUEGUA.

CERTIFICA:

Que, la ***Resolución Directoral N° 142-2010/DREM.M-GRM, de fecha 17 de Septiembre del 2010,*** *que otorga el Titulo de la concesión minera* ***"MOISES RANDY 2010" con código 68-00016-10,*** *se encuentra consentida al* ***06 de Enero del 2011.***

Se expide el presente, en virtud a la relación de Concesiones Mineras otorgadas en el mes de ***Septiembre del 2010*** *y publicadas en el Diario Oficial "El Peruano" el día* ***22 Diciembre del 2010,*** *de conformidad con el Articulo 124° del T.U.O de la Ley General de Minería, aprobado por Decreto Supremo N° 014-92-EM Y Articulo 24° del Decreto Supremo N° 018-92-EM.*

Moquegua, 04 de Febrero del 2011.

Dirección Regional de Energía y Minas GR-MOQUEGUA DIRECCION

GOBIERNO REGIONAL MOQUEGUA
DIRECCION REGIONAL DE ENERGIA Y MINAS

Ing° Jesús A. Durán Estuco
DIRECTOR REGIONAL

Figura 57. Título de concesión minera "Moises Randy 2010"
Fuente: INGEMMET

G.R.

SUNARP

SUPERINTENDENCIA NACIONAL DE LOS REGISTROS PUBLICOS

Zona Registral N° XII - Sede Arequipa
Oficina Registral de Arequipa

ANOTACION DE INSCRIPCION

TITULO N° 00134993 DEL 29/11/2012

Registrado: **CONCESION MINERA MOISES RANDY 2010 (68-00016-10)**, a favor de **YOVANA ISABEL VIZA QUENAYA, soltera,** Asiento: 0001 Partida(s): 11240123 Derechos S/. 485.00 Recibo N° 00000733. Arequipa, 18/01/2013.

VICTOR I. PERALTA ARANA
Registrador Público
Zona Registral N° XII - Sede Arequipa

Dirección Regional de Energía y Minas Moquegua
Concesiones Mineras
Sesenta y Seis
LETRAS
FOLIOS 66
NUMEROS

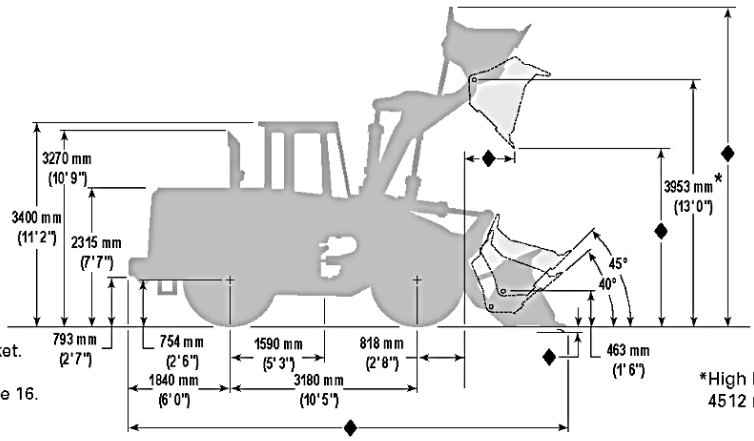
Figura 58. Registro concesión minera “Moises Randy 2010”
Fuente: INGEMMET

ANEXO 3

FICHAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS DE CARGUÍO Y EXCAVACIÓN

Dimensions

All dimensions are approximate



◆ Dimensions vary with bucket. Refer to operating specifications chart on page 16.

*High Lift: 4512 mm (14'10")

Tread width for all tires 2090 mm (82")

	Width over tires		Ground clearance		Change in vertical dimensions	
	mm	inches	mm	inches	mm	inches
23.5-25, 12 PR (L-2) standard	2753	108.4	474	18.7	—	—
23.5-25, 16 PR (L-3)	2749	108.2	474	18.7	—	—
23.5-R25 GP-2B (L-2/3) steel radial	2756	108.5	474	18.7	—	—
23.5-R25 XHA (L-3) steel radial	2761	108.7	460	18.1	-16	-0.62
20.5-25, 12 PR (L-2)	2684	105.6	394	15.5	-80	-3.1
20.5-25, 16 PR (L-2)	2684	105.6	394	15.5	-80	-3.1
20.5-25, 16 PR (L-3)	2675	105.3	423	16.7	-51	-2.0
20.5-25, 20 PR (L-3)	2675	105.3	423	16.7	-51	-2.0
20.5-R25 GP-2B (L-2/3) steel radial	2672	105.2	406	16.0	-68	-2.7
20.5-R25 XHA (L-3) steel radial	2676	105.4	402	15.8	-72	-2.8
20.5-R25 XGLA (L-2) steel radial	2683	105.6	393	15.5	-81	-3.19

Supplemental Specifications

	Change in Operating weight		Change in Articulated Static Tipping Load	
	kg	lb	kg	lb
Remove cab only, ROPS remains	-177	-390	-134	-295
23.5X25 L-3 16PR	+171	+377	+109	+240
23.5-R25, GP-2B (L-2/3) steel radial	+325	+715	+207	+456
23.5-R25 XHA, (L-3) steel radial	+409	+902	+260	+573
20.5-25, 12 PR (L-2)	-598	-1319	-380	-838
20.5-25, 16 PR (L-2)	-574	-1266	-402	-884
20.5-25, 16 PR (L-3)	-431	-950	-365	-805
20.5-R25, GP-2B (L-2/3) steel radial	-406	-893	-274	-604
20.5-R25, XHA (L-3) steel radial	-364	-803	-231	-510
20.5-R25 XGLA (L-2) steel radial	-536	-1182	-341	-751
Tire ballast 20.5-25 bias ply tires	+819	+1806	+1070	+2354
Tire ballast 23.5-25 bias ply tires	+1171	+2582	+1533	+3373

Note: Tire optior include tires and rims.

Figura 59. Ficha de producto de Caterpillar 950 F
Fuente: Caterpillar - Ferreyros

Select language

Numero actual de especificaciones

RITCHIE Specs Todo Acerca de Equipo

Inicio → Búsqueda de especificación → Construction → Wheel Loader → Caterpillar → 950F

CATERPILLAR 950F WHEEL LOADER

VER ARTÍCULOS ACERCA DE ESTE ÍTEM

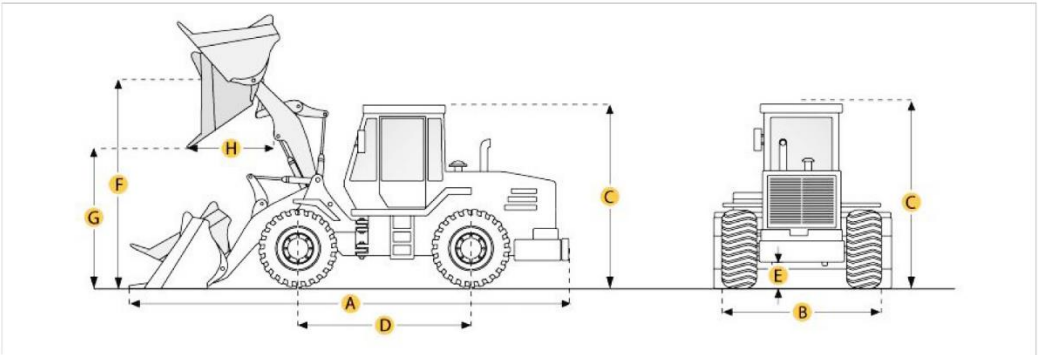
Imprimir especificación

¿Quiere comprar este equipo?

Encuentre en Caterpillar 950F Wheel Loader que esta siendo vendido en las subastas de Ritchie Bros.

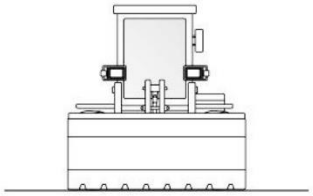
¿Necesita vender equipos?

Complete esta forma y un representante de Ritchie Bros. lo contactará



Selected Dimensions

Cucharón		
G. DESPEJE DE LA DESCARGA A ELEVACIÓN MÁXIMA	9.6 ft in	2941 mm
Dimensiones		
A. LONGITUD CON EL CUBO EN LA TIERRA	25.2 ft in	7689 mm
B. NEUMÁTICOS EXCESIVOS DE LA ANCHURA	9 ft in	2753 mm
C. ALTURA HASTA LA PARTE SUPERIOR DE LA CABINA	11.5 ft in	3520 mm
D. DISTANCIA ENTRE EJES	10.4 ft in	3180 mm
E. DESPEJE DESDE EL SUELO	1.6 ft in	474 mm
F. HINGE PIN - MAX HEIGHT	13 ft in	3953 mm
H. ALCANCE EN LA ALTURA Y LA DESCARGA MÁXIMAS	3.6 ft in	1103 mm



Especificaciones

Engine		
MAKE	Caterpillar	
MODEL	3116	
NET POWER	170 hp	126.8 kw
GROSS POWER	180 hp	134.2 kw
POWER MEASURED @	2200 rpm	
DISPLACEMENT	402.8 cu in	6.6 L
NUMBER OF CYLINDERS	6	
ASPIRATION	Turbocharged	
Operational		
OPERATING WEIGHT	34678.7 lb	15730 kg
FUEL CAPACITY	58.6 gal	222 L
HYDRAULIC SYSTEM FLUID CAPACITY	40.4 gal	153 L
ENGINE OIL FLUID CAPACITY	5.3 gal	20 L
COOLING SYSTEM FLUID CAPACITY	12.9 gal	49 L
TRANSMISSION FLUID CAPACITY	9 gal	34 L
FRONT AXLE/DIFF FLUID CAPACITY	9.5 gal	36 L
REAR AXLE/DIFF FLUID CAPACITY	9.5 gal	36 L
STATIC TIPPING WEIGHT	23243.3 lb	10543 kg
TURNING RADIUS	21.1 ft in	6419 mm
OPERATING VOLTAGE	24 V	
ALTERNATOR SUPPLIED AMPERAGE	50 amps	
REAR AXLE OSCILLATION	26 degrees	
TIRE SIZE	23.5-25 12PR	
Transmission		
TYPE	Planetary powershift	
NUMBER OF FORWARD GEARS	4	
NUMBER OF REVERSE GEARS	4	
MAX SPEED - FORWARD	24.4 mph	39.3 km/h
MAX SPEED - REVERSE	26.7 mph	43 km/h
Hydraulic System		
RELIEF VALVE PRESSURE	3000 psi	20684.3 kPa
PUMP FLOW CAPACITY	62.6 gal/min	237 L/min
RAISE TIME	6.6 sec	
DUMP TIME	2.2 sec	
LOWER TIME	3 sec	
Bucket		
BREAKOUT FORCE	35801 lb	159.3 kN

Ferreyros CAT



Viewing Photo 1 of 5



http://www.ritchiespecs.com/es/specification?type=Construction&category=Wheel+Loader&make=Caterpillar&model=950F&modelid=103750#

Figura 60. Ficha técnica cargador frontal CAT 950F
Fuente: Ritchiespecs

KOMATSU
Komatsu Europe
Tel. +32-2-255 24 11
Fax +32-2-252 19 81
www.komatsu.eu

WB93R
Datos técnicos

PALA

El diseño del brazo permite una mejor distribución de las fuerzas de excavación y el mantenimiento del paralelismo durante la bajada y subida; además, gracias al sistema cinemático específico, se han reducido los puntos de engrase.

Anchura de cuchara estándar ..... 2.320 mm
Capacidad cuchara estándar (ISO 7546) ..... 1,03 m³
Peso cuchara estándar ..... 430 kg
Capacidad de elevación
a altura máxima ..... 3.820 daN (3.900 kg)
Capacidad de elevación
al nivel del suelo (ISO 8313)..... 5.195 daN (5.300 kg)
Fuerza de arranque (ISO 8313) ..... 6.383 daN (6.500 kg)
Anchura cuchara 4 en 1 ..... 2.340 mm
Capacidad cuchara 4 en 1 (ISO 7546) ..... 1,0 m³

CAPACIDADES

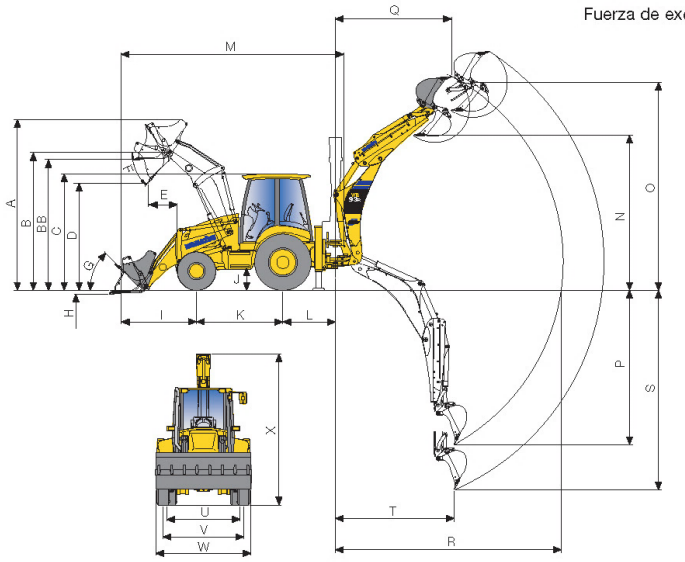
Aceite motor ..... 12,8 l
Refrigeración ..... 16,5 l
Depósito de combustible ..... 150 l
Depósito hidráulico ..... 41 l
Sistema hidráulico ..... 97 l
Eje delantero ..... 8,5 l
Eje trasero ..... 14,5 l
Transmisión ..... 16 l

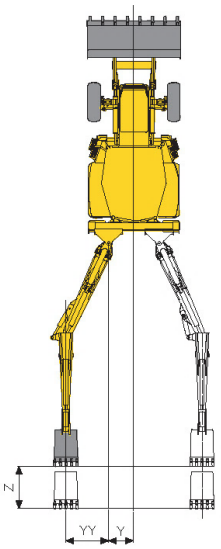
RETROEXCAVADORA

El brazo principal reforzado permite que el operario realice rotaciones de 180° manteniendo constantes las prestaciones de excavación. Soporte retroexcavadora, terminales brazo de excavación y biela de accionamiento de cazo hechos de fundición. Estabilizadores de tipo vertical con recuperación de juegos laterales y frontales con placas de apoyo basculantes.

Fuerza de arranque (ISO 6015) ..... 5.980 daN (6.100 kg)
Fuerza de excavación en el brazo (ISO 6015).. 3.920 daN (4.000 kg)

DIMENSIONES





A	altura máxima	4.290 mm
B	altura máx. al bulón de la cuchara	3.375 mm
BB	altura máx. de carga con horquillas	3.175 mm
C	altura cabina	2.750 mm
D	altura máx. de descarga	2.720 mm
E	alcance máx. de descarga (45°)	750 mm
F	ángulo de descarga	45°
G	ángulo de recogida	45°
H	profundidad de excavación	130 mm
I	distancia al extremo de la cuchara (transporte)	1.930 mm
J	altura libre mínima	430 mm
K	distancia entre ejes	2.175 mm
L	distancia al eje de giro de la retroexcavadora	1.320 mm
M	longitud de transporte	5.895 mm
N	altura de descarga SAE	3.760 mm
	altura máx. de descarga	4.170 mm
	- con telescópico SAE	4.415 mm
	- con telescópico máx.	4.880 mm

O	altura máxima de excavación	5.800 mm
	- con telescópico	6.405 mm
P	profundidad de excavación SAE	4.540 mm
	- con telescópico	5.650 mm
Q	alcance a altura máxima	2.830 mm
	- con telescópico	3.645 mm
R	alcance máx. desde el centro de giro	5.750 mm
	- con telescópico	6.715 mm
S	profundidad máxima de excavación	5.020 mm
	- con telescópico	6.055 mm
T	alcance de excavación	2.320 mm
U	ancho de vía trasera	1.800 mm
V	ancho de vía delantera	1.934 mm
W	anchura total (con cuchara)	2.320 mm
X	altura de transporte de la retroexcavadora	3.710 mm
	- con telescópico	3.870 mm
Y	desplazamiento carro desde el eje longitudinal	605 mm
YY	desplazamiento del brazo articulado	1.080 mm
Z	desplazamiento del brazo telescópico	1.140 mm

Figura 61. Ficha técnica retroexcavadora sobre ruedas WB93R
Fuente: Komatsu

ANEXO 4

PRUEBAS DE LOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

PRUEBA 01 – Análisis para 32° de talud por el método Fellenius.

Análisis de estabilidad del talud en condición estático y pseudoestático por el método Fellenius, para Ru: 0.1.

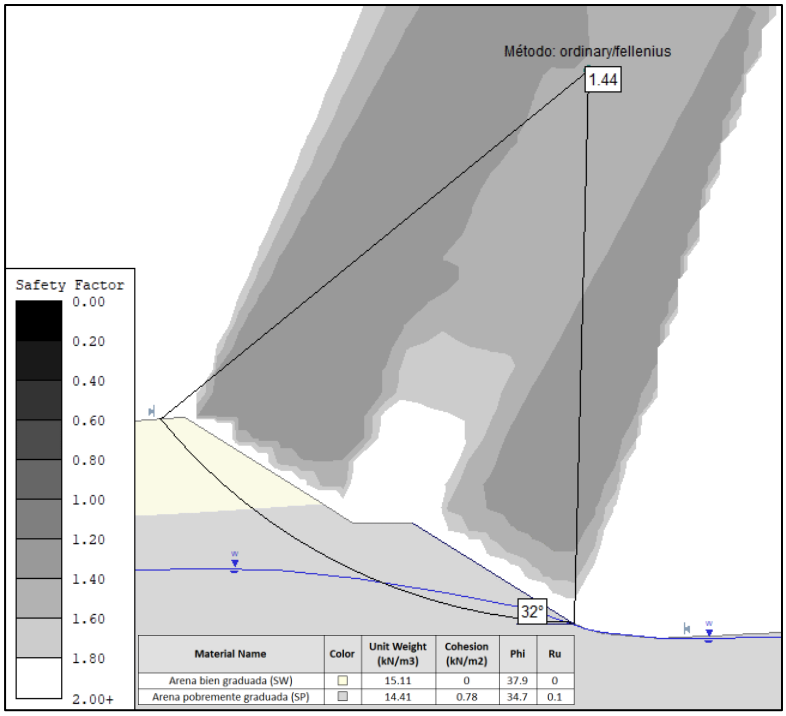


Figura 62. Análisis estático para 32° de talud por el método Fellenius
Fuente: Elaborada para la investigación

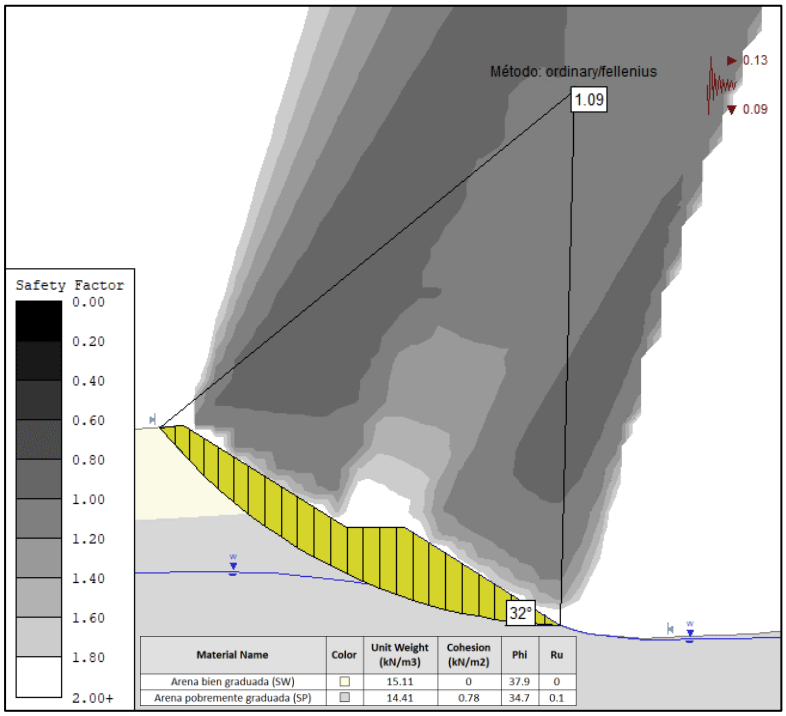


Figura 63. Análisis pseudoestático para 32° de talud por el método Fellenius
Fuente: Elaborada para la investigación

PRUEBA 02 – Análisis para 32° de talud por el método Spencer.

Análisis de estabilidad del talud en condición estático y pseudoestático por el método Spencer, para Ru: 0.1.

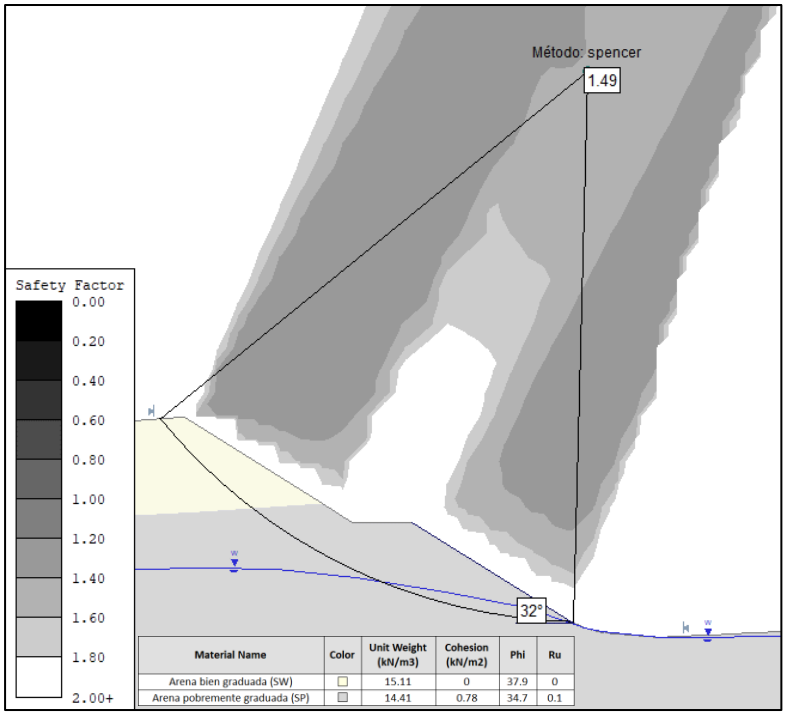


Figura 64. Análisis estático para 32° de talud por el método Spencer
Fuente: Elaborada para la investigación

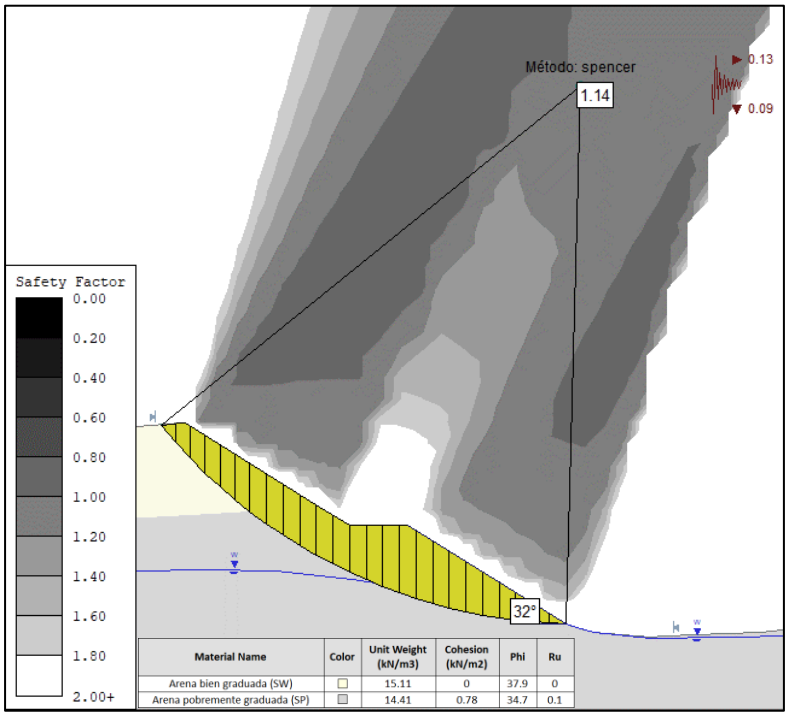


Figura 65. Análisis pseudoestático para 32° de talud por el método Spencer
Fuente: Elaborada para la investigación

PRUEBA 03 – Análisis para 35° de talud por el método Fellenius.

Análisis de estabilidad del talud en condición estático y pseudoestático por el método Fellenius, para Ru: 0.1.

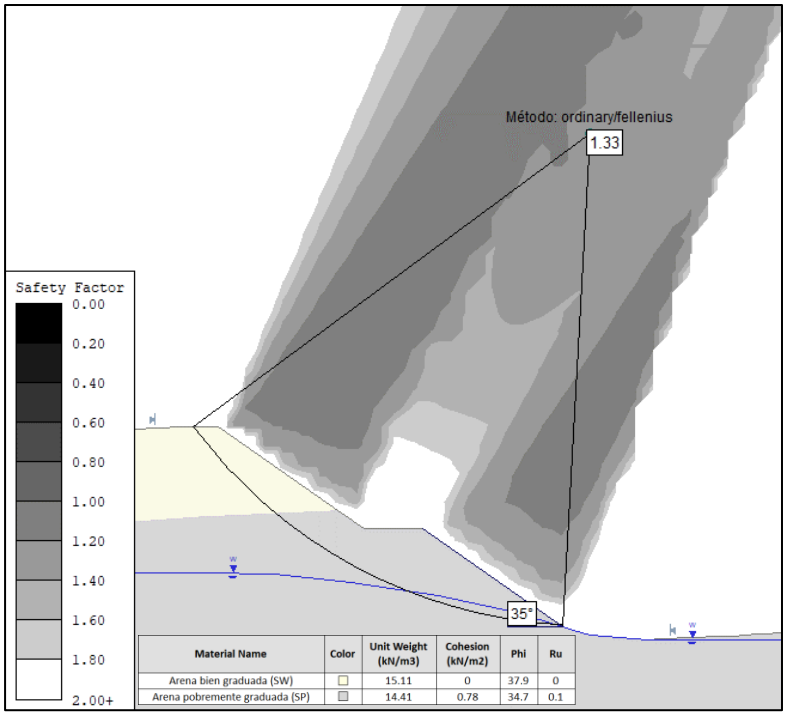


Figura 66. Análisis estático para 35° de talud por el método Fellenius
Fuente: Elaborada para la investigación

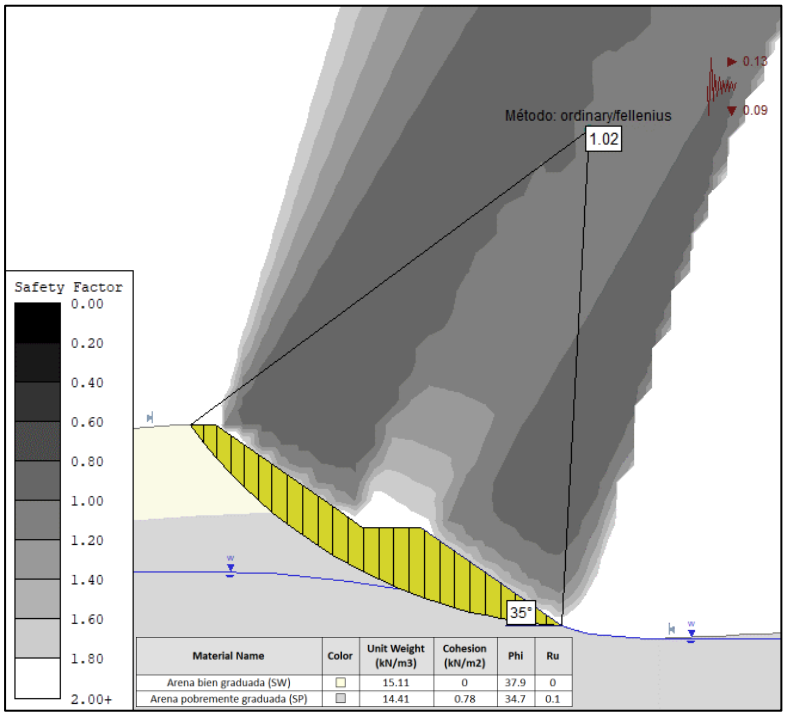


Figura 67. Análisis pseudoestático para 35° de talud por el método Fellenius
Fuente: Elaborada para la investigación

PRUEBA 04 – Análisis para 35° de talud por el método Spencer.

Análisis de estabilidad del talud en condición estático y pseudoestático por el método Spencer, para Ru: 0.1.

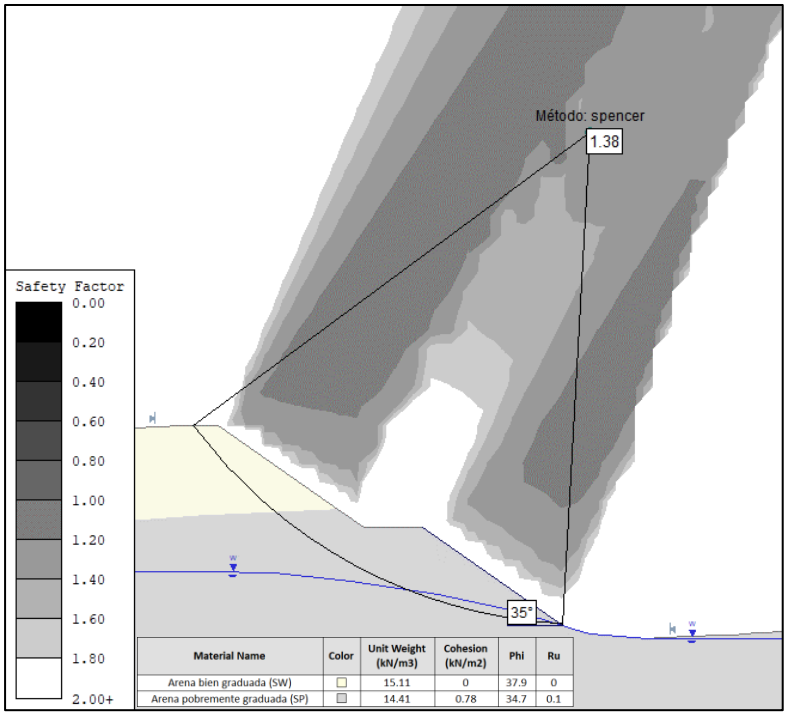


Figura 68. Análisis estático para 35° de talud por el método Spencer
Fuente: Elaborada para la investigación

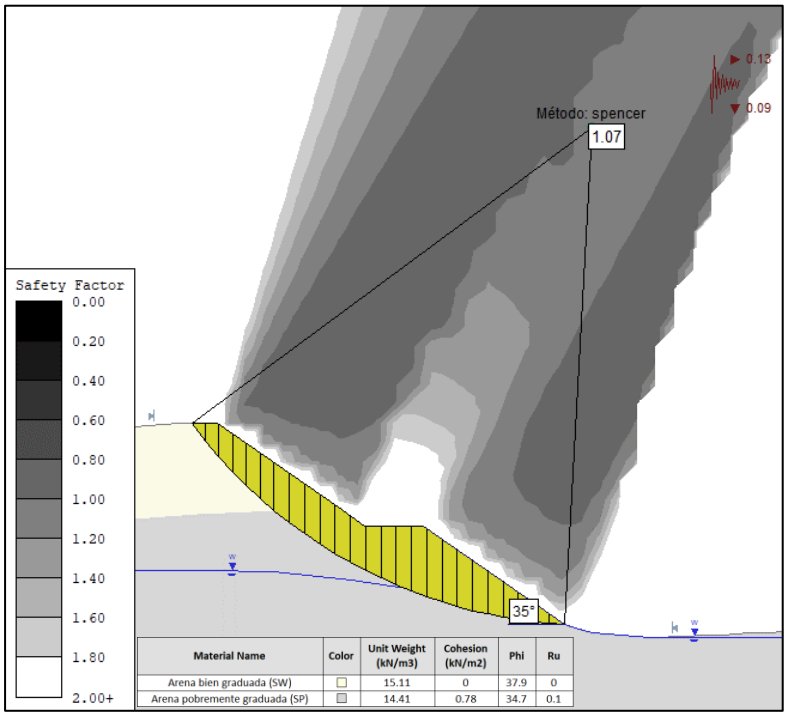


Figura 69. Análisis pseudoestático para 35° de talud por el método Spencer
Fuente: Elaborada para la investigación

PRUEBA 05 – Análisis para 36° de talud por el método Fellenius.

Análisis de estabilidad del talud en condición estático y pseudoestático por el método Fellenius, para Ru: 0.1.

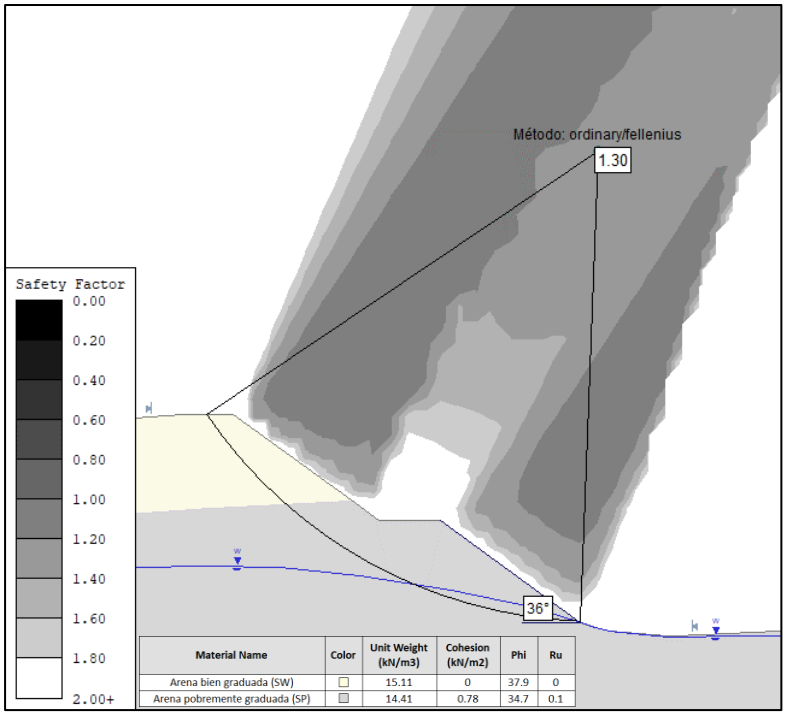


Figura 70. Análisis estático para 36° de talud por el método Fellenius
Fuente: Elaborada para la investigación

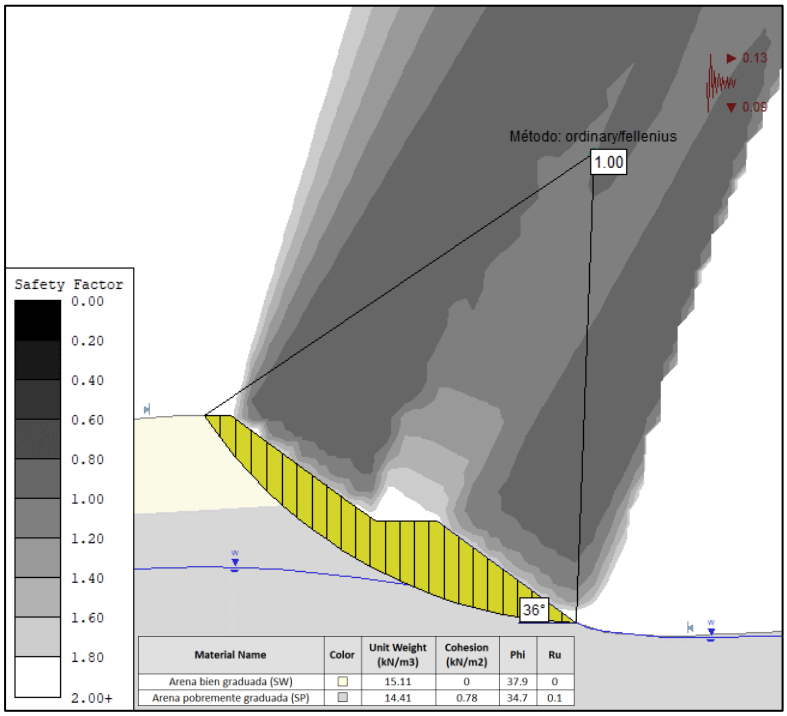


Figura 71. Análisis pseudoestático para 36° de talud por el método Fellenius
Fuente: Elaborada para la investigación

PRUEBA 06 – Análisis para 36° de talud por el método Spencer.

Análisis de estabilidad del talud en condición estático y pseudoestático por el método Spencer, para Ru: 0.1.

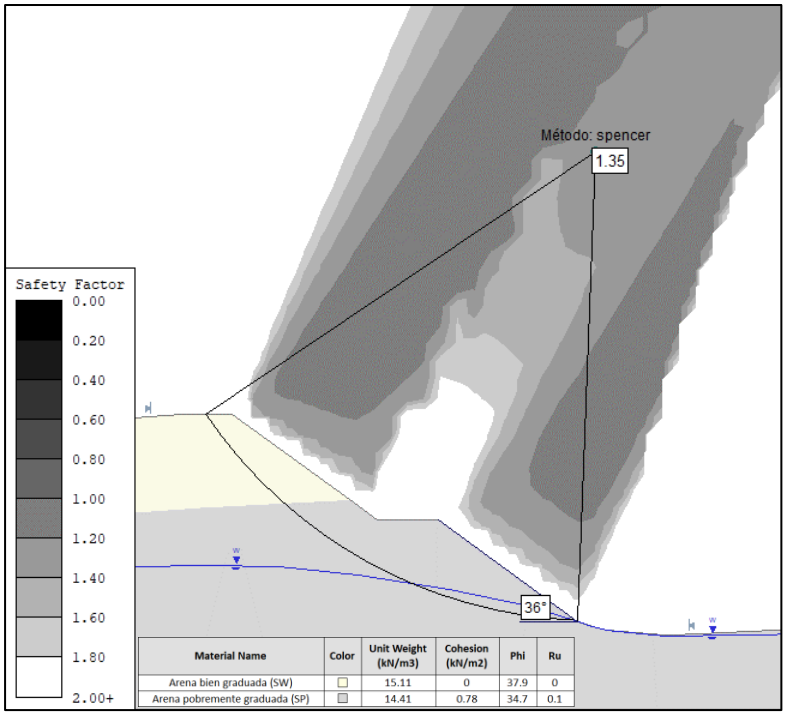


Figura 72. Análisis estático para 36° de talud por el método Spencer
Fuente: Elaborada para la investigación

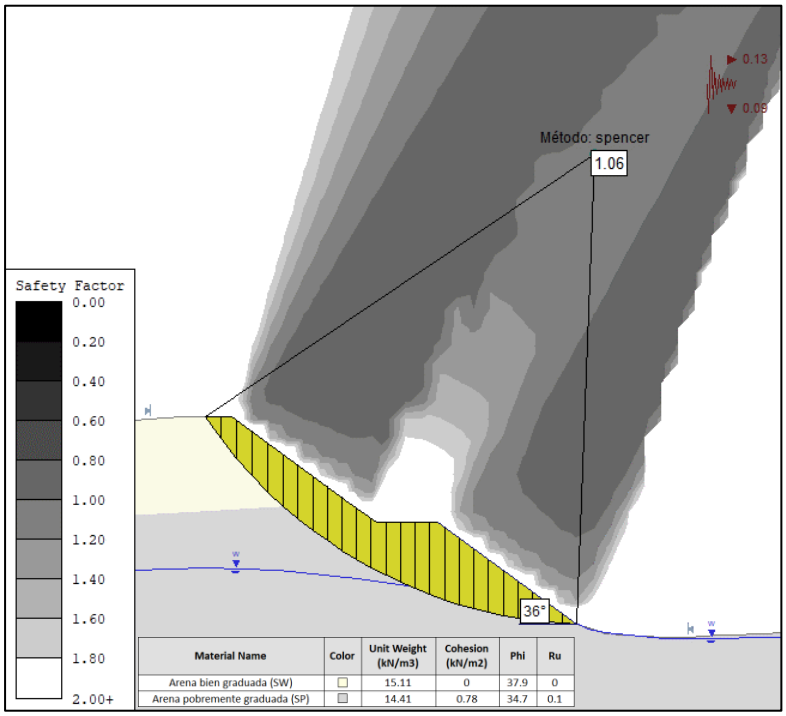


Figura 73. Análisis pseudoestático para 36° de talud por el método Spencer
Fuente: Elaborada para la investigación

PRUEBA 07 – Análisis para 38° de talud por el método Fellenius.

Análisis de estabilidad del talud en condición estático y pseudoestático por el método Fellenius, para Ru: 0.1.

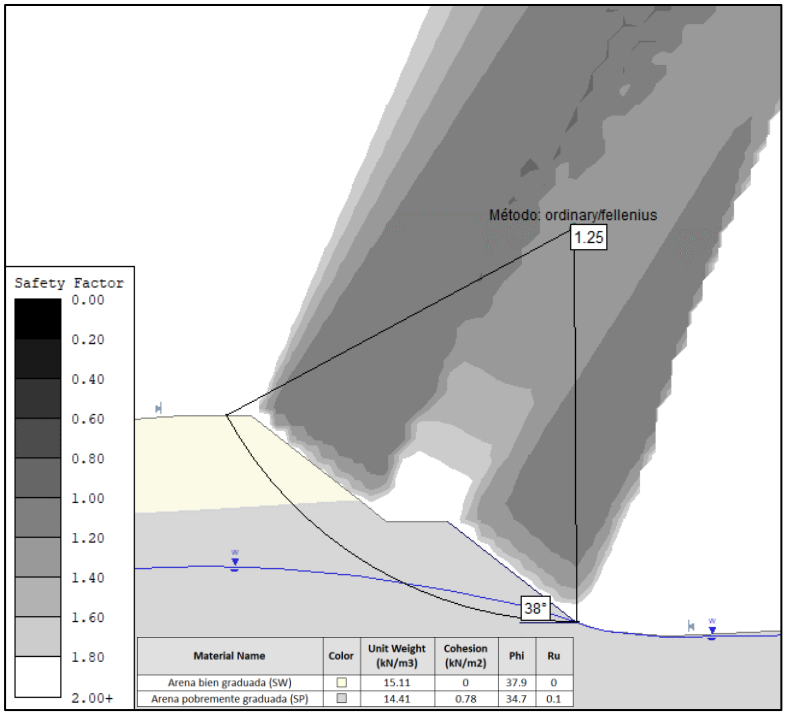


Figura 74. Análisis estático para 38° de talud por el método Fellenius
Fuente: Elaborada para la investigación

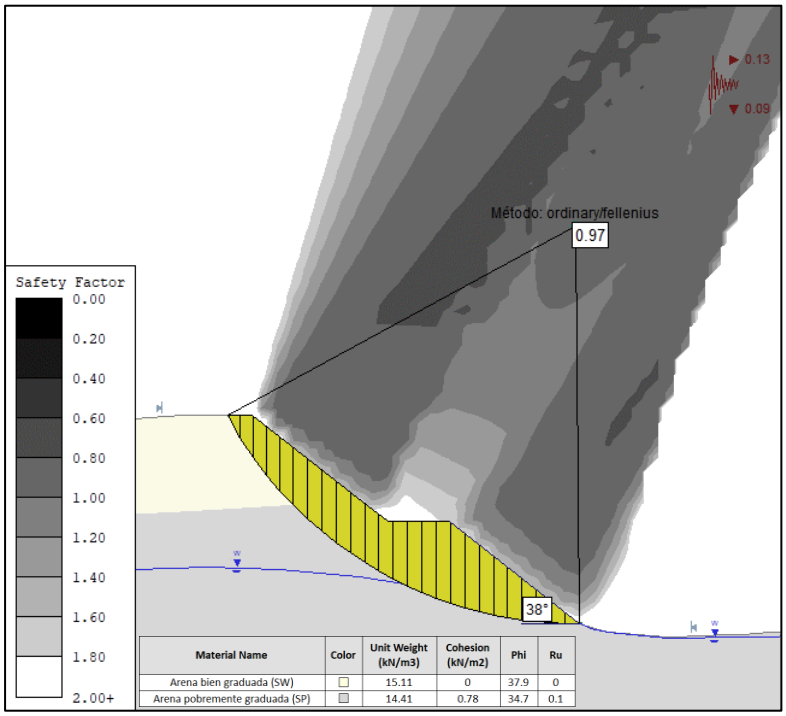


Figura 75. Análisis pseudoestático para 38° de talud por el método Fellenius
Fuente: Elaborada para la investigación

PRUEBA 08 – Análisis para 38° de talud por el método Spencer.

Análisis de estabilidad del talud en condición estático y pseudoestático por el método Spencer, para Ru: 0.1.

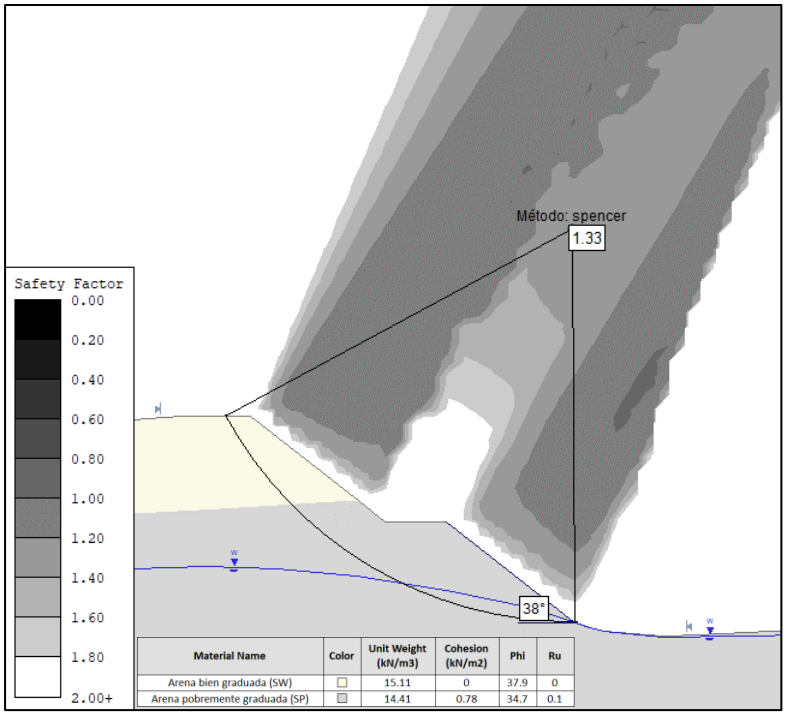


Figura 76. Análisis estático para 38° de talud por el método Spencer
Fuente: Elaborada para la investigación

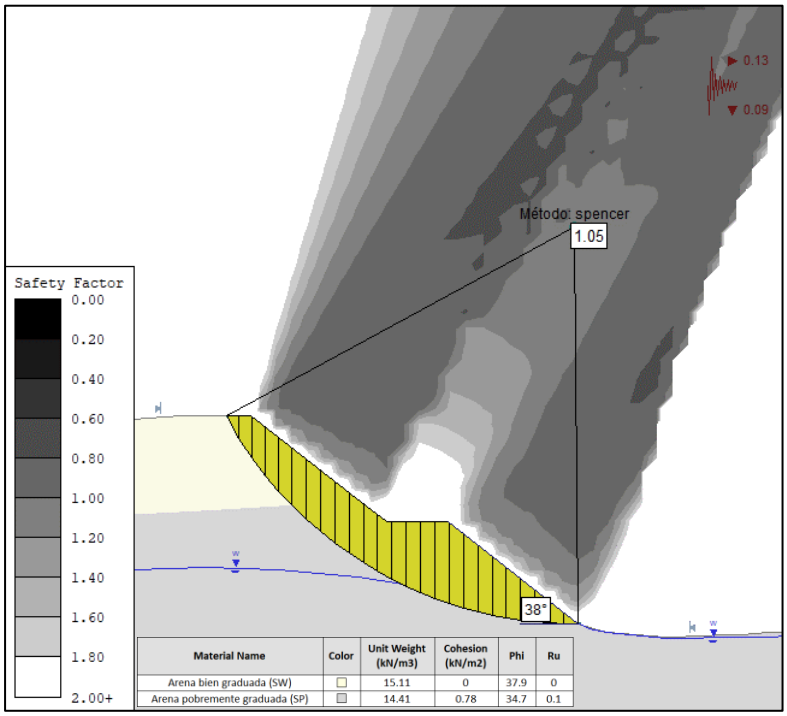


Figura 77. Análisis pseudoestático para 38° de talud por el método Spencer
Fuente: Elaborada para la investigación

PRUEBA 09 – Análisis para 40° de talud por el método Fellenius.

Análisis de estabilidad del talud en condición estático y pseudoestático por el método Fellenius, para Ru: 0.1.

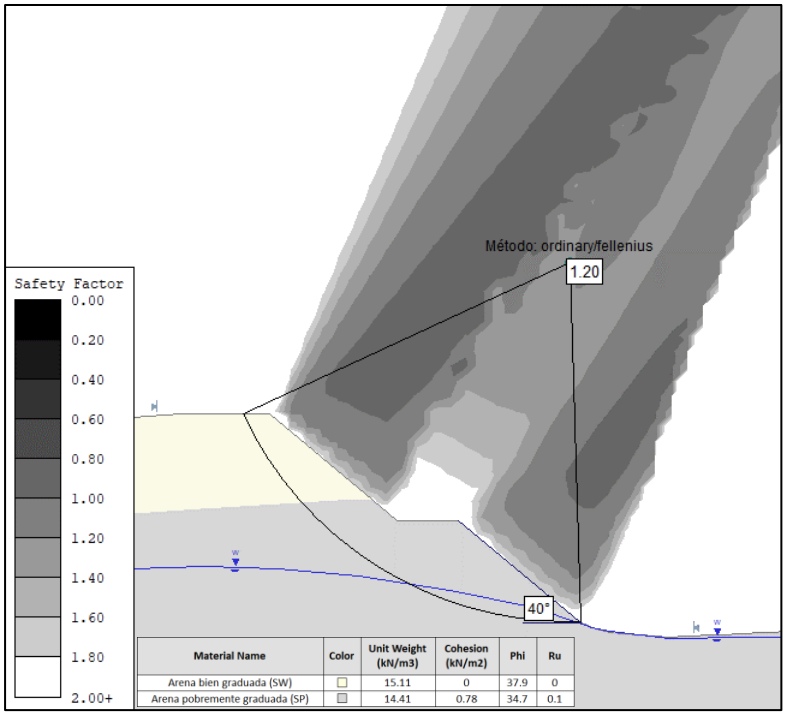


Figura 78. Análisis estático para 40° de talud por el método Fellenius
Fuente: Elaborada para la investigación

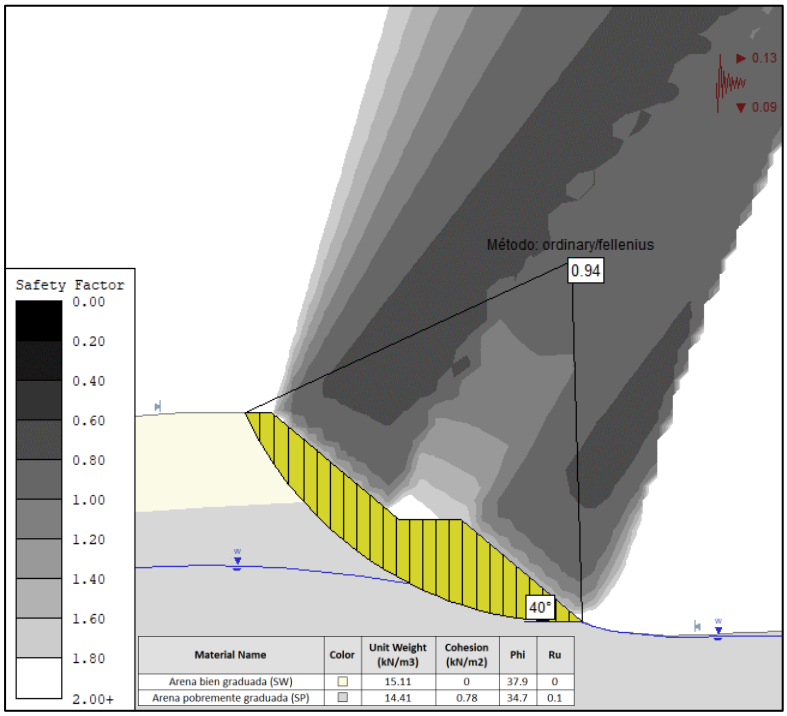


Figura 79. Análisis pseudoestático para 40° de talud por el método Fellenius
Fuente: Elaborada para la investigación

PRUEBA 10 – Análisis para 40° de talud por el método Spencer.

Análisis de estabilidad del talud en condición estático y pseudoestático por el método Spencer, para Ru: 0.1.

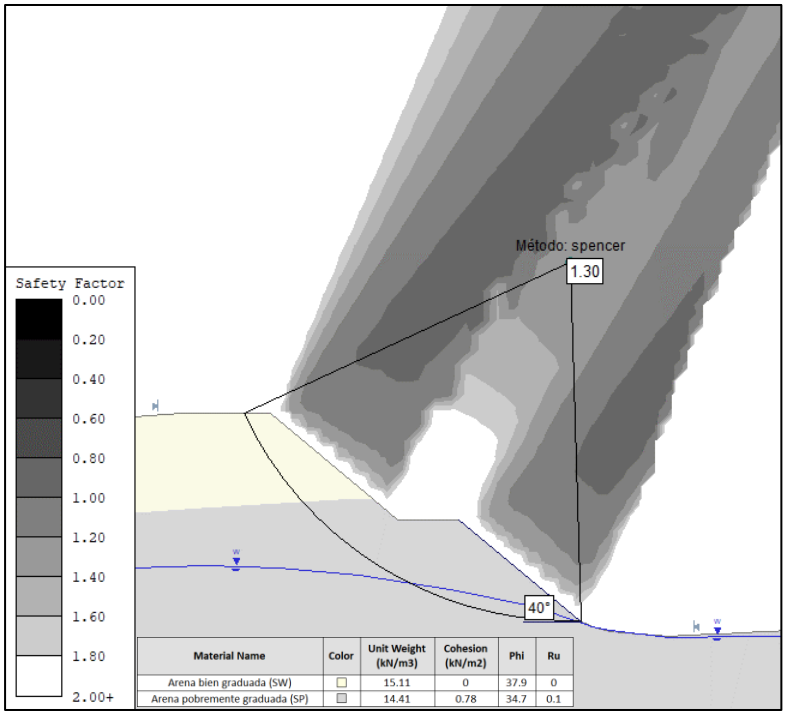


Figura 80. Análisis estático para 40 de talud por el método Spencer
Fuente: Elaborada para la investigación

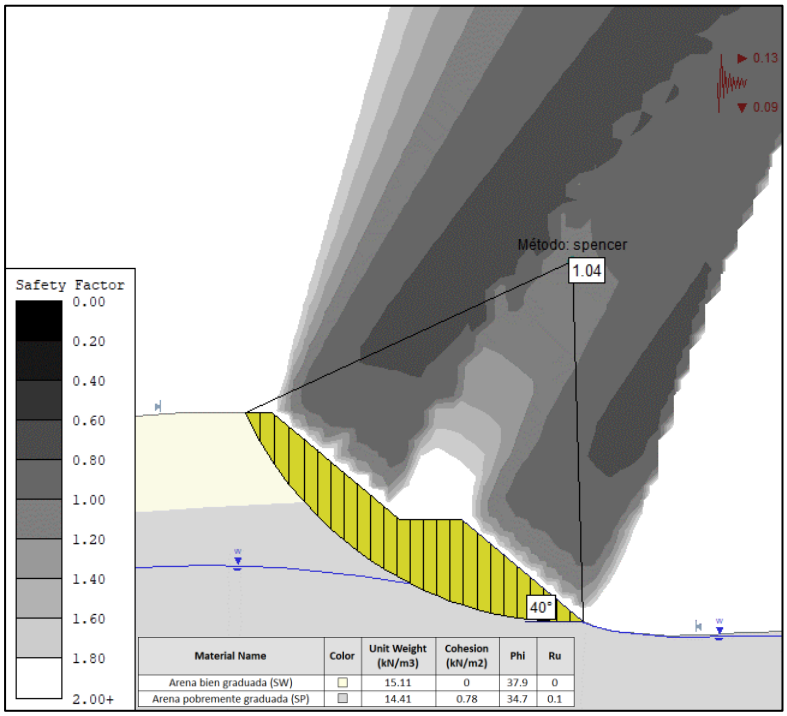


Figura 81. Análisis pseudoestático para 40° de talud por el método Spencer
Fuente: Elaborada para la investigación

PRUEBA 11 – Análisis para 41° de talud por el método Fellenius.

Análisis de estabilidad del talud en condición estático y pseudoestático por el método Fellenius, para Ru: 0.1.

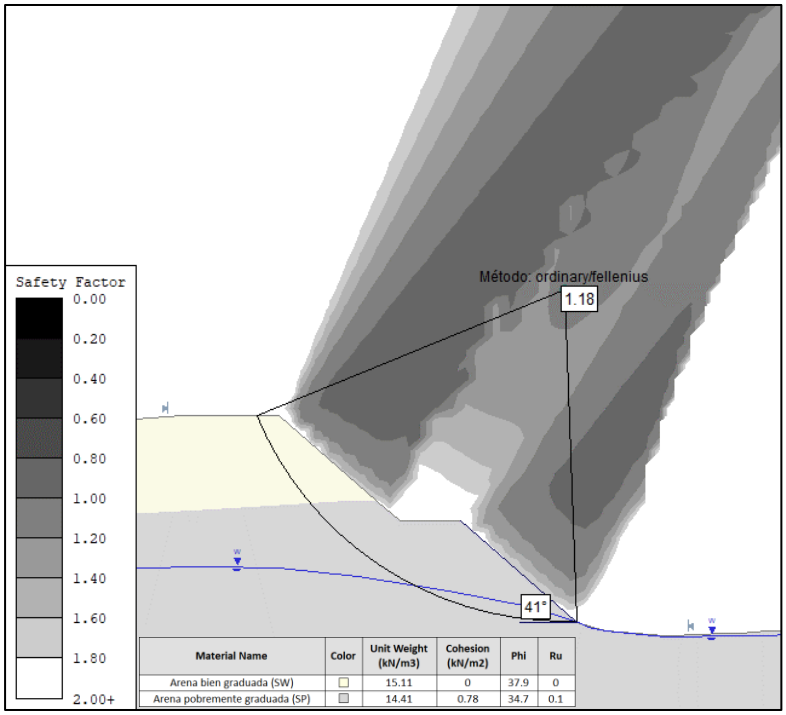


Figura 82. Análisis estático para 41° de talud por el método Fellenius
Fuente: Elaborada para la investigación

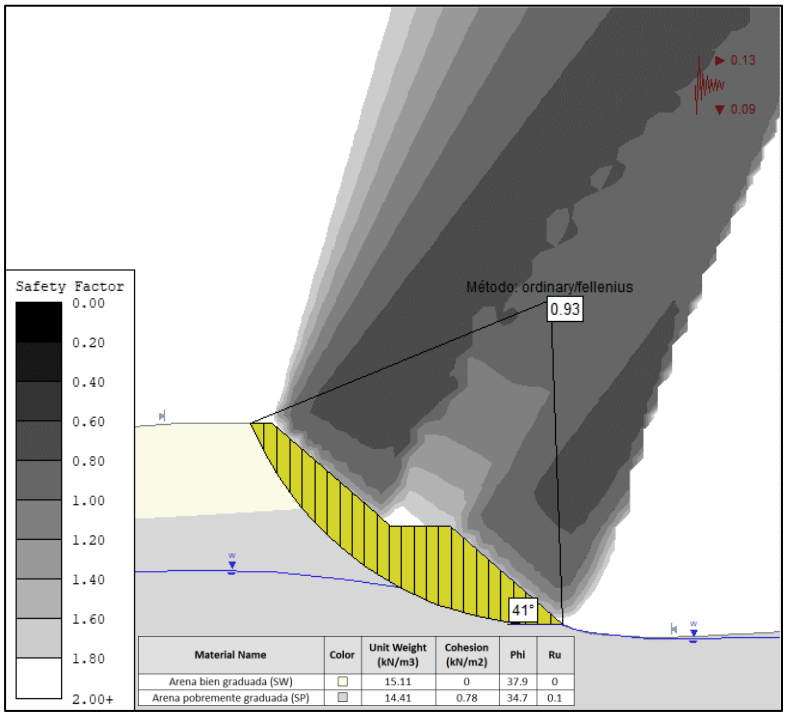


Figura 83. Análisis pseudoestático para 41° de talud por el método Fellenius
Fuente: Elaborada para la investigación

PRUEBA 12 – Análisis para 41° de talud por el método Spencer.

Análisis de estabilidad del talud en condición estático y pseudoestático por el método Spencer, para Ru: 0.1.

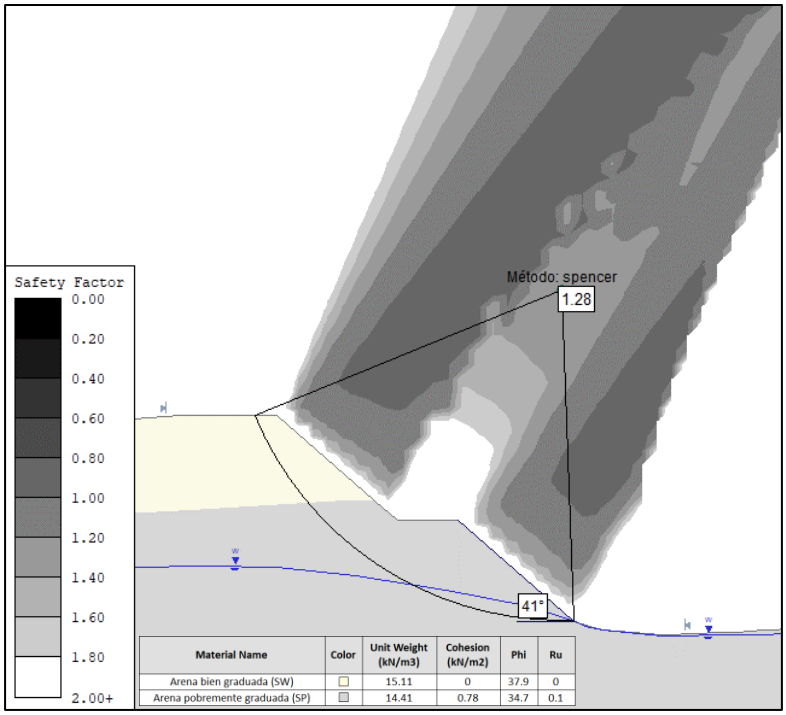


Figura 84. Análisis estático para 41° de talud por el método Spencer
Fuente: Elaborada para la investigación

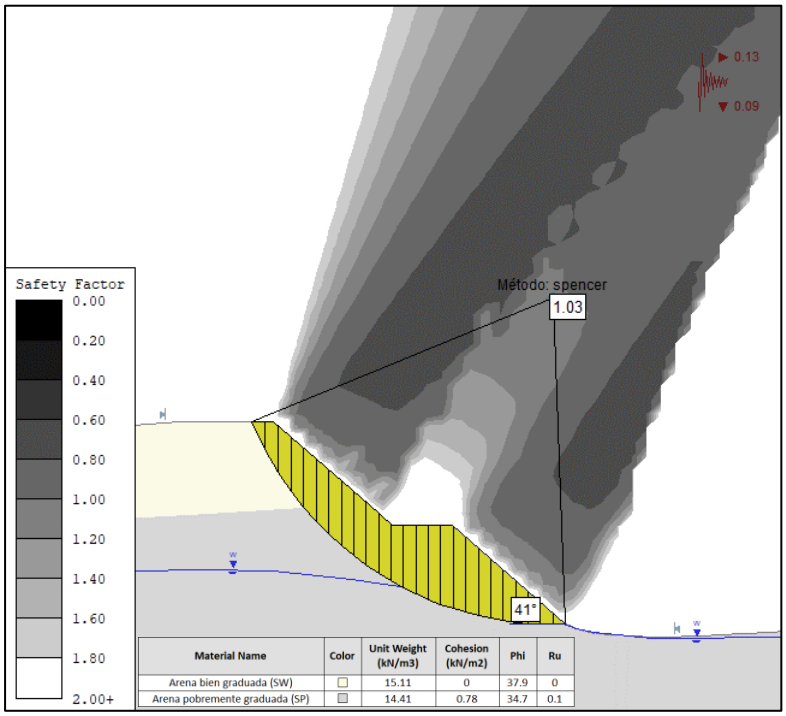


Figura 85. Análisis pseudoestático para 41° de talud por el método Spencer
Fuente: Elaborada para la investigación

PRUEBA 13 – Análisis para 42° de talud por el método Fellenius.

Análisis de estabilidad del talud en condición estático y pseudoestático por el método Fellenius, para Ru: 0.1.

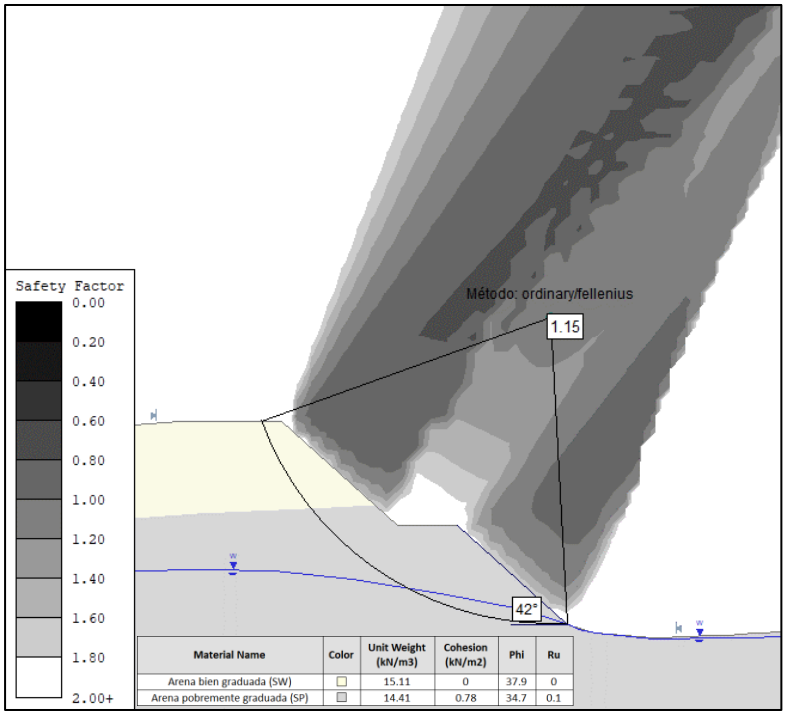


Figura 86. Análisis estático para 42° de talud por el método Fellenius
Fuente: Elaborada para la investigación

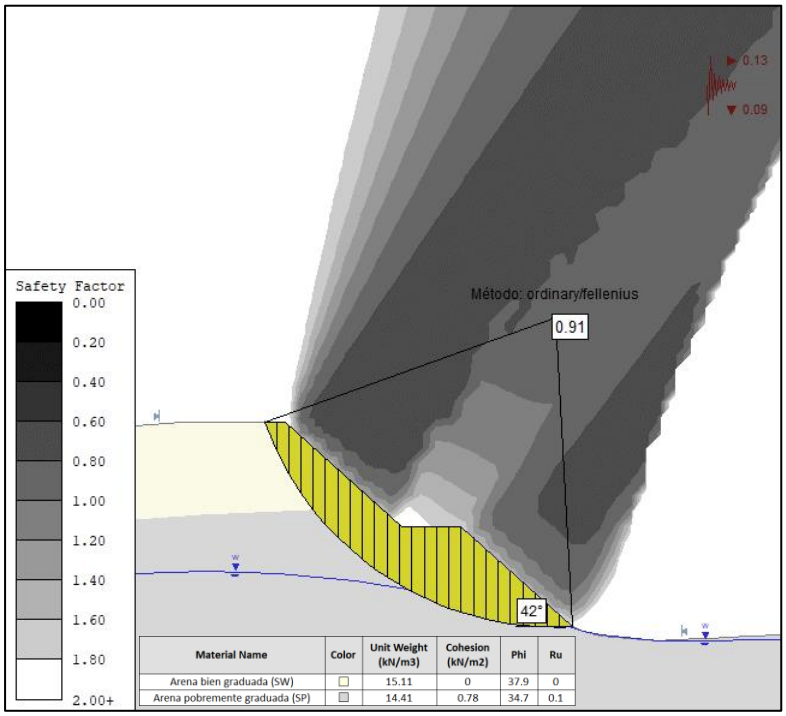


Figura 87. Análisis pseudoestático para 42° de talud por el método Fellenius
Fuente: Elaborada para la investigación

PRUEBA 14 – Análisis para 42° de talud por el método Spencer.

Análisis de estabilidad del talud en condición estático y pseudoestático por el método Spencer, para Ru: 0.1.

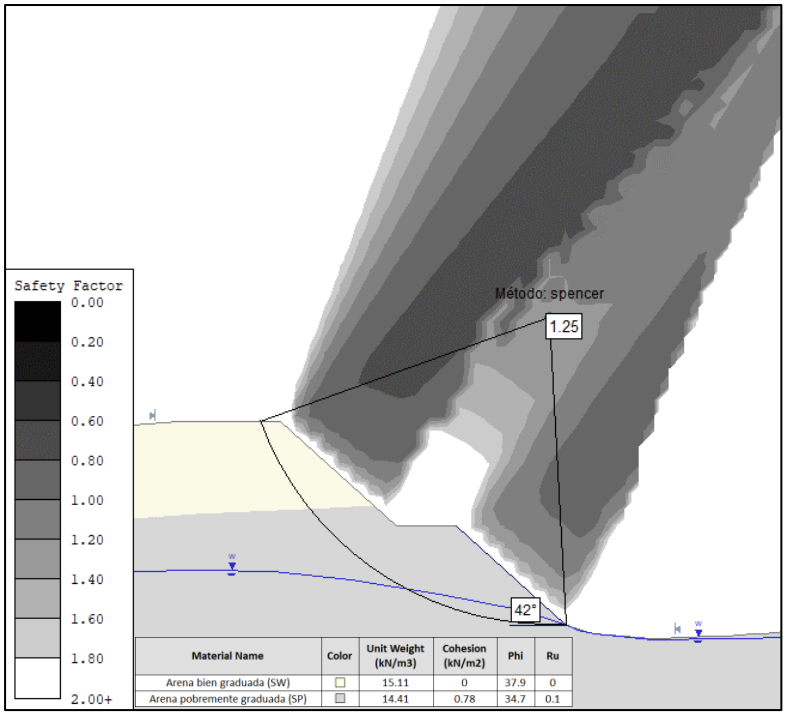


Figura 88. Análisis estático para 42° de talud por el método Spencer
Fuente: Elaborada para la investigación

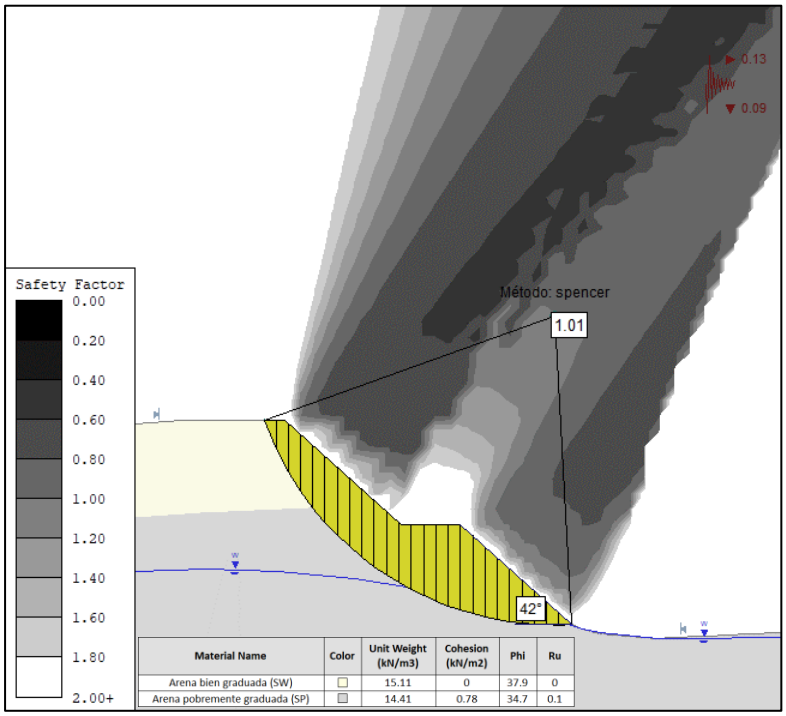


Figura 89. Análisis pseudoestático para 42° de talud por el método Spencer
Fuente: Elaborada para la investigación

PRUEBA 15 – Análisis para 43° de talud por el método Fellenius.

Análisis de estabilidad del talud en condición estático y pseudoestático por el método Fellenius, para Ru: 0.1.

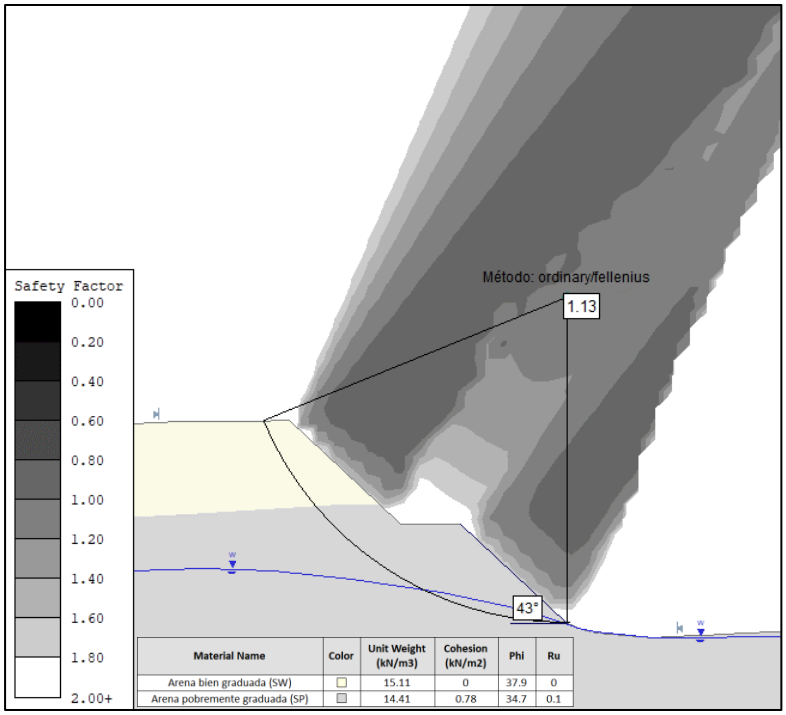


Figura 90. Análisis estático para 43° de talud por el método Fellenius
Fuente: Elaborada para la investigación

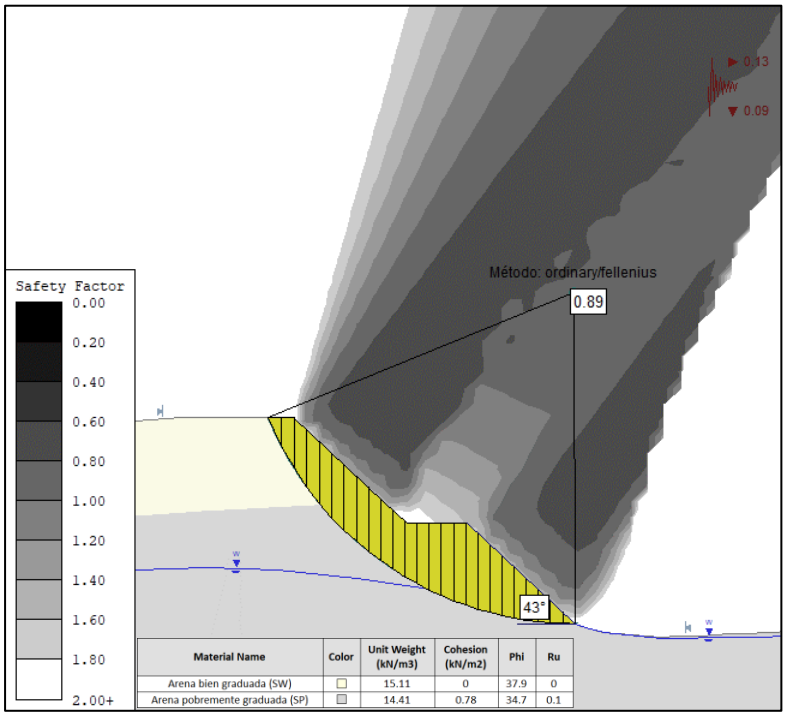


Figura 91. Análisis pseudoestático para 43° de talud por el método Fellenius
Fuente: Elaborada para la investigación

PRUEBA 16 – Análisis para 43° de talud por el método Spencer.

Análisis de estabilidad del talud en condición estático y pseudoestático por el método Spencer, para Ru: 0.1.

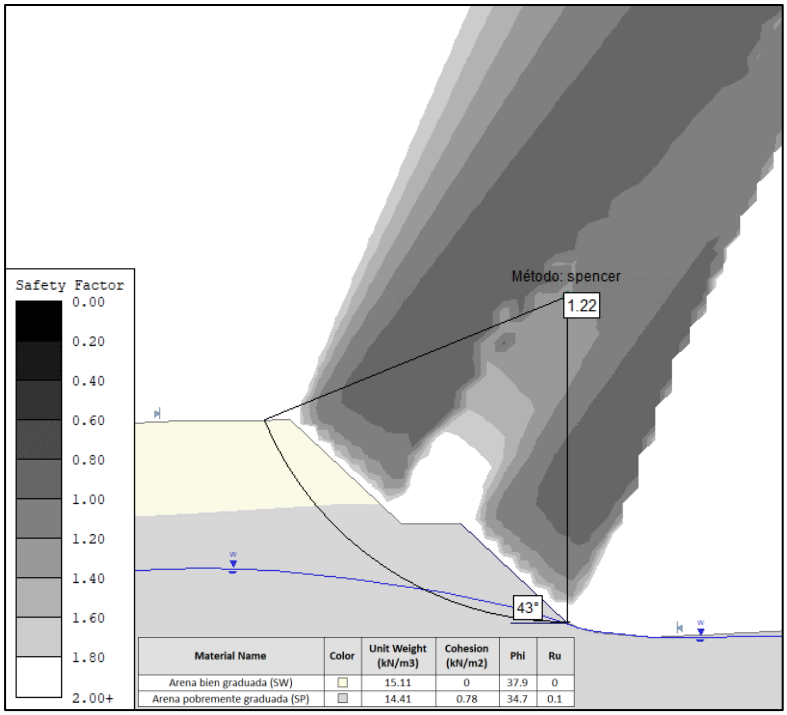


Figura 92. Análisis estático para 43° de talud por el método Spencer
Fuente: Elaborada para la investigación

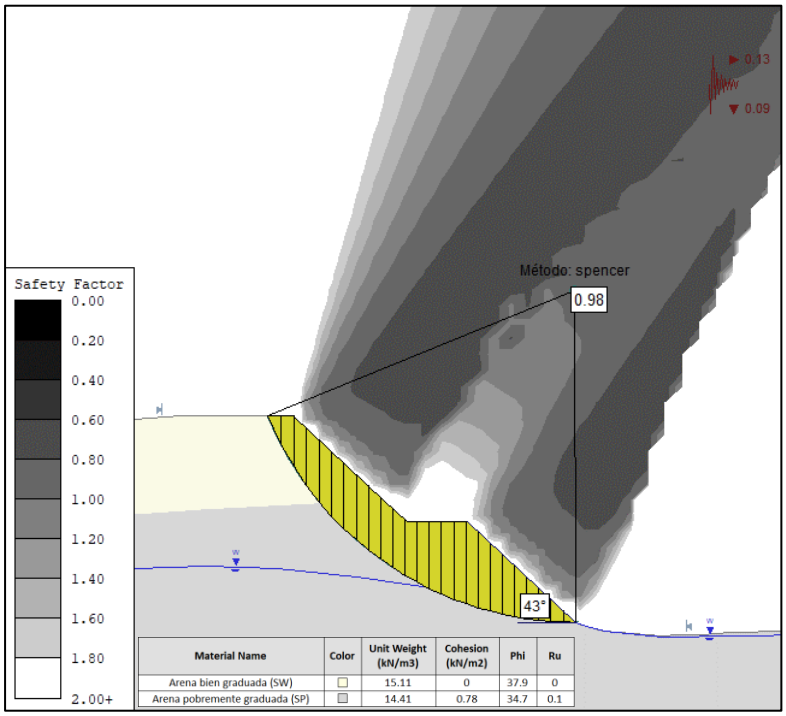


Figura 93. Análisis pseudoestático para 43° de talud por el método Spencer
Fuente: Elaborada para la investigación

PRUEBA 17 – Análisis para 44° de talud por el método Fellenius.

Análisis de estabilidad del talud en condición estático y pseudoestático por el método Fellenius, para Ru: 0.1.

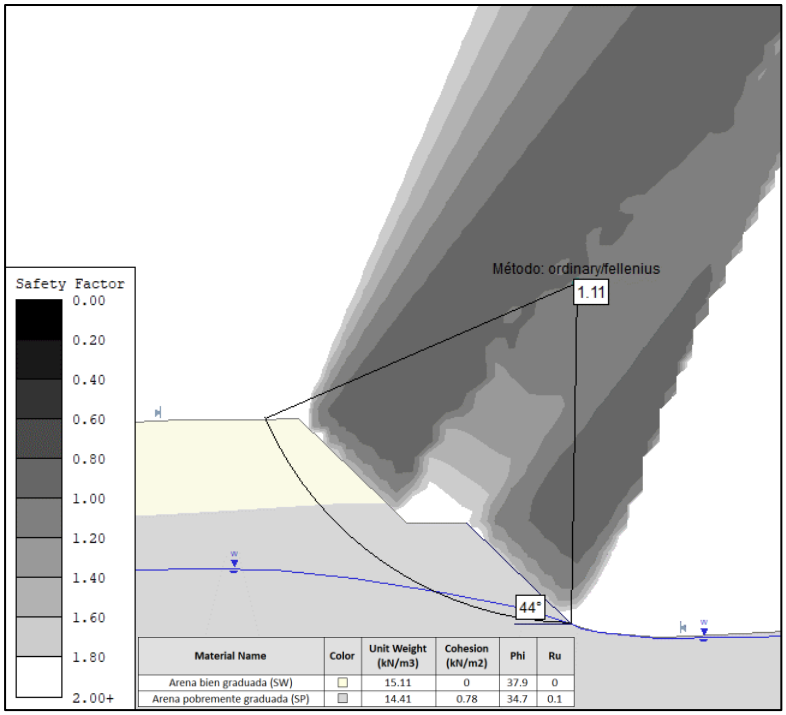


Figura 94. Análisis estático para 44° de talud por el método Fellenius
Fuente: Elaborada para la investigación

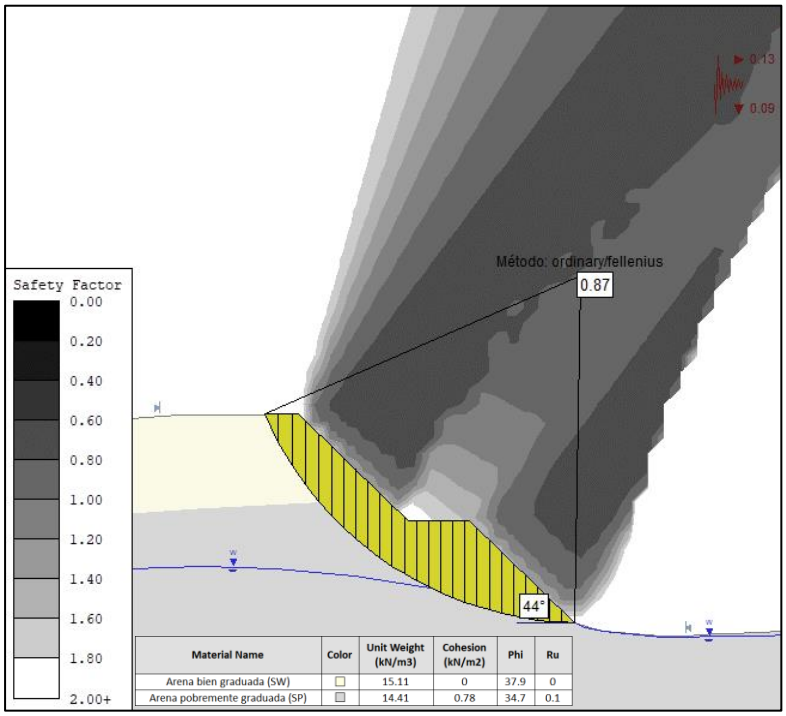


Figura 95. Análisis pseudoestático para 44° de talud por el método Fellenius
Fuente: Elaborada para la investigación

PRUEBA 18 – Análisis para 44° de talud por el método Spencer.

Análisis de estabilidad del talud en condición estático y pseudoestático por el método Spencer, para Ru: 0.1.

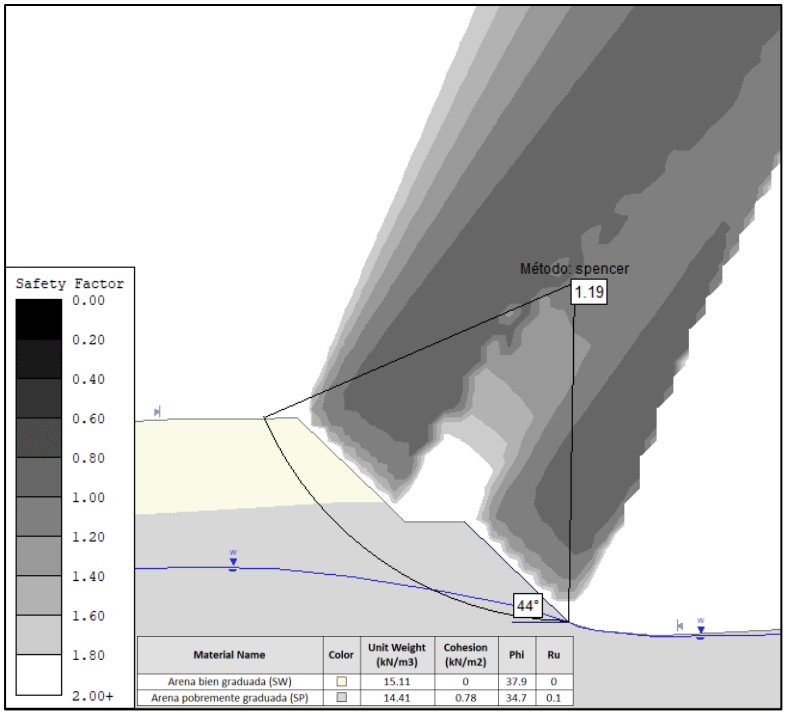


Figura 96. Análisis estático para 44° de talud por el método Spencer
Fuente: Elaborada para la investigación

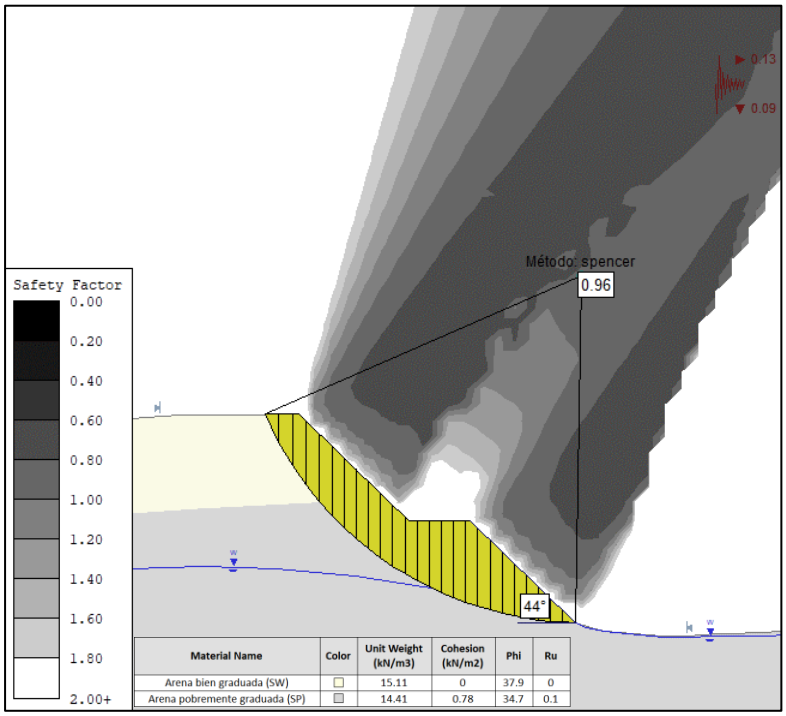


Figura 97. Análisis pseudoestático para 44° de talud por el método Spencer
Fuente: Elaborada para la investigación

PRUEBA 19 – Análisis para 45° de talud por el método Fellenius.

Análisis de estabilidad del talud en condición estático y pseudoestático por el método Fellenius, para Ru: 0.1.

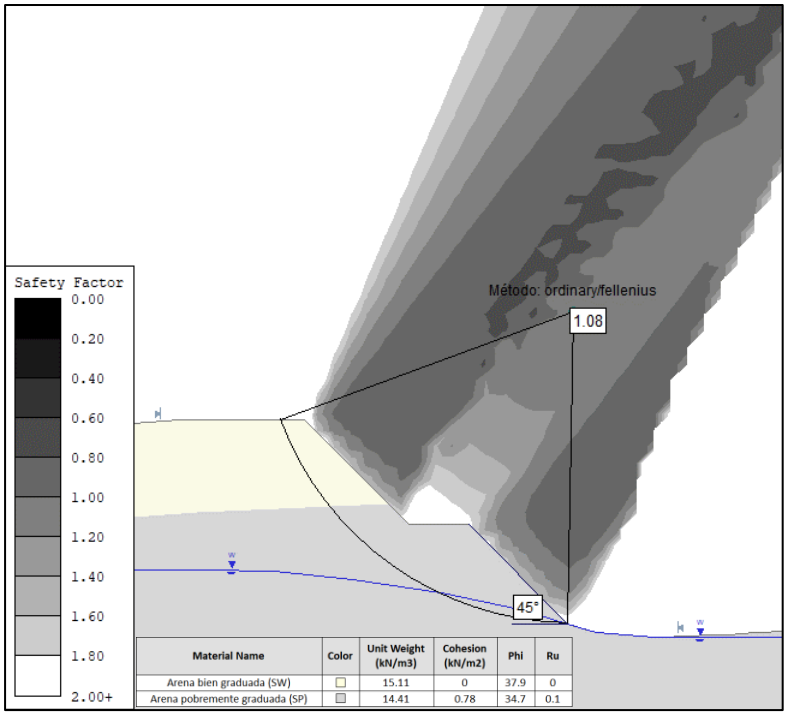


Figura 98. Análisis estático para 45° de talud por el método Fellenius
Fuente: Elaborada para la investigación

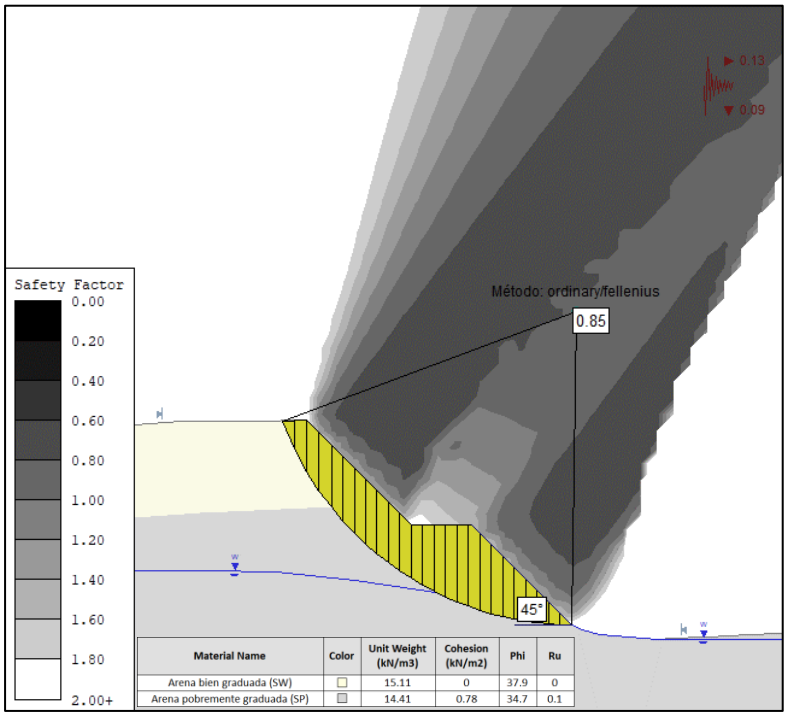


Figura 99. Análisis pseudoestático para 45° de talud por el método Fellenius
Fuente: Elaborada para la investigación

PRUEBA 20 – Análisis para 45° de talud por el método Spencer.

Análisis de estabilidad del talud en condición estático y pseudoestático por el método Spencer, para Ru: 0.1.

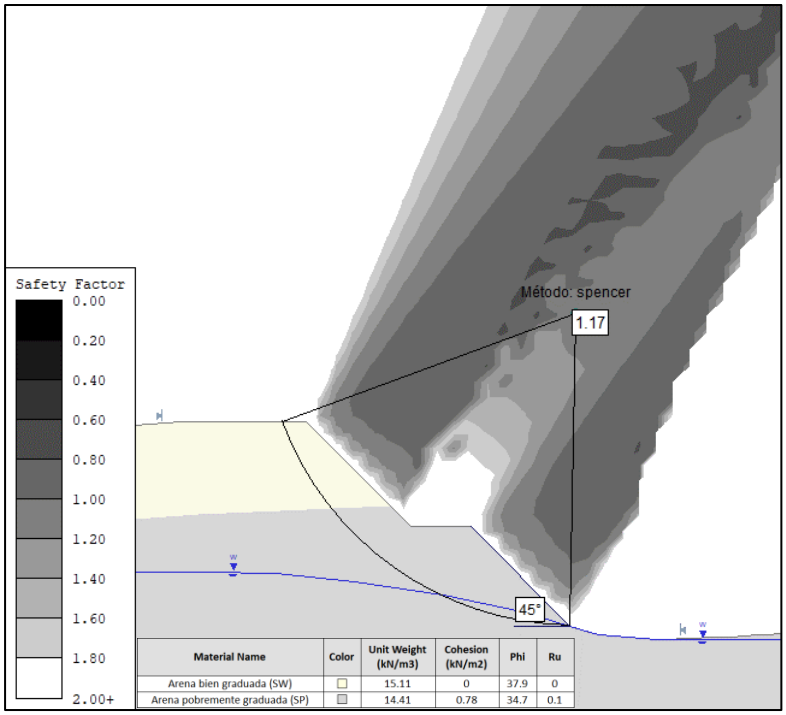


Figura 100. Análisis estático para 45° de talud por el método Spencer
Fuente: Elaborada para la investigación

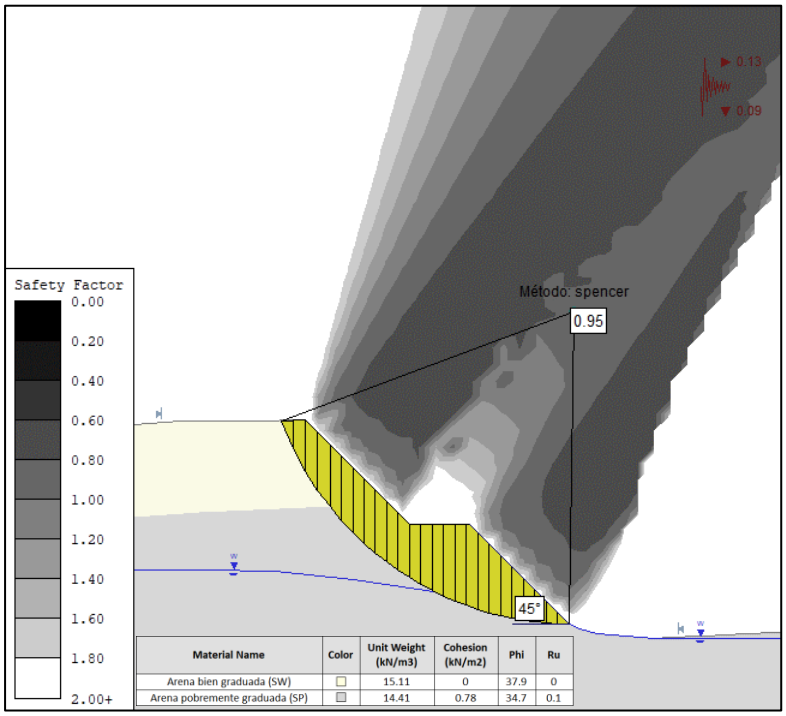


Figura 101. Análisis pseudoestático para 45° de talud por el método Spencer
Fuente: Elaborada para la investigación

PRUEBA 21 – Análisis para 47° de talud por el método Fellenius.

Análisis de estabilidad del talud en condición estático y pseudoestático por el método Fellenius, para Ru: 0.1.

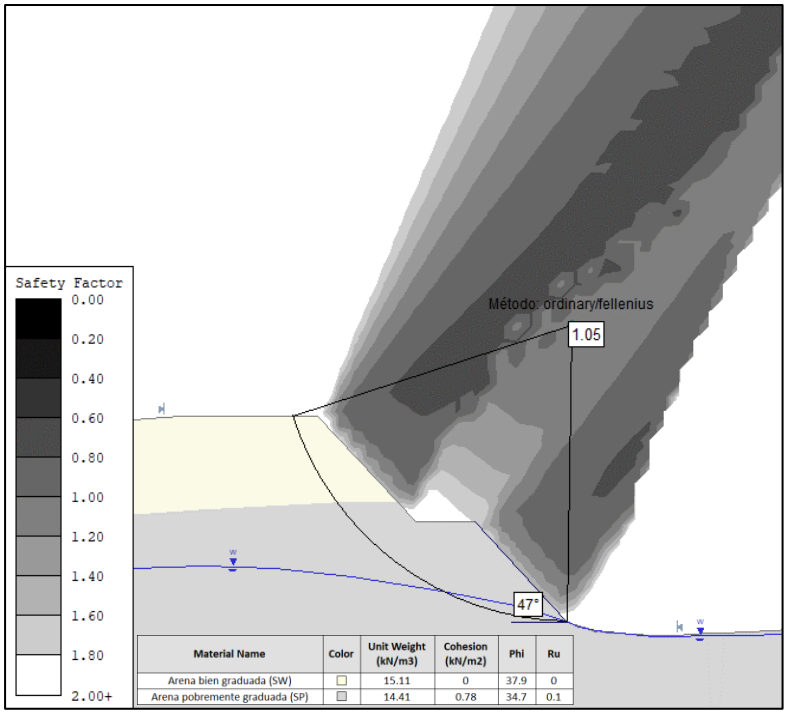


Figura 102. Análisis estático para 47° de talud por el método Fellenius
Fuente: Elaborada para la investigación

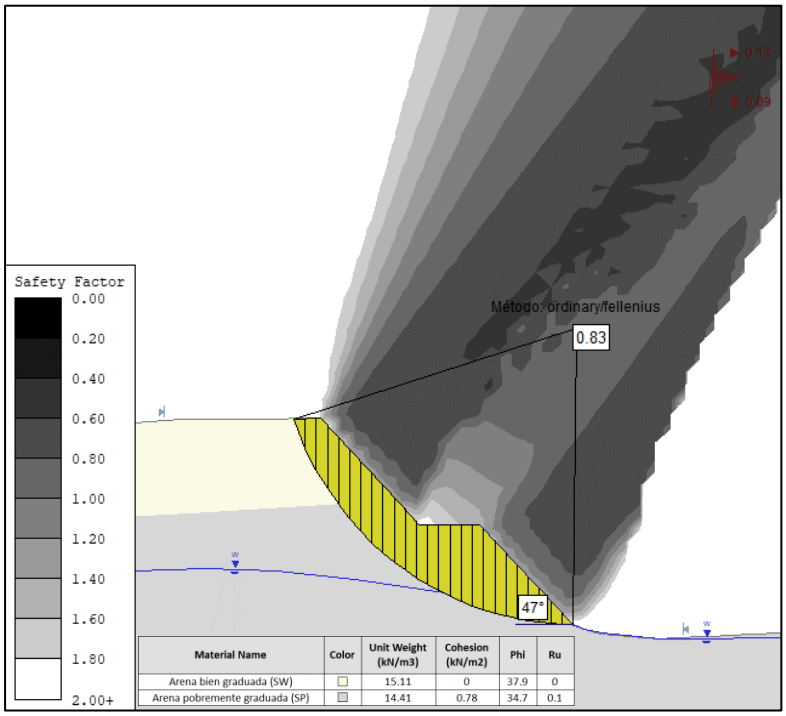


Figura 103. Análisis pseudoestático para 47° de talud por el método Fellenius
Fuente: Elaborada para la investigación

PRUEBA 22 – Análisis para 47° de talud por el método Spencer.

Análisis de estabilidad del talud en condición estático y pseudoestático por el método Spencer, para Ru: 0.1.

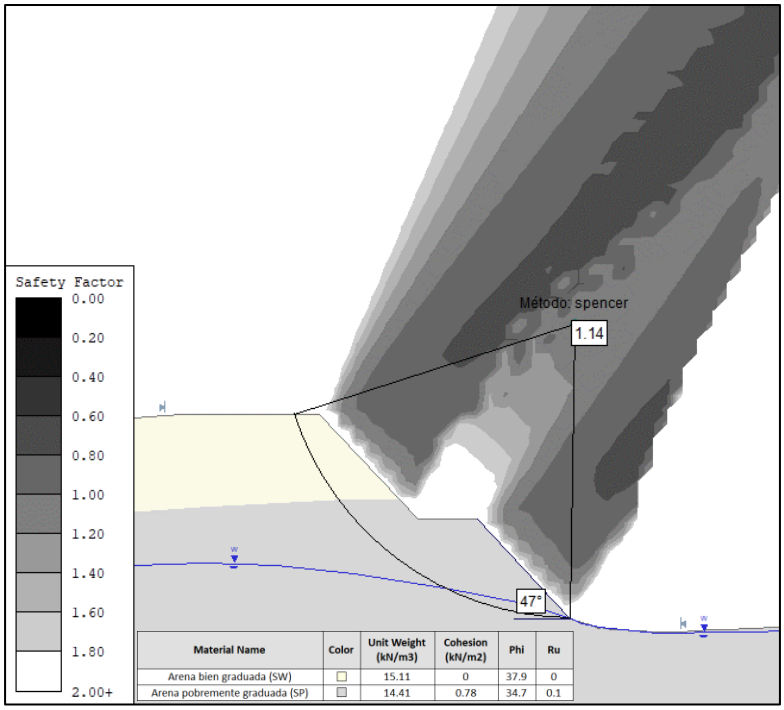


Figura 104. Análisis estático para 47° de talud por el método Spencer
Fuente: Elaborada para la investigación

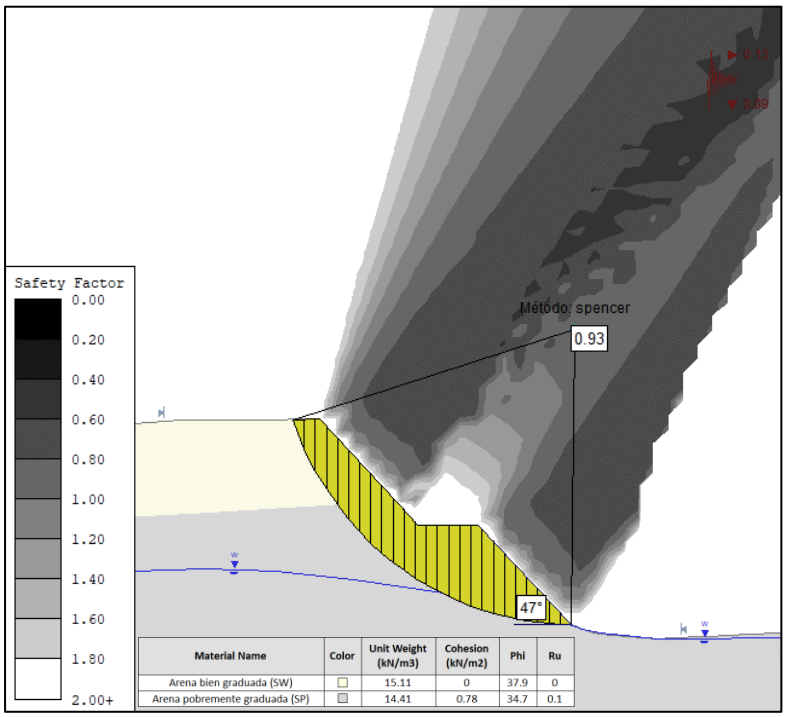


Figura 105. Análisis pseudoestático para 47° de talud por el método Spencer
Fuente: Elaborada para la investigación

PRUEBA 23 – Análisis para 50° de talud por el método Fellenius.

Análisis de estabilidad del talud en condición estático y pseudoestático por el método Fellenius, para Ru: 0.1.

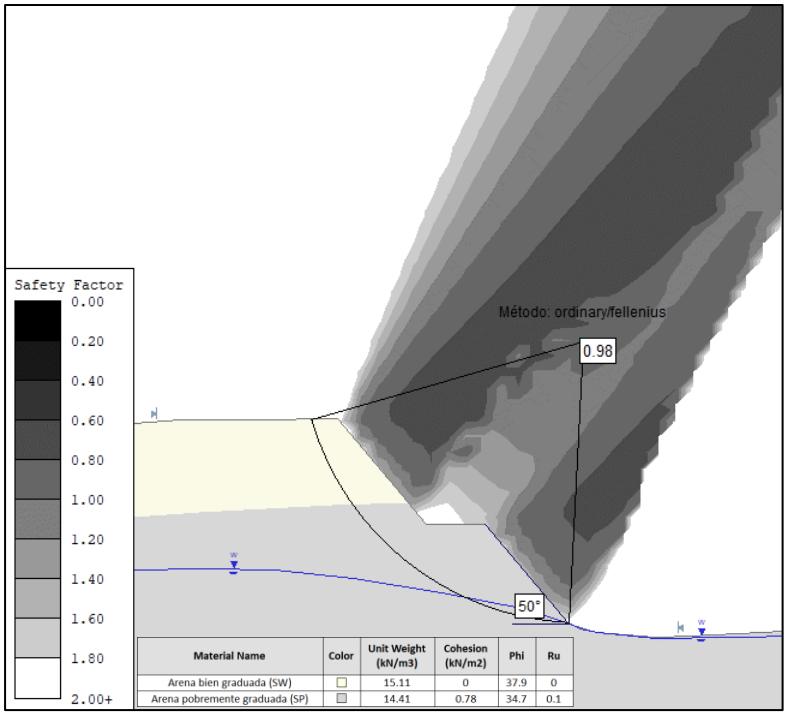


Figura 106. Análisis estático para 50° de talud por el método Fellenius
Fuente: Elaborada para la investigación

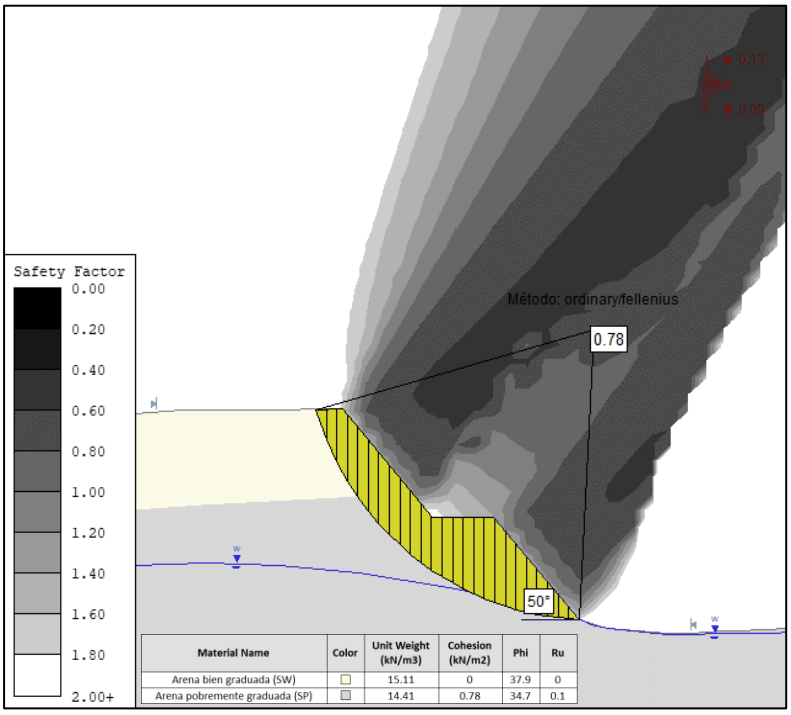


Figura 107. Análisis pseudoestático para 50° de talud por el método Fellenius
Fuente: Elaborada para la investigación

PRUEBA 24 – Análisis para 50° de talud por el método Spencer.

Análisis de estabilidad del talud en condición estático y pseudoestático por el método Spencer, para Ru: 0.1.

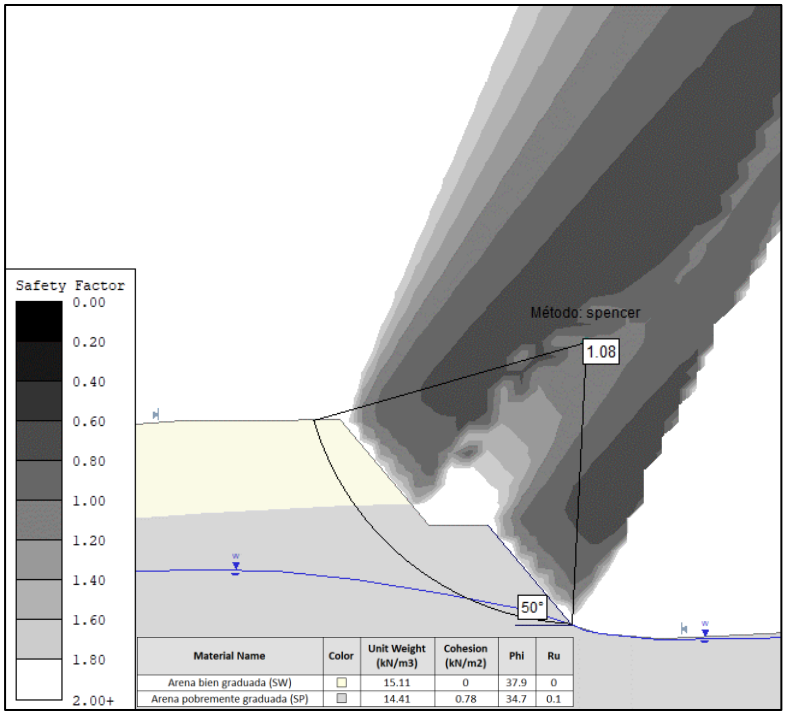


Figura 108. Análisis estático para 50° de talud por el método Spencer
Fuente: Elaborada para la investigación

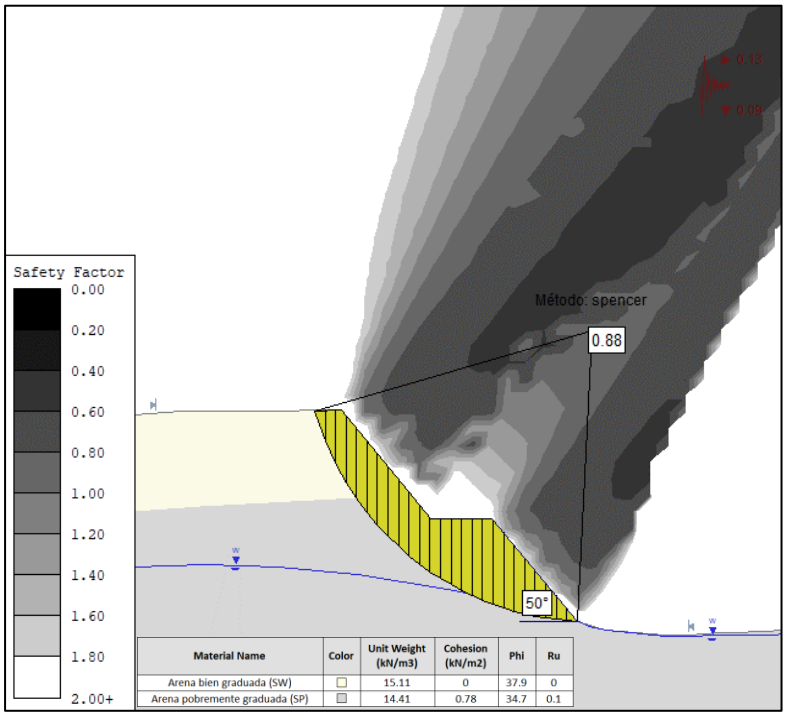


Figura 109. Análisis pseudoestático para 50° de talud por el método Spencer
Fuente: Elaborada para la investigación

ANEXO 5

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS GEOTÉCNICOS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
CONCRETO Y ASFALTO

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO ASTM D 422

PROYECTO :TESIS, ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA UNIDAD MINERA "MOISES RANDY 2010".
SOLICITA :JAIME ISRAEL TURPO PHUÑO
FECHA : SETIEMBRE DE 2017

Datos de la Muestra

Ubicación :DEPARTAMENTO : MOQUEGUA, PROVINCIA : MCAL NIETO, DISTRITO : TORATA , SECTOR: COPLAY
Muestras Nro. M-01

Datos de Ensayo

Tamices ASTM	Abertura en mm.		%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	Especificacion			Indice de Consistencia		
3"	76.200		0.00	0.00	100.00						
2 1/2"	63.500		0.00	0.00	100.00				L. Líquido	:	NP
2"	50.600		0.00	0.00	100.00				L. Plástico	:	NP
1 1/2"	38.100		0.00	0.00	100.00				Ind. Plástico	:	NP
1"	25.400		0.00	0.00	100.00				Clas. SUCS	:	SW
3/4"	19.050		0.72	0.72	99.28				Clas. AASHTO	:	A-1-b (0)
1/2"	12.700		1.63	2.35	97.65				% de Grava	:	11.26
3/8"	9.525		1.56	3.93	96.07				% de Arena	:	86.78
No4	4.760		7.34	11.26	88.74				% de Finos	:	1.95
10	2.000		16.73	28.00	72.00				D10	:	0.22
20	0.840		30.75	58.75	41.25				D30	:	0.60
40	0.420		22.60	81.35	18.65				D60	:	1.45
50	0.300		7.22	88.57	11.43				Cu	:	6.59
80	0.180								Cc	:	1.13
100	0.149		6.73	95.30	4.70						
140	0.106										
200	0.074		2.74	98.05	**1.95**						
pasa			1.95	100.00	0.00						



ERICA ANGEL FLORES ARIAS
INGENIERO CIVIL
CIP

Figura 110. Análisis granulométrico muestra M-01
Fuente: ABG Bulding S.R.L

Nombre del Proyecto :TESIS, ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA UNIDAD MINERA "MOISES RANDY 2010".
Ubicación de la Muestra :DEPARTAMENTO : MOQUEGUA, PROVINCIA : MCAL NIETO, DISTRITO : TORATA , SECTOR: COPLAY
Solicitante : JAIME ISRAEL TURPO PHUÑO
Muestra N° : M-01
Fecha de Muestreo : SETIEMBRE DE 2017

Dimensiones del Material			
Nro Ensayo	Altura de la Muestra (cm)	Diámetro de la Muestra (cm)	Tipo de la Muestra
1	2.000	6.000	Prisma
2	2.000	6.000	Prisma
3	2.000	6.000	Prisma

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

	ENSAYO 1		ENSAYO 2		ENSAYO 3	
Esfuerzo Normal (Kg/Cm2)	0.5		1		2	
Etapa	Resis.	Resid.	Resis.	Resid.	Resis.	Resid.
Esfuerzo Cortante (Kg/Cm2)	0.698	0.376	1.189	0.767	2.306	1.544
Fuerza Cortante (Kg)	21.812	11.755	37.177	23.995	72.099	48.282
Ángulo Fricción (°)					47.163	37.899
Cohesión					0.139	0.000

ENSAYO 1			ENSAYO 2			ENSAYO 3		
Est. Cort. (Kg/Cm2)	Des. Horiz. (Cm)	Des. Horiz. (%)	Est. Cort. (Kg/Cm2)	Des. Horiz. (Cm)	Des. Horiz. (%)	Est. Cort. (Kg/Cm2)	Des. Horiz. (Cm)	Des. Horiz. (%)
0.054	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.165	0.030	0.475	0.388	0.030	0.475	0.629	0.030	0.475
0.352	0.060	0.951	0.571	0.060	0.951	0.905	0.060	0.951
0.514	0.090	1.426	0.729	0.090	1.426	1.240	0.090	1.426
0.614	0.120	1.902	0.886	0.120	1.902	1.543	0.120	1.902
0.674	0.150	2.377	1.015	0.150	2.377	1.789	0.150	2.377
0.692	0.180	2.853	1.098	0.180	2.853	2.000	0.180	2.853
0.698	0.210	3.328	1.155	0.210	3.328	2.142	0.210	3.328
0.688	0.240	3.803	1.189	0.240	3.803	2.223	0.240	3.803
0.680	0.270	4.279	1.188	0.270	4.279	2.288	0.270	4.279
0.659	0.300	4.754	1.160	0.300	4.754	2.306	0.300	4.754
0.637	0.330	5.230	1.133	0.330	5.230	2.301	0.330	5.230
0.614	0.360	5.705	1.106	0.360	5.705	2.271	0.360	5.705
0.589	0.390	6.181	1.058	0.390	6.181	2.240	0.390	6.181
0.541	0.420	6.656	1.014	0.420	6.656	2.165	0.420	6.656
0.529	0.450	7.132	0.963	0.450	7.132	2.112	0.450	7.132
0.493	0.480	7.607	0.924	0.480	7.607	2.016	0.480	7.607
0.476	0.510	8.082	0.865	0.510	8.082	1.923	0.510	8.082
0.455	0.540	8.558	0.851	0.540	8.558	1.847	0.540	8.558
0.429	0.570	9.033	0.842	0.570	9.033	1.764	0.570	9.033
0.429	0.600	9.509	0.826	0.600	9.509	1.702	0.600	9.509
0.424	0.630	9.984	0.822	0.630	9.984	1.637	0.630	9.984
0.426	0.660	10.460	0.810	0.660	10.460	1.610	0.660	10.460
0.410	0.690	10.935	0.781	0.690	10.935	1.600	0.690	10.935
0.406	0.720	11.410	0.781	0.720	11.410	1.587	0.720	11.410
0.410	0.750	11.886	0.807	0.750	11.886	1.573	0.750	11.886
0.411	0.780	12.361	0.795	0.780	12.361	1.590	0.780	12.361
0.404	0.810	12.837	0.780	0.810	12.837	1.574	0.810	12.837
0.394	0.840	13.312	0.767	0.840	13.312	1.570	0.840	13.312
0.396	0.870	13.788	0.786	0.870	13.788	1.565	0.870	13.788
0.392	0.900	14.263	0.792	0.900	14.263	1.552	0.900	14.263
0.377	0.930	14.739	0.805	0.930	14.739	1.544	0.930	14.739
0.376	0.960	15.214	0.803	0.960	15.214	1.558	0.960	15.214
0.384	0.990	15.689	0.807	0.990	15.689	1.571	0.990	15.689
0.387	1.020	16.165	0.810	1.020	16.165	1.565	1.020	16.165
0.390	1.050	16.640	0.804	1.050	16.640	1.552	1.050	16.640
0.392	1.080	17.116	0.804	1.080	17.116	1.556	1.080	17.116
0.398	1.110	17.591	0.801	1.110	17.591	1.546	1.110	17.591
0.401	1.140	18.067	0.809	1.140	18.067	1.561	1.140	18.067
0.401	1.170	18.542	0.810	1.170	18.542	1.574	1.170	18.542

ERICK ANGEL FLORES ARIA
INGENIERO CIVIL

Figura 111. Ensayo de corte directo muestra M-01
Fuente: ABG Bulding S.R.L

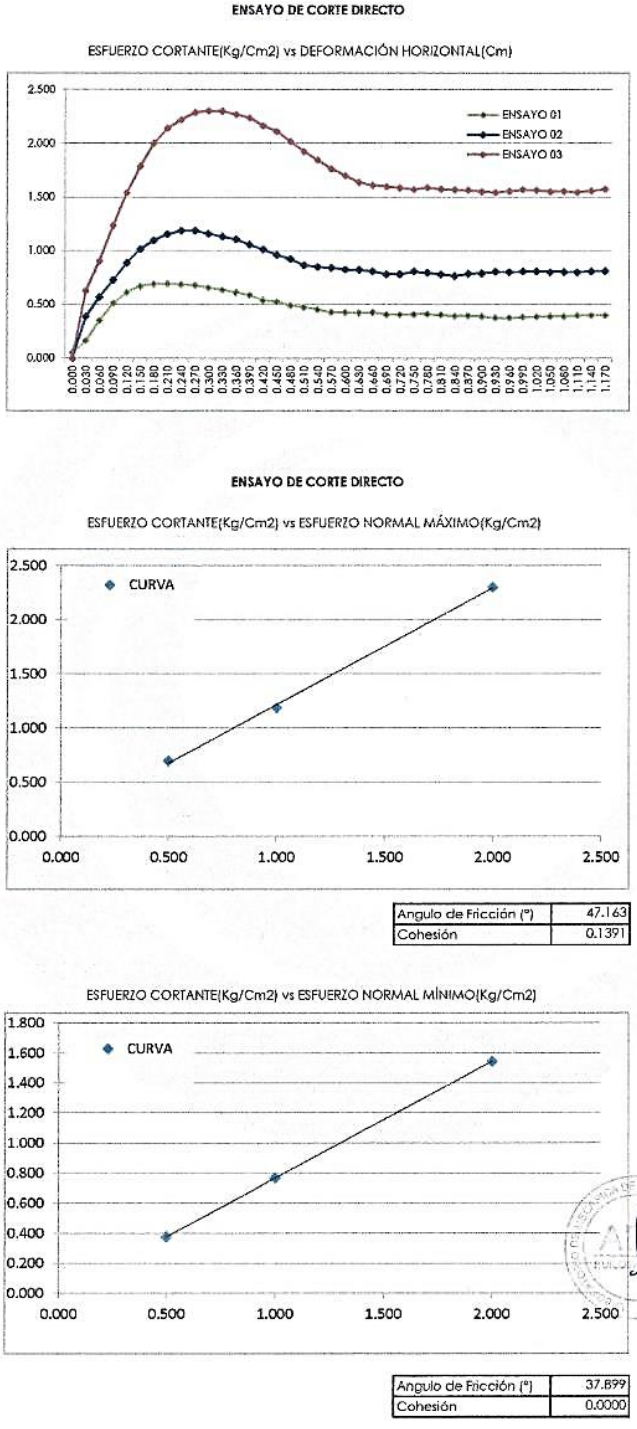


Figura 112. Ensayo de corte directo muestra M-01
Fuente: ABG Bulding S.R.L

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
CONCRETO Y ASFALTO

DENSIDAD RELATIVA

PROYECTO :TESIS, ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA UNIDAD MINERA "MOISES RANDY 2010".
SOLICITA :JAIME ISRAEL TURPO PHUÑO
FECHA : SETIEMBRE DE 2017

Datos de la Muestra

Ubicación :DEPARTAMENTO : MOQUEGUA, PROVINCIA : MCAL NIETO, DISTRITO : TORATA , SECTOR: COPLAY
Muestras Nro. : M-01

IDENTIFICACION	Unid.	1
DENSIDAD NATURAL	gr/cc	1.540
DENSIDAD MAXIMA	gr/cc	1.647
DENSIDAD MINIMA	gr/cc	1.436
DENSIDAD RELATIVA	%	53%

Dr : 53% Material Medianamente Denso

ERICK ANGEL FLORES ARIAS
INGENIERO CIVIL
CIP. 140225

Figura 113. Densidad relativa muestra M-01
Fuente: ABG Bulding S.R.L

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
CONCRETO Y ASFALTO

DENSIDAD IN SITU ASTM D 1556

PROYECTO :TESIS, ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA UNIDAD MINERA "MOISES RANDY 2010".
SOLICITA :JAIME ISRAEL TURPO PHUÑO
FECHA : SETIEMBRE DE 2017

Datos de La Muestra

Ubicación :DEPARTAMENTO : MOQUEGUA, PROVINCIA : MCAL NIETO, DISTRITO : TORATA , SECTOR: COPLAY

Muestras Nro. M-01

ENSAYO DE DENSIDAD IN SITU		
PESO INICIAL DE ARENA	grs	8252.00
PESO FINAL DE ARENA	grs	2865.00
PESO CONO CORRECCION	grs	1332.66
PESO DE LA ARENA EMPLEADA	grs	4054.34
P.U. DE ARENA CALIBRADA	grs/cm3	1.367
VOLUMEN DE CAVIDAD	cm3	2965.87
CORRECION POR GRAVA		
PESO DE SUELO EXTRAIDO	grs	4713.00
P.E. DE GRAVA	grs/cm3	2.43
PESO GRAVA MAYOR 3/4	grs	33.88
% GRAVA	%	0.72
VOLUMEN DE GRAVA MAYOR 3/4	cm3	13.93
VALORES CORREGIDOS		
CONT. DE HUMEDAD %	%	2.92
DENSIDAD HUMEDA	grs/cm3	**1.589**
DENSIDAD HUMEDA CORREGIDA	grs/cm3	1.585

DENSIDAD NATURAL SECA	1.540	grs/cm3

ERICK ANGEL FLORES ARIAS
INGENIERO CIVIL
CIP. 142...

Figura 114. Densidad in situ muestra M-01
Fuente: ABG Bulding S.R.L

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
CONCRETO Y ASFALTO

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ASTM D 1557

PROYECTO :TESIS, ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA UNIDAD MINERA "MOISES RANDY 2010".

SOLICITA :JAIME ISRAEL TURPO PHUÑO
FECHA : SETIEMBRE DE 2017

Datos de la Muestra

Ubicación :DEPARTAMENTO : MOQUEGUA, PROVINCIA : MCAL NIETO, DISTRITO : TORATA , SECTOR: COPLAY
Muestras Nro. M-01

Compactación

Prueba N°	1	2	3	4	
Número de capas	5	5	5	5	
Número de golpes	25	25	25	25	
Metodo Aplicado	A	A	A	A	
Peso suelo + molde (gr.)	5588	5720	5743	5733	
Peso molde (gr.)	4022	4022	4022	4022	
Peso suelo compactado (gr.)	1566	1698	1721	1711	
Volumen del molde (cm^3)	945.31	945.31	945.31	945.31	
Densidad humeda (gr/cm^3)	1.657	1.796	1.821	1.810	

Determinación del % de Humedad ASTM D-2216/D-4959

Tara N°	1	2	3	4	
Tara + suelo húmedo (gr.)	500.60	500.40	502.10	501.60	
Tara + suelo seco (gr.)	475.00	458.70	449.10	441.00	
Peso de agua (gr.)	25.60	41.70	53.00	60.60	
Peso de tara (gr.)	0.00	0.00	0.00	1.00	
Peso de suelo seco (gr.)	475.00	458.70	449.10	440.00	
Humedad (%)	5.4	9.1	11.8	13.8	
Densidad Seca (gr/cm^3)	1.572	1.647	1.628	1.591	

Máxima Densidad Seca (gr/cm^3)	:	1.647
Optimo Contenido de Humedad (%)	:	9.50

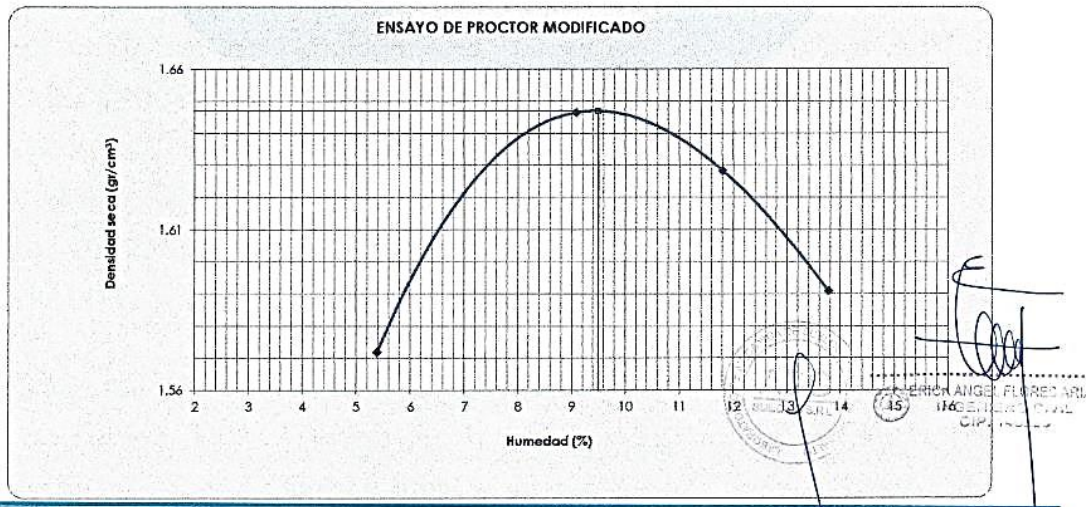


Figura 115. Ensayo Proctor modificado muestra M-01
Fuente: ABG Bulding S.R.L

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO :TESIS, ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA UNIDAD MINERA "MOISES RANDY 2010".

SOLICITA :JAIME ISRAEL TURPO PHUÑO

FECHA : SETIEMBRE DE 2017

DENSIDAD MINIMA ASTM D 1523

Ubicación :DEPARTAMENTO : MOQUEGUA, PROVINCIA : MCAL NIETO, DISTRITO : TORATA , SECTOR: COPLAY

Muestras Nro. M-01

Descripcion	1	2	3
Peso de Muestra	14751.00	14812.00	14818.00
Volumen de Molde	3989.86	3989.86	3989.86
Peso de Molde	8898.00	8898.00	8898.00
Densidad Humeda	1.47	1.48	1.48

Densidad Humeda Promedio	1.478
Humedad (%)	2.92
Densidad Seca Promedio	***1.436***

ERICK ANGEL FLORES ARIAS
INGENIERO CIVIL

Figura 116. Densidad mínima muestra M-01
Fuente: ABG Bulding S.R.L

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
CONCRETO Y ASFALTO

LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D 4318

PROYECTO :TESIS, ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA UNIDAD MINERA "MOISES RANDY 2010".
SOLICITA :JAIME ISRAEL TURPO PHUÑO
FECHA : SETIEMBRE DE 2017

Datos de la Muestra

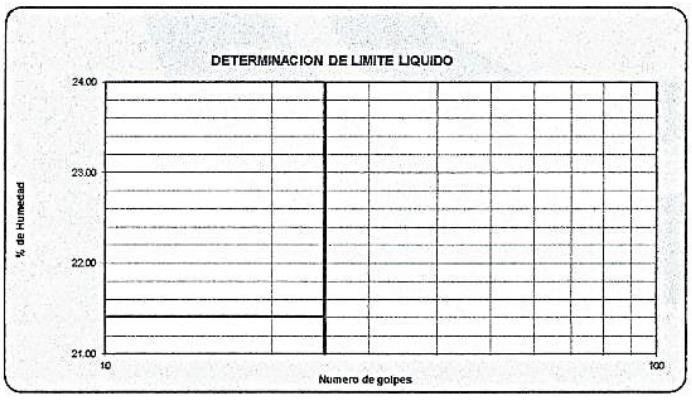
Ubicación :DEPARTAMENTO : MOQUEGUA, PROVINCIA : MCAL NIETO, DISTRITO : TORATA , SECTOR: COPLAY
Muestras Nro. M-01

Límite Líquido

ENSAYO N°	Unid	1	2	3		
N° de Golpes						
Recipiente N°						
R + Suelo Hum.	gr.					
R + Suelo Seco	gr.					
Peso de agua	gr.					
Peso de Recip.	gr.					
Peso de S. Seco	gr.					
% de Humedad	%					

Límite Plástico

ENSAYO N°	Unid	1	2	3	4	
Recipiente N°						
R + Suelo Hum.	gr.					
R + Suelo Seco	gr.					
Peso de agua	gr.					
Peso de Recip.	gr.					
Peso de S. Seco	gr.					
% de Humedad	%					





Resultados	
Límite Líquido	NP
Límite Plástico	NP
Ind. Plástico	NP

ERICK ANGEL FLORES ARIAS

Figura 117. Límite de consistencia muestra M-01
Fuente: ABG Bulding S.R.L

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
CONCRETO Y ASFALTO

CONTENIDO DE HUMEDAD EN LABORATORIO ASTM D-2216/D-4959

PROYECTO :TESIS, ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA UNIDAD MINERA "MOISES RANDY 2010".

SOLICITA :JAIME ISRAEL TURPO PHUÑO
FECHA : SETIEMBRE DE 2017

Datos de la Muestra

Ubicación :DEPARTAMENTO : MOQUEGUA, PROVINCIA : MCAL NIETO, DISTRITO : TORATA , SECTOR: COPLAY

Muestras Nro. M-01

HUMEDAD NATURAL

Nº de Ensayo	Unid.	1	2	3
Tara Número				
Peso de tara + Suelo Húmedo	gr.	637.40	664.10	660.10
Peso de Tara + Suelo Seco	gr.	620.30	645.30	640.30
Peso de Tara	gr.	0.00	0.00	0.00
Peso del Agua	gr.	17.10	18.80	19.80
Peso del Suelo Seco	gr.	620.3	645.30	640.30
Porcentaje de Humedad Contenida	%	2.76	2.91	3.09
Promedio de % de Humedad	%	2.92%		

ERICK ANGEL FLORES ARIAS

Figura 118. Contenido de humedad muestra M-01
Fuente: ABG Bulding S.R.L

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
CONCRETO Y ASFALTO

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO ASTM D 422

PROYECTO :TESIS, ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA UNIDAD MINERA "MOISES RANDY 2010".
SOLICITA :JAIME ISRAEL TURPO PHUÑO
FECHA : SETIEMBRE DE 2017

Datos de la Muestra

Ubicación :DEPARTAMENTO : MOQUEGUA, PROVINCIA : MCAL NIETO, DISTRITO : TORATA , SECTOR: COPLAY
Calicata Nro. : M-02

Datos de Ensayo

Tamices ASTM	Abertura en mm.	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	Especificacion
3"	76.200	0.00	0.00	100.00	
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	100.00	
2"	50.600	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	100.00	
1"	25.400	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.050	0.00	0.00	100.00	
1/2"	12.700	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.525	0.00	0.00	100.00	
No4	4.760	0.07	0.07	99.93	
10	2.000	3.37	3.44	96.56	
20	0.840	17.74	21.18	78.82	
40	0.420	39.24	60.42	39.58	
50	0.300	19.00	79.42	20.58	
80	0.180				
100	0.149	14.20	93.62	6.38	
140	0.106				
200	0.074	3.57	97.19	2.81	
pasa		2.81	100.00	0.00	

Indice de Consistencia		
L. Liquida	:	NP
L. Plástico	:	NP
Ind. Plástico	:	NP
Clas. SUCS	:	SP
Clas. AASHTO	:	A-1-b (0)
% de Grava	:	0.07
% de Arena	:	97.12
% de Finos	:	2.81
D10	:	0.17
D30	:	0.31
D60	:	0.60
Cu	:	3.53
Cc	:	0.94



ERICK ANGEL FLORES ARIAS
INGENIERO CIVIL
CIP. 146[illegible]

Figura 119. Análisis granulométrico muestra M-02
Fuente: ABG Bulding S.R.L

Nombre del Proyecto :TESIS, ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA UNIDAD MINERA "MOISES RANDY 2010".
Ubicación de la Muestra :DEPARTAMENTO : MOQUEGUA, PROVINCIA : MCAL NIETO, DISTRITO : TORATA , SECTOR: COPLAY
Solicitante : JAIME ISRAEL TURPO PHUÑO
Descripción de la Muestra : M-02
Fecha de Muestreo : SETIEMBRE DE 2017

Dimensiones del Material			
Nro Ensayo	Altura de la Muestra (cm)	Diámetro de la Muestra (cm)	Tipo de la Muestra
1	2.000	6.000	Prisma
2	2.000	6.000	Prisma
3	2.000	6.000	Prisma

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

	ENSAYO 1		ENSAYO 2		ENSAYO 3	
Esfuerzo Normal (Kg/Cm2)	0.5		1		2	
Etapa	Resis.	Resid.	Resis.	Resid.	Resis.	Resid.
Esfuerzo Cortante (Kg/Cm2)	0.539	0.355	0.978	0.701	1.710	1.395
Fuerza Cortante (Kg)	16.848	11.086	30.573	21.928	53.471	43.608
Ángulo Fricción (°)					37.735	34.735
Cohesión					0.173	0.008

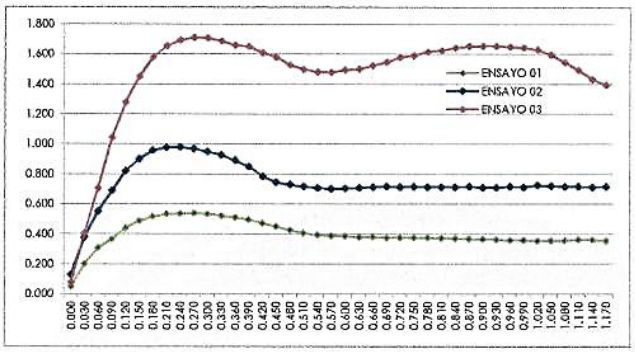
ENSAYO 1			ENSAYO 2			ENSAYO 3		
Esf. Cort. (Kg/Cm2)	Des. Horiz. (Cm)	Des. Horiz. (%)	Esf. Cort. (Kg/Cm2)	Des. Horiz. (Cm)	Des. Horiz. (%)	Esf. Cort. (Kg/Cm2)	Des. Horiz. (Cm)	Des. Horiz. (%)
0.050	0.000	0.000	0.127	0.000	0.000	0.078	0.000	0.000
0.201	0.030	0.475	0.376	0.030	0.475	0.404	0.030	0.475
0.307	0.060	0.951	0.552	0.060	0.951	0.706	0.060	0.951
0.367	0.090	1.426	0.687	0.090	1.426	1.042	0.090	1.426
0.440	0.120	1.902	0.820	0.120	1.902	1.278	0.120	1.902
0.487	0.150	2.377	0.900	0.150	2.377	1.450	0.150	2.377
0.517	0.180	2.853	0.957	0.180	2.853	1.577	0.180	2.853
0.532	0.210	3.328	0.976	0.210	3.328	1.653	0.210	3.328
0.538	0.240	3.803	0.978	0.240	3.803	1.694	0.240	3.803
0.539	0.270	4.279	0.968	0.270	4.279	1.710	0.270	4.279
0.535	0.300	4.754	0.949	0.300	4.754	1.706	0.300	4.754
0.521	0.330	5.230	0.925	0.330	5.230	1.687	0.330	5.230
0.511	0.360	5.705	0.889	0.360	5.705	1.657	0.360	5.705
0.496	0.390	6.181	0.849	0.390	6.181	1.650	0.390	6.181
0.471	0.420	6.656	0.783	0.420	6.656	1.608	0.420	6.656
0.450	0.450	7.132	0.745	0.450	7.132	1.581	0.450	7.132
0.426	0.480	7.607	0.728	0.480	7.607	1.527	0.480	7.607
0.406	0.510	8.082	0.716	0.510	8.082	1.498	0.510	8.082
0.394	0.540	8.558	0.707	0.540	8.558	1.480	0.540	8.558
0.388	0.570	9.033	0.701	0.570	9.033	1.479	0.570	9.033
0.385	0.600	9.509	0.704	0.600	9.509	1.494	0.600	9.509
0.378	0.630	9.984	0.708	0.630	9.984	1.501	0.630	9.984
0.380	0.660	10.460	0.712	0.660	10.460	1.524	0.660	10.460
0.375	0.690	10.935	0.715	0.690	10.935	1.547	0.690	10.935
0.377	0.720	11.410	0.712	0.720	11.410	1.579	0.720	11.410
0.376	0.750	11.886	0.715	0.750	11.886	1.591	0.750	11.886
0.374	0.780	12.361	0.712	0.780	12.361	1.615	0.780	12.361
0.372	0.810	12.837	0.712	0.810	12.837	1.624	0.810	12.837
0.369	0.840	13.312	0.712	0.840	13.312	1.642	0.840	13.312
0.367	0.870	13.788	0.716	0.870	13.788	1.653	0.870	13.788
0.365	0.900	14.263	0.711	0.900	14.263	1.653	0.900	14.263
0.363	0.930	14.739	0.710	0.930	14.739	1.655	0.930	14.739
0.360	0.960	15.214	0.717	0.960	15.214	1.648	0.960	15.214
0.359	0.990	15.689	0.713	0.990	15.689	1.643	0.990	15.689
0.355	1.020	16.165	0.724	1.020	16.165	1.629	1.020	16.165
0.357	1.050	16.640	0.720	1.050	16.640	1.595	1.050	16.640
0.358	1.080	17.116	0.714	1.080	17.116	1.546	1.080	17.116
0.363	1.110	17.591	0.717	1.110	17.591	1.494	1.110	17.591
0.361	1.140	18.067	0.712	1.140	18.067	1.431	1.140	18.067
0.356	1.170	18.542	0.714	1.170	18.542	1.395	1.170	18.542

ERICK ANGEL FLO
INGENIERO
CIP.

Figura 120. Ensayo de corte directo muestra M-02
Fuente: ABG Bulding S.R.L

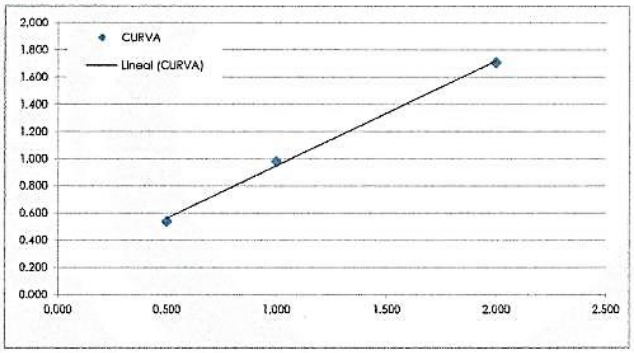
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ESFUERZO CORTANTE(Kg/Cm2) vs DEFORMACIÓN HORIZONTAL(Cm)



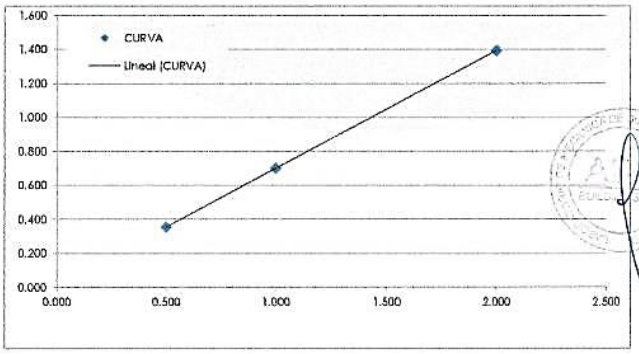
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ESFUERZO CORTANTE(Kg/Cm2) vs ESFUERZO NORMAL MÁXIMO(Kg/Cm2)



Angulo de Fricción (°)	37.735
Cohesión	0.1726

ESFUERZO CORTANTE(Kg/Cm2) vs ESFUERZO NORMAL MÍNIMO(Kg/Cm2)



Angulo de Fricción (°)	34.735
Cohesión	0.0079

ERICA ANGEL FLORES ARIA
INGENIERO CIVIL
CIP. 146225

Figura 121. Ensayo de corte directo muestra M-02
Fuente: ABG Bulding S.R.L

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
CONCRETO Y ASFALTO

DENSIDAD RELATIVA

PROYECTO :TESIS, ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA UNIDAD MINERA "MOISES RANDY 2010".
SOLICITA :JAIME ISRAEL TURPO PHUÑO
FECHA : SETIEMBRE DE 2017

Datos de la Muestra

Ubicación :DEPARTAMENTO : MOQUEGUA, PROVINCIA : MCAL NIETO, DISTRITO : TORATA , SECTOR: COPLAY
Calicata Nro. : M-02

IDENTIFICACION	Unid.	I
DENSIDAD NATURAL	gr/cc	1.469
DENSIDAD MAXIMA	gr/cc	1.516
DENSIDAD MINIMA	gr/cc	1.318
DENSIDAD RELATIVA	%	79%

Dr : 79% Material Denso

ERICK ANGEL FLORES ARIAS
INGENIERO CIVIL
CIP. 145225

Figura 122. Densidad relativa muestra M-02
Fuente: ABG Bulding S.R.L

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
CONCRETO Y ASFALTO

DENSIDAD IN SITU ASTM D 1556

PROYECTO :TESIS, ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA UNIDAD MINERA "MOISES RANDY 2010".

SOLICITA :JAIME ISRAEL TURPO PHUÑO

FECHA : SETIEMBRE DE 2017

Datos de La Muestra

Ubicación :DEPARTAMENTO : MOQUEGUA, PROVINCIA : MCAL NIETO, DISTRITO : TORATA , SECTOR: COPLAY

Calicata Nro. : M-02

ENSAYO DE DENSIDAD IN SITU		
PESO INICIAL DE ARENA	grs	8232.00
PESO FINAL DE ARENA	grs	2907.00
PESO CONO CORRECCION	grs	1332.66
PESO DE LA ARENA EMPLEADA	grs	3992.34
P.U. DE ARENA CALIBRADA	grs/cm3	1.367
VOLUMEN DE CAVIDAD	cm3	2920.51
CORRECION POR GRAVA		
PESO DE SUELO EXTRAIDO	grs	4351.00
P.E. DE GRAVA	grs/cm3	2.43
PESO GRAVA MAYOR 3/4	grs	0.00
% GRAVA	%	0.00
VOLUMEN DE GRAVA MAYOR 3/4	cm3	0.00
VALORES CORREGIDOS		
CONT. DE HUMEDAD %	%	1.39
DENSIDAD HUMEDA	grs/cm3	**1.490**
DENSIDAD HUMEDA CORREGIDA	grs/cm3	1.490

DENSIDAD NATURAL SECA	1.469	grs/cm3

ERICK ANGEL FLORES ARIAS
INGENIERO CIVIL
CIP. 145283

Figura 123. Densidad in situ muestra M-02
Fuente: ABG Bulding S.R.L

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
CONCRETO Y ASFALTO

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ASTM D 1557

PROYECTO :TESIS, ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA UNIDAD MINERA "MOISES RANDY 2010".

SOLICITA :JAIME ISRAEL TURPO PHUÑO
FECHA : SETIEMBRE DE 2017

Datos de la Muestra

Ubicación :DEPARTAMENTO : MOQUEGUA, PROVINCIA : MCAL NIETO, DISTRITO : TORATA , SECTOR: COPLAY
Calicata Nro. : M-02

Compactación

Prueba Nº	1	2	3	4	
Número de capas	5	5	5	5	
Número de golpes	25	25	25	25	
Metodo Aplicado	A	A	A	A	
Peso suelo + molde (gr.)	5466	5598	5621	5611	
Peso molde (gr.)	4030	4030	4030	4030	
Peso suelo compactado (gr.)	1436	1568	1591	1581	
Volumen del molde (cm^3)	946.93	946.93	946.93	946.93	
Densidad humeda (gr/cm^3)	1.516	1.656	1.680	1.670	

Determinación del % de Humedad ASTM D-2216/D-4959

Tara Nº	1	2	3	4	
Tara + suelo húmedo (gr.)	500.00	500.10	500.00	500.40	
Tara + suelo seco (gr.)	471.00	456.90	449.60	441.10	
Peso de agua (gr.)	29.00	43.20	50.40	59.30	
Peso de tara (gr.)	0.00	0.00	0.00	1.00	
Peso de suelo seco (gr.)	471.00	456.90	449.60	440.10	
Humedad (%)	6.2	9.5	11.2	13.5	
Densidad Seca (gr/cm^3)	1.429	1.513	1.511	1.471	

Máxima Densidad Seca (gr/cm^3) :	1.516
Optimo Contenido de Humedad (%) :	10.20

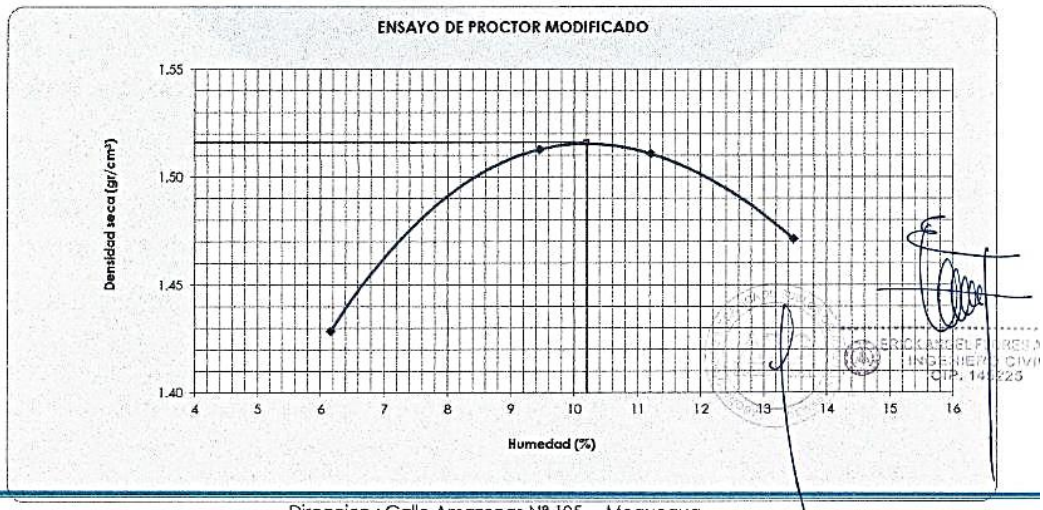


Figura 124. Ensayo Proctor modificado muestra M-02
Fuente: ABG Bulding S.R.L

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO :TESIS, ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA UNIDAD MINERA "MOISES RANDY 2010".

SOLICITA :JAIME ISRAEL TURPO PHUÑO

FECHA : SETIEMBRE DE 2017

DENSIDAD MINIMA ASTM D 1523

Ubicación :DEPARTAMENTO : MOQUEGUA, PROVINCIA : MCAL NIETO, DISTRITO : TORATA , SECTOR: COPLAY

Calicata Nro. : M-02

Descripcion	1	2	3
Peso de Muestra	14214.00	14219.00	14262.00
Volumen de Molde	3989.86	3989.86	3989.86
Peso de Molde	8898.00	8898.00	8898.00
Densidad Humeda	1.33	1.33	1.34

Densidad Humeda Promedio	1.337
Humedad (%)	1.39
Densidad Seca Promedio	**1.318**

ERICK MIGUEL FLORES ARIAS
INGENIERO CIVIL
CIP. 145283

Figura 125. Densidad mínima muestra M-02
Fuente: ABG Bulding S.R.L

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
CONCRETO Y ASFALTO

LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D 4318

PROYECTO :TESIS, ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA UNIDAD MINERA "MOISES RANDY 2010".
SOLICITA :JAIME ISRAEL TURPO PHUÑO
FECHA : SETIEMBRE DE 2017

Datos de la Muestra

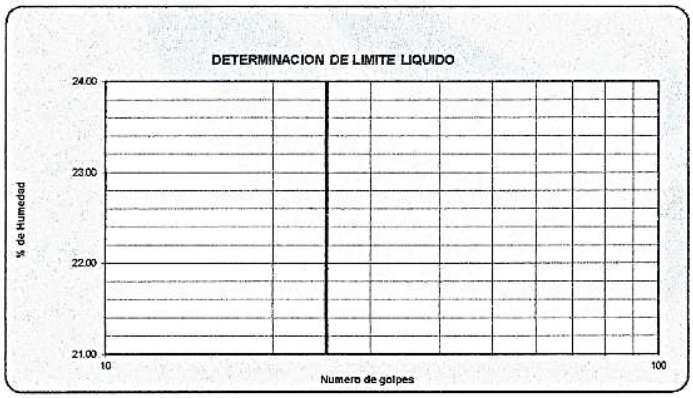
Ubicación :DEPARTAMENTO : MOQUEGUA, PROVINCIA : MCAL NIETO, DISTRITO : TORATA , SECTOR: COPLAY
Calicata Nro. : M-02

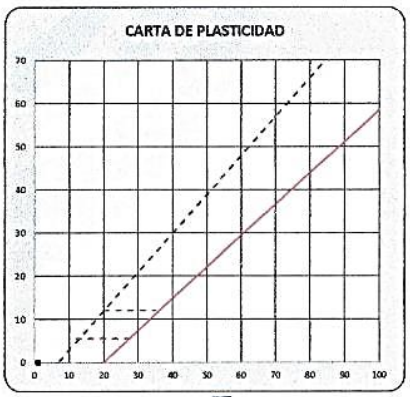
Límite Líquido

ENSAYO N°	Unid	1	2	3		
N° de Golpes						
Recipiente N°						
R + Suelo Hum.	gr.					
R + Suelo Seco	gr.					
Peso de agua	gr.					
Peso de Recip.	gr.					
Peso de S. Seco	gr.					
% de Humedad	%					

Límite Plástico

ENSAYO N°	Unid	1	2	3	4	
Recipiente N°						
R + Suelo Hum.	gr.					
R + Suelo Seco	gr.					
Peso de agua	gr.					
Peso de Recip.	gr.					
Peso de S. Seco	gr.					
% de Humedad	%					





Resultados	
Limite Líquido	NP
Limite Plastico	NP
Ind. Plástico	NP

Direccion : Calle Amazonas N° 105 – Moquegua
Telefono: 053-464111 RUC : 20600479866
E-mail: abgbuildingsrl@gmail.com,

Figura 126. Límite de consistencia muestra M-02
Fuente: ABG Bulding S.R.L

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
CONCRETO Y ASFALTO

CONTENIDO DE HUMEDAD EN LABORATORIO ASTM D-2216/D-4959

PROYECTO :TESIS, ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA UNIDAD MINERA "MOISES RANDY 2010".

SOLICITA :JAIME ISRAEL TURPO PHUÑO
FECHA : SETIEMBRE DE 2017

Datos de la Muestra

Ubicación :DEPARTAMENTO : MOQUEGUA, PROVINCIA : MCAL NIETO, DISTRITO : TORATA , SECTOR: COPLAY
Calicata Nro. : M-02

HUMEDAD NATURAL

Nº de Ensayo	Unid.	1	2	3
Tara Número				
Peso de tara + Suelo Húmedo	gr.	612.50	639.20	635.20
Peso de Tara + Suelo Seco	gr.	605.30	630.30	625.30
Peso de Tara	gr.	0.00	0.00	0.00
Peso del Agua	gr.	7.20	8.90	9.90
Peso del Suelo Seco	gr.	605.3	630.30	625.30
Porcentaje de Humedad Contenida	%	1.19	1.41	1.58
Promedio de % de Humedad	%	1.39%		

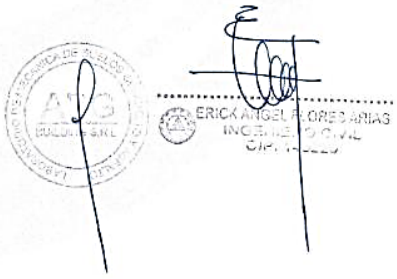
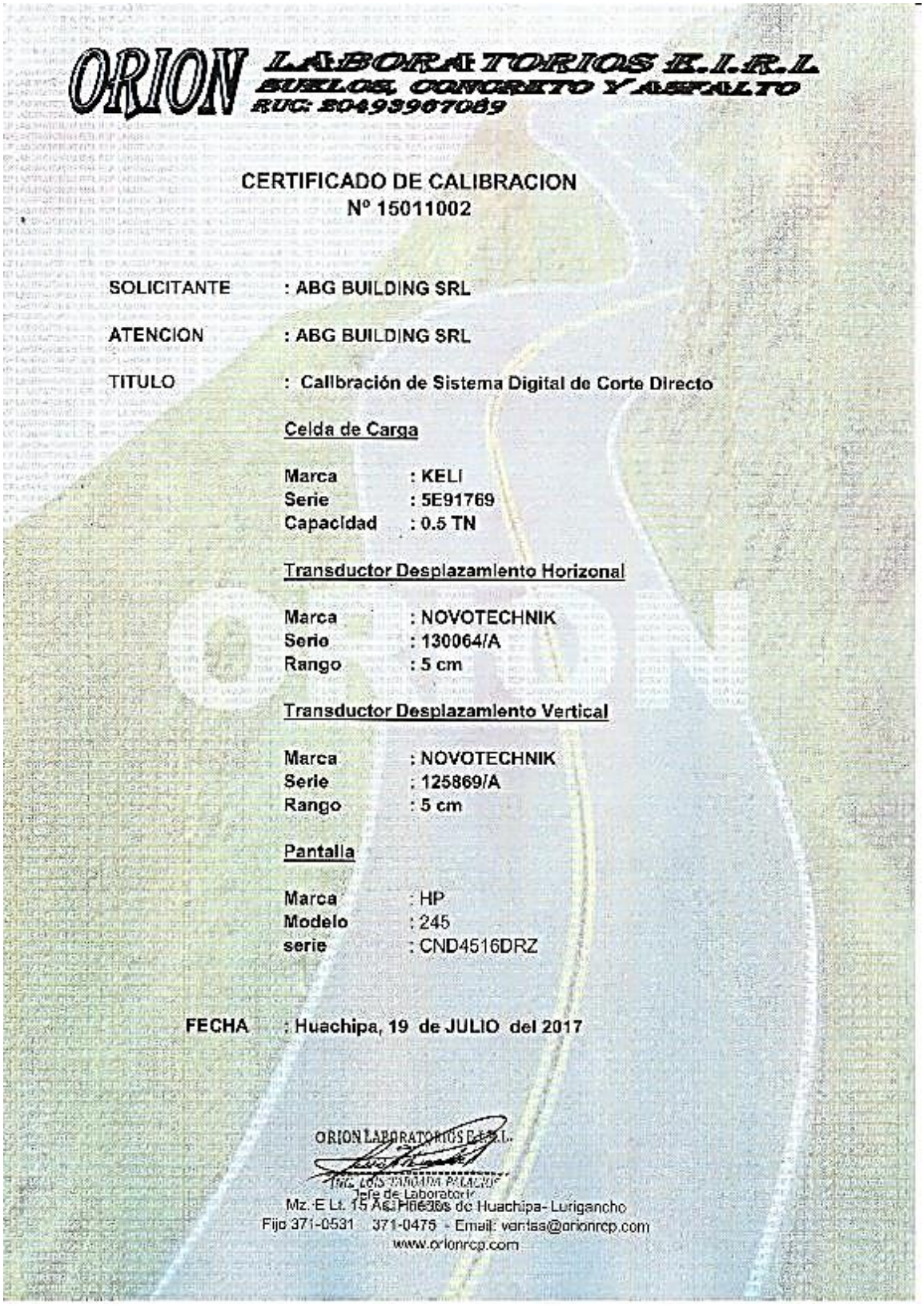


Figura 127. Contenido de humedad muestra M-02
Fuente: ABG Bulding S.R.L

ANEXO 6

CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN



ORION LABORATORIOS E.I.R.L
SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
RUC: 20493967089

CERTIFICADO DE CALIBRACION
Nº 15011002

SOLICITANTE : ABG BUILDING SRL

ATENCION : ABG BUILDING SRL

TITULO : Calibración de Sistema Digital de Corte Directo

Celda de Carga

Marca : KELI
Serie : 5E91769
Capacidad : 0.5 TN

Transductor Desplazamiento Horizonal

Marca : NOVOTECHNIK
Serie : 130064/A
Rango : 5 cm

Transductor Desplazamiento Vertical

Marca : NOVOTECHNIK
Serie : 125869/A
Rango : 5 cm

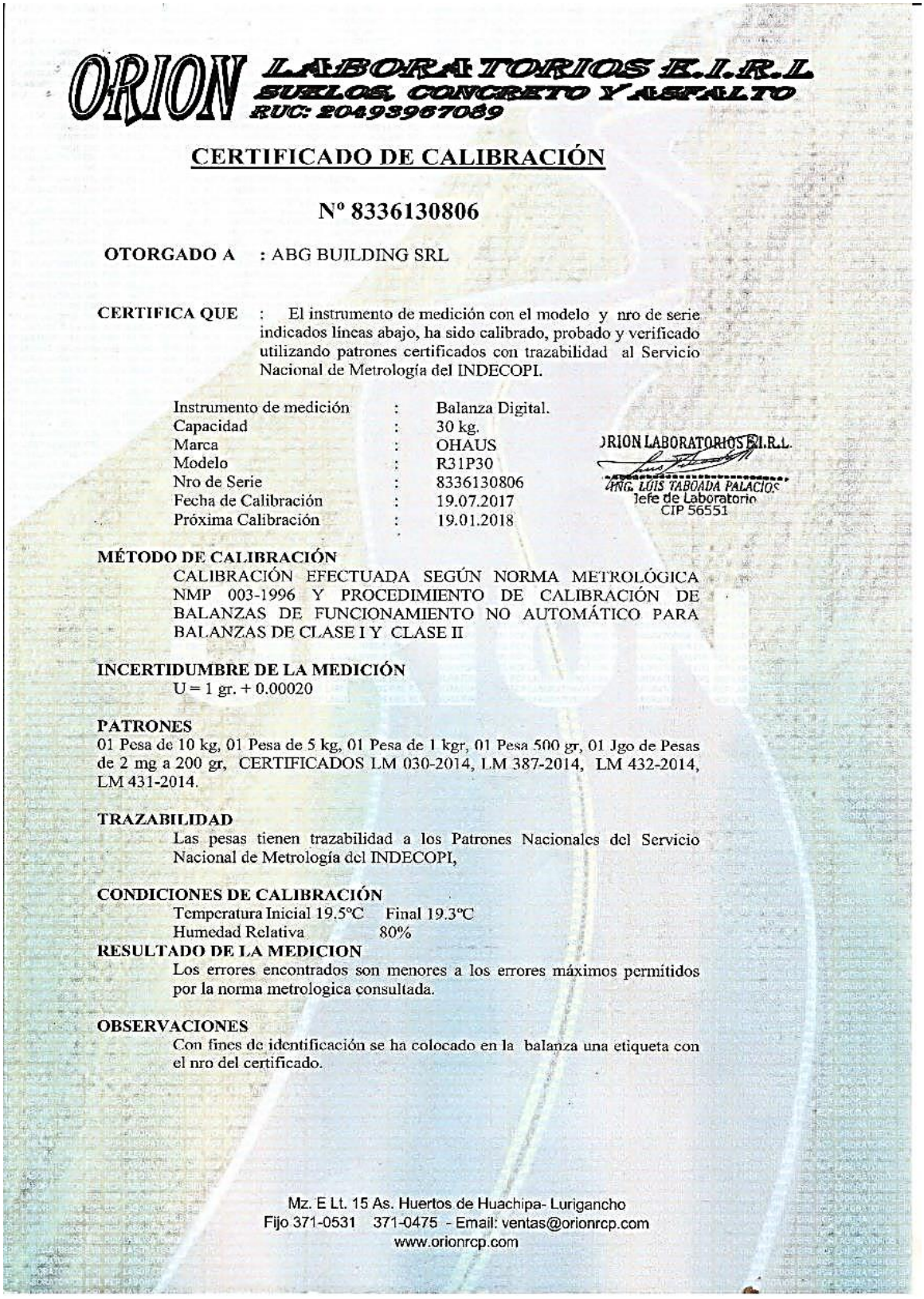
Pantalla

Marca : HP
Modelo : 245
serie : CND4516DRZ

FECHA : Huachipa, 19 de JULIO del 2017

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.
Ing. LUIS [illegible] PALACIOS
Jefe de Laboratorio
Mz. E Lt. 15 A.H. Pinos de Huachipa- Lurigancho
Fijo 371-0531 371-0475 - Email: ventas@orionrcp.com
www.orionrcp.com

Figura 128. Certificado de calibración de sistema digital de corte directo
Fuente: ABG Bulding S.R.L



ORION LABORATORIOS E.I.R.L
SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
RUC: 20493967089

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Nº 8336130806

OTORGADO A : ABG BUILDING SRL

CERTIFICA QUE : El instrumento de medición con el modelo y nro de serie indicados líneas abajo, ha sido calibrado, probado y verificado utilizando patrones certificados con trazabilidad al Servicio Nacional de Metrología del INDECOPI.

Instrumento de medición	:	Balanza Digital.
Capacidad	:	30 kg.
Marca	:	OHAUS
Modelo	:	R31P30
Nro de Serie	:	8336130806
Fecha de Calibración	:	19.07.2017
Próxima Calibración	:	19.01.2018

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.
ING. LUIS TABOADA PALACIOS
Jefe de Laboratorio
CIP 56551

MÉTODO DE CALIBRACIÓN
CALIBRACIÓN EFECTUADA SEGÚN NORMA METROLÓGICA NMP 003-1996 Y PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE BALANZAS DE FUNCIONAMIENTO NO AUTOMÁTICO PARA BALANZAS DE CLASE I Y CLASE II

INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN
U = 1 gr. + 0.00020

PATRONES
01 Pesa de 10 kg, 01 Pesa de 5 kg, 01 Pesa de 1 kgr, 01 Pesa 500 gr, 01 Jgo de Pesas de 2 mg a 200 gr, CERTIFICADOS LM 030-2014, LM 387-2014, LM 432-2014, LM 431-2014.

TRAZABILIDAD
Las pesas tienen trazabilidad a los Patrones Nacionales del Servicio Nacional de Metrología del INDECOPI,

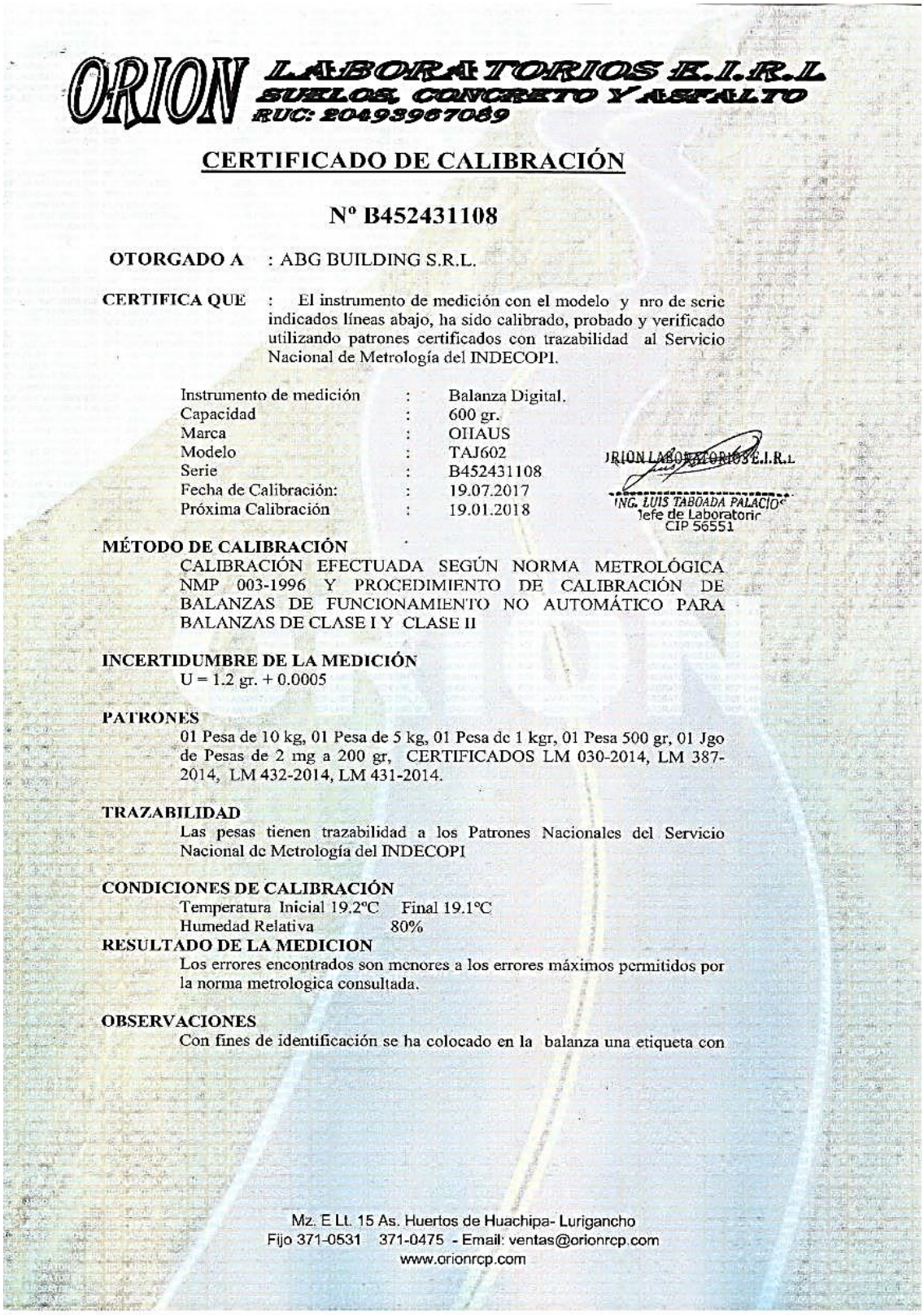
CONDICIONES DE CALIBRACIÓN
Temperatura Inicial 19.5ºC Final 19.3ºC
Humedad Relativa 80%

RESULTADO DE LA MEDICION
Los errores encontrados son menores a los errores máximos permitidos por la norma metrologica consultada.

OBSERVACIONES
Con fines de identificación se ha colocado en la balanza una etiqueta con el nro del certificado.

Mz. E Lt. 15 As. Huertos de Huachipa- Lurigancho
Fijo 371-0531 371-0475 - Email: ventas@orionrcp.com
www.orionrcp.com

Figura 129. Certificado de calibración Balanza digital 30gr
Fuente: ABG Bulding S.R.L



ORION LABORATORIOS E.I.R.L
SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
RUC: 20493967089

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Nº B452431108

OTORGADO A : ABG BUILDING S.R.L.

CERTIFICA QUE : El instrumento de medición con el modelo y nro de serie indicados líneas abajo, ha sido calibrado, probado y verificado utilizando patrones certificados con trazabilidad al Servicio Nacional de Metrología del INDECOPI.

Instrumento de medición	:	Balanza Digital.
Capacidad	:	600 gr.
Marca	:	OHAUS
Modelo	:	TAJ602
Serie	:	B452431108
Fecha de Calibración:	:	19.07.2017
Próxima Calibración	:	19.01.2018

ORION LABORATORIOS E.I.R.L
ING. LUIS TABOADA PALACIO
Jefe de Laboratorio
CIP 56551

MÉTODO DE CALIBRACIÓN
CALIBRACIÓN EFECTUADA SEGÚN NORMA METROLÓGICA NMP 003-1996 Y PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE BALANZAS DE FUNCIONAMIENTO NO AUTOMÁTICO PARA BALANZAS DE CLASE I Y CLASE II

INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN
U = 1.2 gr. + 0.0005

PATRONES
01 Pesa de 10 kg, 01 Pesa de 5 kg, 01 Pesa de 1 kgr, 01 Pesa 500 gr, 01 Jgo de Pesas de 2 mg a 200 gr, CERTIFICADOS LM 030-2014, LM 387-2014, LM 432-2014, LM 431-2014.

TRAZABILIDAD
Las pesas tienen trazabilidad a los Patrones Nacionales del Servicio Nacional de Metrología del INDECOPI

CONDICIONES DE CALIBRACIÓN
Temperatura Inicial 19.2°C Final 19.1°C
Humedad Relativa 80%

RESULTADO DE LA MEDICION
Los errores encontrados son menores a los errores máximos permitidos por la norma metrologica consultada.

OBSERVACIONES
Con fines de identificación se ha colocado en la balanza una etiqueta con

Mz. E Lt. 15 As. Huertos de Huachipa- Lurigancho
Fijo 371-0531 371-0475 - Email: ventas@orionrcp.com
www.orionrcp.com

Figura 130. Certificado de calibración Balanza digital 600gr
Fuente: ABG Bulding S.R.L



ORION LABORATORIOS E.I.R.L
SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
RUC: 20493967089

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Nº B403233747

OTORGADO A : ABG BUILDING S.R.L.

CERTIFICA QUE : El instrumento de medición con el modelo y número de serie indicado líneas abajo, ha sido calibrado, probado y verificado utilizando patrones certificados con trazabilidad al Servicio Nacional de Metrología del INDECOPI.

Instrumento de medición	:	Balanza Digital.
Capacidad	:	6000 gr.
Marca	:	OHAUS
Modelo	:	SPJ6001
Nro de Serie	:	B403233747
Fecha de Calibración	:	19.07.2017
Próxima Calibración	:	19.01.2018

ORION LABORATORIOS E.I.R.L
ING. LUIS TABOADA PALACIOS
Jefe de Laboratorio
CIP 56551

MÉTODO DE CALIBRACIÓN
CALIBRACIÓN EFECTUADA SEGÚN NORMA METROLÓGICA NMP 003-1996 Y PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE BALANZAS DE FUNCIONAMIENTO NO AUTOMÁTICO PARA BALANZAS DE CLASE I Y CLASE II

INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN
U = 0.1 gr. + 0.0007

PATRONES
01 Pesa de 10 kg, 01 Pesa de 5 kg, 01 Pesa de 1 kgr, 01 Pesa 500 gr, 01 Jgo de Pesas de 1 mg a 200 gr, gr CERTIFICADOS LM-C-247-2015, LM-C-253-2015, LM 254-2015, LM 252-2015, LM-C-248-2015

TRAZABILIDAD
Las pesas tienen trazabilidad a los Patrones Nacionales del Servicio Nacional de Metrología del INDECOPI,

CONDICIONES DE CALIBRACIÓN
Temperatura Inicial 19.1ºC Final 19.1ºC
Humedad Relativa 80%

RESULTADO DE LA MEDICION
Los errores encontrados son menores a los errores máximos permitidos por la norma metrológica consultada.

OBSERVACIONES
Con fines de identificación se ha colocado en la balanza una etiqueta con el número del certificado.

Mz. E Lt. 15 As. Huertos de Huachipa- Lurigancho
Fijo 371-0531 371-0475 - Email: ventas@orionrcp.com
www.orionrcp.com

Figura 131. Certificado de calibración Balanza digital 6000gr
Fuente: ABG Bulding S.R.L