

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL MÉTODO DE
ELEMENTOS FINITOS PARA DIMENSIONAMIENTO
ÓPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO,
ACOBAMBA, HUANCAVELICA – 2023”**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero civil

Autor:

Bach. PARCO ARROYO, Ana Lucia

Bach. VICENTE RAMOS, Jelsi Roddy

Asesor:

Mg. David, RAMOS PIÑAS

Línea de Investigación Institucional

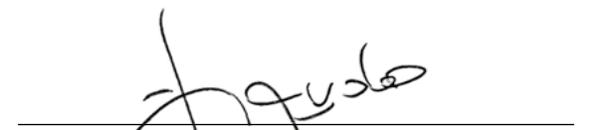
Transporte y urbanismo

Huancayo – Perú 2024

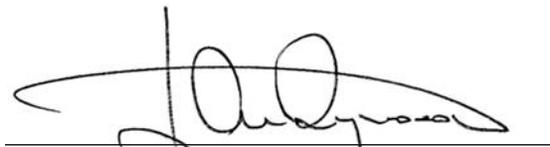
HOJA DE CONFORMIDAD DE MIEMBROS DEL JURADO



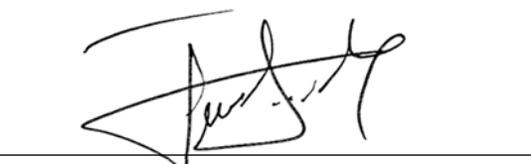
Dr. Rubén Darío, TAPIA SILGUERA
Presidente



PH.D. Hadi Mohamed, MOHAMED MEHDI
Jurado



Mtro. Javier, REYNOSO OSCANOA
Jurado



Mtro. Jefrin Marlon, SILVA MURILLO
Jurado



Mg. Leonel, UNTIVEROS PEÑALOZA
Secretario docente

DEDICATORIA

A nuestro forjador divino, soporte de nuestras vidas y a nuestros padres que nos proporcionaron soporte educacional en este proceso, siendo importante en los instantes dificultosos inversos durante esta investigación.

Bach. PARCO ARROYO, Ana Lucia

Bach. VICENTE RAMOS Jelsi Roddy

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestro asesor de la Universidad Peruana Los Andes por permitirnos adquirir ilustraciones necesarias para realizarnos como profesionales y lograr dar este paso tan grande como profesionales.

Bach. PARCO ARROYO, Ana Lucia

Bach. VICENTE RAMOS Jelsi Roddy

CONSTANCIA DE SIMILITUD

N ° 0344 - FI -2024

La Oficina de Propiedad Intelectual y Publicaciones, hace constar mediante la presente, que la Tesis; titulada:

ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO, ACOBAMBA, HUANCVELICA – 2023

Con la siguiente información:

Con Autor(es) : Bach. PARCO ARROYO ANA LUCIA
Bach. VICENTE RAMOS JELSI RODDY

Facultad : INGENIERÍA

Escuela Académica : INGENIERÍA CIVIL

Asesor(a) : Mg. DAVID RAMOS PIÑAS

Fue analizado con fecha **04/10/2024**; con **247 págs.**; con el software de prevención de plagio (Turnitin); y con la siguiente configuración:

Excluye Bibliografía.

X

Excluye citas.

X

Excluye Cadenas hasta 20 palabras.

X

Otro criterio (especificar)

El documento presenta un porcentaje de similitud de **20** %.

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentajes establecidos en el artículo N°15 del Reglamento de uso de Software de Prevención de Plagio Versión 2.0. Se declara, que el trabajo de investigación: **Si contiene un porcentaje aceptable de similitud.**

Observaciones:

En señal de conformidad y verificación se firma y sella la presente constancia.

Huancayo, 04 de octubre del 2024.



MTRA. LIZET DORIELA MANTARI MINCAMI
JEFA

Oficina de Propiedad Intelectual y Publicaciones

INDICE

DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO	V
INDICE DE TABLAS.....	XII
INDICE DE FIGURAS.....	XIV
RESUMEN.....	XVI
ABSTRACT.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XVIII
CAPÍTULO I.....	7
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
1.1. Descripción del problema	7
1.2. Delimitación Del Problema.....	10
1.2.1. Espacial	10
1.2.2. Temporal	11
1.2.3. Económico	11
1.3. Formulación del problema	12
1.3.1. Problema general	12
1.3.2. Problemas específicos.....	12
1.4. Justificación	12
1.4.1. Justificación social	12
1.4.2. Justificación teórica	13
1.4.3. Justificación metodológica.....	13
1.5. Limitaciones.....	14
1.6. Objetivos	14
1.6.1. Objetivo general.....	14
1.6.2. Objetivos específicos	15
CAPÍTULO II	16
MARCO TEÓRICO	16
2.1. Antecedentes	16
2.1.1. Antecedentes nacionales	16
2.1.2. Antecedentes internacionales.....	20
2.2. Bases teóricas.....	24
2.2.1. Análisis numérico por el método de elementos finitos.....	24
2.2.1.1. Elementos finitos	25

2.2.1.2.	Ecuaciones	26
2.2.1.3.	Plaxis 2D.....	31
2.2.2.	Dimensionamiento óptimo de muros de suelo reforzado	34
2.2.2.1.	Suelo reforzado con geomateriales	34
2.2.2.2.	Muro de suelo reforzado	37
2.2.2.3.	Tipos de refuerzos	40
2.2.3.	Características físicas y mecánicas del suelo.....	43
2.2.3.1.	Angulo de fricción interna	43
2.2.3.2.	Cohesión	43
2.2.3.3.	Peso volumétrico.....	43
2.2.3.4.	Plasticidad	43
2.2.3.5.	Permeabilidad hidráulica del suelo	44
2.2.3.6.	Resistencia al esfuerzo de corte	44
2.2.3.7.	Angulo de dilatación interna.....	44
2.2.3.8.	Módulo de Young.....	44
2.2.3.9.	Modelo del material – Mohr-Coulomb	44
2.2.4.	Tipos de fallas	45
2.2.4.1.	Estabilidad interna	45
2.2.4.2.	Estabilidad externa.....	47
2.2.5.	Estudios previos a diseño.....	52
2.2.6.	Efectos de colapso en las estructuras	54
2.2.6.1.	Análisis de deformaciones y situaciones críticas.....	55
2.2.6.2.	Identificación de situaciones críticas de colapso	57
2.3.	Marco Conceptual.....	58
CAPÍTULO III.....		61
HIPÓTESIS.....		61
3.1.	Formulación de la hipótesis	61
3.1.1.	Hipótesis general.....	61
3.1.2.	Hipótesis específicas.....	61
3.2.	Variables	61
3.2.1.	Definición conceptual de las variables	61
3.2.1.1.	Variable independiente (X).....	61
3.2.1.2.	Variable dependiente (Y)	62
3.2.2.	Definición operacional de variables.....	62

3.2.2.1.	Variable independiente (X)	62
3.2.2.2.	Variable dependiente (Y)	62
3.3.	Operacionalización de variables	63
CAPÍTULO IV	65	
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	65	
4.1.	Método de investigación	65
4.2.	Tipo de investigación	65
4.3.	Nivel de investigación.....	66
4.4.	Diseño de investigación	66
4.5.	Población y muestra de investigación.....	66
4.5.1.	Población.....	66
4.5.2.	Muestra	67
4.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	68
4.6.1.	Técnicas	68
4.6.2.	Instrumentos.....	69
4.7.	Técnicas y análisis de datos	69
4.7.1.	Laboratorio.....	69
4.7.1.1.	Ensayo de consistencia	69
4.7.1.2.	Ensayo de densidad (Densidad natural seca)	70
4.7.1.3.	Peso volumétrico.....	71
4.7.2.	Gabinete	72
4.7.2.1.	Parámetros y características de la geomalla.....	72
4.7.2.2.	Idealización de la estabilidad interna del MSR estático	74
4.7.2.3.	Determinación de cargas sísmicas-diseño pseudoestático	76
4.7.2.4.	Control de la estabilidad externa del MSR	78
4.7.2.5.	Análisis tensión - deformación (ATD).....	80
4.7.3.	Elaboración de informe	81
4.8.	Validez y confiabilidad del instrumento de investigación	81
4.8.1.	Validez mediante tres ingenieros expertos	81
4.8.2.	Confiabilidad.....	82
4.9.	Métodos de análisis de datos.....	82
4.10.	Aspectos éticos.....	83
CAPÍTULO V.....	84	
RESULTADOS	84	

5.1.	Descripción del diseño tecnológico	84
5.2.	Descripción de la zona de estudio.....	85
5.2.1.	Descripción del estudio.....	85
5.2.2.	Accesibilidad a la zona de estudio	86
5.2.3.	Ubicación de calicatas.....	86
5.2.4.	Parámetros geotécnicos de diseño	88
5.2.5.	Propiedades de geomalla de diseño	90
5.2.6.	Geometría del muro	91
5.2.7.	Sobrecarga.....	92
5.3.	Dimensionamiento óptimo de muros de suelo reforzado	93
5.3.1.	Factor de reducción total (FRT) y resistencia permisible de la geomalla (T_{adm})	93
5.3.2.	Esfuerzos en el muro de suelo reforzado	94
5.3.2.1.	Coefficiente activa (K_a) y coeficiente lateral (K_r) – Rankine	94
5.3.2.2.	Presiones verticales (σ_v) y presiones laterales (σ_H).....	94
5.3.3.	Evaluación de la estabilidad interna del MSR	95
5.3.3.1.	Espaciamiento entre capas (S_v)	95
5.3.3.2.	Fuerzas de tracción máxima ($T_{m\acute{a}x}$).....	95
5.3.3.3.	Falla por poullout o separación de la geomalla	96
5.3.3.4.	Falla por elongación o rompimiento de la geomalla.....	99
5.3.4.	Determinación de cargas sísmicas-diseño pseudoestatico.....	100
5.3.4.1.	Aceleración máxima (A_m) y peso activo (W_a).....	100
5.3.4.2.	Fuerza inercial (P_I) e incremento dinámico (T_{md}).....	100
5.3.4.3.	Longitud del refuerzo poullout (L_e)	101
5.3.4.4.	Ruptura en la geomalla por cargas de sismo estático y dinámico.....	103
5.4.	Resultados de control de la estabilidad externa del MSR.....	105
5.4.1.	Factor de seguridad al deslizamiento (FSD).....	105
5.4.2.	Factor de seguridad a la capacidad de carga (FSCC)	106
5.5.	Resultados de análisis numérico y por el método de elementos finitos.....	107
5.5.1.	Análisis tensión - deformación (ATD)	107
5.5.1.1.	Desplazamientos generados por tensión – deformación Plaxis 2D	107
5.5.1.2.	Restricciones de desplazamientos provocados por la tensión-deformación	111
5.6.	Contratación de hipótesis	113
5.6.1.	Hipótesis específicas 1	113
5.6.1.1.	Formulación de H_0 y H_1	113

5.6.2. Hipótesis específicas 2.....	115
5.6.2.1. Formulación de H0 y H1.....	115
CAPÍTULO VI.....	117
ANÁLISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS.....	117
6.1. Discusión de resultados con antecedentes	117
CONCLUSIONES.....	123
RECOMENDACIONES	125
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	127
ANEXOS.....	135
Anexo N°01: Matriz de consistencia	136
Anexo N°02: Matriz de operacionalización de variables	138
Anexo N°03: Confiabilidad y validez.....	140
Anexo N°04: Panel fotográfico de la aplicación del instrumento	144
Anexo N°05: Instrumento de investigación y constancia de su aplicación	148
Anexo N°06: Certificados de calibración	172
Anexo N°07: Especificación técnica de geomalla	201
Anexo N°08: Modelado de MSR en el software Plaxis 2D.....	204
Anexo N°09: Análisis del dimensionamiento optimo de MSR	220
Anexo N°10: Planos.....	230

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Los 3 puntos de composición para elementos de 6 nodos.	30
Tabla 2. Los 12 puntos de composición para elementos de 15 nodos.	31
Tabla 3. Factores de seguridad para análisis estático.....	52
Tabla 4. Factores de seguridad para análisis sísmico.....	52
Tabla 5. Matriz de operacionalización de variables.....	64
Tabla 6. Ubicación del estudio, coordenadas UTM.....	68
Tabla 7. Tipo y especificaciones de la geomalla.	72
Tabla 8. Valores de seguridad por la estabilidad interna.	74
Tabla 9. Rangos y Magnitudes de validez.	81
Tabla 10. Validación de esfuerzos.	82
Tabla 11. Rangos y Magnitudes de Confiabilidad.	82
Tabla 12. Accesibilidad al área de estudio.....	86
Tabla 13. Ubicación de calicatas, coordenadas UTM.....	86
Tabla 14. Datos de las calicatas.	87
Tabla 15. Parámetros geotécnicos del terreno natural y del refuerzo.	87
Tabla 16. Parámetros usados para el modelamiento en Plaxis 2D.....	88
Tabla 17. Parámetros usados para el dimensionamiento óptimo de MSR.....	89
Tabla 18. Parámetros de geomaterial utilizado en el modelamiento en Plaxis 2D.....	90
Tabla 19. Factores de reducción para FORTEX.....	91
Tabla 20. Carga mínima debido estudios no profundos.....	92
Tabla 21. Parámetros de diseño para la geomalla uniaxial y factor de reducción.	93
Tabla 22. Evaluación de coeficientes según Rankine.....	94
Tabla 23. Espaciamiento vertical entre capas de geomalla.....	95
Tabla 24. Tracción máxima.	96
Tabla 25. Evaluación de la longitud de refuerzo.	97
Tabla 26. Determinación de la longitud de refuerzo.....	97
Tabla 27. Longitud total de las geomallas.	98
Tabla 28. Diagnóstico de la ruptura.	99
Tabla 29. Idealización de la tracción total - condición sísmica.	101
Tabla 30. Determinación de la longitud de refuerzo - condición sísmica.....	102

Tabla 31. Longitud de la capa de geomalla total.	102
Tabla 32. Primera verificación a la ruptura condición estática y segunda verificación condición dinámica.	104
Tabla 33. Verificación de la tracción última-condición sísmica.	104
Tabla 34. Verificación del factor de seguridad al deslizamiento.	106
Tabla 35. Verificación del factor a la capacidad de carga.	106
Tabla 36. Desplazamiento Horizontal.	112
Tabla 37. Asentamiento máximo.	113

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama esquemático típico de muro de contención reforzado.	8
Figura 2. Método del modelamiento representativo de elementos finitos.	9
Figura 3. Comunidad de Mayhuaccacca, distritos de Andabamba y Mayunmarca, Acobamba, Huancavelica.	10
Figura 4. Localización geográfica zonal de Mayhuaccacca.	11
Figura 5. Funciones que conforman para 3 nodos lineales.	29
Figura 6. Posición y componentes de las mallas de elementos finitos empleados en softwares tecnológicos.	30
Figura 7. Mallado del modelo numérico en Plaxis 2d.	31
Figura 8. Proceso de disgregado de un todo en partículas.	32
Figura 9. Representación gráfica deformación de un suelo sin y con refuerzo.	35
Figura 10. Tipologías estructurales de muros de protección estructural.	36
Figura 11. Tipos de refuerzo para muros MSE.	37
Figura 12. Esquema estructural de un MSR con aplicación de geomallas.	38
Figura 13. Incremento de resistencia al corte por confinamiento debido al refuerzo del geomaterial.	39
Figura 14. Incremento de resistencia al corte por la cohesión aparente del geomaterial.	40
Figura 15. Geomalla uniaxial.	41
Figura 16. Geomalla biaxial.	41
Figura 17. Geomalla triaxial, con aperturas triangulares.	42
Figura 18. Falla por extensión de refuerzo.	46
Figura 19. Falla por extracción de refuerzo.	47
Figura 20. Falla por volteo.	48
Figura 21. Falla por deslizamiento.	49
Figura 22. Falla por capacidad de carga.	50
Figura 23. Falla general o profunda rotacional-traslacional.	51
Figura 24. Límites de Atterberg.	54
Figura 25. Colapso del terreno y hundimiento de la estructura.	55
Figura 26. Falla de un muro MSE por exceso de deformación en los refuerzos.	56
Figura 27. Equipamiento del ensayo de consistencia.	70

Figura 28. Aparato de densidad - cono de arena.....	71
Figura 29. Experimento de suelo cohesivos.	72
Figura 30. Plano de ubicación de calicatas, escala grafica 1/1000.	85
Figura 31. Parámetros usados de materiales tomados y aplicados en Plaxis 2D.	89
Figura 32. Parámetros de geomallas aplicados en Plaxis 2D.	90
Figura 33. Transferencia de esfuerzos por resistencia UX-100 y UX-135.....	91
Figura 34. Geometría del muro de suelo reforzado en AutoCAD 2D.	91
Figura 35. Geometría del muro de suelo reforzado en Plaxis 2D.....	93
Figura 36. Relación de tracción máxima de refuerzo respecto resistencia permisible de geomallas.	99
Figura 37. Longitud de la capa de geomalla (UX - 100 y UX - 135) - Plaxis 2d.....	103
Figura 38. Verificación de la Tracción Ultima - Condición Sísmica.	105
Figura 39. Representación de la deformación en Praxis 2d.....	107
Figura 40. Tensiones efectivas y tensiones medias efectivas.	108
Figura 41. Observación de deformaciones parciales o concertaciones de mayores asentamientos.	109
Figura 42. Desplazamientos horizontales (laterales) y verticales (Asentamientos).	110
Figura 43. Curva empírica para evaluar el desplazamiento horizontal para MSR.	111
Figura 44. Identificación del desplazamiento relativo δR	112

RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo general: “Determinar el dimensionamiento óptimo de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos en Acobamba, Huancavelica - 2023”. Y como hipótesis general: El dimensionamiento óptimo de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos es confiable en Acobamba, Huancavelica - 2023.

El método investigativo es científico, tipo aplicada, nivel explicativo, diseño cuasi experimental, población y muestra conformados en el sector Mayhuaccacca, Acobamba – Huancavelica, para los resultados se consideró un muro suelo reforzado de $H=10\text{m}$, $A=9.50\text{m}$, $L=45\text{m}$, sobrecarga 12.40 KN/m^2 , geomallas uniaxiales tipo UX-100 y UX-135, aplicados mediante el dimensionamiento óptimo concedieron un FS al deslizamiento de 1.15, FS a la capacidad de carga de 3.84, evaluados por el método de elementos finitos (programa de computador Plaxis 2D), FS de análisis tensión – deformación presentaron desplazamientos horizontales de 0.20cm y verticales de 0.17cm, desplazamiento máximo horizontal según FHWA de 9.31 cm, asentamiento vertical máximo según la norma AASHTO de 22.50 cm, por lo tanto se finaliza que los valores obtenidos por elementos finitos (Plaxis 2D) son inferiores a los valores permitidos por FHWA y AASHTO, corroborados por especialistas geotécnicos no representan daño estructural, todos desempeñan con los esquemas de seguridad global.

Finalmente, se concluye que el dimensionamiento óptimo de MSR mediante el análisis numérico (método de elementos finitos) es aplicable en sector Mayhuaccacca, Acobamba, Huancavelica – 2023.

PALABRAS CLAVE: Análisis numérico, dimensionamiento óptimo, factor de capacidad de carga y deslizamiento, suelo reforzado.

ABSTRACT

The general objective of this thesis is: “Determine the optimal sizing of reinforced soil walls through numerical analysis by the finite element method in Acobamba, Huancavelica - 2023”. And as a general hypothesis: The optimal sizing of reinforced soil walls through numerical analysis by the finite element method is reliable in Acobamba, Huancavelica - 2023.

The scientific investigative method, applied type, explanatory level, cuasi experimental design, population and samples formed in the Mayhuaccacca sector, Acobamba – Huancavelica, for the results, a reinforced soil wall of H=10m, W=9.50m, L=45ml, was demonstrated. overload 12.40 KN/m², uniaxial geogrids type UX-100 and UX-135, applied through optimal dimensioning granted a FS to the gradual of 1.15, FS to the load capacity of 3.84, evaluated by the finite element method (computer program Plaxis 2D), FS of stress-strain analysis presented horizontal displacements of 0.20cm and vertical displacements of 0.17cm, maximum horizontal displacement according to FHWA of 9.31 cm, maximum vertical settlement according to the AASHTO standard of 22.50 cm, therefore it is concluded that the Values obtained by finite elements (Plaxis 2D) are lower than the values allowed by FHWA and AASHTO, corroborated by geotechnical specialists, they do not represent structural damage, they all comply with global safety schemes.

Finally, it is concluded that the optimal sizing of MSR through numerical analysis (finite element method) is applicable in the Mayhuaccacca sector, Acobamba, Huancavelica – 2023.

KEYWORDS: Numerical analysis, optimal sizing, load capacity and gradual factor, reinforced soil.

INTRODUCCIÓN

La presente tesis titulada: **“ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO, ACOBAMBA, HUANCVELICA - 2023”**, se origina a partir de la real problemática existente hoy en día en nuestro país (Perú) como también internacionalmente, por el cual se observa escenarios de fallas en el suelo, inmutables permutaciones debido a componentes geológicos, sísmicos, climáticos y fenómenos naturales induciendo desprendimientos de fallas en taludes, entonces se presenta como objetivo principal: Determinar el dimensionamiento óptimo de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos en Acobamba, Huancavelica - 2023,

Aplicado por el método investigativo científico, tipo aplicada, nivel explicativo, diseño cuasi experimental. Considerando como problema general; ¿Cuál es el dimensionamiento óptimo de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos en Acobamba, Huancavelica - 2023

El método de análisis numérico en estructuras de tierra estabilizada con refuerzo es cada vez más frecuente ya que permite analizar mediante varios métodos, conformando como uno de ellos el de elementos finitos que consiente modelar situaciones de gran complejidad discretizando el todo en elementos, por lo cual en el actual compromiso de investigación se pretende determinar el dimensionamiento óptimo del muro de suelo reforzado con geomallas en el sector Mayhuaccacca, Acobamba, Huancavelica. El método de elementos finitos ofrece una solución prometedora para abordar estos problemas. Al permitir la subdivisión del muro en elementos discretos y modelar el comportamiento del suelo y los refuerzos con precisión, este enfoque proporciona una plataforma para el análisis detallado de las tensiones, deformaciones y factores de seguridad. Además, permite

la exploración de múltiples escenarios de diseño para alcanzar soluciones óptimas que maximicen la eficiencia estructural y minimicen los costos asociados.

Se idealiza en aplicar el análisis numérico por el método de elementos finitos para el dimensionamiento óptimo de muros de suelo reforzado en Acobamba, Huancavelica. A través de este enfoque, se busca no solo optimizar la seguridad y la estabilidad estructural de los componentes del muro reforzado, sino también promover prácticas de diseño sostenible que se alineen con las necesidades y recursos locales.

EL CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el capítulo inicial del proyecto de investigación, idealiza principalmente en el problema de investigación que guía este estudio, brindando una sólida justificación que respalda su relevancia y pertinencia. Además, se identifican y analizan las limitaciones inherentes a la investigación, al tiempo que se delinear claramente los objetivos que se persiguen.

EL CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En el segundo capítulo en mención se representan antecedentes tanto a nivel nacional e internacional relacionados entre el dimensionamiento y el análisis numérico, ofreciendo una revisión absoluta de las normas relevantes. Además, se proporciona un marco conceptual detallado que establece la base teórica necesaria para alcanzar el espacio en el que se desarrolla el estudio.

EL CAPÍTULO III: HIPÓTESIS

En el tercer capítulo, aborda la formulación de la hipótesis, un proceso crucial que establece las bases investigativas. Además, se lleva a cabo la caracterización y conceptualización de variables clave, lo que proporciona un marco claro y coherente para el análisis subsiguiente.

EL CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

En el cuarto capítulo delinea meticulosamente el método investigativo, circunscribiendo el tipo, nivel y diseño. Se determina con precisión muestral a estudiar, así como también técnicas e instrumentos empleados para el procesamiento de valores representativos correspondientes a los antecedentes.

EL CAPÍTULO V: RESULTADOS

En el quinto capítulo, idealizan los resultados alcanzados mediante tablas, gráficos representativamente visuales, proponiendo brindar una comprensión clara y efectiva de los hallazgos investigativas.

EL CAPÍTULO VI: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Finalmente, en el capítulo VI las discusiones de los resultados objetivamente, que consta a partir de las investigaciones de los antecedentes utilizados, asumiendo el objetivo general y específicos.

Así mismo, se representan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

Bach. Parco Arroyo, Ana Lucia

Bach. Vicente Ramos Jelsi Roddy

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

Muchos deslizamientos de suelo han alcanzado a convertirse en una dificultad habitual a nivel mundial, debido a la urbanización que se da en zonas con pendiente accidentada en diferentes partes del mundo.

Los deslizamientos o avalanchas de tierra en las carreteras del mundo principalmente se dan por factores que intervienen en la pendiente del talud, uno de los factores más comunes son las lluvias torrenciales que satura el suelo causando el desprendimiento de este, de la misma manera interviene las diferentes actividades humanas como es la destrucción de vegetación que desestabiliza el terreno. La ingeniosidad de estos argumentos se torna más grave cuando sucede en áreas geotécnicamente susceptibles y con un asunto de urbanización vertiginoso y desordenado. Para Koukis y otros, (1996 págs. 1935-1940), el informe afirma que un 35% de deslizamientos de terrenos en Grecia están directamente concernientes con la actividad humana, sólo superados por las fuertes lluvias y la erosión.

A nivel nacional es muy frecuente los deslizamientos de talud presentes en la sierra y en la selva de montaña por los contextos geológicos-clima, aluviones de penetración y de conexión comúnmente a causa de las lluvias generando así un acceso restringido a los diversos lugares que conectan entre las vías de acceso. Chang y otros, (1991 pág. 10). La falta de accesibilidad de vías en el Perú es una dificultad que tiene gran repercusión en el progreso del país ya que el inquebrantable desarrollo poblacional y económico ha forjado la necesidad por mejorar y construir múltiples vías de comunicación.

Chang y otros (1991) hacen referencia un acontecimiento regional importante de deslizamiento sucedió el 25 de abril del año 1974 en Mayunmarca, Huancavelica, presentando desastres de cultivo, desprendimientos de vías y puentes de acceso aproximado de 30km en diques y 76km en la misma carretera hacia la hacienda Perseverancia, los componentes que favorecieron a este anómalo fueron las mismas circunstancias geológicas, especialmente las fallas de talud (pág. 10).

La carretera Acobamba – Mayunmarca cuenta con varios tramos en un estado deplorable siendo uno de ellos la zona Mayhuaccacca que tiene una longitud de 320 m donde se observa que el talud es inestable por la topografía del terreno, originando permanentes deslizamientos de material granular y derrumbes en el talud lo cual altera el tránsito de la carretera como también genera pérdidas económicas y humanas, por ello se expone desarrollar y dimensionar muro de suelo reforzado aplicados a estabilizar taludes.



Figura 1. Diagrama esquemático típico de muro de contención reforzado.

Fuente: Tomada de (Fuentes Andrade, y otros, 2014)

El problema planteado se centra en el análisis numérico para muros de suelo reforzado y estabilizado aplicados por el método de elementos finitos, objetivamente lograr

un dimensionamiento óptimo estructural. Específicamente, el estudio se enfoca zonalmente en Mayhuaccacca, Acobamba, ubicada en la región de Huancavelica - 2023. Los muros de suelo reforzado son proyectos estructurales críticos para la estabilidad de taludes y terraplenes en terrenos con pendientes pronunciadas o con condiciones de suelo poco estables. El análisis numérico por el método de elementos finitos genera aproximación computacional de ecuaciones diferenciales modeladas por el comportamiento reforzado del suelo.

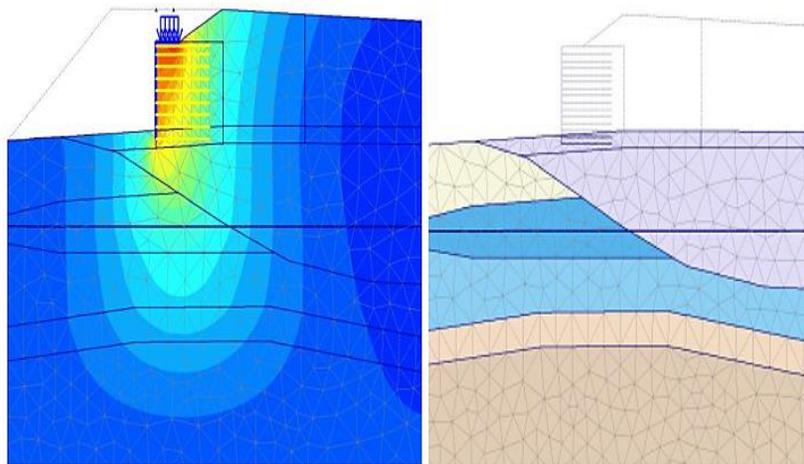


Figura 2. Método del modelamiento representativo de elementos finitos.

Fuente: Tomada de (Llatas Cancino, y otros, 2019 pág. 21)

Este enfoque permite considerar aspectos complejos como la interacción suelo-estructura y la distribución de esfuerzos, proporcionando resultados más precisos en comparación con métodos analíticos tradicionales. El objetivo final es determinar las dimensiones óptimas de muros de suelo reforzado en Mayhuaccacca, Acobamba, considerando los factores de estabilidad segura, de resistencia estructural. Este tipo de análisis es decisivo en el dimensionamiento por las construcciones de infraestructuras estables y eficientes en regiones con contextos geotécnicos particulares, como las presentes en Huancavelica. Actualmente existen variables metodologías de estabilización de suelos

de talud siendo unos más efectivos que otros con respecto al incremento del factor de seguridad. En este sentido se propuso ejecutar el modelamiento continuo de muro de suelo reforzado aplicado por el método de elementos finitos con el programa computacional Plaxis 2D, enfatizando alternativas de solución para comunicación vial de los pueblos de Andabamba - Mayunmarca.

1.2. Delimitación Del Problema

1.2.1. Espacial

Abarca en la superficie local zonal de Mayhuaccacca, una comunidad estratégicamente ubicada a lo largo de la carretera que enlaza distritos de Andabamba y Mayunmarca, provincia de Acobamba, Huancavelica.

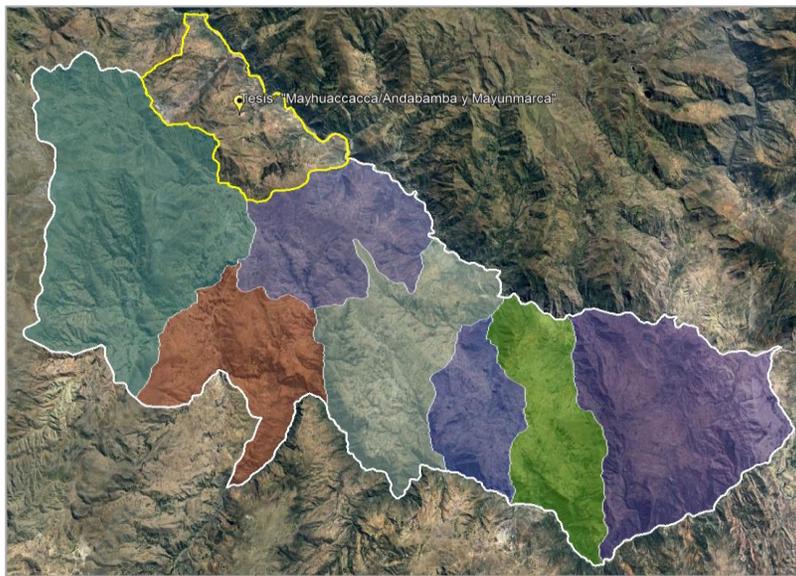


Figura 3. Comunidad de Mayhuaccacca, distritos de Andabamba y Mayunmarca, Acobamba, Huancavelica.

Fuente: Elaboración propia "EARTH," por Google, 2023.

Mayhuaccacca se encuentra en una región montañosa del departamento de Huancavelica, Perú. Localizado en la intersección distrital de Andabamba y Mayunmarca, provincia de Acobamba. Esta zona se identifica por la belleza natural y su entorno montañoso que prevalece, con paisajes impresionantes y una

vegetación exuberante. Además, su ubicación a lo largo de una importante carretera que conecta varios distritos resalta su importancia como punto de acceso y conexión entre comunidades locales.



Figura 4. Localización geográfica zonal de Mayhuaccacca.

Fuente: Elaboración propia "EARTH," por Google, 2024.

1.2.2. Temporal

La investigación representada abarca una etapa crucial comprendido desde los meses de septiembre del año 2023 hasta febrero del año 2024. Este extenso lapso permitió llevar a cabo un análisis exhaustivo y detallado, así como la recopilación de datos relevantes y la ejecución de procedimientos experimentales con rigurosidad y meticulosidad.

1.2.3. Económico

El presupuesto asignado para esta investigación fue destinado para cubrir una variedad de gastos, incluyendo los costos asociados con ensayos, materiales y algunos recursos ineludibles llevando a cabo el estudio de manera efectiva. Es

significativo enfatizar que el total de los fondos utilizados proviene de los propios recursos de los autores en mención, sin ningún tipo de financiamiento externo.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál es el dimensionamiento óptimo de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos en Acobamba, Huancavelica - 2023?

1.3.2. Problemas específicos

- a) ¿Cuál es el factor de seguridad óptimo al deslizamiento de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos en Acobamba, Huancavelica - 2023?
- b) ¿Cuál es el factor de seguridad óptima a la capacidad de carga de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos en Acobamba, Huancavelica - 2023?
- c) ¿Cuál es la incidencia óptima del Análisis tensión – deformación de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos en Acobamba, Huancavelica - 2023?

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación social

Álvarez (2020), menciona que la forma de hallazgos que cambian el contexto del alcance se llama investigación.

La correlación del estudio investigativo es la vía terrestre de comunicación que une los pueblos de Andabamba – Mayunmarca (Acobamba), es una vía que

favorece el tránsito, al comercio, turismo y actividades que realizan los pobladores locales, por tal moción la investigación favorece directamente a la sociedad haciendo posible la transitabilidad permanente de la carretera, con ello se genera un aporte de estudio a causa de los deslizamientos (Mayhuaccacca) con la mejora de no percibirlos mediante un correcto dimensionamiento muro de suelo reforzado.

1.4.2. Justificación teórica

Álvarez (2020), señala las referencias al razonamiento teórico significan que el objetivo de la investigación es reflejar y discutir académicamente el conocimiento existente, comparar definiciones, comparar resultados o explorar el conocimiento existente.

El análisis numérico por el método elementos finitos aprueba lograr un recurso numérico aproximado en el dimensionamiento óptimo de muros de suelo reforzado, obteniendo parámetros válidos para el típico suelo de Mayhuaccacca y determinando el comportamiento presentado, lo cual este estudio accedió a realizar investigaciones en taludes con pendiente accidentada.

1.4.3. Justificación metodológica

Según Fernández (2020):

Afirma que realizar una investigación origina una nueva herramienta para la recopilación u observación de variables, se expone a un mejor método que incluye otras convenciones de estudiar una o varias variables o se realiza una investigación de una manera más adecuada para determinar la salud de una población (pág. 71).

Para alcanzar al objetivo investigativo, se utilizó técnicas de investigación interviniendo por parte de los ensayos de mecánica de suelos y procesamiento de

resultados con un propósito por establecer el dimensionamiento óptimo del muro de suelo reforzado aplicado por el método de elementos finitos.

A través de este estudio se desarrollaron y validaron variables de recolección de datos proponiendo métodos de elementos finitos, para determinar estados límite de desplazamiento, falla estructural o servicio, de modo que este estudio pueda servir como base o soporte para futuros estudios.

1.5. Limitaciones

Las restricciones de investigación incluyo la disponibilidad limitada de datos geotécnicos precisos, afectando precisiones de resultados. Además, las variaciones en las condiciones del material del terreno y geología particular podrían influir en la eficacia de los modelos utilizados, mientras que la falta de validación específica de los modelos podría limitar su confiabilidad. La selección de parámetros de diseño y la falta de consideración completa de los efectos climáticos también pueden ser limitantes, al igual que el alcance geográfico restringido del estudio, que puede afectar la generalización de los hallazgos a otras regiones.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Determinar el dimensionamiento óptimo de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos en Acobamba, Huancavelica - 2023.

1.6.2. Objetivos específicos

- a) Determinar el factor de seguridad óptima al deslizamiento de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos en Acobamba, Huancavelica - 2023.
- b) Definir el factor de seguridad óptima a la capacidad de carga de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos en Acobamba, Huancavelica – 2023.
- c) Determinar la incidencia óptima del análisis tensión – deformación de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos en Acobamba, Huancavelica – 2023.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes nacionales

Retamozo (2023), describe la tesis de pregrado Titulado: “Muro de suelo reforzado aplicado a la vía de acceso al puente El Toro de la carretera vecinal al C.P. El Toro - Arequipa”, precisa como **objetivo general:** Aplicar el muro de suelo reforzado a la vía de acceso al puente el toro de la carretera vecinal al C.P. El Toro – Arequipa, aplicando la **metodología** científica, tipo aplicativo, nivel descriptivo y diseño experimental por corte colateral, logrando como **resultado:** que para el material afirmado y el material subrasante, el método de Bishop que utiliza para el análisis estático y pseudo estático influyendo factores seguros superiores que 1, lo que satisface la estabilidad en pendientes de cruce de la carretera ancha izquierda y la sección de análisis de transición del vecindario. Presento la siguiente **conclusión:** la agraciada opción funcional y técnica adaptable en la sección KM-0+349.00 y KM-0+444.00 de la vía vecinal al Centro Poblado “El Toro – Arequipa”, un proyecto de dimensionamiento y posconstrucción de muro de tierra armada diseñado para minimizar el impacto en terrenos y obras existentes.

Cipriano y Ponce (2022), describe la tesis de pregrado Titulado: “Estabilización de taludes con muros de suelos reforzados con geomallas biaxial aplicada al proyecto mejoramiento de la carretera Ninacaca - Huachon - Pasco - 2021”, precisa como **objetivo general:** Evaluar cómo la aplicación de geomallas biaxiales influye en la estabilización mecánica de suelos reforzados en los muros

de sostenimiento del proyecto Mejoramiento de la carretera Ninacaca - Huachon - Pasco -2021, definiendo como **metodología** de tipo descriptivo - explicativo, tipo de indagación cuasi experimental, alcanzando como **resultado:** la verificación externa de muros de suelos reforzados consiguen el factor de seguridad contra volteo de 2.21, análisis por excentricidad de 1.40 m y contra deslizamiento de 1.21, también por capacidad de carga de 2.00, y por ultimo **concluyó:** que la aplicación del uso de geomallas biaxiales afecta la rigidez de la capa granular mecánicamente estabilizada del suelo reforzado en los muros de carga, seguridad de verificación, estabilidad externa y refuerzo en las capas granulares logrando estabilizaciones de talud estudiados en el proyecto “Mejoramiento de la carretera Ninacaca -Huachon – Pasco – 2021”; así como se ha verificado en la prueba de la hipótesis.

Coria y Herquinio (2021), describe la tesis de pregrado Titulado: “Propuesta de diseño de muro de suelo reforzado como soporte de vías ferroviarias mediante técnicas numéricas en el tramo Mariscal Cáceres – Acoria del ferrocarril Huancayo - Huancavelica”, precisa como **objetivo general:** Proponer el diseño del muro de suelo reforzado como soporte de vías ferroviarias considerando la teoría de equilibrio límite y elementos finitos, aplicando como **metodología** Aplicada y explicativa que demostrando diseños experimentales, nivel cuasi - experimental, adquiriendo como **resultados:** que en el trabajo generado por el software Plaxis 2D logro en desplazamientos horizontales valores de 0.00687 m, en desplazamientos máximos horizontales de 5.33 cm, cumpliendo el diseño condicionado. También se logró apreciar la apariencia de máximos esfuerzos que se localizaron en la parte inferior del elemento estructural del MSR, considerando a mayor calado de

excavación el esfuerzo toma importancia. Se idealizo esfuerzos mayores promedios fraccionalmente inferior al muro de valor 661 KN/m². Llegando a la **conclusión:** que favorece el dimensionamiento del muro de tierra armada geotécnicamente estructural ferroviaria en el tramo estudiado se considera estable porque el factor de seguridad excede el valor mínimo recomendado para carreteras federales con desplazamiento horizontal que no excede el valor condicionado permisible privilegiado para carreteras federales publicación importante de FHWA-NHI-00-043.

Mejia (2021), describe la tesis de pregrado Titulado: “Modelamiento numérico y calibración de muro de suelo reforzado”, precisa como **objetivo general:** Evaluar el comportamiento de un muro de suelo reforzado con geosintéticos mediante el modelamiento numérico de diversos modelos constitutivos y llevar a cabo la calibración del modelo matemático de este tipo de estructuras mediante mediciones de asentamientos durante el proceso constructivo, aplicando como **metodología** descriptiva, explicativa y comparativo, obteniendo **resultados:** que el esfuerzo – deformación calculados mediante el programa Plaxis 2D y la industria de elementos finitos, muestran valores por la base del muro se desarrolla un esfuerzo vertical de 700 kPa, muy similar al que se calcularía asumiendo una superficie semi infinita. Un máximo esfuerzo vertical del orden de 1700 – 2200 kPa se encuentra en el pie del muro, por lo cual se debe tener mayor cuidado en la compactación de esta zona, mientras que en el estudio de estabilidad física por parte de la metodología de reducción paramétrica - equilibrio límite difieren en lo que concierne las superficies potenciales por falla y factor de seguridad. Los valores del

FS de ambas metodologías no difieren en más de 10% pero sus superficies de falla son muy diferentes y finalmente en la calibración del modelo se ha realizado variando los parámetros que más influyen en los resultados de asentamiento con el fin de contrastarlo con los asentamientos reales medidos y finalmente **concluyó:** Que el análisis de esfuerzo – deformación aplicado por el lineamiento computacional Plaxis 2D, los asentamientos son similares modelando el muro mediante MC y HS, en el orden de 18 – 22 cm; el subsuelo fue modelado con MC. Las presiones en el pie del muro presentan valores de orden de 750 kPa, pero en la punta se presentó una presión de 1700 – 2300 kPa, 2.2 – 3.0 veces la presión en la base, por análisis de estabilidad física y por la aplicación de la metodología de reducción paramétrica obteniendo factor de seguridad por condiciones estáticas a un 1.47 y finalmente en la calibración del modelo se obtuvieron deformaciones de corte del orden del 0.1% - 0.03% en la roca fracturada, en tanto para el suelo el modelo que mejor resulta en la calibración utilizando módulos de Young del orden de 10 – 20% del E max.

Lara y Rivas (2021), describe la tesis de grado Titulado: “Análisis de la influencia de la redistribución de esfuerzos en la transmisión de presiones al suelo de fundación en Muros de Suelo Reforzado sometidos a altas cargas, empleando análisis No Lineal por el Método de los Elementos Finitos”, precisa como **objetivo general:** Comparar las cargas transferidas al suelo de fundación de un muro TEM de gran altura mediante el método analítico propuesto por la norma AASHTO contra las obtenidas a través de un análisis por elementos finitos, aplicando la **metodología** tipo descriptivo y comparativo, adquiriendo como **resultado:** la

evaluación por elementos finitos logro esfuerzos cuantiosamente altos inminentemente debajo de la parte inferior del muro, que parecían ser causadas por punzonado en la cara. Sin embargo, en la totalidad de los casos estos esfuerzos no se desarrollan a mayor escala, por lo tanto, no se consideran indicadores. Por otro lado, pensaron que el esfuerzo podría comprimirse significativamente al incluir las propiedades elásticas de la capa superficial, pero debido a limitaciones del modelo esto no fue posible y por último **concluyó:** Que la transmisión de la sobrecarga al suelo del existente muro TEM, analizado por el método de los elementos finitos, es en promedio 34% inferior a la obtenida en el Análisis Estático y 36% inferior a la obtenida en el Análisis pseudo - estático; calculados por los métodos propuestos por la norma AASHTO LRFD. Ambas idealizaciones tienden a superarse digno a la disconformidad en las pendientes.

2.1.2. Antecedentes internacionales

Briceño y otros (2022), describe el artículo científico titulado: “Evaluación de la estabilidad en muros utilizando modelos numéricos”, precisa como **objetivo general:** Evaluar la estabilidad externa de un muro de contención simulado, a través de métodos numéricos basados en el análisis de elementos finitos, utilizando el software Plaxis V8.2, estableciendo la **metodología:** numérica planteando situaciones rigurosas geométricamente en los muros modelados, participaciones elástico mecánico del suelo y contextos al margen del material usado. Aplicaron MA para decretar un factor de seguridad asociado mediante estabilidad externa, por otra parte aplicaron MN, geotécnicamente por el Plaxis para simular las propias situaciones, estudios del suelo y condiciones de contorno tomadas de la biblioteca

del programa computacional, logrando como **resultado:** la comparación de factores de seguridad en todos los muros y revestimientos ensayados son mínimos utilizados en el diseño ($FS_{min} = 1,50$), vale la pena señalar que estos factores son mucho más altos que los valores mínimos de cualquier método de análisis, incluido el análisis sísmico, el cual **concluyó:** que factores de seguridad definidos para deslizamientos, vuelcos y desplazamientos totales de paredes proporcionaron algunas sugerencias para el modelo de muro propuesto mediante el análisis de la estabilidad externa.

Chambers (2022), presentó la tesis de posgrado titulada: “Comparación de los parámetros de diseño de un muro de contención mediante método convencional y método de elementos finitos”, fija como **objetivo general:** Comparar dos métodos de cálculo para el dimensionamiento de los elementos que conforman la estructura resistente de un muro de contención en voladizo de hormigón armado, bajo la acción sísmica, empleando una **metodología** practica-numérica, logrando **resultados:** que muestran debido al efecto de fuerza de empuje activa y al desarrollo de una fuerza de empuje estática, cuyo factor de seguridad de vuelco estático del modelado de cómputo es menor al del modelo analítico, lo que da como consecuencias de vuelco debido al efecto de una gran fuerza de empuje activa, fuerza de empuje, desarrollo una fuerza de tracción estática, FS de vuelco estático del modelado calculado es el FS en las circunstancias es menor que el factor de seguridad determinado por el modelo analítico, y finalmente **concluyó:** la presencia de un asunto de análisis de muros de contención edificados según los lineamiento constructivos dimensionado de un proyecto real, teniendo en cuenta el suelo con su comportamiento no lineal excluyendo su reforzamiento, ante la excitación sísmica

pseudoestática y excitación dinámica de ejemplo tiempo-historia. Con los medios por método de elementos finitos y métodos convencionales, de acuerdo con los datos obtenidos, la fuerza motriz estática en diferentes partes del terreno bajo investigación aumenta con la profundidad en el suelo contenido, su fuerza motriz se desarrolla al estado estático.

Kosalim y Gunawan (2023), describe el artículo científico Titulado: “Efectos de las esquinas del muro de contención sobre la tensión lateral distribución y deformación”, precisa como **objetivo general**: Estudiar los efectos de esquina de muro de contención modelándolo en el software tridimensional de elementos finitos, PLAXIS 2D, aplica la **metodología** como referencia al analizar estos **resultados**: los laterales, la presión del suelo y el desplazamiento de la pared a lo largo de este eje se resuelven en la dirección biseccional de las esquinas del muro de contención. Por ejemplo, para una esquina de muro de 90° por causa de presión horizontal del suelo y el desplazamiento se resolvió en dirección de 45° , mientras que la presión lateral debajo de la superficie del material del suelo continua con la misma tendencia, es decir, cuanto mayor es el ángulo de la pared, mayor será la presión lateral del suelo, y finalmente **concluyó**: que para muros convexos ($<180^\circ$), los ángulos de muro de 45° y 90° tienen un efecto de arco que se muestra en el movimiento del suelo, las paredes cóncavas muestran un desplazamiento menor que las paredes convexas y finalmente el ángulo de pared de 180° tiene el mayor movimiento que por afuera con condiciones de contorno no contribuyentes a las restricciones del mismo en mención, a diferencia de otros ángulos de pared. Esto

conduce a una baja presión lateral del suelo, pero a un gran desplazamiento en la pared.

Cañas (2021), describe la tesis de posgrado titulado: “Análisis de la estabilidad global en muros de suelo reforzado”, precisa como **objetivo general:** Realizar el análisis de estabilidad global de un muro de suelo reforzado (caso particular) empleando métodos de equilibrio límite y métodos numéricos, empleando la **metodología** tipo aplicativo, alcanzando **resultados:** claramente, el factor de seguridad más conservador es PLAXIS, por otra parte el método de equilibrio límite (Fellenius) proporciona el factores de seguridad superiores. Los valores conseguidos mediante procedimiento simplificado se acercan simultáneamente a valores derivados del PLAXIS y también son inferiores a los obtenidos por Fellenius, y por último **concluyó:** que los estudios de sensibilidad muestran valores próximos conseguidos por el metodología simplificada arrojando valores muy cercanos a diferencia de obtenerlos por PLAXIS, según el método de Fellenius considera arrojar valores máximos en todas las diferenciaciones consideradas por análisis de sensibilidad, sistemas informáticos tradicionales. En general, este método proporciona una buena aproximación del FS de estabilidad global simplemente cambiando el centro rotacional y la longitud paramétrica de la cuña en la parte inferior del base. Considerando un centro de rotación propuesto para el estudio de caso específico, se espera que los resultados sean bastante cercanos a los logrados por PLAXIS. Cuyos valores pueden obtenerlos aproximadamente y directamente utilizando las herramientas analíticas, obviando los procesos de simulación de muros reforzados en PLAXIS u otro programa.

Shree (2020), describe la tesis de posgrado Titulado: “Análisis numérico y modelado de muros de contención de tierra reforzados mediante geo células”, el cual precisa como **objetivo general:** Disminuir el uso de paneles de hormigón en muros de contención de tierra reemplazándolos con geo células rellenas de arena” y “Para encontrar un ángulo de orientación del muro de contención con respecto a la horizontal que dé mejores resultados y un mayor factor de seguridad, definiendo la **metodología:** De ejemplo experimental, obteniendo **resultados:** De varias pruebas de muros de contención inclinados en un ángulo de 70°, 80° y 90° con respecto a la horizontal sin refuerzo de Geocell fallaron ya que no son estables sin ningún soporte de elementos estructurales por lo que no se logran desplazamientos totales y factor de seguridad para estos 3 muros de contención, de una carga superficial de 150 kN/m², se determina que el modelo de muro de contención con un ángulo de revestimiento de 80° con respecto a la horizontal posee más estabilidad que otros modelos de contención, y por ultimo **concluyó:** Que cuando se construye un muro de contención utilizando refuerzo de geo celdas y no actúa ninguna carga superficial externa sobre él, los muros de contención con un ángulo de revestimiento de 60° con respecto a la horizontal dan mejores resultados que otros modelos de contención.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Análisis numérico por el método de elementos finitos

Las limitaciones de esta investigación pueden surgir de la disponibilidad limitada de datos geotécnicos precisos, lo que podría impactar la exactitud de los resultados obtenidos. Además, las variaciones en las condiciones del suelo local

podrían introducir incertidumbre en los modelos utilizados, afectando la generalización de los hallazgos. La falta de validación específica de los modelos y la selección de parámetros de diseño también podrían cuestionar la confiabilidad de los resultados. Adicionalmente, la omisión de consideraciones sobre los efectos climáticos podría limitar la aplicabilidad de los hallazgos en condiciones climáticas cambiantes. Por último, el alcance geográfico restringido de este estudio podría dificultar la extrapolación de los resultados a otras regiones con condiciones geotécnicas diferentes. Es fundamental reconocer estas limitaciones al interpretar los resultados y considerarlas como áreas potenciales para investigaciones futuras que aborden estas brechas de conocimiento. Una mayor atención a la confirmación de presentadores y a la recopilación de antecedentes más exhaustiva podría mejorar la robustez y la aplicabilidad de los hallazgos en estudios posteriores.

2.2.1.1. Elementos finitos

Vázquez y López (1971) hacen referencia que el método de elementos finitos es una habilidad el cual accede modelar situaciones elevadas de complejidad:

...Trabaja con aproximaciones de elementos continuos, por la forma discretiza el todo en elementos los cuales están definidos por cuantificaciones agrupados a múltiples puntos conocidos como nodales los cuales interconectan con bordes predefinidos (pág. 31).

Un método comúnmente utilizado es la fórmula de desplazamiento, que proporciona los resultados en términos de tensiones nodales y desplazamientos. Los modos de falla resultantes son modos de un fenómeno continuo en el que no todos los componentes fallan paralelamente. Aunque es una herramienta muy poderosa,

es muy difícil de aplicar y su utilidad para resolver problemas del mundo real es muy limitada (Suarez, 1998).

2.2.1.2. Ecuaciones

Acerca de este entorno, Vázquez y López (1971) la ecuación básica está intrínsecamente concerniente con la interpolación de esfuerzo deformación interpretada con el inicio del trabajo virtual. Esta se fundamenta en considerar la variación del esfuerzo a lo largo de la deformación, tomando en cuenta situaciones de margen para un inconveniente de medio cerrado (pág. 7).

Estas aproximaciones integradas no solo responden a la validez del análisis, como también proporciona una base robusta para la resolución efectiva de problemas de ingeniería, permitiendo la predicción confiable de la actuación estructural ante múltiples factores de carga y geometrías específicas, la ecuación en su representación más ordinario satisface a las ecuaciones por equilibrio, evaluadas y de relación a las deformaciones. (Hu, 1954 pág. 15)

$$\delta G_{ext} = \int_{\Omega} (\nabla \delta)^T \sigma + \delta \varepsilon^T (\sigma(\varepsilon) - \sigma) + \delta \sigma^T (\nabla u - \varepsilon) d\Omega$$

Donde:

δG_{ext} : Trabajo virtual debido a fuerza externa.

u : Desplazamientos

σ : Esfuerzos

ε : Deformaciones

$\sigma(\varepsilon)$: Esfuerzo delimitado a partir de la deformación.

∇ : Operador de relación tensión-esfuerzos.

La ecuación siguiente se da en la representación más global y corresponde a la ecuación de equilibrio, constitutiva y de compatibilidad de deformaciones. Considerando que las tensiones y deformaciones se rigen por leyes constitutivas, determinando el principio de (Hu, 1954 pág. 16).

$$\delta G_{ext} = \int_V (\nabla \delta)^T \sigma + \delta \sigma^T (\nabla u - \varepsilon) d\Omega$$

Donde:

$\varepsilon(\sigma)$: Deformación evaluada a partir de los esfuerzos.

Si agregamos términos adicionales que coincidan con las relaciones en esta ecuación del principio de trabajo externo existente entre ε y ∇u queda como:

$$\delta G_{ext} = \int_V (\nabla \delta)^T \sigma(u) d\Omega$$

Limitemos a la zona de composición a un solo componente aplicando los siguientes principios: Trabajo virtual por el método de los elementos finitos e interpolación de compensación u o en función de la formación de un solo valor, obteniendo la siguiente representación formulada:

$$u^h = N * d^e$$

Donde:

N : función de forma.

d^e : grados de libertad en base a nodales de cada elemento.

Usando el principio de la relación deformación-desplazamiento el trabajo virtual se puede expresar como:

$$\delta G_{ext} = \delta \sigma^T F = \delta \sigma^T [\Sigma \int_V B^T D B d\Omega] d = \delta \sigma^T K d$$

Donde:

D: Matriz de relación esfuerzo-deformación.

2.2.1.2.1. Discretización de elementos finitos

Elementos finitos, es mencionar que se distribuye a fragmentos continuos, o unidades por volúmenes. Cada elemento consta de muchos nodos e igual a varios grados de libertad correspondientes a resultados discretos en un área problemático de valores sobre la frontera a solucionar. Los grados de libertad pertenecen a los mecanismos sobre desplazamientos. Internamente de una componente, los desplazamientos se consiguen a partir de valores o nodos discretizados en el vector v empleando la función de superposición recogida en la matriz N (Plaxis 2D, 2012 pág. 11).

$$u = N * v$$

Donde:

N : función de forma.

v : vector

2.2.1.2.2. Formulación de elementos finitos triangulares (mallas)

La continuidad de un material se fragmenta en una serie de elementos triangulares, cada uno compuesto por nodos generados al crear la malla.

También podemos considerar que los elementos lineales son básicos para modelar elementos de geotextiles, placas y fuerzas distribuidas. La representación de posición particular de un punto, ξ (usualmente de un esfuerzo de elementos de integración) es conocida como integración de nodos, uno consigue trazar las componentes de desplazamientos.

$$u(\xi) = \sum_{i=1}^n N_i(\xi)v_i$$

Donde:

v_i : Dato nodal.

$N_i(\xi)$: Valor funcional o forma nodal i , posición ξ .

$u(\xi)$: Resultado en la posición ξ .

n : numero de nodos por unidad.

Para los elementos triangulares hay dos coordenadas locales (ξ y η). Se considera la utilización de coordenadas auxiliares como $\zeta = 1 - \xi - \eta$.

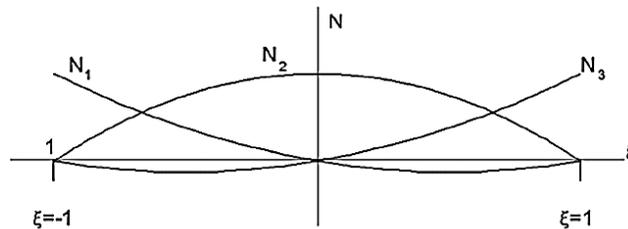


Figura 5. Funciones que conforman para 3 nodos lineales.

Fuente: Tomado de (Scientific Manual, 2002)

La Figura 5 ejemplifica elementos lineales de tres (3) nodales que están relacionado con elementos de Seis (6) nodos en PLAXIS 2D, porque cada elemento de 6 nodos tiene 3 nodos por lado. El valor específico función forma (N) posee la propiedad de igualdad al valor 1, en el nodo i e igual a 0. Para una componente lineal con los nodos 1, 2 y 3 representan la ubicados específicamente como $\xi = -1$, 0 y 1, equitativamente.

Los nodos poseen un conjunto de grados de libertad representando valores discretos de las incógnitas en el valor de contorno a resolver. Durante los

procesamientos de datos, los desplazamientos con dirección X e Y son calculados nodalmente. La importancia de destacar por parte del software Plaxis 2D es visualizar el enmallado de esfuerzos y desplazamientos considerando elementos compuestos por 15 y 6 nodos, lo que garantiza una representación detallada y precisa del comportamiento del material bajo estudio (Plaxis 2D, 2012).

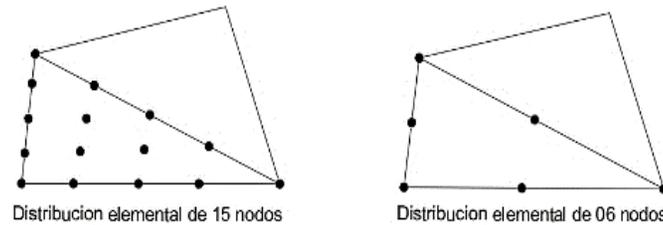


Figura 6. Posición y componentes de las mallas de elementos finitos empleados en softwares tecnológicos.

Fuente: Tomado de (Camargo García, y otros, 2011 pág. 26)

En el análisis por elementos finitos, cada elemento constituyente se compone de una serie de nodos, los cuales, a su vez, tienen asignados un conjunto de grados de libertad cruciales para la discretización y resolución de los valores en las fronteras del problema. Una vez que se ha definido la geometría estructural y se han recolectado los datos pertinentes, procedemos a crear los elementos finitos. Estos elementos se vinculan entre sí a través de los nodos y se emplean para realizar los cálculos necesarios. (Plaxis 2D, 2012)

Tabla 1. Los 3 puntos de composición para elementos de 6 nodos.

3 puntos integrados en elementos de 6 nodos.				
Puntos	ξ_i	η_i	ζ_i	w_i
1, 2 y 3	1/6	1/6	2/3	1/3

Nota: Tomado de Broere, W., 2018, pág. 65.

El software PLAXIS 2D utiliza integración gaussiana en elementos triangulares. Para un elemento de seis (6) nodos, se utilizan tres (3) puntos en el proceso de integración, para un elemento de quince (15) nodos, se utilizan doce (12)

puntos para la integración. Las posiciones de los puntos de integración y los factores de ponderación se representan en las Tablas 1 y 2. De la tabla se puede ver que la suma de los factores de ponderación es uno (1).

Tabla 2. Los 12 puntos de composición para elementos de 15 nodos.

12 puntos integrados en elementos de 15 nodos.				
Puntos	ξ_i	η_i	ζ_i	w_i
1, 2 y 3	0.063089...	0.063089...	0.873821...	0.050845...
4...6	0.249286...	0.249286...	0.501426...	0.116786...
7...12	0.310352...	0.053145...	0.636502...	0.082851...

Nota: Tomado de Broere, W., 2018, pág. 65.

La forma elemental predominante en la malla es la triangular, la cual exhibe una adaptabilidad excepcional a una amplia variedad de situaciones y geometrías estructurales. Este atributo asegura la efectividad y la aplicabilidad del método en diversos contextos de ingeniería, subrayando su relevancia en la resolución de problemas complejos en este campo.

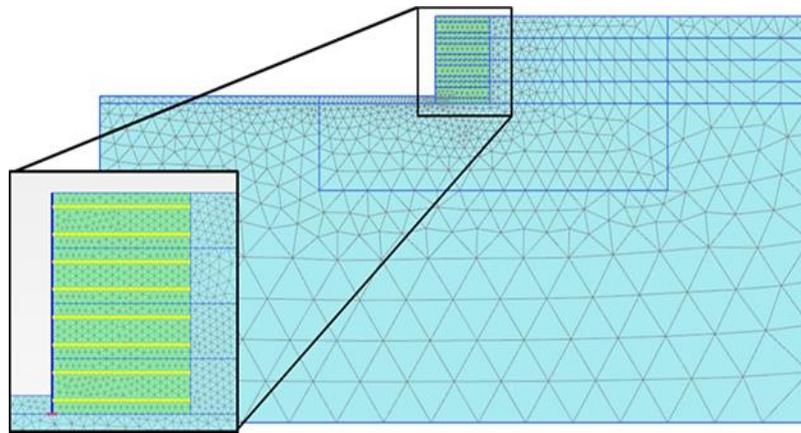


Figura 7. Mallado del modelo numérico en Plaxis 2d.

Fuente: Tomado de (Cañas Pineda, 2021 pág. 40)

2.2.1.3. Plaxis 2D

El software PLAXIS 2D se erige como una herramienta computacional de vanguardia en el medio ingenieril geotécnico estructural. Su motor se fundamenta en el modelo constitutivo Hardening Soil, diseñado para abordar una amplia gama

de problemas geotécnicos con precisión y fiabilidad. Al emplear este método de elementos finitos es considerar las medidas físicas específicas de los suelos, PLAXIS 2D ofrece una solución integral para analizar y resolver desafíos de ingeniería civil y geotécnica de manera eficiente. (Broere, 2018 pág. 12)

Una de las características destacadas de PLAXIS 2D es su sistema CAD integrado, que facilita la creación y visualización de modelos geométricos complejos. La interacción entre estos elementos permite capturar con claridad los comportamientos complejos del suelo sobre las estructuras por circunstancias de carga o geometrías. (Broere, 2018 pág. 14)

En resumen, PLAXIS 2D ofrece una plataforma integral para el análisis geotécnico, desde la representación inicial del problema hasta la obtención de resultados detallados. Desde su combinación como modelo constitutivo robusto, forma a un sistema CAD intuitivo y el análisis por elementos finitos lo convierten en un instrumento invaluable para ingeniería estructural geotécnica que buscan comprender y resolver desafíos complejos en el espacio constitutivo del suelo.

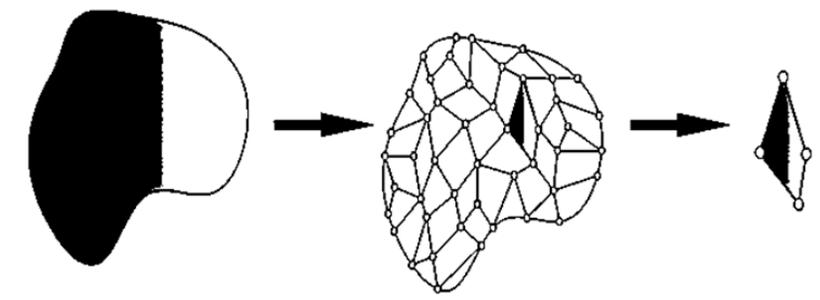


Figura 8. Proceso de disgregado de un todo en partículas.

Fuente: Tomada de (Díaz Díaz, y otros, 2008 pág. 13)

Plaxis 2D tiene tal propósito ofrecer análisis numérico de las ocurrentes fallas que puede suscitar en proyectos como muros de suelo reforzado, formadas en su gran totalidad por componentes externos.

2.2.1.3.1. Criterios de modelación en Plaxis 2D

Al emprender el modelado de una estructura de suelo reforzado, es imprescindible considerar detenidamente las dimensiones del área a analizar, tanto en su extensión horizontal como en su altura. Esta precaución resulta crítica, pues proporciona información geométrica vital sobre los diversos niveles del terreno de fundación, los cuales son absolutamente esenciales para garantizar un soporte adecuado y seguro de la estructura en cuestión. (Broere, 2018 pág. 19)

Además de esta consideración, otro aspecto de suma importancia en el proceso de modelación es la exhaustiva evaluación de distintas características que poseen los suelos presentes zonales investigados, como de sus propiedades físico químicas. Este análisis minucioso y detallado no solo permite comprender la réplica del suelo por las sobrecargas super aplicadas, sino que también proporciona bases sólidas y precisas para el dimensionamiento y construcción estructural.

De esta forma, el software Plaxis 2D procesa la información y la transforma para obtener todos los datos importantes, este proceso constituye 4 etapas primordiales o subprogramas como:

- a) Entradas o Inputs, donde se realiza el modelo geotécnico, luego se indica las circunstancias de medio y cargas, propiedades del suelo. Posteriormente se discretiza la geometría de los elementos finitos para llevar a cabo los cálculos correspondientes.
- b) Cálculos o Calculations, realiza el cálculo tipo plástico, de consolidación, $\phi - c$, reducción y dinámico.

- c) Salidas (resultados) u Outputs, este subprograma muestra la geometría discretizada.
- d) Curvas o Curve, en este proceso se genera la curva carga desplazamiento, curva tiempo desplazamiento, curva tensión deformación. (Broere, 2018 pág. 12)

2.2.2. Dimensionamiento óptimo de muros de suelo reforzado

El dimensionamiento adecuado y la proporción óptima de MSR son aspectos críticos en ingeniería geotécnica, pues aseguran la integridad funcional y estabilidad estructural anverso a una variedad de fuerzas, tanto naturales como artificiales. Este proceso garantiza la seguridad de la superficie del muro, mitigando los riesgos asociados con su exposición a cargas y tensiones. Un diseño cuidadoso y bien ejecutado no solo promueve la resistencia ante factores como la gravedad, la presión del suelo y la erosión, sino que también optimiza el uso de materiales y recursos, resultando en estructuras más eficientes y sostenibles a largo plazo.

2.2.2.1. Suelo reforzado con geomateriales

Egoavil Perea (2011) menciona que los muros compuestos por geosintéticos son resistentes a las tracciones causadas por la presión del suelo, se pueden construir. Hay varios tipos de geosintéticos, como los geotextiles, las geomallas y los geocompuestos de refuerzo, se pueden aplicar en los muros. (pág. 1)

El geotextil es un material textil hecho de fibras poliméricas que es plano, permeable y deformable. Además de evacuar el agua, su función es reforzar, trabajando a tracción. Para evitar desplazamiento, se introduce una longitud mínima de anclaje. El refuerzo y el relleno se colocan en capas de alrededor de 50 cm cada

una, según el espesor del terraplenado. Son muros baratos y se construyen fácilmente. Hay una gran flexibilidad y deformación en ellos. Además, la capa de geotextil puede volverse una superficie frágil, lo que favorece los desplazamientos.

La tendencia del geotextil a romperse bajo la luz solar es otro inconveniente. El paramento visto se hidrosiembra con frecuencia para formar un muro reforzado con geomateriales.

Además de las geomallas, se puede agregar rigidez al terraplén con una malla metálica. Su función es similar a la del geotextil y se utiliza cuando se requiere una tracción mayor que la del geotextil. En consecuencia, las capas no son superficies de debilidad, a pesar de que su efecto de anclaje es menor que el de los geotextiles. El inconveniente es que es necesario prever la corrosión del material que forma la malla y evitar que el agua fluya por capilaridad, lo que puede llegar al cimiento.

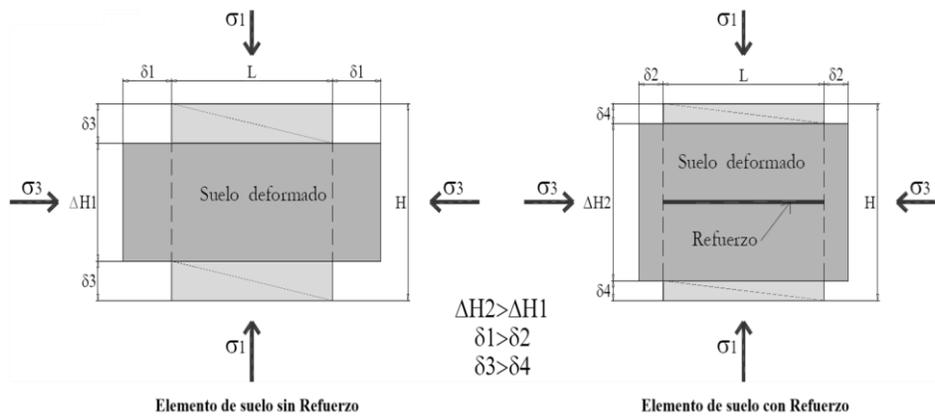


Figura 9. Representación gráfica deformación de un suelo sin y con refuerzo.

Fuente: Tomada de (Egoavil Perea, 2011)

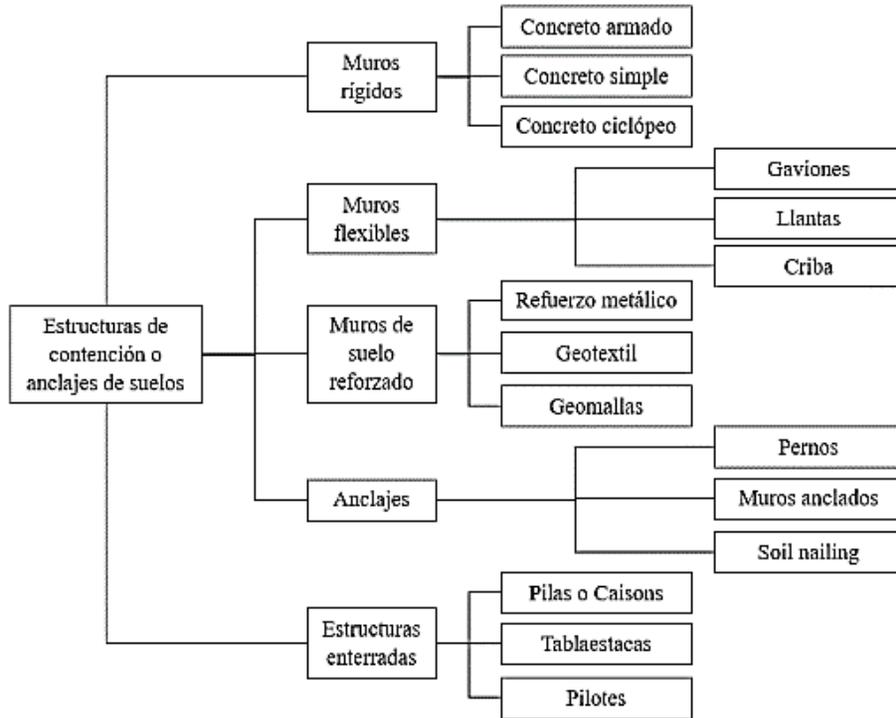


Figura 10. Tipologías estructurales de muros de protección estructural.

Fuente: Tomada de (Suarez Díaz, 1998)

Es fundamental familiarizarse con los diversos tipos de muros de contención por varias razones clave. En primer lugar, esta comprensión permite a los ingenieros y diseñadores seleccionar el tipo más adecuado para las condiciones específicas del sitio, teniendo en cuenta las características tipológicas del suelo, sobrecargas esperadas o entornos circundantes. Esto conduce a un diseño optimizado que maximiza la eficiencia y el rendimiento, considerando aspectos como el costo, la durabilidad y el impacto ambiental. Además, la elección adecuada del tipo de muro estructural es fundamental para responder la seguridad estabilizadora, evitando fallas catastróficas que podrían poner en riesgo vidas y propiedades.

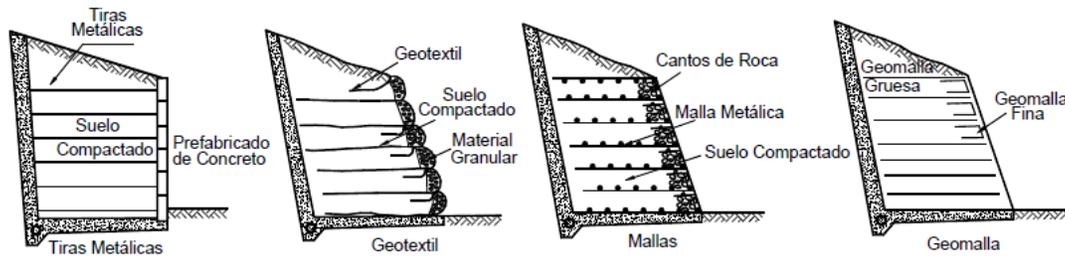


Figura 11. Tipos de refuerzo para muros MSE.

Fuente: (Suárez Diaz, 2012 pág. 214)

Los deslizamientos ocurientes por falta de estabildades de taludes en franjas tropicales representan fenómenos geotécnicos de alta relevancia, caracterizados por movimientos en masa de suelos y rocas inducidos por factores como la saturación del suelo por lluvias intensas y la topografía empinada. La evaluación de la estabilidad de pendientes naturales o artificiales en estas regiones implica considerar semblantes como la geo mecanización del talud, las características del suelo vegetativo, así como los patrones de drenaje y las condiciones climáticas. Dada la abundancia y el ímpetu de las precipitaciones zonales tropicales, comprender estos fenómenos y aplicar medidas de mitigación adecuadas son fundamentales para minimizar los riesgos asociados y responder la seguridad de los individuos existentes en estas áreas.

2.2.2.2. Muro de suelo reforzado

Las estructuras reforzadas son técnicas compuestas por material compactado (suelo) y elementos consolidados de refuerzo. Los refuerzos limitantes son de listones de metal o geo compuestos (Das, 2013 pág. 436).

Son estructuras más fáciles de construir y pueden acomodarse expeditamente al ámbito topográfico del suelo. Su aplicación se atribuye a espacios débiles, se permite en asentamientos diferenciales demoliéndose o reparándose

fácilmente. A medida que la tensión de tracción se transfiere al propio elemento resistivo (es decir, al refuerzo), mejora el rendimiento general de la masa. Por tanto, si el suelo está reforzado, el movimiento lateral estará limitado por la rigidez del refuerzo.

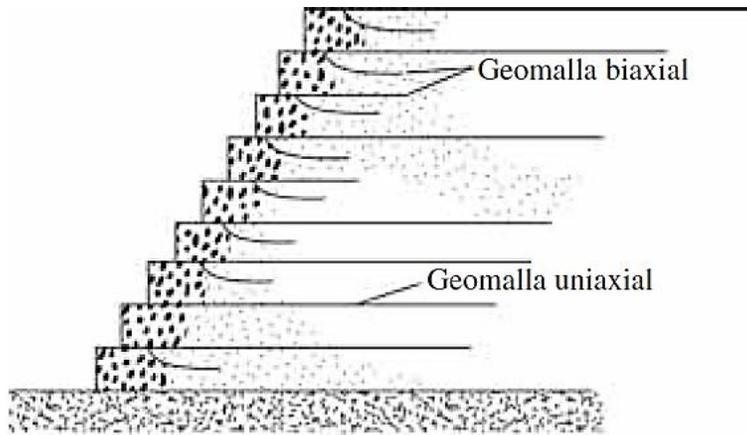


Figura 12. Esquema estructural de un MSR con aplicación de geomallas.

Fuente: Tomada de (Suárez Díaz, 2012 pág. 216)

Al agregar refuerzos paralelos a las principales direcciones de deformación, se pueden mejorar las características mecánicas del suelo para compensar la resistencia traccional del suelo (Garnica, y otros, 2013 pág. 19).

Una opción para reforzar el suelo es los geomateriales, se desempeñan como una alternativa de obra constructiva en todo el mundo, principalmente en situaciones donde la capacidad esfuerzo portante del suelo es insuficiente, ofreciendo mejores ventajas de muros de contención habituales. El uso de geomateriales se puede explicar de la siguiente manera.

En la figura 13 se demuestra como aumenta la presión de confinamiento provocado por la tensión del geomaterial.

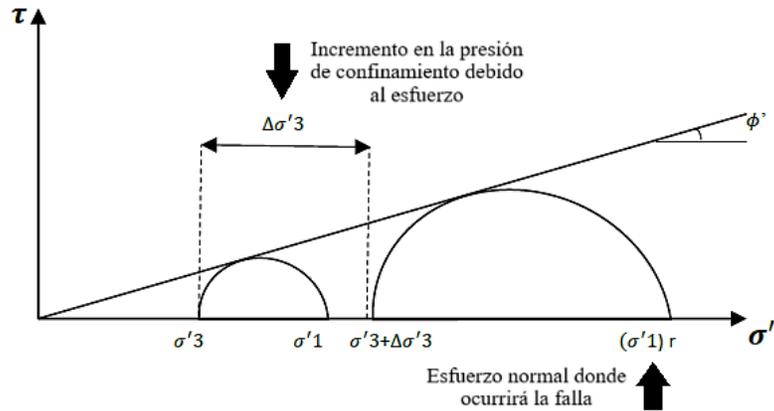


Figura 13. Incremento de resistencia al corte por confinamiento debido al refuerzo del geomaterial.

Fuente: Tomada de (Geomatrix, 2021)

En el segundo escenario, se aprecia un fenómeno que implica la generación de una cohesión anisotrópica, que brota como consecuencia de la composición de fuerzas de cortante, figuradas por la fricción entre las áreas de contacto, y de adhesión, manifestada en la resistencia pasiva entre el geosintético y el material circundante. Este efecto conjunto con el geosintético provoca una modificación en el comportamiento por la envolvente de falla, induciendo su desplazamiento de incremento. En ambas situaciones analizadas, se constata un acrecentamiento notable en la resistencia al corte, lo que subraya de manera significativa la influencia positiva y la eficacia de la intervención con geosintéticos en la mejora de la estabilidad y el rendimiento mecánico de las estructuras geotécnicas involucradas. Este hallazgo no solo destaca la jerarquía de percibir los mecanismos por interacción entre el geosintético y el suelo, sino que también resalta su utilidad práctica del diseño y la realización de proyectos geotécnicos y de ingeniería civil.

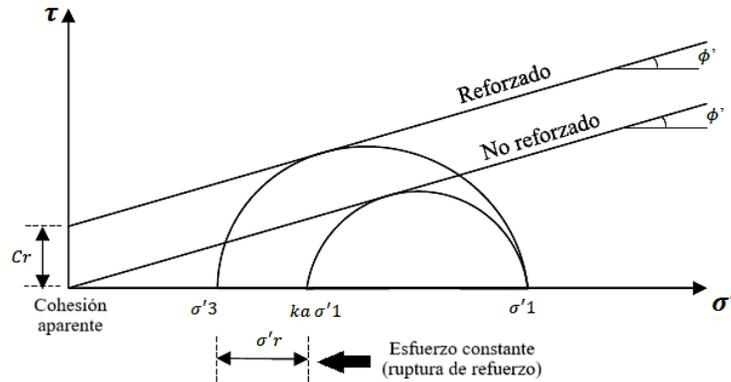


Figura 14. Incremento de resistencia al corte por la cohesión aparente del geomaterial.

Fuente: (Geomatrix, 2021)

2.2.2.3. Tipos de refuerzos

El suelo puede soportar la presión, pero no la tensión. Por ello, se buscan soluciones alternativas, una de las cuales son los geosintéticos, para mejorar sus propiedades.

Kumar e Yin (2006) hacen referencia que los geosintéticos están hechos de pequeños canales revestidos con polietileno, que consiste en fibras de poliéster de alta resistencia. Sus propiedades mejoran la construcción geotécnica y cumplen funciones de resistencia, drenaje, infiltración, protección, aislamiento, impermeabilidad y desgaste superficial. Entre estos refuerzos de geomateriales hallamos las geomallas y los geotextiles (pág. 17).

2.2.2.3.1. Geomallas o geogrillas

Son redes que soportan altos esfuerzos de tracción, fabricadas principalmente de polipropileno, polietileno y/o poliéster, con características de tiras y conectadas en puntos llamados nudos. Para Alvarado (2012 pág. 10), son usados especialmente como refuerzos en el relleno del muro resistiendo la presión lateral e incrementando resistencias a la tensión. De acuerdo a lo mencionado tenemos 3 tipos de geomallas:

La geomalla uniaxial está fabricada de polietileno y/o poliéster, tiene una estructura organizada de orientación simple y con resistencia a la tensión. Se utiliza con mayor frecuencia en muros de tierra armada, ya que la carga en estas estructuras es paralela a la geomalla.



Figura 15. Geomalla uniaxial.

Fuente: Tomada de (Das, 2013 pág. 622)

La geomalla biaxial es fabricado de poliéster de alta tenacidad (PET) dispone de estructuras reforzadas tanto longitudinal como transversalmente, lo que hace más eficiente la distribución de fuerza. Se utiliza para requisitos de carga elevada como en pavimentos. No concierne su orientación de montaje, ya que trabaja por ambas orientaciones.

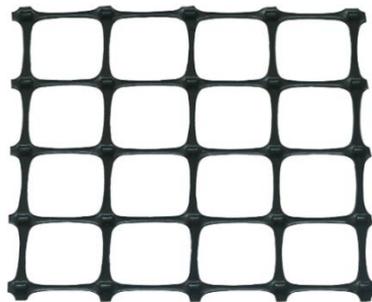


Figura 16. Geomalla biaxial.

Fuente: Tomada de (Das, 2013 pág. 622)

La geomalla triaxial tiene una estructura que supera a la geomalla biaxial presentando una alta capacidad de tracción en todas las direcciones. Su apertura es

triangular por ser la geometría más estable y mejora la forma en que el producto absorbe las fuerzas de las cargas del tráfico. Es una geomalla que aumenta la rigidez en el plano presentando alta resistencia con bajas deformaciones

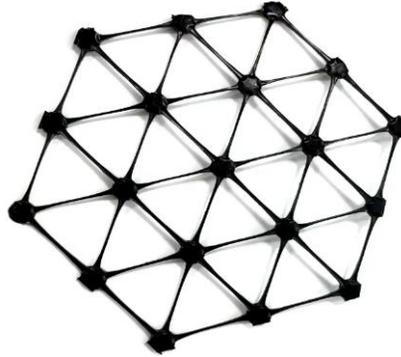


Figura 17. Geomalla triaxial, con aperturas triangulares.

Fuente: Tomada de (Das, 2013 pág. 622)

2.2.2.3.2. Geotextil

Son materiales tejidos permeables fabricados con polipropileno, polietileno y poliéster de alta resistencia. Es resistente a la tracción y a la perforación y tiene excelentes propiedades hidráulicas.

El mecanismo de transferencia es a través de la fricción. Cuando las partículas del suelo y el geotextil se mueven entre sí, estas cargas, que son perpendiculares a la forma del geotextil, crean esfuerzos fricciones en el plano de la fuerza del geotextil (Jiménez, 2006 pág. 26).

Entre ellos encontramos 2 tipos de geotextiles:

- a) Los geotextiles tejidos son materiales fabricados de polipropileno y poliéster formado por fibras entrelazadas en ángulo recto, por tanto, se caracterizan por una alta resistencia y baja deformación, por lo que se utiliza principalmente para reforzar carreteras, muros, terraplenes y cimentaciones.

b) Los geotextiles no tejidos son materiales versátiles fabricados de polipropileno, poliéster o poliamidas similar a una tela que se caracterizan por tener gran elongación estirándose de un 40% hasta un 120% o más, esto los hace bien adaptados a la homogeneidad del terreno, creando un efecto amortiguador mediante filtración, drenaje y separación.

2.2.3. Características físicas y mecánicas del suelo

2.2.3.1. Angulo de fricción interna

Material con equilibrio estable asumiendo una forma distinta a la dada a los contornos de una estructura (muro), por lo tanto, al mantener el equilibrio estable, este material formaría un ángulo con el plano vertical y horizontal (Garnica, y otros, 2013 pág. 30).

2.2.3.2. Cohesión

Característica del material extruido (roca o suelo) en el cual sus partículas se conservan unidas, si las partículas son finitas mayor es la cohesión es decir variara del contenido de humedad. Mientras más cohesión exista menor será la fuerza de empuje (Ramírez, 2014 pág. 15).

2.2.3.3. Peso volumétrico

Es una relación determinada del peso del material extruido y expresada en unidades de volumen (Ramírez, 2014 pág. 7).

2.2.3.4. Plasticidad

Material que se puede determinar si puede soportar una deformación rápida sin rebote elástico (Ramírez, 2014 pág. 15).

2.2.3.5. Permeabilidad hidráulica del suelo

Con esta propiedad podemos conocer la cuantía de agua que mana entre los espacios vacíos que posee el suelo de estudio y el tiempo que demora en infiltrarse, por lo tanto, en los muros de contención se usan materiales con alta permeabilidad que permiten el drenaje del sistema (Ramírez, 2014 pág. 18).

2.2.3.6. Resistencia al esfuerzo de corte

Se determina cuando el suelo es sometido a cargas y puede comportarse como material elástico por lo tanto se determina cierta compresión cuya magnitud debe variar en función a la plasticidad (Das, 2013 pág. 228).

2.2.3.7. Angulo de dilatación interna

Es la intervención de la cuantía deformada volumétricamente que ocurre durante el sumario del corte plástico y se supone que el proceso de elasticidad plástica es constante. El valor ψ pertenece al volumen deformado por corte (Garnica, y otros, 2013 pág. 30).

2.2.3.8. Módulo de Young

Cuantificación que describe al comportamiento del material elástico, depende de la orientación en la que se utiliza la potencia al material anisotrópico. Para materiales flexibles directos lineales, se consigue precisar como una relación entre la tensión en la orientación de estudio del esfuerzo y la deformación correspondiente, mientras que, para materiales flexibles no lineales, utilizan la deriva de tensión en proporción a las deformaciones (Das, 2013 pág. 228).

2.2.3.9. Modelo del material – Mohr-Coulomb

Es una forma básica de representar el comportamiento no lineal del suelo. Es un modelo plástico elástico y isotrópico que incluye la ley de Hooke y el criterio de Mohr-Coulomb (Nieto Leal, y otros, 2009 pág. 15).

2.2.4. Tipos de fallas

2.2.4.1. Estabilidad interna

Garnica y otros (2013) se refiere a la destrucción interna del suelo de anclaje por la fuerza de tracción del sistema de contención, provocando que éste se estire hasta llegar a su punto de rotura. Por lo tanto, el rango de movimiento de la estructura es grande y la estructura puede colapsar, lo que se denomina "fallo por expansión o fractura". Otra falla común de los muros estabilizados mecánicamente ocurre cuando la fuerza de tracción es mayor que la resistencia a la separación, es decir, la fuerza requerida para empujar las barras de acero fuera del suelo aumenta el esfuerzo cortante alrededor del suelo, provocando que la estructura se mueva más y más. por lo tanto, colapsar esta condición se denomina falla por "error de extracción" (pág. 63).

2.2.4.1.1. Fallas de muros de suelo reforzado por factores internos

Debido a errores en el funcionamiento de elementos individuales que forman las paredes, en la totalidad de los temas se reemplazará el piso reforzado. Aumentar o eliminar las debilidades en la pared del diafragma también puede causar fallas, pero es poco habitual.

2.2.4.1.2. Falla por extensión de los refuerzos (fluencia creep)

Esta falla produce lentos desplazamientos en la parte superior del muro, que con el tiempo producen una horizontalidad y luego colapso del muro debido al

desplazamiento del fragmento prócer del muro. Falla causada por amplificación o rotura de las barras de acero (Suarez Díaz, 1998 pág. 221).

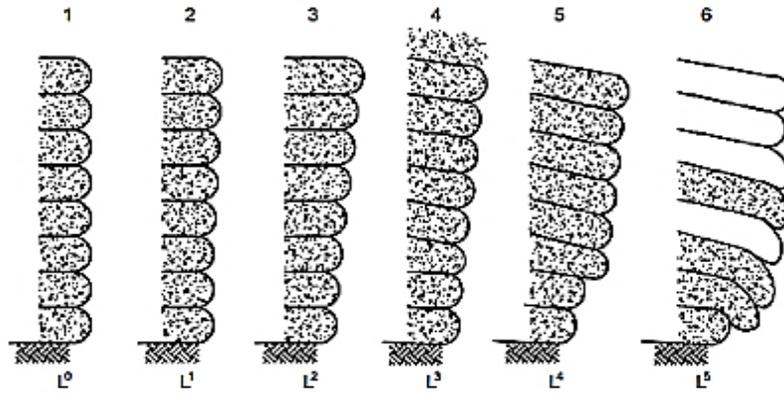


Figura 18. Falla por extensión de refuerzo.

Fuente: Tomada de (Lee, y otros, 1975).

2.2.4.1.3. Falla por extracción de refuerzo

Es una falla de estabilidad interna que ocurre con menor frecuencia debido a la mayor resistencia del anclaje del suelo, lo que impide el desprendimiento de la geomalla o geotextil reforzado. En este tipo de falla, la estructura colapsa e inclina la fachada del muro, fundando un ángulo diagonal entre el material de relleno reforzado y la matriz del muro (Suarez Díaz, 1998 pág. 221).

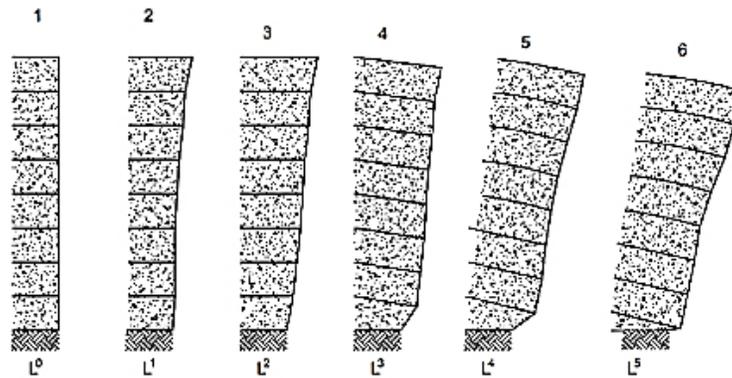


Figura 19. Falla por extracción de refuerzo.

Fuente: Tomada de (Lee, y otros, 1975).

2.2.4.2. Estabilidad externa

Para los procesamientos de datos de estabilidad externa de muro con caras verticales, consideramos que la masa del muro estabilizado mecánicamente despliega como un cuerpo rígido que ejerce coacción sobre las caras verticales que se aplica en la parte posterior o en los extremos. Garnica y otros (2013) con referencia a la declaración de la literatura, las causas de falla de una gran cantidad de muros MSE son las siguientes: Estabilidad externa, tales fallas generalmente incluyen fallas directas debido a deslizamiento, vuelco, soporte y falla de pendiente (incluidos muros) (pág. 46).

2.2.4.2.1. Falla por volteo o giro excesivo

Teniendo en cuenta que el momento de inestabilidad es menor que el momento de estabilización, es muy importante evitar que el muro de contención se vuelque. Esto se puede evitar aumentando el tamaño de la pared y al mismo tiempo aumentando su peso, asegurando así que el impacto y la sobrecarga del suelo no provoquen su vuelco.

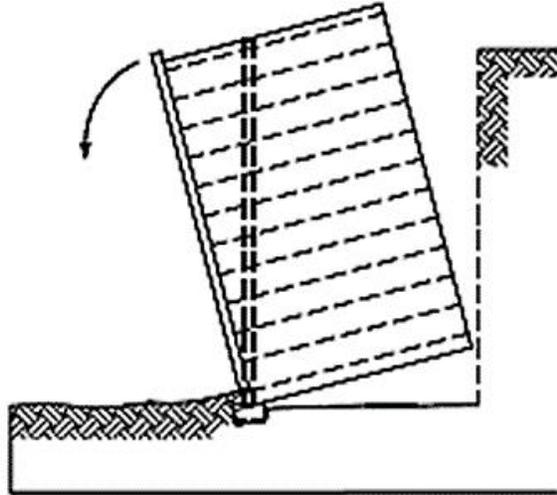


Figura 20. Falla por volteo.

Fuente: Tomada de (Suarez Díaz, 1998 pág. 233)

Se evalúa el momento creado por la fuerza horizontal aplicada y se relaciona con el momento resistente que no provoca el colapso del muro.

$$FS_{(volt. giro)} = \frac{\sum M_{R(sin s/c)}}{M_o} \geq (FS * 0.75)$$

Donde:

$M_{R(sin s/c)}$: Momento resistente, sin integración de sobrecarga.

M_o : Momento actuante de volcamiento.

2.2.4.2.2. Falla por deslizamiento

Producida por la presión del suelo y el componente de sobrecarga horizontal, sucede por las tensiones aumentadas, exceden la resistencia mínima creada por la fricción entre el material de cimentación y el material de relleno.

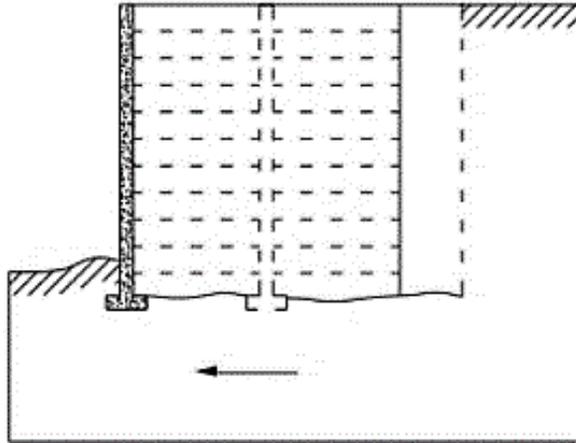


Figura 21. Falla por deslizamiento.

Fuente: Tomada de (Suarez Díaz, 1998 pág. 233)

Se debe garantizar que las fuerzas externas horizontales no hagan que las partes estructurales (paredes) se muevan, y el error de seguridad de deslizamiento se expresa mediante la siguiente fórmula.

$$FS_{(Deslizamiento)} = \frac{\sum \text{Fuerzas resistentes}}{\sum \text{Fuerzas desestabilizadoras}} = \frac{\sum F_R}{\sum F_o} > (1.5 * 0.75)$$

Para la confirmación culta se discurre el siguiente argumento como el procesamiento de datos de las fuerzas actuantes (Fuerza cortante).

Donde:

F_R : Fuerza resistente.

F_o : Fuerza deslizante.

2.2.4.2.3. Falla por capacidad de carga

Se deduce teniendo en cuenta las cuantificaciones de resistencia al corte en contextos analíticos. Corresponden ser lo competentemente fuertes impidiendo daños al suelo debido a cargas estructurales.

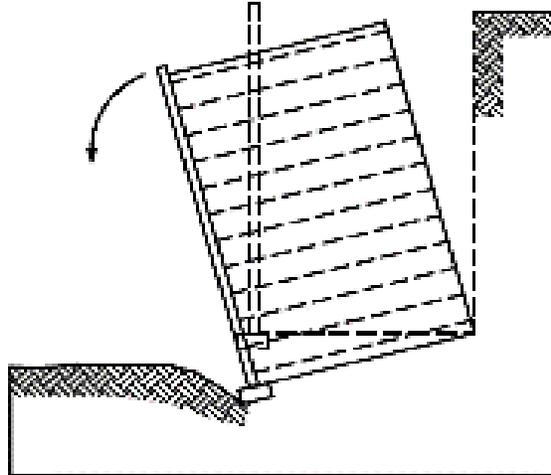


Figura 22. Falla por capacidad de carga.

Fuente: Tomada de (Suarez Díaz, 1998 pág. 233)

Este tipo de falla ocurre de dos maneras: la falla por corte localizada se caracteriza por el asentamiento en suelo blando, mientras que la falla por corte global solicita que la coacción vertical sobre el muro no exceda la capacidad de carga máxima del terreno del muro, FS se considera 2,5 para este efecto.

$$FS_{(Cap.de\ carga)} = \frac{\sum \sigma_{ult}}{\sigma_{apli}} \geq (2.5 * 0.75)$$

Donde:

σ_{ult} : Presión ultima.

σ_{apli} : Presión aplicable.

2.2.4.2.4. Falla general

La falla resultante de la fluencia de taludes sobre el que se coloca muros de suelo reforzado y el colapso terraplenan sobre el que se coloca también se denomina falla rotacional o falla global porque involucra la interacción de todos los elementos externos con el suelo. Para esta validación se utilizó un análisis de rotación con un FS mínimo de 1,5.

- Análisis de estabilidad dinámico

Presiones laterales por sismos, método pseudoestático, los sismos producen vibraciones del suelo que, además de las presiones estáticas provocadas por cargas de refuerzo, cargas vivas y muertas, producen presiones laterales adicionales que perturban estructuralmente. La hipótesis más popular para computar la sobrepresión causada por efectos sísmicos terrestres en el dimensionamiento estructurales de contención es la teoría de Mononobe-Okabe, que es una transformación de la proposición designada por Coulomb.

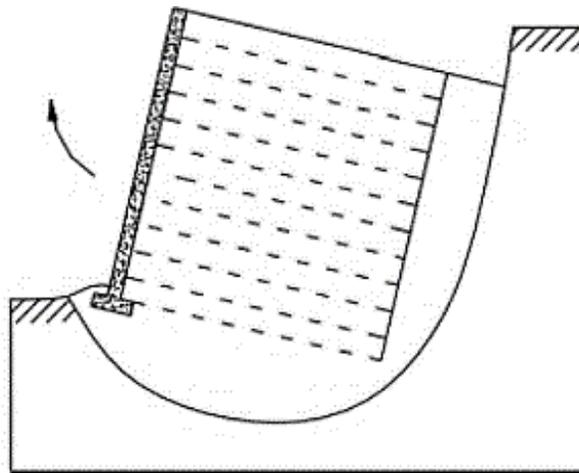


Figura 23. Falla general o profunda rotacional-traslacional.

Fuente: Tomada de (Suarez Díaz, 1998 pág. 233)

$$K_{as} = \frac{(1 - a_v) \text{Sen}^2(\alpha - \phi' + \psi)}{D_A \text{Cos} \psi \text{Sen}^2 \alpha \text{Sen}(\alpha - \delta - \psi)}$$

Donde:

a_v : Factor sísmica vertical

A : Ángulo inclinado por trasdós

β : Inclinación del suelo retenido

δ : Ángulo de fricción suelo-geomalla

ϕ' : Ángulo de fricción interna del material

Tabla 3. Factores de seguridad para análisis estático.

FS	Mínimo descrito por AASHTO
Deslizamiento	1.50
Volteo o giro excesivo	2.00
Capacidad de carga	2.50
Estabilidad de taludes	1.30
Estabilidad interna	1.50
Excentricidad	Máximo L/6

Nota: Tomado de Suárez Díaz, 2012 pág. 236

Según Suarez (Garnica, y otros, 2013), menciona que los estándares de desempeño dependen tanto del sitio como de la estructura la condición sísmica. Los criterios relacionados con el diseño incluyen lograr un factor de seguridad o un conjunto consistente de componentes de resistencia, carga y criterios de movimiento permitidos de dimensionamientos de MSR (pág. 32)

Tabla 4. Factores de seguridad para análisis sísmico.

FS	Mínimo descrito por AASHTO
Deslizamiento	1.125
Volcamiento	1.500
Capacidad de carga	1.875
Estabilidad de taludes	1.100
Estabilidad interna	1.125

Nota: Tomado de Suárez Díaz, 2012 pág. 236

La falla resultante de la fluencia de taludes sobre el que se ubica los MSR y el colapso del terraplén sobre el que se coloca también se denomina falla rotacional o falla global porque involucra la interacción de todos los elementos externos con el suelo. Para esta validación se utilizó un análisis de rotación con un FS mínimo de 1,5.

2.2.5. Estudios previos a diseño

Según Suarez (1998), mencionó que el estudio del sitio, el estudio de campo, la investigación y las pruebas son muy importantes, las mediciones se ejecutan por

lo bajo de 30 m a lo extenso de la línea estructural de tierra reforzada y cada 45 m a lo extenso de la parte posterior estructural (pág. 229).

La profundidad de desplante varía según las características del suelo bajo tierra. Si la roca está cerca de la superficie, la profundidad de perforación puede ser de unos 3 metros, y siempre solicitamos evaluar la profundidad a la que se encuentra el suelo más resistente en cada hoyo y el espesor y propiedades del suelo suelto o blando, es importante considerar muestras cada 1.5 metros (Suarez, 1998 pág. 230).

Las pruebas de ensayo se desarrollaron a cabo en el laboratorio y se centraron en medir la cohesión del material extraído y el contenido de humedad. Estos ensayos no sólo proporcionan investigación sobre la capacidad de conservación de humedad del suelo y su cohesión, sino que también son esenciales para comprender cómo cambia su estado de consistencia con los cambios de humedad.

Una interpretación cuidadosa de los resultados de estas pruebas proporciona una comprensión detallada de las características geotécnicas del material en uso, influyendo en gran medida en las decisiones críticas relacionadas con el dimensionamiento y lo constructivo de las estructuras en dichas áreas. Se recomiendan la inspección visual y las pruebas de clasificación, así como las pruebas de resistencia al corte utilizando la prueba límite de Atterberg, densidad, densidad aparente y pruebas de corte directo o triaxial.

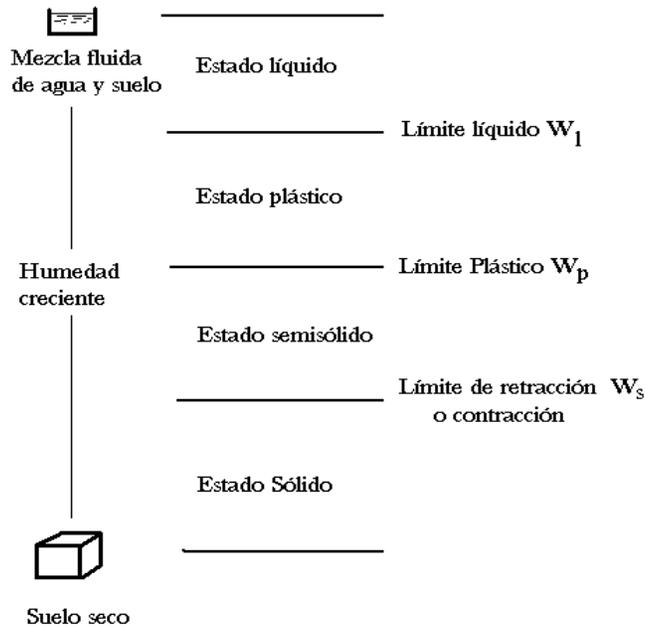


Figura 24. Límites de Atterberg.

Fuente: Tomada de (Das, 2013 pág. 64)

También se centra en el estudio de las características del tamaño de las partículas y la plasticidad, el comportamiento compactado del material y la determinación de la resistencia del relleno, el pH, las pruebas de sulfato - cloruros y la resistividad eléctrica (Suarez, 1998 pág. 230).

2.2.6. Efectos de colapso en las estructuras

Según Redolfi (2007):

El colapso del suelo implica consecuencias directas y significativas para las estructuras edificadas sobre él. Los movimientos subsuperficiales y las deformaciones asociadas no solo comprometen la integridad de los cimientos, sino que también pueden inducir daños estructurales significativos. La presión originada por la expansión de minerales expansivos no solo contribuye a la compresión del suelo, sino que también intensifica la carga ejercida sobre las estructuras. Este incremento en la carga impone condiciones adversas adicionales para la estabilidad

de las estructuras, exacerbando el riesgo de fallos estructurales y comprometiendo aún más la seguridad y la durabilidad de las edificaciones. En consecuencia, es crucial abordar y mitigar los riesgos asociados al colapso del suelo para salvaguardar la integridad estructural y responder la seguridad a largo término de las construcciones (pág. 2).

El derrumbe de una estructura, ocasionado por el colapso del suelo en el que descansa, puede presentarse de diversas formas. Para Grupo SMABTP (2011 pág. 2) Cuando un suelo con alto riesgo de colapso experimenta movimientos subsuperficiales notables, la carga ejercida sobre la estructura puede volverse desigual, generando deformaciones y hundimientos no uniformes. Esto puede dar lugar a la pérdida de integridad estructural y poner en peligro la capacidad de los cimientos para soportar cargas y resistir tensiones.



Figura 25. Colapso del terreno y hundimiento de la estructura.

Fuente: Tomada de (Grupo SMABTP, 2011).

2.2.6.1. Análisis de deformaciones y situaciones críticas

La deformación excesiva del muro es un problema importante para los suelos reforzados porque el FS obtenido debe cumplir con lo estipulado en la norma

AASHTO. Estas deformaciones son menos comunes en paredes que cumplen con las especificaciones AASHTO pero que han fallado (Suarez, 1998 pág. 222).

La deformación y el hundimiento de la superficie terrestre son manifestaciones visibles y tangibles del colapso terrestre. Dado que el factor de reducción de diseño y el FS de los MSE son demasiados bajos que los especificados por AASHTO en algunos países, el problema de la deformación excesiva es un problema que nuestros ingenieros encuentran a menudo.



Figura 26. Falla de un muro MSE por exceso de deformación en los refuerzos.

Fuente: Tomada de (Suarez, 1998 pág. 222).

La deformación puede adoptar muchas formas, desde depresiones y grietas hasta ondulaciones en el suelo.

2.2.6.1.1. Deformaciones durante la construcción

La deformación en el proceso constructivo determinada en gran medida por las características tensión-deformación, que pueden analizarse utilizando los resultados de las pruebas de banda ancha de barras de acero. (Allen, y otros, 2001 pág. 21).

2.2.6.1.2. Deformaciones después de construido el muro

La deformación del muro una vez finalizado se debe principalmente a la fluencia de los geomateriales, las propiedades de los agregados y/o al asentamiento del suelo de cimentación. Soberanamente la altura del muro o características de la cara, muestran una deformación notoria en la parte superior externa del MSR y reduce gradualmente hasta llegar a un valor equivalente en la parte inferior (Allen, y otros, 2001 pág. 15).

2.2.6.2. Identificación de situaciones críticas de colapso

Uno de los temas más actuales estudiados por ingenieros y constructores es la predicción de la deformación de estructuras de suelo congelado. Para Nakajima, y otros (1996 pág. 68), demostraron que las variables que influyen en los cambios estructurales mejorados del suelo pueden identificarse tanto en condiciones experimentales como en situaciones de la vida real. Los elementos principales estipulan la geometría del MSR, las fachadas, las propiedades de los geomateriales de refuerzo y relleno con cargas aplicadas.

2.2.6.2.1. Como identificar una situación crítica

Allen, y otros, (2001) afirman que un contexto de situación crítica se reconoce mediante:

- Los colapsos unitarios generales de refuerzos son 5% superiores.
- Los colapsos laterales ubicados en la corona inicialmente presentan a partir de las diez mil horas posteriormente concluido el muro valores de 35 mm, para muros de altura hasta de 13 metros.
- Brotan grietas superficiales.

- Sobreviene fractura de los geomateriales reforzados

Adicionalmente, las estructuras cercanas también pueden sufrir impactos secundarios, ya que los desplazamientos en una zona pueden transmitirse a través del suelo a otras áreas vecinas. Este fenómeno puede desencadenar un efecto dominó, donde el colapso en una ubicación afecta la estabilidad de las estructuras circundantes, generando un desafío adicional en la mitigación y reparación de los daños asociados al colapso del suelo.

2.3. Marco Conceptual

a) Análisis numérico

Son las operaciones lógicas y algebraicas mediante pasos sucesivos que se usan en la resolución de problemas mediante algoritmos que traduce las matemáticas a un lenguaje comprensible para la máquina y a la vez hace posible realizar cálculos que en volumen y complejidad escapan al ser humano (Zuazua, 2004).

b) Asentamiento del suelo

Es el movimiento descendente vertical del terreno causado por el incremento de esfuerzos por la aplicación de cargas en el mismo. Cuando la estructura se sienta en forma desigual se provocan deformaciones ocasionando grietas perjudicando la estabilidad demostrando así que el asentamiento es causa del colapso (Crespo Villalaz, 1980).

c) Deformación

Este es un fenómeno que provoca cambios en el volumen corporal. La deformación de elongación longitudinal se considera positiva y la deformación de acortamiento se considera negativa (Cervera Ruiz, y otros, 2015).

d) Drenaje

Métodos de diseño que mencionamos en este documento se determinan en condiciones de presión hidrostática cero, la provisión de un sistema de drenaje a lo largo de todo el muro es un elemento necesario (Suárez Diaz, 2012).

e) Discretización

Es un procedimiento de convertir modelos numéricos en acciones continuas de ecuaciones infinitas, también está relacionado con las operaciones analíticas matemáticas importante en la computación granular (Celigüeta Lizarza, 2000).

f) Esfuerzo

Es la masa de suelo dócil a la operación de fuerzas externas aprovechadas al suelo o por el peso propio del suelo, se tiene el esfuerzo por tracción, compresión, flexión, torsión y cortadura (Duque, 2016).

g) Esfuerzos cortantes

Es la parte de una pieza que sufre cortante o desplazamiento cuando actúa la resultante de fuerzas paralelas al plano de la sección (Cervera Ruiz, y otros, 2015).

h) Factor de seguridad

Este es un término de ingeniería para garantizar la seguridad y, por lo tanto, la estructura debe diseñarse o construirse para soportar un valor mayor que la tensión (Cervera Ruiz, y otros, 2015).

i) Geomalla

Es una red sintética diseñada para crear conductos de agua facilitando el flujo de escorrentía (Suárez Diaz, 2012).

j) Geotextil

Son tejidos filtrantes permeables fabricados a partir de fibra sintética, fundamentalmente poliéster, polipropileno, nailon y polietileno (Suárez Díaz, 2012).

k) Geosintéticos

Se refiere ampliamente a materiales poliméricos utilizados y estabilizados en suelos aplicados por la ingeniería geotécnica. Estos productos pueden ser: geotextiles, geomembranas, etc. (Garnica, y otros, 2013).

l) Grados de libertad

Son puntos estructurales que definen desplazamientos que provocan deformaciones. Gran número de grados de libertad conciben ser igual al número de componentes de desplazamiento necesarios para determinar las deformaciones y aproximar las fuerzas internas. Este criterio se llama discretización, lo que significa que el modelo contiene números limitados de grados de libertad (Cerrolaza , 2007).

m) Sobrecarga del terreno

Es la carga extra aplicada a una estructura, que es de suma importancia tenerse en cuenta cuando se calcula la resistencia de los elementos. La sobrecarga comprime y deforma dando lugar a una superficie de apoyo $S' > S$, por consiguiente, a repartición de las cargas más satisfactorias (Galabru, 2004).

n) Poliéster o polipropileno

Son geotextiles tejidos de alta resistencia, utilizados principalmente para refuerzo de taludes. Se utilizan fibras de poliéster y materiales geotextiles de polipropileno (Suárez Díaz, 2012).

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS

3.1. Formulación de la hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

El dimensionamiento óptimo de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos es confiable en Acobamba, Huancavelica - 2023.

3.1.2. Hipótesis específicas

- a) El factor de seguridad al deslizamiento de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos es confiable en Acobamba, Huancavelica - 2023.
- b) El factor de seguridad a la capacidad de carga de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos es confiable en Acobamba, Huancavelica - 2023.
- c) La incidencia del Análisis tensión – deformación de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos es estable en Acobamba, Huancavelica - 2023.

3.2. Variables

3.2.1. Definición conceptual de las variables

3.2.1.1. Variable independiente (X)

Análisis numérico por el método de elementos finitos

El análisis numérico por los elementos finitos es un método relativamente nuevo que se dio a conocer en el año 1967 por Clough y Woodward. El método

divide la masa de suelo en unidades pequeñas, se interconectan por medio de sus nodos y sus bordes predefinidos. Al conectarse se forma una malla de elementos finitos (Azorin Cruz, 2014).

3.2.1.2. Variable dependiente (Y)

Dimensionamiento óptimo de muros de suelo reforzado

Un “Muro de Suelo Reforzado” es una estructura de suelo compactado, a la cual se le introduce elementos de refuerzo que trabajan a tensión, ya que aumentan la resistencia del suelo y disminuyen las deformaciones del muro. Se emplea para la estabilidad al terreno natural u otro material cuando se modifica su talud natural o terrenos inestables (Manual de carreteras, 2016)

3.2.2. Definición operacional de variables

3.2.2.1. Variable independiente (X)

El método consiste en evaluar los resultados que se dan en forma de esfuerzos y desplazamientos en los nodos. La condición de falla se evaluará como un fenómeno progresivo en donde no todos los elementos fallan al mismo tiempo. Se busca determinar un análisis óptimo usando el método de elementos finitos:

- D1: Método de elementos finitos (MEF)

Lo cual se dividirá en un solo indicador para identificar claramente la dimensión.

3.2.2.2. Variable dependiente (Y)

El diseño se inicia con la selección de dimensiones tentativas, las cuales se analizan por requerimientos de estabilidad y estructural, revisándose luego las dimensiones. Este es un proceso de interacciones sucesivas, que se optimiza mediante programas de cómputo

Alguno de los factores a tener en cuenta para realizar este proceso está identificado como las siguientes dimensiones:

- D1: Factor de seguridad al deslizamiento (FSD)

$$FS_{(Deslizamiento)} = \frac{\sum F_R}{\sum F_o} > (1.5 * 0.75)$$

- D2: Factor de seguridad a la capacidad de carga (FSCC)

$$FS_{(Cap.de\ carga)} = \frac{\sum \sigma_{ult}}{\sigma_{apli}} \geq (2.5 * 0.75)$$

- D3: Análisis tensión – deformación (ATD)

$$\delta G_{ext} = \int_V (\nabla \delta)^T \sigma + \delta \varepsilon^T (\sigma(\varepsilon) - \sigma) + \delta \sigma^T (\nabla u - \varepsilon) d\Omega$$

A su vez cada una de las dimensiones disponen de indicadores.

3.3. Operacionalización de variables

Tabla 5. Matriz de operacionalización de variables.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos	Escala
Independiente VI: Análisis numérico por el método de elementos finitos	DCI 1: El análisis numérico por los elementos finitos es un método relativamente nuevo que se dio a conocer en el año 1967 por Clough y Woodward. El método divide la masa de suelo en unidades pequeñas, se interconectan por medio de sus nodos y sus bordes predefinidos. Al conectarse se forma una malla de elementos finitos (Azorin Cruz, 2014).	DOI 1: El método consiste en evaluar los resultados que se dan en forma de esfuerzos y desplazamientos en los nodos. La condición de falla se evaluará como un fenómeno progresivo en donde no todos los elementos fallan al mismo tiempo (Azorin Cruz, 2014). Se busca determinar un análisis optimo usando el método de elementos finitos: *D1: Método de elementos finitos (MEF) Lo cual se dividirá en un solo indicador para identificar claramente la dimensión.	D1: Método de elementos finitos (MEF)	I1: Ecuaciones, elementos (nodos) y mallas triangulares	Software PLAXIS 2D	
	Dependiente VD. Dimensionamiento óptimo de muros de suelo reforzado	DCD 1: Un "Muro de Suelo Reforzado" es una estructura de suelo compactado, a la cual se le introduce elementos de refuerzo que trabajan a tensión, ya que aumentan la resistencia del suelo y disminuyen las deformaciones del muro. Se emplea para la estabilidad al terreno natural u otro material cuando se modifica su talud natural o terrenos inestables. (Manual de carreteras, 2016).	DOD 1: El diseño se inicia con la selección de dimensiones tentativas, las cuales se analizan por requerimientos de estabilidad y estructural, revisándose luego las dimensiones. Este un proceso de iteraciones sucesivas, que se optimiza mediante programas de cómputo (Alva Hurtado, 2016). Alguno de los factores a tener en cuenta para realizar este proceso está identificado como dimensiones: *D1: Factor de seguridad al deslizamiento (FSD) *D2: Factor de seguridad a la Capacidad de carga (FSCC) *D3: Análisis Tensión - Deformación (ATD) Los cuales se dividen en indicadores que servirán para identificar claramente las dimensiones.	D1: Factor de seguridad al deslizamiento (FSD) D2: Factor de seguridad a la Capacidad de carga (FSCC) D3: Análisis Tensión - Deformación (ATD)	I1: Métodos Determinísticos Es estable al deslizamiento si: $FS_{(Deslizamiento)} = \frac{\sum F_R}{\sum F_o} > (1.5 * 0.75)$ I2: Métodos Determinísticos Es estable a la capacidad portante del suelo si: $FS_{(Cap.de\ carga)} = \frac{\sum \sigma_{ult}}{\sigma_{apli}} \geq (2.5 * 0.75)$ I3. Principio de trabajo virtual (esfuerzos) $\delta G_{ext} = \int_V (\nabla \delta)^T \sigma + \delta \varepsilon^T (\sigma(\varepsilon) - \sigma) + \delta \sigma^T (\nabla u - \varepsilon) d\Omega$	Ficha de recopilación de información. Norma CE 020

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2023.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Método de investigación

Según Hernández y otros (2014).

Los métodos de investigación se utilizan principalmente en la creación de conocimiento científico. Para que un método de investigación se llame ciencia, debe basarse en evidencia y medición empíricas y adoptar ciertos principios para probar conclusiones (pág. 57).

El procedimiento ordinario de investigación aplicado en este estudio es de carácter científico porque se desarrolla de manera regulada y continuo donde se considerará la presión, el asentamiento y la capacidad portante para crear las dimensiones óptimas del muro de contención, que, si el análisis es confiable, permítanos posteriormente como discusión desarrollar el esquema obtenido según las dimensiones de los muros de tierra armada.

El método científico es la aplicación en esta presente investigación.

4.2. Tipo de investigación

Rodríguez (2020), menciona el tipo de investigación supone que el problema se identificará y diferenciará preguntando por qué se utiliza la investigación para proporcionar soluciones a problemas definidos. El tipo de estudio desarrollado se utilizó porque tenía como objetivo identificar un camino específico hacia las dimensiones óptimas para las cuales se utilizaron métodos de elementos finitos y luego determinar si el método era confiable (pág. 3).

Según estas apreciaciones, en la presente investigación es de tipo aplicativo.

4.3. Nivel de investigación

“Nivel explicativo, su propósito responderá las causas de los sucesos y anómalos físico-mecánicos y sociales. También estará enfocado en manifestar lo que sucede con los fenómenos y en qué situaciones se revelan las varias variables relacionadas entre sí” (Hernández Sampieri , y otros, 2014 pág. 128).

El nivel de estudio desarrollo como objetivo identificar un camino específico hacia las dimensiones óptimas para las cuales se utilizaron métodos de elementos finitos y luego determinar si el método era confiable.

Según la observación, el nivel que representara la investigación es de nivel explicativo.

4.4. Diseño de investigación

Según Hernández y otros (2014):

Diseño cuasi experimental, declarara una administración premeditada de la variable independiente (causa) para explorar analíticamente el resultado de esta manipulación en una variable dependiente (efecto), este nivel expone comportamientos de deslizamiento en función al esfuerzo del material granular adoptado y de determinar los parámetros de la estructura mediante métodos estadísticos (pág. 130).

Establecidos en estos criterios la actual investigación aplica como un diseño cuasi experimental.

4.5. Población y muestra de investigación

4.5.1. Población

Según Dzul (2013):

La población se consigue forjar sin operar premeditadamente las variables. Al contrario, estipula en observar y luego poder analizarlos los anómalos que suceden en el área natural estático-dinámico (pág. 2).

Es de carácter cuasi experimental, los cálculos se realizaron utilizando ecuaciones matemáticas definidos en el dimensionamiento del MSR, y nuevamente las variables en estudio no cambiarán.

De acuerdo con el análisis, se empleó un diseño cuasi experimental.

Esquema del diseño de investigación

$M - - - - - O$

Donde:

M : Muestra

O : Observaciones

4.5.2. Muestra

Conforme con Hernández y otros (2014 pág. 175), “alude que las muestras son estimadas como un subconjunto del universo o un fragmento específico”.

Las muestras para el análisis numérico mediante elementos finitos para el dimensionamiento óptimo del muro de suelo reforzado fueron tomadas del sector Mayhuaccacca – Acobamba – Huancavelica.

Se consideraron como muestras de estudio de los taludes inestables del tramo (KM 33+690.00 - KM 33+850.00KM) conectando principalmente con la capital de la región (Huancavelica), la capital del departamento de Acobamba y la provincia, utilizando las siguientes rutas: Ruta Nacional. PE-3SD (Pista Aprobada), PE-3S (Pista Reforzada), Ruta Vecinal HV-501 (Pista Aprobada), Ruta Departamental HV.

Tabla 6. Ubicación del estudio, coordenadas UTM.

Descripción	Datos
Este	537432.64
Norte	8600385.06
Altitud	3469.13 m.s.n.m.

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

El muestreo representativo es deliberadamente probabilístico ya que se utilizaron métodos estadísticos y las muestras se asignaron al azar, por lo que se seleccionó la muestra más crítica para su definición y análisis. (Hernández Sampieri , y otros, 2014) menciona el muestreo no probabilístico, también llamado muestreo direccional, implica un proceso de selección basándose en las tipologías del lugar o razonamientos estadísticos de generalización (pág. 190).

4.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.6.1. Técnicas

Para Ñaupas Paitán, y otros (2018 pág. 273), “Se entiende por métodos de investigación los procedimientos, métodos o medios especiales para la obtención de datos o información”.

El método utilizado en este estudio es la información experimental, con los datos se alcanzaron pruebas de laboratorio, recolección de información y procesamiento de datos.

- Técnica documental o bibliográfica: Consiste en examinar el expediente o documento representativamente teórico.
- Técnica de ensayos de laboratorio: permite exponer resultados obtenidos en el laboratorio, bajo patrones y formalidades de ensayos normado en el reglamento.

4.6.2. Instrumentos

Castillo (2021), considere cualquier recurso, equipo o formato utilizado como herramienta de recopilación de datos necesarios logrando, registrar o almacenar información (pág. 54).

Para la actual exploración investigativa se utilizarán fichas de investigación de datos, en donde se va a señalar la información más relevante e importante.

- a) Búsqueda de antecedentes de trabajo de campo.

4.7. Técnicas y análisis de datos

Se considerará etapas de estadístico y probabilístico.

4.7.1. Laboratorio

4.7.1.1. Ensayo de consistencia

Aplico como objetivo determinar las propiedades plásticas del suelo, especialmente los límites líquido y plástico.

a) Materiales

- Muestra representativa del suelo.
- Balanza
- Recipientes de casquete (taza de Casagrande)
- Espátula
- Varilla para mezclar.
- Cristalizador para el límite plástico.
- Horno (si es necesario secar las muestras)

b) Pasos del ensayo

- Preparación de la muestra

- Límite Líquido MTC E 110/NTP 339.129
- Límite Plástico MTC E 111/NTP 339.129
- Análisis y Registro

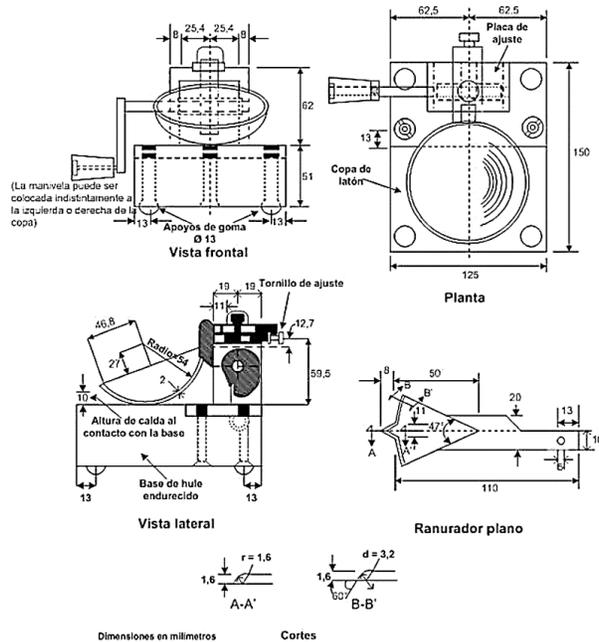


Figura 27. Equipamiento del ensayo de consistencia.

Fuente: Tomada de la (NTP 339.129, 2019), (MTC E 110, y otros, 2016).

4.7.1.2. Ensayo de densidad (Densidad natural seca)

Realizar un ensayo de densidad en ingeniería de suelos, particularmente utilizando el método Proctor Modificado.

a) Materiales

- Muestra representativa del suelo.
- Moldes para compactación (cilíndricos o cúbicos).
- Pisón o martillo estándar, varilla y base de compactación.
- Balanza.
- Horno.

b) Pasos del ensayo

- Preparación de la muestra
- Preparación del Molde
- Compactación
- Determinación de la densidad seca
- Cálculo de la densidad seca

$$Densidad\ Seca = \frac{Masa\ del\ Suelo\ Compactado}{Volumen\ del\ Suelo\ Compactado}$$

- Cálculo de la Densidad Máxima Seca y Óptima

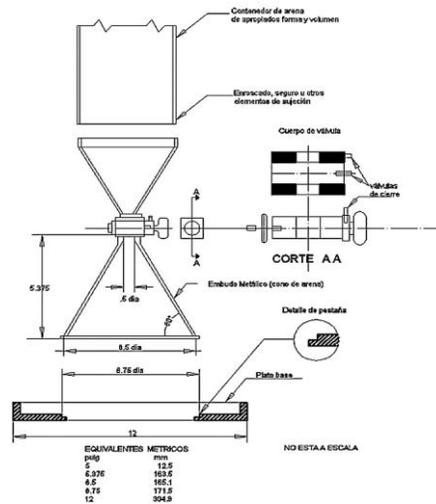


Figura 28. Aparato de densidad - cono de arena.

Fuente: Tomada de la (NTP 339.143, 2019), (MTC E 117, 2016)

4.7.1.3. Peso volumétrico

Para determinar el peso volumétrico, también conocido como peso específico, de un suelo, se sigue un proceso simple utilizando la fórmula:

$$Peso\ Volumetrico = \frac{Peso\ del\ Suelo}{Volumen\ del\ suelo}$$

a) Materiales necesarios

- Obtener una muestra representativa del suelo.
- Utilizar una balanza para medir con precisión el peso de la muestra.

- Utilizar un vasija graduado para medir el volumen del suelo.

b) Preparación de la muestra

- Medición del Peso del Suelo
- Medición del Volumen del Suelo
- Consideraciones Específicas

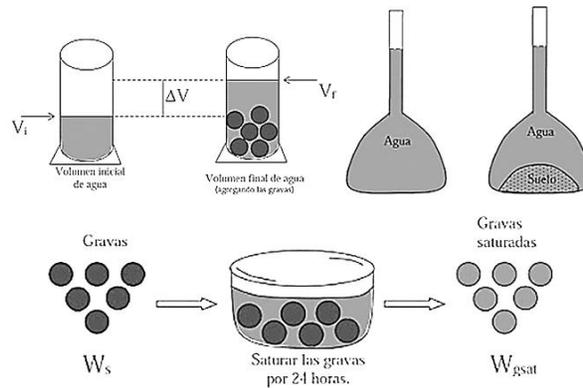


Figura 29. Experimento de suelo cohesivos.

Fuente: Tomada de (NTP 339.131, 2019), (MTC E 113, 2016)

4.7.2. Gabinete

4.7.2.1. Parámetros y características de la geomalla

Tabla 7. Tipo y especificaciones de la geomalla.

Propiedades de la geomalla a utilizarse			
	Definición	Interpretación	Datos
		Tipo Refuerzo	UX-100
Material 01	Resis. Ult. Tensión	Tult	115.00 KN/m
	Coef. Interacción	Ci	1.09
		Tipo Refuerzo	UX-135
Material 02	Resis. Ult. Tensión	Tult	135.00 KN/m
	Coef. Interacción	Ci	1.09

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

4.7.2.1.1. Factor de reducción total (FRT) y resistencia permisible de la geomalla (T_{adm})

$$FR_T = FR_{DI} * FR_{CR} * FR_{DQ}$$

$$T_{adm} = \frac{T_{ult}}{FS * FR_T}$$

Donde:

FR_T : Factor reductible total.

FR_{DI} : Factor reductible por perjuicios en la fundación

FR_{CR} : Factor - Creep.

FR_{DQ} : Factor de durabilidad (deterioros por agresiones químicas).

T_{adm} : Resistencia permisible del geomaterial.

T_{ult} : Resistencia ultima a la tensión

FS : Factor de durabilidad para geomallas, se considera 1.5.

4.7.2.1.2. Coeficiente activa (K_a) y coeficiente lateral (K_r) – Rankine

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi_b}{2} \right)$$

$$K_r = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi_r}{2} \right)$$

Donde:

K_a : Coeficiente activa.

ϕ_b : Angulo de fricción del relleno ponderado.

K_r : Coeficiente lateral.

ϕ_r : Angulo de fricción del material reforzado

4.7.2.1.3. Presiones verticales (σ_v) y presiones laterales (σ_H)

Las presiones son los resultados de la carga del material, consecutivamente cubierta del material reforzado a lo cual designamos material de relleno con sobrecargas asistentes.

$$\sigma_{V1} = \gamma_r * z + q \quad \wedge \quad \sigma_{V2} = \gamma_r * z$$

$$\sigma_H = \sigma_{V1} * K_r$$

Donde:

σ_{V1}, σ_{V2} : Presiones verticales.

γ_r : Peso específico del material reforzado.

z : Altura de desplante requerido.

q : Sobrecarga

σ_H : Presiones laterales.

K_r : Coeficiente lateral de presión del material.

4.7.2.2. Idealización de la estabilidad interna del MSR estático

En algunos casos, la fuerza de tracción excede la resistencia al arranque, lo que constituye fallas mucho más frecuentes en muros de suelo reforzado, estabilizados mecánicamente.

Tabla 8. Valores de seguridad por la estabilidad interna.

Estabilidad interna	
Resistencia al pull-out	FS \geq 1.5
Estabilidad interna para muros	FS \geq 1.3

Nota: Tomada de Geomatrix, 2024.

4.7.2.2.1. Espaciamiento entre capas (S_v) y tracción máxima ($T_{m\acute{a}x}$)

$$S_v = \frac{T_{adm} * C_i}{\sigma_H}$$

$$T_{max} = \sigma_H * S_v$$

Donde:

S_v : Espaciamiento entre capas.

σ_H : Presiones laterales.

T_{max} : Tracción máxima.

T_{adm} : Resistencia a la tensión admisible.

C_i : Coeficiente de trabajo entre el material (suelo) y la geomalla.

4.7.2.2.2. Falla por poullout o separación (L_e) y longitud de capa (L_G) de la geomalla

$$L_e \geq \frac{1.5 * T_{max}}{C * F * \sigma_{v2} * R_c * \alpha} \geq 1m$$

$$L_G = L_e + L_R + L_o + L_v$$

Donde:

L_e : Arrancamiento o Pullout.

T_{max} : Tensión máxima reforzada

C : Perímetro efectivo para geomallas valor de 2.

F : Resistencia a la extracción para geomalla se toma el valor de $0.8 \tan \phi_r$.

σ_{v2} : Presión vertical conformada por z.

R_c : Relación de cobertura para geomalla se toma el valor de 1.

α : Corrección a escala para geomallas se considera 0.8.

L_G : Distancia de la capa.

L_e : Distancia de empotramiento.

L_R : Distancia de geometría.

L_o : Distancia de la doblez superior.

L_v : Desviamiento vertical entre capas.

4.7.2.2.3. Falla por elongación o rompimiento de la geomalla

$$T_{max} \leq T_{adm} * R_c$$

Donde:

T_{max} : Grieta por elongación del geomaterial.

T_{adm} : Resistencia a la tensión admisible

Rc : Relación de cobertura para geomalla se toma el valor de 1.

4.7.2.3. Determinación de cargas sísmicas-diseño pseudoestático

La fuerza del terremoto produce una fuerza de inercia horizontal "Pi" y una fuerza estática. Esta fuerza se puede incrementar aumentando la dinámica, aumentando así la tensión del refuerzo.

4.7.2.3.1. Aceleración máxima (A_m) y peso activo (W_A)

$$A_m = (1.45 - A) * A$$

$$W_A = 0.5H^2 \tan\left(45^\circ - \frac{\phi_r}{2}\right) * \gamma_r$$

Donde:

W_A : Peso total de la zona activa.

H : Altura del MSR.

γ_r : Peso específico del material reforzado.

ϕ_r : Angulo de fricción del material reforzado.

A_m : Coeficiente en el baricentro máxima.

A : Aceleración máxima del suelo.

4.7.2.3.2. Fuerza inercial (PI) e incremento dinámico (Tmd)

$$P_I = A_m * W_A$$

$$T_{md} = P_I \left(\frac{L_{ei}}{\sum_{i=n}^n (L_{ei})} \right)$$

Donde:

P_I : Fuerza inercial.

W_A : Peso de la zona activa.

T_{md} : Incremento dinámico.

Am : Coeficiente en el baricentro máxima.

L_{ei} : Arrancamiento final.

4.7.2.3.3. Longitud del refuerzo poullout (L_e)

$$L_e \geq \frac{1.5 * 0.75 T_{total}}{C * 0.8F * \sigma_v * Rc * \alpha} \geq 1m$$

Donde:

L_e : Longitud del refuerzo poullout.

C : Perímetro efectivo para geomallas valor de 2.

F : Resistencia a la extracción para geomalla se toma el valor de $0.8 \tan \phi_r$.

R_c : Relación de cobertura para geomalla se toma el valor de 1.

α : Corrección a escala para geomallas se considera 0.8.

σ_v : Presión vertical conformada por z .

T_{total} : Tensión total de refuerzo Psedoestatica.

4.7.2.3.4. Ruptura en la geomalla por cargas de sismo estático y dinámico

$$T_{m\acute{a}x} \leq \frac{T_{ult_{rs}} * Rc}{0.75 * FS * FR_T}$$

$$T_{md} \leq \frac{T_{ult_{rt}} * Rc}{0.75 * FS * FR_{DQ} * FR_{DI}}$$

Donde:

$T_{m\acute{a}x}$: Resistencia máxima estática.

T_{md} : Resistencia componente dinámico.

$T_{ult_{rs}}$: Resistencia del módulo estático de la sobrecarga.

$T_{ult_{rt}}$: Resistencia del módulo dinámico de la sobrecarga.

R_c : Relación de cobertura para geomalla se toma el valor de 1.

FR_T : Factor de reducción total.

FR_{DI} : Factor reducible por perjuicios en la fundación

FR_{DQ} : Factor de durabilidad (deterioros por agresiones químicas).

FS : Factor de durabilidad para geomallas, se considera 1.5.

4.7.2.4. Control de la estabilidad externa del MSR

En esta parte del proyecto investigativo es muy importante, de aquí responderemos las condiciones de operacionalización de variables mencionados en la tabla 5, examinaremos la estabilidad de los muros de tierra arriostrados mecánicamente y comprobaremos si estos valores son mayores o iguales a los de seguridad que se indican a continuación como los (FSD) Y (FSCC). Factores según las condiciones evaluadas de la tabla 3 y 4 mencionadas en el capítulo del marco teórico.

4.7.2.4.1. Factor de seguridad al deslizamiento (FSD)

$$FS_{(Deslizamiento)} = \frac{\sum F_R}{F_o} \geq (FS * 0.75)$$

$$FS_{(Deslizamiento)} = \frac{(V_1 + V_2) * \tan \phi_f}{E_{s/c} + E_a + P_{IR} + 50\% * P_{AE}} \geq (FS * 0.75)$$

Donde:

$FS_{(Deslizamiento)}$: Factor de seguridad al deslizamiento.

F_R : Fuerza resistente.

F_o : Fuerza deslizante.

V_1, V_2 : Fuerza deslizante.

ϕ_f : Fuerza deslizante.

$E_{s/c}$: Fuerza horizontal por sobrecarga.

E_a : Fuerza horizontal activa de Rankine.

P_{IR} : Fuerza de inercia horizontal.

P_{AE} : Empuje sísmico.

4.7.2.4.2. Factor de seguridad a la capacidad de carga (FSCC)

$$FS_{(Cap. de carga)} = \frac{\sum \sigma_{ult}}{\sigma_{apli}} \geq (FS * 0.75)$$

$$\sigma_{ult} = C_f * N_c + \frac{1}{2} * \gamma_f * B * N_\gamma \quad \wedge \quad \sigma_{aplic} = \frac{\sum Fv}{L - 2 * e}$$

$$N_q = e^{\pi * \tan(\phi_f)} * \tan^2\left(45^\circ - \frac{\phi_f}{2}\right); N_c = \frac{(N_q - 1)}{\tan\phi_f}; N_\gamma = 2 * (N_q + 1) * \tan\phi_f$$

Donde:

$FS_{(Cap. de carga)}$: Factor de seguridad a la capacidad de carga.

σ_{apli} : Presión aplicable.

σ_{ult} : Presión última.

C_f : Cohesión del material fundado.

γ_f : Peso específico material fundado.

B : Ancho efectivo se evalúa de la forma $L - 2e$.

Fv : Fuerzas Verticales.

L : Longitud del MSR.

e : Excentricidad.

ϕ_f : Angulo de fricción interna del material en fundación.

N_q, N_c, N_γ : Componentes de capacidad de carga.

4.7.2.5. Análisis tensión - deformación (ATD)

También por este lado del proyecto investigativo es muy importante, de aquí responderemos las evaluaciones de las condiciones de operacionalización de las variables mencionados en la tabla 5 con respecto al análisis de tensión-deformación definida en la base teoría del capítulo II, ítem 2.2.1. Análisis numérico por el método de elementos finitos, examinaremos la estabilidad de los muros de tierra arriostrados mecánicamente y comprobaremos estos valores en el Software Plaxis 2D.

4.7.2.5.1. Esfuerzo - principio de trabajo virtual

En esta parte se recapitula nuevamente la formulación de principio de trabajo virtual, lo cual se obtiene mediante la modelación y observación numérica de elementos finitos aplicado con Plaxis 2D.

$$\delta G_{ext} = \int_{\Omega} (\nabla \delta)^T \sigma + \delta \varepsilon^T (\sigma(\varepsilon) - \sigma) + \delta \sigma^T (\nabla u - \varepsilon) d\Omega$$

Donde:

δG_{ext} : Trabajo virtual debido a fuerza externa, y los demás valores ya mencionados en el ítem 2.2.1.2. Ecuaciones.

4.7.2.5.2. Desplazamientos generados por tensión – deformación

Se indica el método de cálculo del desplazamiento máximo de las paredes del MSR. Los desplazamientos verticales debidos a cargas de tensión de la pared se calcularán utilizando el método AASHTO también hace referencia a esta norma ya que el Plaxis 2D no representa tan severo los resultados.

$$\delta_{vmax} = \frac{L_m}{200}$$

Donde:

δ_{vmax} : Desplazamiento vertical máximo.

L_m : Longitud del muro.

Finalmente se procesará los datos obtenidos por ensayos y técnicos para su análisis.

4.7.3. Elaboración de informe

- a) Producción del marco teórico.
- b) Producción del marco metodológico.
- c) Composición de los resultados.
- d) Discusiones, conclusiones y recomendaciones.
- e) Anexos

4.8. Validez y confiabilidad del instrumento de investigación

4.8.1. Validez mediante tres ingenieros expertos

Según Relloso (2021), la eficacia se refiere a la calidad en que un instrumento demuestra el análisis específico de medición, interpretando como medición al concepto o variable que se está midiendo.

Tabla 9. Rangos y Magnitudes de validez.

Rangos	Magnitud
0.53 a menos	Validez nula
0,54 a 0.59	Validez baja
0,60 a 0.65	Validez
0,66 a 0.71	Muy válida
0,72 a 0.99	Excelente validez
1.00	Validez perfecta

Nota: Tomada de Herrera, 1998.

Por lo tanto, se contratará a 3 ingenieros expertos en el campo de la geotecnia

estructural y pavimentos para validar la herramienta de recolección de datos para este estudio según su propio criterio, representando el grado de validez promedio de tres.

Tabla 10. Validación de esfuerzos.

N°	Validador	Porcentaje	Valor
1	Hidalgo Solis Ederson Eddie	83%	0.83
2	Carbajal Leandro Ysaac Miguel	78%	0.78
3	Huidobro Nieto Elvis Alex	88%	0.88

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

4.8.2. Confiabilidad

De acuerdo con Vásquez (2020), la confiabilidad instrumental de medición es la calidad en que engendra los equivalentes resultados cada vez que se aplica a la propia persona u objeto.

Tabla 11. Rangos y Magnitudes de Confiabilidad.

Intervalo al que pertenece el coeficiente alfa de Cronbach	Valoración de la fiabilidad de los ítems analizados
0;0,5	Inaceptable
0,5;0,6	Pobre
0,6;0,7	Débil
0,7;0,8	Aceptable
0,8;0,9	Bueno
0,9;1	Excelente

Nota: Tomada de Vásquez, 2020.

4.9. Métodos de análisis de datos

Tradicionalmente, la indagación se basa en diferentes tipos de archivos para recopilar información de fuentes y datos específicos; las computadoras comenzaron a cambiar todo el formato de la investigación creando, moviendo, cortando y pegando archivos para recopilar datos más rápido. (Baena Paz, 2017 pág. 122).

Para sentenciar la recopilación de datos de laboratorio y su respectivo análisis numérico, aplicamos el programa Microsoft Excel y Plaxis 2D con el propósito de concretar una mejor estadística en los cuadros, consecutivamente los gráficos, además se aplicó del

programa SPSS, para correlacionar el análisis paramétrico y los coeficientes de dichos resultados.

- Elaboración de la matriz de antecedentes
- Cálculo de los indicadores del instrumento
- Comprobación de las muestras
- Construcción del instrumento
- Establecimiento de las unidades de observación
- Recopilación y procesamiento estadístico de datos evaluados

4.10. Aspectos éticos

En la investigación se veneró apropiadamente las citas y referencias bibliográficas de sitios de exploración académica, consonante al reglamento establecido por la Universidad Peruana los Andes; conjuntamente no presenta copia o plagio.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1. Descripción del diseño tecnológico

La investigación "ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO, ACOBAMBA, HUANCVELICA – 2023", es un sistema informático dimensionado específicamente para realizar análisis numérico. Aquí hay una posible descripción del diseño tecnológico: El sistema consta de interfaces de usuario intuitivos que permiten a los ingenieros ingresar parámetros relevantes del estudio, como las dimensiones de los muros de tierra reforzada, las características del suelo, las sobrecargas aplicadas y otros datos relevantes.

El interfaz de análisis con resultados comienza con el dimensionamiento óptimo de MSR lo cual indica las dimensiones relevantes de diseño, análisis de estabilidad externa (Factor de seguridad al deslizamiento y Factor de seguridad de capacidad de carga) y posteriormente la estimación de la discretización del MSR en una malla aplicado por elementos finitos modelados en el software Plaxis 2D. Aquí se aplicó los contextos de medio y se simulación de las cargas externas para modelar el comportamiento del sistema bajo diferentes escenarios. El software empleo métodos numéricos de ecuaciones de equilibrio y calculo las deformaciones, tensiones y otros parámetros relevantes en cada elemento de la malla. Una vez completado el análisis, el sistema presento los resultados de manera clara y concisa, incluyendo gráficos, tablas y visualizaciones 3D que ayudaran a los ingenieros a evaluar la eficacia y la seguridad del diseño del MSR.

Además, el software realizó optimizaciones automáticas o asistidas por nosotros, encontrando las dimensiones óptimas del muro cumpliendo los requerimientos de resistencia y estabilidad.

5.2. Descripción de la zona de estudio

5.2.1. Descripción del estudio

Se realizó en la proyección de la carretera que interseca entre los distritos de Mayunmarca y Andabamba con progresivas (KM 33+690.00 - KM 33+850.00KM), que es conocida como la zona Mayhuaccacca, donde se identificaron zonas críticas, determinando un perímetro de área de influencia de estudio del material in situ de suelos intencionalmente a la verificación de estabilidad de talud.

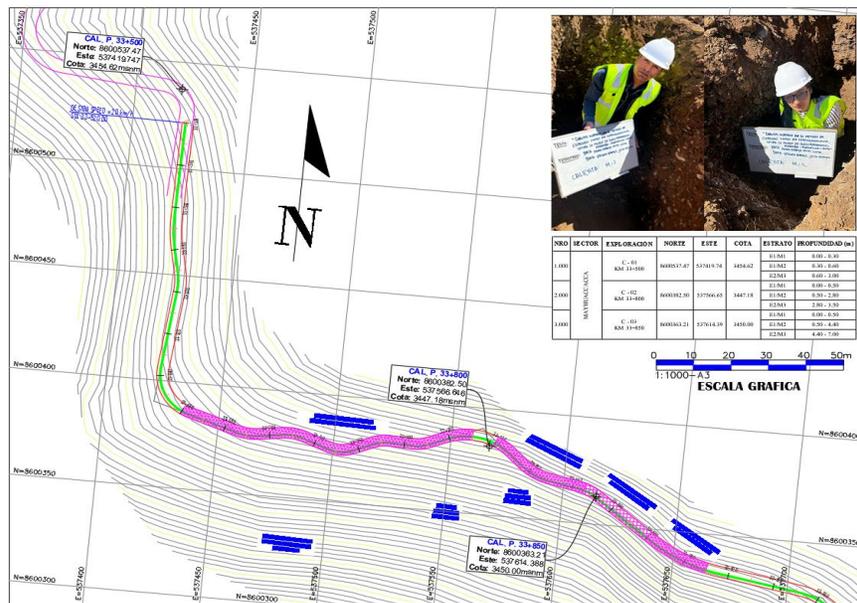


Figura 30. Plano de ubicación de calicatas, escala grafica 1/1000.

Fuente: Elaboración propia “CIVIL 3D,” zona de influencia, 2024.

Mayunmarca geográficamente se encuentra ubicado en la sierra central, los escenarios climáticos también varían en toda el área estudiado íntegro a diferencias significativas en altitud y ubicación geográfica. Debido a la diferencia de altitud, las zonas

más bajas del Valle del Mantaro pueden tener un clima cálido y seco, mientras que las zonas más altas (como Paucara) tiene un clima frío y húmedo.

5.2.2. Accesibilidad a la zona de estudio

El camino hacia el área de estudio se realizó según las rutas descritas en la tabla 12, conectando principalmente con la capital de la región (Huancavelica), la capital del departamento de Acobamba y la provincia, utilizando las siguientes rutas: Ruta Nacional. PE-3SD (Pista Aprobada), PE-3S (Pista Reforzada), Ruta Vecinal HV-501 (Pista Aprobada), Ruta Departamental HV.

Tabla 12. Accesibilidad al área de estudio.

Ruta	Trayectoria
	Ruta N°01 / Huancayo - Ampurhuay. Mayhuaccacca
PE-3S y PE 26B	Huancayo - Huayucachi - Izcuchaca – La Mejorada - Emp HV-501 (Dv. La Mejorada) – Ampurhuay – Mayhuaccacca.

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

El proceso de accesibilidad permitió obtener las cuantificaciones geotécnicas oportunos al terreno natural y al relleno a utilizar.

5.2.3. Ubicación de calicatas

Durante la investigación del terreno se excavaron fosas para determinar cuantificaciones características geotécnicos convenientes al relieve natural y relleno estructural del área de investigación. Adjuntamos una tabla con la ubicación de los pozos en el área de Mayhuaccacca. (zona de estudio).

Tabla 13. Ubicación de calicatas, coordenadas UTM.

Sector	Calicatas	Norte	Este	Cota
Mayhuaccacca	C - 03 KM 33+690	8600537.47	537419.74	3454.62
	C - 02 KM 33+800	8600382.5	537566.65	3447.18
	C - 01 KM 33+850	8600363.21	537614.39	3450

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

Se demuestran los valores obtenidos de exploración de las calicatas en la tabla 14, tipo de estrado, profundidad, espesor y tipo de suelo o roca.

Tabla 14. Datos de las calicatas.

C	Sector	Exploración	Estrato/Muestra	Profundidad (m)	Espesor	Tipo de suelo o roca
1		C - 03 KM 33+690	E1/M1	0.00 - 0.30	0.30	Terreno de cobertura orgánica
			E1/M2	0.30 - 0.60	0.30	Terreno de grava arcillosa
			E2/M3	0.60 - 3.00	2.40	Traquita (roca volcánica)
2	Mayhuaccacca	C - 02 KM 33+800	E1/M4	0.00 - 0.50	0.50	Terreno de cobertura orgánica
			E1/M5	0.50 - 2.80	2.30	Terreno de grava arcillosa
			E2/M6	2.80 - 3.50	0.70	Marga (roca sedimentaria)
3		C - 01 KM 33+850	E1/M7	0.00 - 0.50	0.50	Terreno de cobertura orgánica
			E1/M8	0.50 - 4.40	3.90	Terreno de grava arcillosa con arena
			E2/M9	4.40 - 7.00	2.60	Marga (roca sedimentaria)

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

En la tabla 14 se observa los tipos de suelos o rocas que se analizó en situ, según su profundidad y espesor por cada calicata y muestra representada.

Tabla 15. Parámetros geotécnicos del terreno natural y del refuerzo.

Exploración	Suelo de Fundación (Terreno natural)			Cohesión C		P. U. natural (KN/m3)	P. U. saturado (KN/m3)
	AASHTO	Clas. (SUSC)	Ang. de Fricción (°)	Kg/cm2	KN/m2		
C - 03 KM 33+690	A-2-4 (0)	GC	28.00	0.02	1.96	26.50	26.50
C - 02 KM 33+800	A-2-4 (0)	GC	29.10	0.01	0.98	26.70	26.70
C - 01 KM 33+850	A-2-4 (0)	GC	28.40	0.02	1.96	26.70	26.70
C - 04	A-4	SG	33.20	0.04	4.00	19.30	19.30

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

En la tabla 15 se observa valores obtenidos por los ensayos en laboratorio realizado, amplificando según la norma estipulada de las calicatas C – 01, C – 02 y C – 03 y C – 04 tomada referencia de una cantera cercana.

5.2.4. Parámetros geotécnicos de diseño

El dimensionamiento del muro de suelo reforzado se efectuó mediante el modelamiento en el software Plaxis 2D. Por ende, se determinaron los siguientes parámetros geotécnicos del terreno, del relleno estructural y de la geomalla biaxial a usarse.

Tabla 16. Parámetros usados para el modelamiento en Plaxis 2D.

Parámetros usados para el modelamiento en Plaxis 2D							
Datos para muro de suelo reforzado		C - 02	C - 04	C - 01	C - 04	C - 03	C -04
		(MSR) - Critico H=10m		(MSR) - Moderado H=7m		(MSR) - Moderado H=5m	
Tipo de materiales		Suelo de Fundación (Terreno natural)	Suelo Reforzado (Relleno)	Suelo de Fundación (Terreno natural)	Suelo Reforzado (Relleno)	Suelo de Fundación (Terreno natural)	Suelo Reforzado (Relleno)
Tipo de suelo (clasificación SUSC)		GC	SG	GC	SG	GC	SG
Tipo de suelo (AASHTO)		A-2-4	A-4	A-2-4	A-4	A-2-4	A-4
Modelo del material		Morh-Coulomb	Morh-Coulomb	Morh-Coulomb	Morh-Coulomb	Morh-Coulomb	Morh-Coulomb
Módulo de Young (Eref.)	(KN/m2)	198479	108873	198479	108873	198479	108873
v poisson	v	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
PE seco	(KN/m3)	26.70	19.30	26.7	19.3	26.5	19.3
PE saturado	(KN/m3)	26.70	19.30	26.7	19.3	26.5	19.3
Cohesión	(KN/m2)	0.98	4.00	1.96	4	1.96	4
Angulo de fricción	°	29.10	33.20	28.40	33.2	28.00	33.2
Angulo de dilatación	°	0.00	0	0	0	0	0
Tipo de materiales		TM	Drenado	Drenado	Drenado	Drenado	Drenado
Coefficiente de permeabilidad Kx	m/día	1	1	1	1	1	1
Coefficiente de permeabilidad Ky	m/día	1	1	1	1	1	1

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

En la tabla 16 se muestra los parámetros usados para el análisis de elementos finitos del dimensionamiento de MSR mediante el modelamiento en el software Plaxis 2D. Aquí se representa las variables de acuerdo a la exploración de calicatas, en esta oportunidad se eligió la calicata (C – 02) del KM 33+800, el cual representaba su talud la zona más crítica de todas condicionando un muro de H=10 m de altura y un ancho de L=9.50 m de longitud transversal.

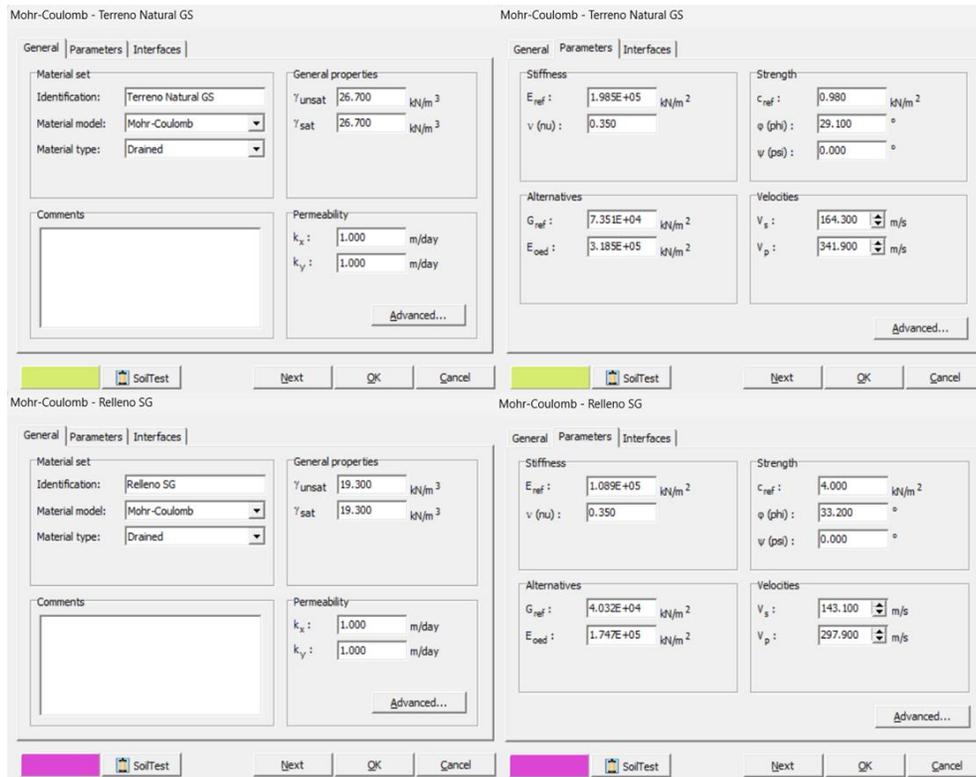


Figura 31. Parámetros usados de materiales tomados y aplicados en Plaxis 2D.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.

Tabla 17. Parámetros usados para el dimensionamiento óptimo de MSR.

Propiedades Geotécnicas de los Suelos				
TS	Peso Unitario γ (KN/m ³)	Angulo de Fricción ϕ (°)	Cohesión Cf (KN/m ²)	Calicata
Suelo Retenido	$\gamma_f=26.70$	$\phi_f=29.10$		C - 02 KM
Suelo de fundación	$\gamma_b=26.70$	$\phi_b=29.10$	Cf=0.98	33+800
Suelo Reforzado	$\gamma_r=19.30$	$\phi_r=33.20$	Cf=4.00	C - 04

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

En la tabla 17 se muestra las propiedades geotecnicas de los suelos usados para el análisis de elementos finitos del dimensionamiento del MSR mediante el modelamiento en el software Plaxis 2D. Se idealiza propiedades y las variables de acuerdo a la exploración de calicatas, pesos específico angulo de fricción y cohesión, el cual representaba su talud la zona más crítica de todas condicionando un muro de H=10m de altura y un ancho de L=9.50m de longitud transversal.

5.2.5. Propiedades de geomalla de diseño

Las geomallas uniaxiales para el dimensionamiento y análisis de estabilidad de MSR fueron tomadas de Geomalla UX-GEOMATRIX, que tienen valores de resistencia a la tensión: Para UX-100 tiene un Tult de 100 KN/m y para UX-135 tiene un Tult de 135 KN/m, cada uno con su coeficiente de interacción como se interpreta en la tabla 18.

Tabla 18. Parámetros de geomaterial utilizado en el modelamiento en Plaxis 2D.

Propiedades de la Geomalla a utilizarse			
Definición	Interpretación	Datos	
	Tipo Refuerzo	UX-100	
Material 01	Resis. Ult. Tensión	Tult	115.00 Kn/m
	Coef. Interacción	Ci	1.09
	Tipo Refuerzo	UX-135	
Material 02	Resis. Ult. Tensión	Tult	135.00 Kn/m
	Coef. Interacción	Ci	1.09

Nota: Tomada de Geomalla UX-GEOMATRIX, 2024.

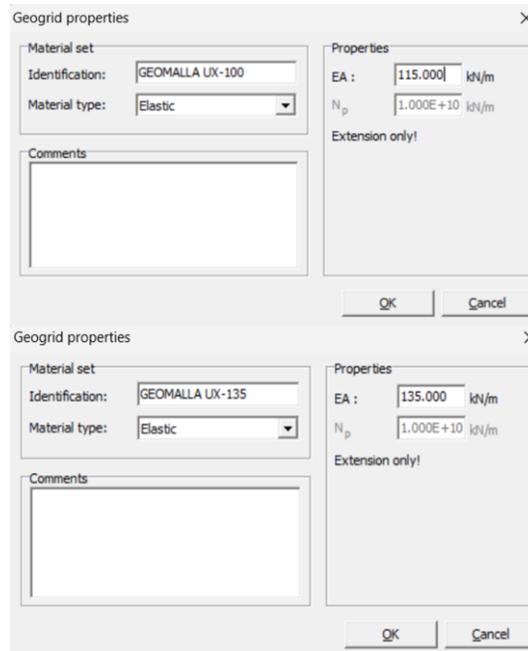


Figura 32. Parámetros de geomallas aplicados en Plaxis 2D.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.

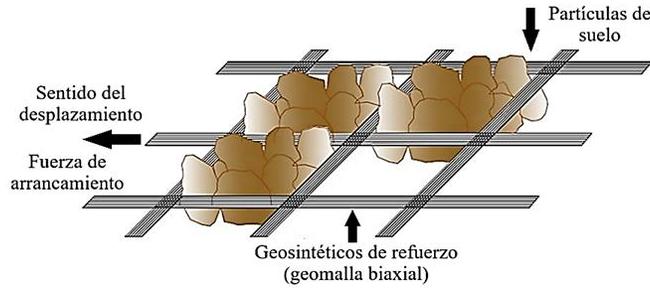


Figura 33. Transferencia de esfuerzos por resistencia UX-100 y UX-135.
Fuente: Tomada de (Fuentes Andrade, y otros, 2014 pág. 5).

Tabla 19. Factores de reducción para FORTEX.

Factores de Reducción			
Fac. Creep	FRcr :		1.58
Fac. Durabilidad	FRdq :		1.30
Fac. Daños I.	FRdi :		1.30

Nota: Tomada de Geomalla UX-GEOMATRIX, 2024.

5.2.6. Geometría del muro

La geometría del MSR se dimensiono utilizando relleno estructural y geomallas uniaxiales, donde el fondo marrón es el terreno natural, el fondo rosa es el relleno estructural y las líneas multicolores es la geomalla uniaxial.

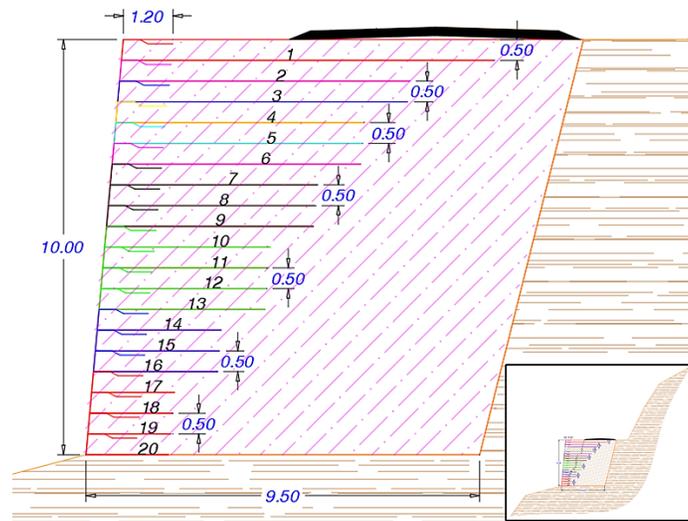


Figura 34. Geometría del muro de suelo reforzado en AutoCAD 2D.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.

En la figura 34 se muestra la H=10 m del muro con sección de L=9.50 m con espaciamento entre Capas o Separación Vertical (Sv) de 0.50m.

5.2.7. Sobrecarga

Para el diseño se consideró dos tipos de sobrecarga, ya que representa un acceso de vehicular en la zona de estudio. (Allen, y otros, 2001) menciona que cualquier carga adicional estimado sin haber realizado un estudio previo vehicular se considera valores próximos típicos considerados en muros de suelo de refuerzo (MSR), las piscina, parques, caminos entre otros se considera como sobrecargas ligeras diseñadas en 100 lb/pie² es decir 4.7 KN/m², mientras que las sobrecargas comerciales pesados como el paso de camiones se considera una sobrecarga de 250 lb/pie² es decir 12.4 KN/m²; para este estudio se consideró una sobrecarga comercial (pág. 4).

Por otro lado, se consideró sobrecarga de nieve sobre el suelo, ya que representa una zona con porcentajes de estimación de nieve en fechas irregulares. Según (Sencico, 2020) en el artículo 11, ítem 11.2: la carga de nieve mínima especificada para su uso es de 40 kg.f/m², lo que corresponde a 0,40 m de nieve fresca con una densidad de 1.00 kN/m³ (100 kgf/m³) o 0,20 m de nieve compactada con una densidad de 2.00 kN/m³ (200 kgf/m³)) (pág. 18).

Tabla 20. Carga mínima debido estudios no profundos.

Sobrecargas mínimas incorporadas			
20.88543 lb/ft ² es a 1 KN/m ²			
Carga vehicular	Valor (lb/ft ²)	kN/m ²	kN/m ²
	250	11.97006717	12.00
20.88543 lb/ft ² es a 1 KN/m ²			
Carga de nieve	Valor (kg/m ²)	kN/m ²	kN/m ²
	40	0.392266	0.400
Total			12.40 KN/m ²

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

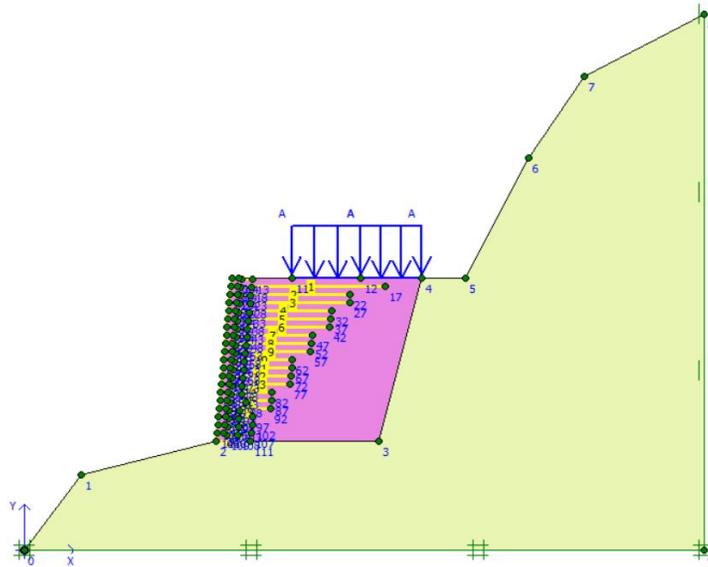


Figura 35. Geometría del muro de suelo reforzado en Plaxis 2D.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.

La geometría del MSR en Plaxis 2D, se dimensiono con un relleno estructural y dos tipos de geomalla uniaxiales, donde el fondo crema es el terreno natural (Fundación), el área rosa es el relleno estructural (Reforzado) y el amarillo es la geomalla uniaxial utilizada en el diseño.

5.3. Dimensionamiento óptimo de muros de suelo reforzado

Como se explicó en los capítulos teóricos acerca del dimensionamiento óptimo de MSR, es sustentable los datos que se demuestran en las tablas.

5.3.1. Factor de reducción total (FRT) y resistencia permisible de la geomalla (Tadm)

Tabla 21. Parámetros de diseño para la geomalla uniaxial y factor de reducción.

Valores calculados (FRT) y (Tadm)		
<i>FRT</i>	2.6702	Red. total
Tadm	28.71 KN/m	UX - 100
Tadm	33.71 KN/m	UX - 135

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

En la tabla 21 se muestra los valores calculados para el factor de reducción total 2.6702, y de la misma forma valores esperados por la resistencia permisible de la geomalla

(Tadm): para material N°01 UX – 100 se estimó de 28.71 KN/m y para el material N°02 UX – 135 de 33.71 KN/m.

5.3.2. Esfuerzos en el muro de suelo reforzado

5.3.2.1. Coeficiente activa (Ka) y coeficiente lateral (Kr) – Rankine

Tabla 22. Evaluación de coeficientes según Rankine.

Coeficiente activa y lateral de Rankine	
Ka	0.34
Kr	0.29

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

En la tabla 22 se idealiza valores para el coeficiente activo de Rankine $K_a=0.35$ y para el coeficiente de lateral de Rankine $K_r=0.29$.

5.3.2.2. Presiones verticales (σ_v) y presiones laterales (σ_H)

Según el razonamiento de esfuerzo máximo, ejecutamos los siguientes cálculos suponiendo valores para un tercer orden o ecuaciones paramétricas.

$$\sigma_{v1} = \gamma_r * z + q$$

$$\sigma_{v1} = 19.30KN/m * z + 12.40Kn/m^2$$

Posteriormente se consideró el criterio de arrancamiento, suponiendo de misma forma o orden de esfuerzo máximo.

$$\sigma_{v2} = \gamma_r * z$$

$$\sigma_{v2} = 19.30KN/m * z$$

Y finamente calculamos las presiones laterales utilizando lo extenso de la posible línea de falla.

$$\sigma_H = K_r * \gamma_r * z + q * K_r$$

$$\sigma_H = 5.64 * z + q * 3.63$$

5.3.3. Evaluación de la estabilidad interna del MSR

5.3.3.1. Espaciamiento entre capas (Sv)

$$S_V = \frac{T_{adm} * C_i}{\sigma_H}$$

Tabla 23. Espaciamiento vertical entre capas de geomalla.

Espaciamiento entre capas o separación vertical			
Capa (Superior)	Z (m)	Sv cal. (m)	Sv (m)
20	0.50	4.85	0.50
19	1.00	3.37	0.50
18	1.50	2.58	0.50
17	2.00	2.09	0.50
16	2.50	1.76	0.50
15	3.00	1.5	0.50
14	3.50	1.33	0.50
13	4.00	1.19	0.50
12	4.50	1.07	0.50
11	5.00	0.98	0.50
10	5.50	0.90	0.50
9	6.00	0.83	0.50
8	6.50	0.77	0.50
7	7.00	0.72	0.50
6	7.50	0.68	0.50
5	8.00	0.64	0.50
4	8.50	0.60	0.50
3	9.00	0.57	0.50
2	9.50	0.54	0.50
1	10.00	0.52	0.50

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

En la tabla 23 se verifica los espaciamientos entre capas consignadas por una altura de muro H=10 m, evaluadas a por cada espacio de profundidad z, se observa que a cada integración de capa según el incremento de desplante la estabilidad es continua.

5.3.3.2. Fuerzas de tracción máxima (T_{máx})

$$T_{max} = \sigma_H * S_v$$

Se ha determinado fuerzas actuantes por tracción máxima entre cada espacio de capas, esto idealiza a una correcta distribución de Tracción.

Tabla 24. Tracción máxima.

Fuerzas de tracción máxima en las capas de refuerzo			
Capa	Z (m)	Sv (m)	Tmax (KN/m)
20	0.50	0.50	3.22
19	1.00	0.50	4.63
18	1.50	0.50	6.04
17	2.00	0.50	7.46
16	2.50	0.50	8.87
15	3.00	0.50	10.28
14	3.50	0.50	11.69
13	4.00	0.50	13.10
12	4.50	0.50	14.51
11	5.00	0.50	15.92
10	5.50	0.50	17.33
9	6.00	0.50	18.74
8	6.50	0.50	20.15
7	7.00	0.50	21.56
6	7.50	0.50	22.97
5	8.00	0.50	24.38
4	8.50	0.50	25.79
3	9.00	0.50	27.20
2	9.50	0.50	28.61
1	10.00	0.50	30.02

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

5.3.3.3. Falla por poullout o separación de la geomalla

La longitud efectiva de refuerzo a la extracción solicitada se estableció debido a la manipulación de la sucesiva ecuación.

$$L_e \geq \frac{1.5 * T_{max}}{C * F * \sigma_{v2} * R_c * \alpha} \geq 1m$$

De la misma forma se evaluó la longitud geométrica que emplazo las limitaciones de longitud estable.

$$L_R = (H - z) * \tan\left(45^\circ - \frac{\phi_r}{2}\right)$$

Finamente se determinó longitud de la capa de geomalla UX – 100 y UX – 135.

$$L_G = L_e + L_R + L_o + L_v$$

Tabla 25. Evaluación de la longitud de refuerzo.

Longitud del refuerzo resistente al arrancamiento o Pullout.						
Capa	Z (m)	Sv (m)	Tmax (KN/m)	Le cal. (m)	Le min. (m)	Le (m)
20	0.50	0.50	3.22	1.22	1.00	1.22
19	1.00	0.50	4.63	0.88	1.00	1.00
18	1.50	0.50	6.04	0.76	1.00	1.00
17	2.00	0.50	7.46	0.71	1.00	1.00
16	2.50	0.50	8.87	0.67	1.00	1.00
15	3.00	0.50	10.28	0.65	1.00	1.00
14	3.50	0.50	11.69	0.63	1.00	1.00
13	4.00	0.50	13.10	0.62	1.00	1.00
12	4.50	0.50	14.51	0.61	1.00	1.00
11	5.00	0.50	15.92	0.60	1.00	1.00
10	5.50	0.50	17.33	0.60	1.00	1.00
9	6.00	0.50	18.74	0.59	1.00	1.00
8	6.50	0.50	20.15	0.59	1.00	1.00
7	7.00	0.50	21.56	0.58	1.00	1.00
6	7.50	0.50	22.97	0.58	1.00	1.00
5	8.00	0.50	24.38	0.58	1.00	1.00
4	8.50	0.50	25.79	0.57	1.00	1.00
3	9.00	0.50	27.20	0.57	1.00	1.00
2	9.50	0.50	28.61	0.57	1.00	1.00
1	10.00	0.50	30.02	0.57	1.00	1.00

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

Tabla 26. Determinación de la longitud de refuerzo.

Longitud geométrica (LR)				
Capa	Z (m)	Sv (m)	LR cal. (m)	LR (m)
20	0.50	0.50	5.14	5.14
19	1.00	0.50	4.87	4.87
18	1.50	0.50	4.60	4.60
17	2.00	0.50	4.33	4.33
16	2.50	0.50	4.06	4.06
15	3.00	0.50	3.78	3.78
14	3.50	0.50	3.51	3.51
13	4.00	0.50	3.24	3.24
12	4.50	0.50	2.97	2.97
11	5.00	0.50	2.70	2.70
10	5.50	0.50	2.43	2.43
9	6.00	0.50	2.16	2.16
8	6.50	0.50	1.89	1.89
7	7.00	0.50	1.62	1.62
6	7.50	0.50	1.35	1.35
5	8.00	0.50	1.08	1.08
4	8.50	0.50	0.81	0.81
3	9.00	0.50	0.54	0.54
2	9.50	0.50	0.27	0.27
1	10.00	0.50	0.00	0.00

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

Tabla 27. Longitud total de las geomallas.

Determinar la longitud de las capas de geomallas.						
Capa	Z (m)	Sv (m)	Le (m)	LR (m)	Lo (m)	LG (m)
20	0.50	0.5	1.22	5.13	1.20	8.06
19	1.00	0.5	1.00	4.86	1.20	7.57
18	1.50	0.5	1.00	4.59	1.20	7.30
17	2.00	0.5	1.00	4.32	1.20	7.03
16	2.50	0.5	1.00	4.05	1.20	6.76
15	3.00	0.5	1.00	3.78	1.20	6.48
14	3.50	0.5	1.00	3.51	1.20	6.21
13	4.00	0.5	1.00	3.24	1.20	5.94
12	4.50	0.5	1.00	2.97	1.20	5.67
11	5.00	0.5	1.00	2.70	1.20	5.40
10	5.50	0.5	1.00	2.43	1.20	5.13
9	6.00	0.5	1.00	2.16	1.20	4.86
8	6.50	0.5	1.00	1.89	1.20	4.59
7	7.00	0.5	1.00	1.62	1.20	4.32
6	7.50	0.5	1.00	1.35	1.20	4.05
5	8.00	0.5	1.00	1.08	1.20	3.78
4	8.50	0.5	1.00	0.8	1.20	3.51
3	9.00	0.5	1.00	0.54	1.20	3.24
2	9.50	0.5	1.00	0.27	1.20	2.97
1	10.00	0.5	1.00	0.00	1.20	2.70

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

En la tabla 25 se demuestran los valores de la longitud de refuerzo por las geomallas, como se observa la longitud reforzada calculada es menor al valor 1.00, se considera como valor mínimo, esto asciende a suceder si es menor considerar el valor estimado, desde la capa 19 hasta la capa 1 se considera como $Le=1.00$ mientras que en la capa 20 se asume el mismo valor calculado $Le=1.22$ m. En la tabla 26 se observa las longitudes de refuerzo de cada capa, el máximo es de 5.14 m y menor de 0.27. Por último, en la tabla 27 se observa las longitudes totales por cada capa de geomalla; para el proceso constructivo elegimos de 1.20 m de UX – 100 y UX - 135 con el propósito de poseer un inapreciable cierre de capas.

5.3.3.4. Falla por elongación o rompimiento de la geomalla

Tabla 28. Diagnóstico de la ruptura.

Estabilidad de la estructura con respecto a la falla por elongación o ruptura de la Geomalla.					
Capa	Z (m)	Tmax (KN/m)	Tadm (KN/m)	Material	Verificación
20	0.50	3.22	28.71	UX-100	Cumple
19	1.00	4.63	28.71	UX-100	Cumple
18	1.50	6.04	28.71	UX-100	Cumple
17	2.00	7.46	28.71	UX-100	Cumple
16	2.50	8.87	28.71	UX-100	Cumple
15	3.00	10.28	28.71	UX-100	Cumple
14	3.50	11.69	28.71	UX-100	Cumple
13	4.00	13.10	28.71	UX-100	Cumple
12	4.50	14.51	28.71	UX-100	Cumple
11	5.00	15.92	28.71	UX-100	Cumple
10	5.50	17.33	28.71	UX-100	Cumple
9	6.00	18.74	28.71	UX-100	Cumple
8	6.50	20.15	28.71	UX-100	Cumple
7	7.00	21.56	28.71	UX-100	Cumple
6	7.50	22.97	28.71	UX-100	Cumple
5	8.00	24.38	28.71	UX-100	Cumple
4	8.50	25.79	28.71	UX-100	Cumple
3	9.00	27.20	33.71	UX-135	Cumple
2	9.50	28.61	33.71	UX-135	Cumple
1	10.00	30.02	33.71	UX-135	Cumple

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

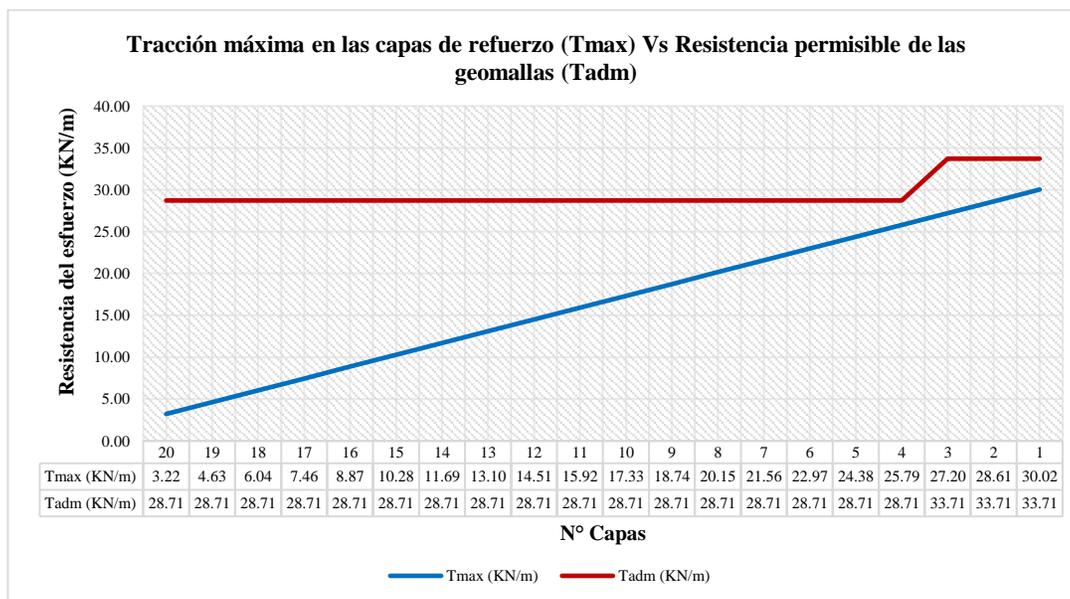


Figura 36. Relación de tracción máxima de refuerzo respecto resistencia permisible de geomallas.

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

En la tabla 28 y en la figura 36 se observan valores de la tracción máxima en las capas de refuerzo no superan a la resistencia permisible de las geomallas incorporadas (UX

– 100 y UX - 135); para las capas 1, 2 y 3 se consideró geomalla uniaxial tipo UX – 135), por otro lado, para las capas 4, hasta la capa 20 se consideró geomallas uniaxiales de tipo UX – 100, y según la verificación acondicionado no superan relativamente.

5.3.4. Determinación de cargas sísmicas-diseño pseudoestatico

5.3.4.1. Aceleración máxima (Am) y peso activo (Wa)

$$Am = (1.45 - A) * A$$

$$Am = (1.45 - 0.25) * 0.25$$

$$Am = 0.30$$

La evaluación del peso de la zona activa interactúa en el paramento vertical y con la consideración de sobrecarga en el talud calculado de la siguiente forma.

$$W_A = 0.5H^2 \tan\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right) * \gamma_r$$

$$W_A = 521.77KN/m$$

5.3.4.2. Fuerza inercial (PI) e incremento dinámico (Tmd)

$$P_I = A_m * W_A$$

$$P_I = 0.30 * 521.77KN/m$$

$$P_I = 156.53KN/m$$

El acrecentamiento dinámico (Tmd) es causado por la Fuerza inercial (PI) en los refuerzos de las geomallas.

$$T_{md} = P_I \left(\frac{L_{ei}}{\sum_{i=n}^n (L_{ei})} \right)$$

$$T_{total} = T_{m\acute{a}x} + T_{md}$$

Tabla 29. Idealización de la tracción total - condición sísmica.

Cálculo del incremento dinámico					
Capa	Z (m)	Le (m)	Tmd (KN/m)	Tmax (KN/m)	Ttotal (KN/m)
20	0.50	1.22	18.70	3.22	21.92
19	1.00	1.00	15.32	4.63	19.95
18	1.50	1.00	15.32	6.04	21.36
17	2.00	1.00	15.32	7.46	22.77
16	2.50	1.00	15.32	8.87	24.18
15	3.00	1.00	15.32	10.28	25.59
14	3.50	1.00	15.32	11.69	27.00
13	4.00	1.00	15.32	13.10	28.41
12	4.50	1.00	15.32	14.51	29.82
11	5.00	1.00	15.32	15.92	31.23
10	5.50	1.00	15.32	17.33	32.64
9	6.00	1.00	15.32	18.74	34.06
8	6.50	1.00	15.32	20.15	35.47
7	7.00	1.00	15.32	21.56	36.88
6	7.50	1.00	15.32	22.97	38.29
5	8.00	1.00	15.32	24.38	39.70
4	8.50	1.00	15.32	25.79	41.11
3	9.00	1.00	15.32	27.20	42.52
2	9.50	1.00	15.32	28.61	43.93
1	10.00	1.00	15.32	30.02	45.34

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

En la tabla 29 se observan los incrementos dinámicos producido por las fuerzas inerciales, en la capa 20 produce un incremento de 18.70 KN/m mientras que en todas las capas asignadas produce un incremento de se mantiene el incremento dinámico de 15.32 KN/m produciendo un incremento general total asumido por el incremento dinámico producido más el incremento dinámico máximo.

5.3.4.3. Longitud del refuerzo poullout (Le)

La estabilidad estructural con relación a la falla de Poullout o extracción de las geomallas por carga sísmica se determinó por la siguiente idealización.

$$L_e \geq \frac{1.5 * 0.75T_{total}}{C * 0.8F * \sigma_v * Rc * \alpha} \geq 1m$$

$$L_e \geq \frac{1.5 * 0.75T_{total}}{2 * 0.8 * 0.8 \tan \phi_r * \sigma_v * Rc * \alpha} \geq 1m$$

Tabla 30. Determinación de la longitud de refuerzo - condición sísmica.

Longitud del refuerzo resistente al arrancamiento o Poullout.						
Capa	Z (m)	Sv (m)	Ttotal (KN/m)	Le cal. (m)	Le min. (m)	Le (m)
20	0.50	0.50	21.92	7.78	1.00	7.78
19	1.00	0.50	19.95	3.54	1.00	3.54
18	1.50	0.50	21.36	2.53	1.00	2.53
17	2.00	0.50	22.77	2.02	1.00	2.02
16	2.50	0.50	24.18	1.72	1.00	1.72
15	3.00	0.50	25.59	1.51	1.00	1.51
14	3.50	0.50	27.00	1.37	1.00	1.37
13	4.00	0.50	28.41	1.26	1.00	1.26
12	4.50	0.50	29.82	1.18	1.00	1.18
11	5.00	0.50	31.23	1.11	1.00	1.11
10	5.50	0.50	32.64	1.05	1.00	1.05
9	6.00	0.50	34.06	1.01	1.00	1.01
8	6.50	0.50	35.47	0.97	1.00	1.00
7	7.00	0.50	36.88	0.94	1.00	1.00
6	7.50	0.50	38.29	0.91	1.00	1.00
5	8.00	0.50	39.70	0.88	1.00	1.00
4	8.50	0.50	41.11	0.86	1.00	1.00
3	9.00	0.50	42.52	0.84	1.00	1.00
2	9.50	0.50	43.93	0.82	1.00	1.00
1	10.00	0.50	45.34	0.80	1.00	1.00

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

Tabla 31. Longitud de la capa de geomalla total.

Longitud de la capa de Geomalla.							
Capa	Z (m)	Sv (m)	Le sismo (m)	LR (m)	Lo (m)	Le+Lr cal. (m)	Le+Lr util. (m)
20	0.50	0.50	7.78	5.14	1.20	12.92	13.00
19	1.00	0.50	3.54	4.87	1.20	8.41	9.00
18	1.50	0.50	2.53	4.60	1.20	7.12	8.00
17	2.00	0.50	2.02	4.33	1.20	6.35	7.00
16	2.50	0.50	1.72	4.06	1.20	5.77	6.00
15	3.00	0.50	1.51	3.78	1.20	5.30	6.00
14	3.50	0.50	1.37	3.51	1.20	4.88	5.00
13	4.00	0.50	1.26	3.24	1.20	4.51	5.00
12	4.50	0.50	1.18	2.97	1.20	4.15	5.00
11	5.00	0.50	1.11	2.70	1.20	3.81	4.00
10	5.50	0.50	1.05	2.43	1.20	3.49	4.00
9	6.00	0.50	1.01	2.16	1.20	3.17	4.00
8	6.50	0.50	1.00	1.89	1.20	2.89	4.00
7	7.00	0.50	1.00	1.62	1.20	2.62	3.00
6	7.50	0.50	1.00	1.35	1.20	2.35	3.00
5	8.00	0.50	1.00	1.08	1.20	2.08	3.00
4	8.50	0.50	1.00	0.81	1.20	1.81	2.00
3	9.00	0.50	1.00	0.54	1.20	1.54	2.00
2	9.50	0.50	1.00	0.27	1.20	1.27	2.00
1	10.00	0.50	1.00	0.00	1.20	1.00	2.00

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

En la tabla 30 se observan la determinación de la longitud de refuerzo de las geomallas (UX – 100 y UX – 135) desde la capa 1 hasta la 20, se visualiza que en cada capa de nivel aumenta su longitud, por consecuente en la tabla 31 se redondo las longitudes de refuerzo a variables enteros y acondicionando en algunas capas con la misma simetría longitudinal.

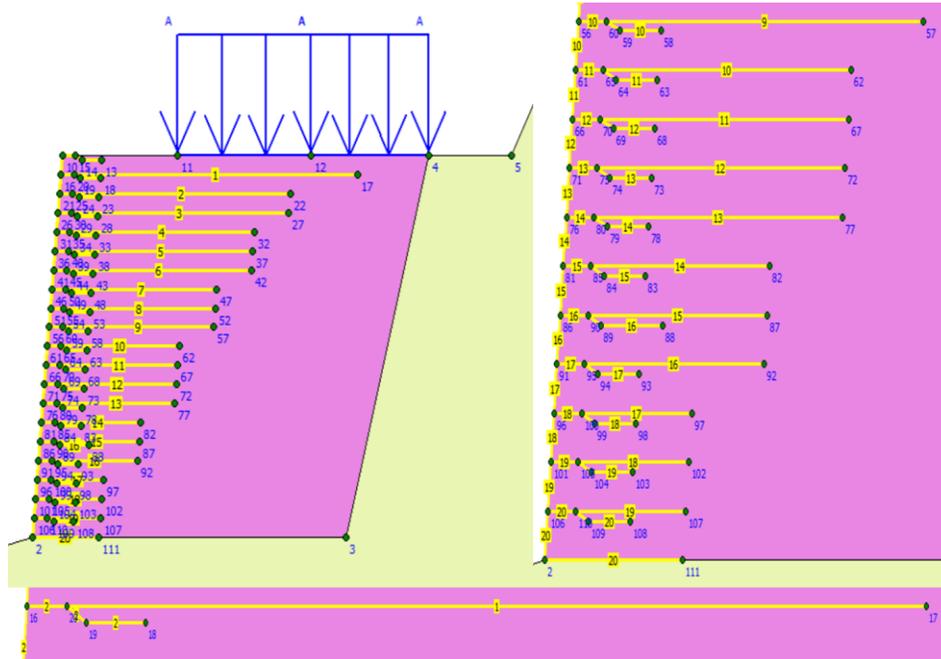


Figura 37. Longitud de la capa de geomalla (UX - 100 y UX - 135) - Plaxis 2d.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.

En la figura 37 se observan la distribución general de las capas de geomallas; en las capas 1, 2 y 3 está representada por las geomallas UX – 135, lo que indica mayor esfuerzo que actúa y por las demás capas a partir de la 4 hasta la 20 se consideró UX – 100.

5.3.4.4. Ruptura en la geomalla por cargas de sismo estático y dinámico

$$T_{m\acute{a}x} \leq \frac{T_{ult_{rs}} * Rc}{0.75 * FS * FR_T}$$

$$T_{md} \leq \frac{T_{ult_{rt}} * Rc}{0.75 * FS * FR_{DQ} * FR_{DI}}$$

Tabla 32. Primera verificación a la ruptura condición estática y segunda verificación condición dinámica.

Componente estático y dinámico de la carga					
Detalle de capas		Para el Componente Estático		Para el Componente Dinámico	
Capa	Z (m)	Tmax (KN/m)	Tult rs (KN/m)	Tmd (KN/m)	Tult rt (KN/m)
20	0.50	3.22	9.68	18.70	35.54
19	1.00	4.63	13.92	15.32	29.12
18	1.50	6.04	18.16	15.32	29.12
17	2.00	7.46	22.39	15.32	29.12
16	2.50	8.87	26.63	15.32	29.12
15	3.00	10.28	30.87	15.32	29.12
14	3.50	11.69	35.11	15.32	29.12
13	4.00	13.10	39.34	15.32	29.12
12	4.50	14.51	43.58	15.32	29.12
11	5.00	15.92	47.82	15.32	29.12
10	5.50	17.33	52.06	15.32	29.12
9	6.00	18.74	56.29	15.32	29.12
8	6.50	20.15	60.53	15.32	29.12
7	7.00	21.56	64.77	15.32	29.12
6	7.50	22.97	69.01	15.32	29.12
5	8.00	24.38	73.24	15.32	29.12
4	8.50	25.79	77.48	15.32	29.12
3	9.00	27.20	81.72	15.32	29.12
2	9.50	28.61	85.96	15.32	29.12
1	10.00	30.02	90.19	15.32	29.12

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

Tabla 33. Verificación de la tracción última-condición sísmica.

Verificación de la Tracción Última- Condición Sísmica.							
Capa	Z (m)	Tult rs (KN/m)	Tult rt (KN/m)	Tult cal. (KN/m)	Tult Dis. (KN/m)	Material	Verificación
20	0.50	9.68	35.54	45.23	115.00	UX-100	Cumple
19	1.00	13.92	29.12	43.04	115.00	UX-100	Cumple
18	1.50	18.16	29.12	47.28	115.00	UX-100	Cumple
17	2.00	22.39	29.12	51.51	115.00	UX-100	Cumple
16	2.50	26.63	29.12	55.75	115.00	UX-100	Cumple
15	3.00	30.87	29.12	59.99	115.00	UX-100	Cumple
14	3.50	35.11	29.12	64.23	115.00	UX-100	Cumple
13	4.00	39.34	29.12	68.46	115.00	UX-100	Cumple
12	4.50	43.58	29.12	72.70	115.00	UX-100	Cumple
11	5.00	47.82	29.12	76.94	115.00	UX-100	Cumple
10	5.50	52.06	29.12	81.17	115.00	UX-100	Cumple
9	6.00	56.29	29.12	85.41	115.00	UX-100	Cumple
8	6.50	60.53	29.12	89.65	115.00	UX-100	Cumple
7	7.00	64.77	29.12	93.89	115.00	UX-100	Cumple
6	7.50	69.01	29.12	98.12	115.00	UX-100	Cumple
5	8.00	73.24	29.12	102.36	115.00	UX-100	Cumple
4	8.50	77.48	29.12	106.60	115.00	UX-100	Cumple
3	9.00	81.72	29.12	110.84	135.00	UX-135	Cumple
2	9.50	85.96	29.12	115.07	135.00	UX-135	Cumple
1	10.00	90.19	29.12	119.31	135.00	UX-135	Cumple

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

En la tabla 32 se realizó la primera verificación a la ruptura - condición sísmica estática, mientras que en la tabla 33 se realizó la segunda verificación a la ruptura - condición sísmica dinámica.

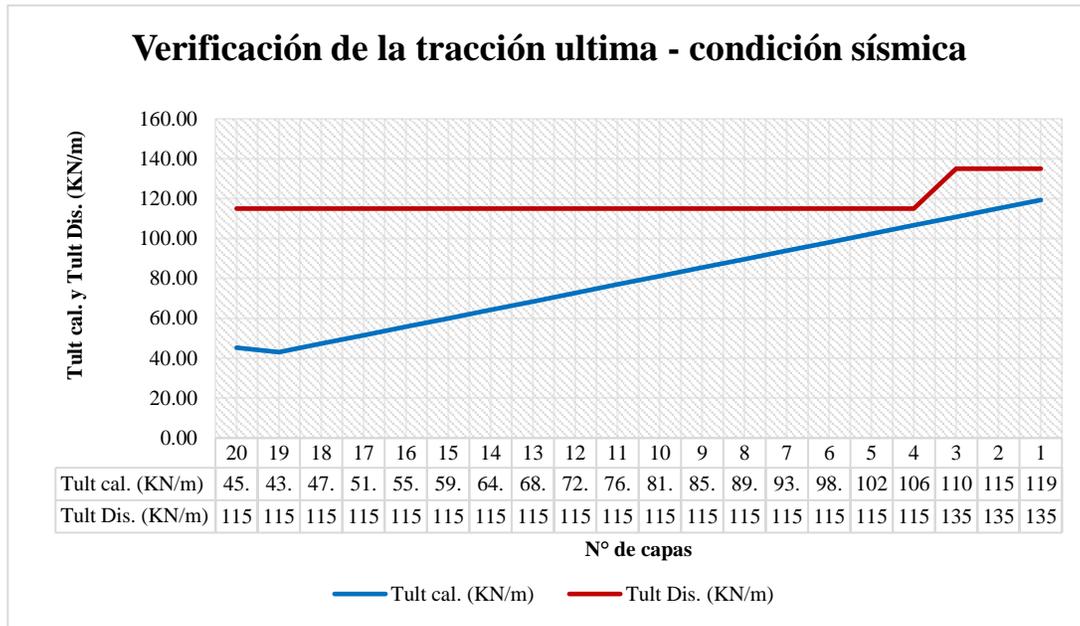


Figura 38. Verificación de la Tracción Ultima - Condición Sísmica.

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

En la Figura 38 se verifica la tracción ultima – condición sísmica calculada vs resistencia ultima tensión de diseño, y esta no supera, y cumple la verificación.

5.4. Resultados de control de la estabilidad externa del MSR

En esta parte del estudio se verifico las condiciones que nos brindó la matriz de operacionalización, la estabilidad de MSR comprobando los valores son menores o iguales al factor de seguridad empleado.

5.4.1. Factor de seguridad al deslizamiento (FSD)

$$FS_{(Deslizamiento)} = \frac{\sum F_R}{F_o} \geq (FS * 0.75)$$

$$FS_{(Deslizamiento)} = \frac{(V_1 + V_2) * \tan\phi_f}{\frac{E_s}{c} + E_a + P_{IR} + 50\% * P_{AE}} \geq (FS * 0.75)$$

Tabla 34. Verificación del factor de seguridad al deslizamiento.

Verificación del FS al deslizamiento	
FS	1.125
FS(Deslizamiento)	1.15
FS(Desliz.) \geq FS	Cumple

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

En la tabla 34 se observan las verificaciones por FS deslizamiento, evaluado mediante la suma total de fuerzas en el eje X-X, cuya la división de la fuerza resistente y la fuerza actuante FS de deslizamiento sísmico ($FS=1.50*0.75=1.125$) es menor o igual al parámetro del FS obtenido ($FS=1.15$) por lo general, efectúa la condición.

5.4.2. Factor de seguridad a la capacidad de carga (FSCC)

$$FS_{(Cap. de carga)} = \frac{\sum \sigma_{ult}}{\sigma_{apli}} \geq (FS * 0.75)$$

Tabla 35. Verificación del factor a la capacidad de carga.

Verificación del FS a la capacidad de carga	
Nq	16.62797256
Nc	28.07792498
Ny	19.62320732
σ_{ult}	1415.14 KN/m ²
σ_{aplic}	368.39 KN/m ²
FS	1.875
FS(Cap. de carga)	3.84
FS(C. carga) \geq FS	Cumple

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

En la tabla 35 se observan las verificaciones por FS de capacidad de carga, evaluado mediante el análisis de corte global, donde el FS cap. de carga sísmica ($FS=2.5*0.75=1.875$) es menor o igual al parámetro del FS obtenido ($FS=3.84$) por lo general, efectúa a la condición.

5.5. Resultados de análisis numérico y por el método de elementos finitos

5.5.1. Análisis tensión - deformación (ATD)

Se utilizó el Software especializado en ingeniería geotecnia Plaxis 2D, el cual nos permitió encontrar las deformaciones y tensiones, una vez determinado el dimensionamiento óptimo para muros de suelos reforzados (MSR), en consecuencia se presenta la geometría estructural en el Programa.

En la figura 39 se presenta la geometría del MSR, lo cual los datos de materialidades geotécnicas y geomalla uniaxial se detallaron en la tabla 16, tabla 18, tabla 20 y en la figura 34.

5.5.1.1. Desplazamientos generados por tensión – deformación Plaxis 2D

Los desplazamientos se generan durante el proceso constructivo del MSR y en un período posterior a este proceso.

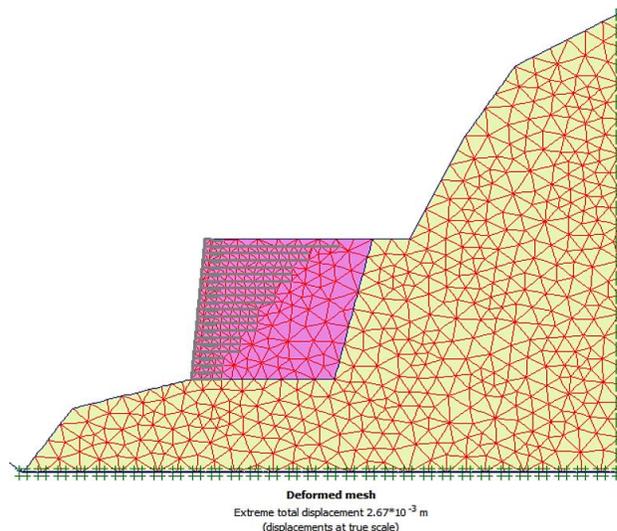
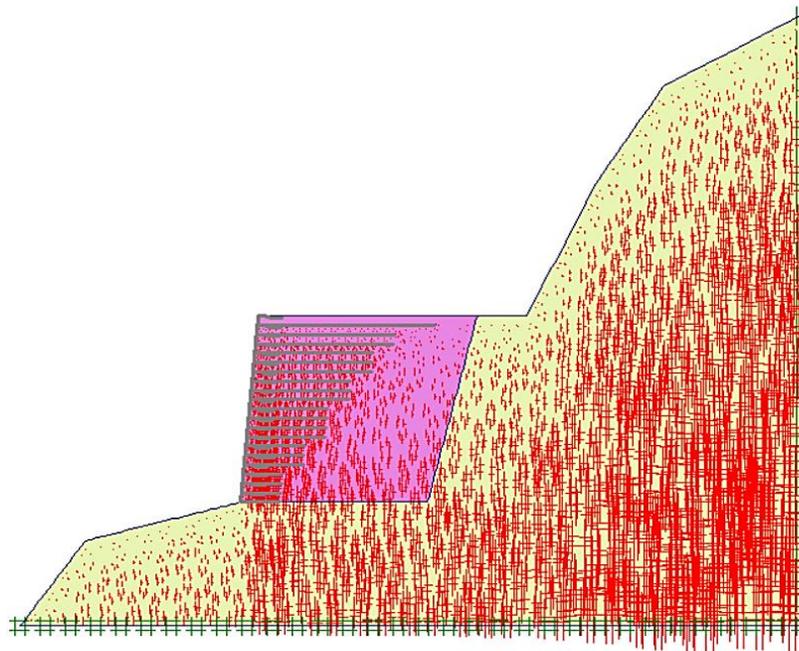


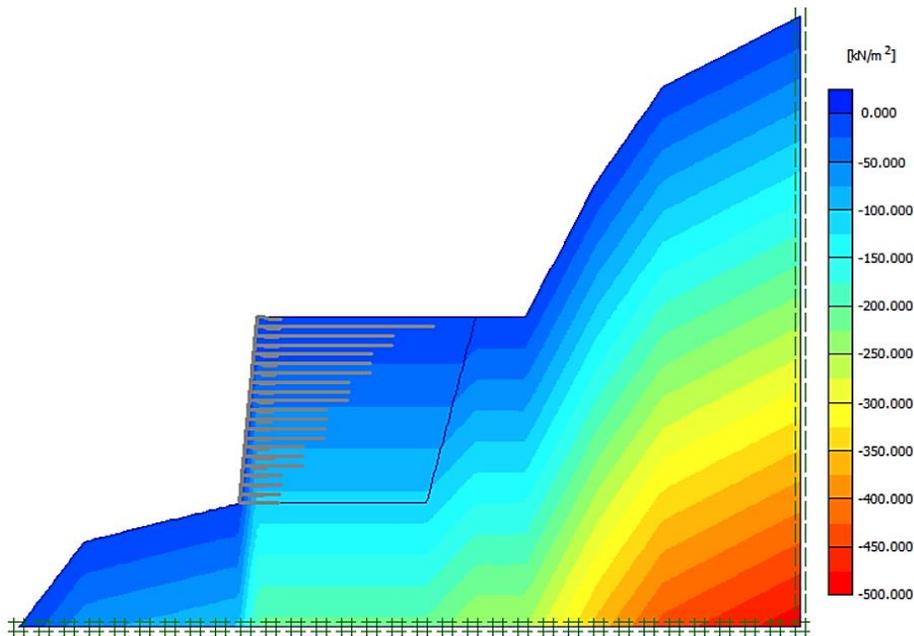
Figura 39. Representación de la deformación en Plaxis 2d.

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

En la figura 40 se representa la deformación con malla generada por el software Plaxis 2D, el desplazamiento extremo total es de $2.67 \cdot 10^{-3}$ m quiere decir que sufre un desplazamiento de 0.27 cm.



Effective stresses
Extreme effective principal stress -872.72 kN/m²



Effective mean stresses
Extreme effective mean stress -493.07 kN/m²

Figura 40. Tensiones efectivas y tensiones medias efectivas.

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

En la figura 41 se representa la tensión efectiva de 872.72 KN/m² y tensiones medias efectivas de 493.07 KN/m², las regiones sombreadas ayudar a una mejor visualización de tensiones en que zonas presenta menor valor.

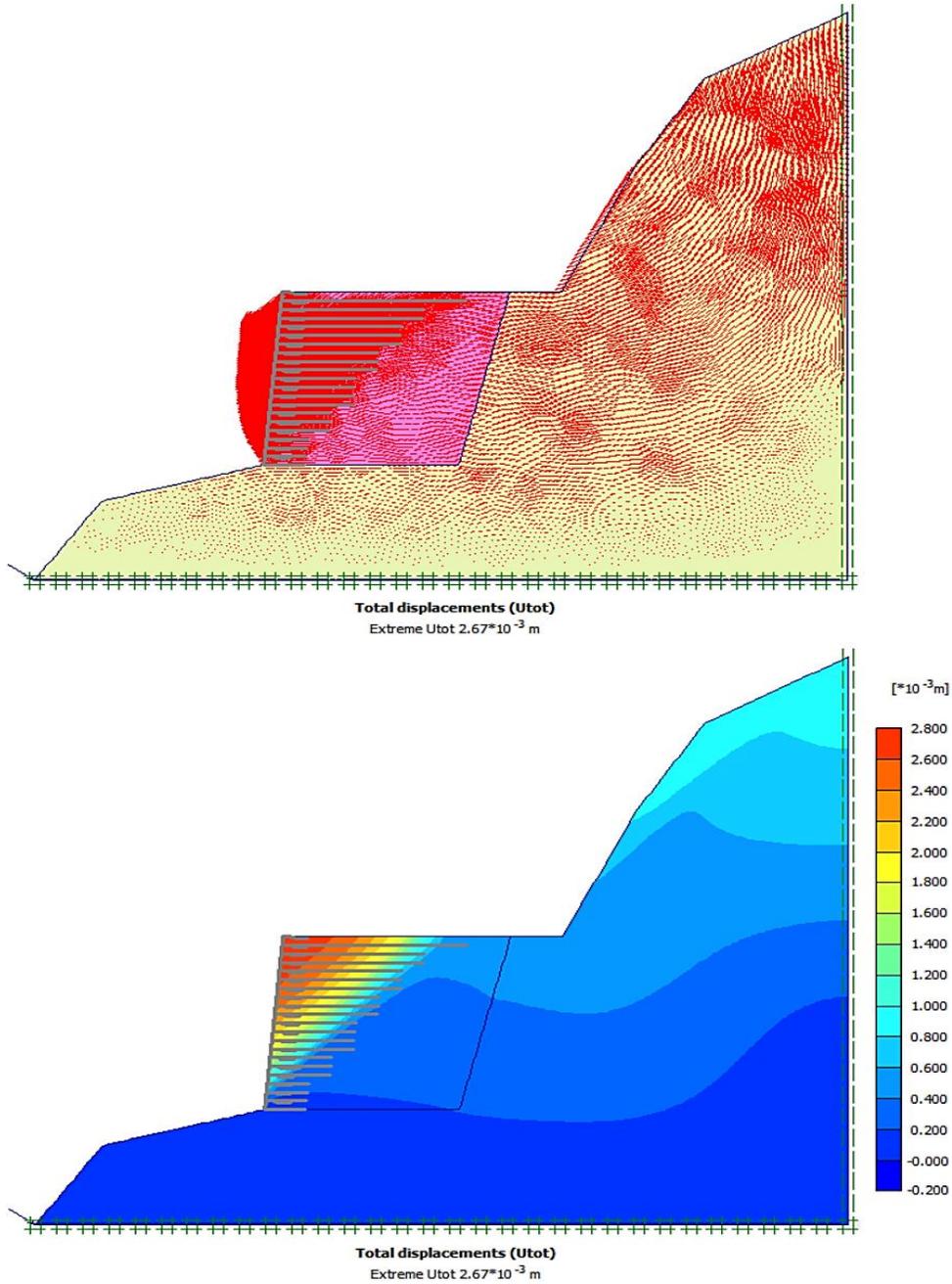


Figura 41. Observación de deformaciones parciales o concertaciones de mayores asentamientos.

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

En la figura 41 se representa la deformación total de desplazamientos de $2.67 \cdot 10^{-3}$ m equivalente 0.27 cm; también se muestra una lectura clara acerca de la ubicación y los factores de desplazamiento que integran de acuerdo a sus regiones sombreadas y también a su dirección general.

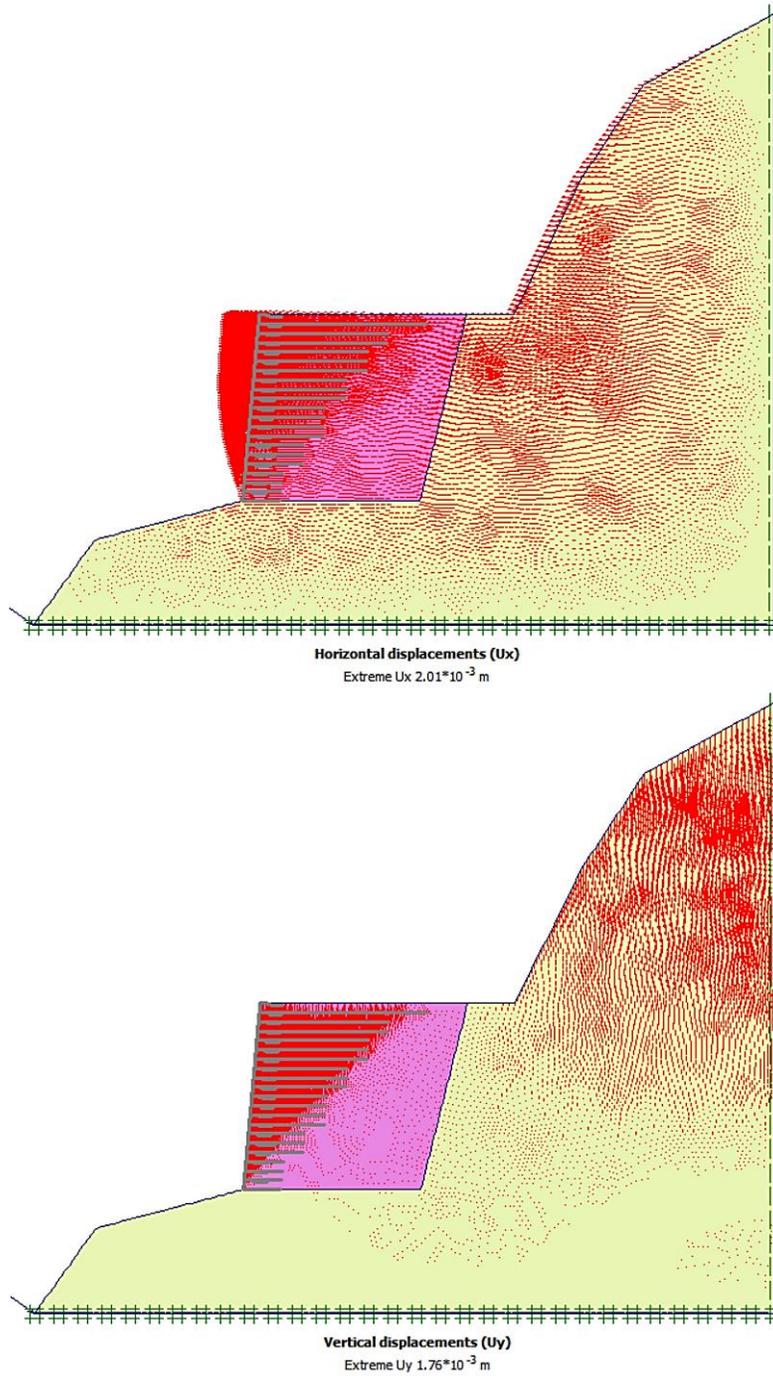


Figura 42. Desplazamientos horizontales (laterales) y verticales (Asentamientos).

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

En la figura 42 se observa los desplazamientos horizontales de $2.01 \cdot 10^{-3}$ m, que es equivalente a 0.20 cm y los desplazamientos verticales de $1.76 \cdot 10^{-3}$ m equivalente a 0.17 cm.

5.5.1.2. Restricciones de desplazamientos provocados por la tensión-deformación

Según (FHWA, 2009) menciona:

En su publicación “Diseño y construcción de muros de tierra estabilizados mecánicamente y taludes de suelo reforzado – Volumen I”, revelan que los muros alcanzan forjar desplazamientos en períodos de construcción y en el periodo rezagado al juicio constructivo (pág. 57).

Las siguientes etapas muestran cómo calcular el desplazamiento máximo vertical y horizontal de un muro de suelo reforzado.

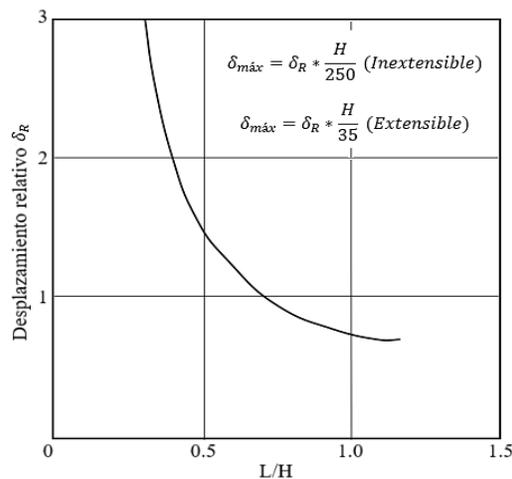


Figura 43. Curva empírica para evaluar el desplazamiento horizontal para MSR.

Nota: Tomada de manual de AASHTO, 2001.

Donde:

$\delta_{m\acute{a}x}$: Desplazamiento maximo.

H : Haltura de muro.

δ_R : Coeficiente de desplazamiento relativo derivado empíricamente.

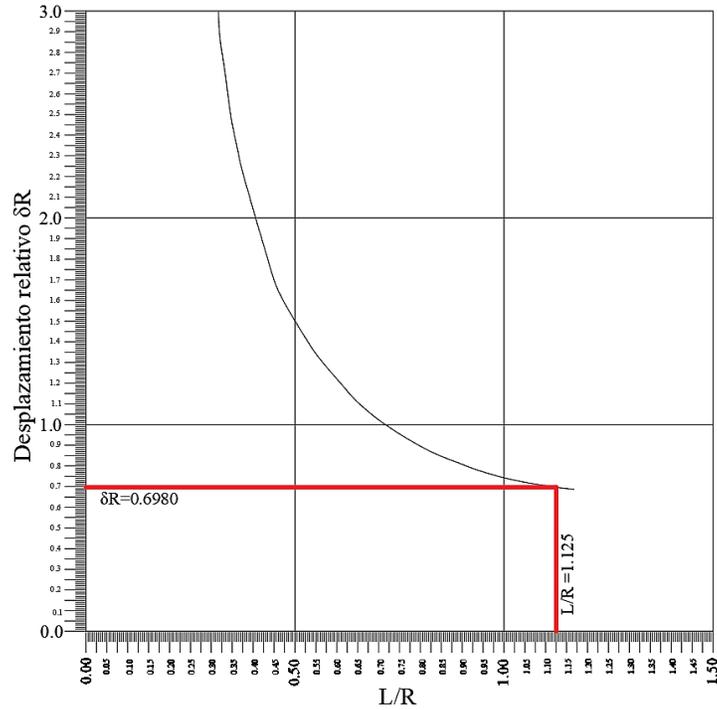


Figura 44. Identificación del desplazamiento relativo δR .

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

Tabla 36. Desplazamiento Horizontal.

Desplazamiento horizontal máximo	
Grillas entre 0 - 1.5 (L/H)	4
H	10.00 m
$\delta_{m\acute{a}x} = H/250$	0.04
$\delta_{m\acute{a}x} = H/75$	0.13
Lmuro	45.00 ml
Espacios	11.25 ml
L/H	1.13
δR	0.6980
Extensible	
Desplazamiento	9.31 cm

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

En la tabla 36 se observa el desplazamiento horizontal máximo que se generó mediante la fórmula de refuerzo extensible para MSR, se consideró una longitud de 45.00 m de muro obteniendo un desplazamiento de 9.31 cm.

$$\delta v_{m\acute{a}x} = \frac{L}{200}$$

Tabla 37. Asentamiento máximo.

Desplazamiento vertical máximo	
Lmuro	45.00 m
$\delta v_{m\acute{a}x} = L/200$	22.50 cm

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2024.

En la tabla 37 se observa el desplazamiento máximo vertical, la fórmula para muro de suelo reforzado que indica según metodología AASHTO es $\delta v_{m\acute{a}x}$, por lo tanto, con la consideración de un muro de 45.00m de longitud se obtuvo un asentamiento de 22.50cm.

5.6. Contratación de hipótesis

5.6.1. Hipótesis específicas 1

Para la hipótesis: El dimensionamiento óptimo de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos es confiable en Acobamba Huancavelica-2023

5.6.1.1. Formulación de H0 y H1

H0: El dimensionamiento óptimo de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos no es confiable en Acobamba Huancavelica-2023

H1: El dimensionamiento óptimo de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos si es confiable en Acobamba Huancavelica-2023

a) Nivel de significación

$$\alpha = 0.067 (6.7\%)$$

b) Prueba estadística

Optamos por realizar la prueba de t de Student debido a su naturaleza experimental, ya que se dispone de un instrumento que recopila datos cuantitativos en una escala de comprobación de intervalo. La aplicación de esta prueba se llevó a cabo aplicando el software SPSS.

c) Región de rechazo y aceptación

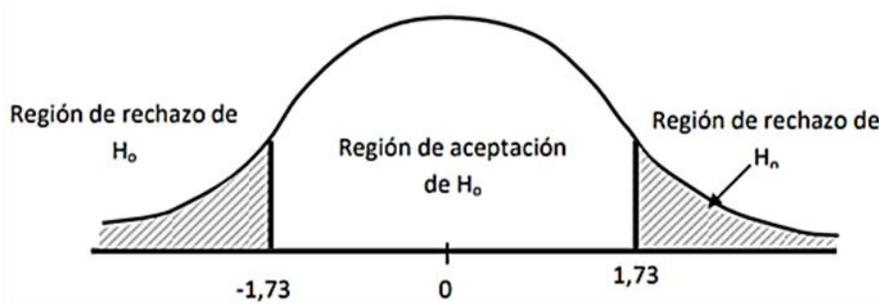
$$\alpha = 0.067 (6.7\%)$$

$$gl = 20 - 2.8 = 17.2$$

$$\text{Valor crítico} = 2.36$$

Aceptar H_0 si $-\text{---} 2.36 < t_c < 2.36$

Rechazar H_0 si $-\text{---} 2.36 \geq t_c \geq 2.36$



d) Recolección de datos y cálculos

$$t = 4.23$$

e) Decisión estadística

Dado que t calculada es superior que t teórica ($4.23 > 2.36$), en efecto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se reconoce la hipótesis alterna (H_a).

5.6.2. Hipótesis específicas 2

Para la hipótesis: El factor de seguridad a la capacidad de carga de muros de suelo reforzado mediante análisis numérico por el método de elementos finitos es confiable en Acobamba Huancavelica-2023

5.6.2.1. Formulación de H0 y H1

H0: El factor de seguridad a la capacidad de carga de muros de suelo reforzado mediante análisis numérico por el método de elementos finitos no es confiable en Acobamba Huancavelica-2023

H1: El factor de seguridad a la capacidad de carga de muros de suelo reforzado mediante análisis numérico por el método de elementos finitos si es confiable en Acobamba Huancavelica-2023

a) Nivel de significación

$$\alpha = 0.067 (6.7\%)$$

b) Prueba estadística

Aplicando la prueba de t de student exhibe datos cuantitativos, escala de medición Interval, idealizado mediante la aplicación el software SPSS.

c) Región de rechazo y aceptación

$$\alpha = 0.067 (6.7\%)$$

$$gl = 20 - 1.95 = 18.05$$

$$\text{Valor crítico} = 1.94$$

Aceptar H0 si $- - 1.94 < tc < 1.94$

Rechazar H0 si $- - 1.94 \geq tc \geq 1.94$



d) Recolección de datos y cálculos

$$t = 4.65$$

e) Decisión estadística

Dado que t calculada es superior que t teórica ($4.65 > 1.86$), en efecto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se reconoce la hipótesis alterna (H_a).

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Discusión de resultados con antecedentes

OG:

En cuanto al objetivo general el dimensionamiento óptimo de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos es confiable en Acobamba, Huancavelica – 2023, estableciendo deformaciones máximas a mediante la aplicación del software Plaxis 2D (Análisis de elementos finitos) con dimensiones de MSR H=10 m, $L_{\text{lancho}}=9.50$ m, $L_{\text{longitud total}}=45$ ml, integrado con geomallas uniaxiales tomadas de UX-GEOMATRIX tipo UX-100 y UX-135, con sobrecarga 12.40 KN/m², los desplazamiento laterales máximo presentados por el análisis de elemento finitos son menores y conservadores a los desplazamiento laterales máximo permitidos por el FHWA y la norma AASHTO, también las ilustraciones de mecánicas de suelos han sido de mucha importancia como base de datos al software en mención para un correcto dimensionamiento para su análisis.

En referencia al autor Cañas (2021), citado en el antecedente internacional, menciona en su tesis de pregrado Titulado: “Análisis de la estabilidad global en muros de suelo reforzado”, precisa como resultados: claramente, el factor de seguridad más conservador es PLAXIS, mientras que el método de equilibrio límite (Fellenius) proporciona el factor de seguridad más alto. Los valores alcanzados por el método simplificado se acercan más a los resultados obtenidos por PLAXIS y también son inferiores a los obtenidos por Fellenius.

En consecuente compartimos la idealización del autor Cañas (2021), porque en ambos estudios logramos obtener resultados conservadores dentro del rango máximo permitido, así como los resultados de otros estudios.

a) OE1:

En cuanto al primer objetivo específico, se puede apreciar que el factor de seguridad al deslizamiento de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos es confiable en Acobamba, Huancavelica – 2023, mencionando un dimensionamiento óptimo de MSR que con la elección de geomallas uniaxiales tomadas de UX-GEOMATRIX tipo UX-100/Tult de 100 KN/m y UX-135/Tult de 135 KN/m, cada uno con sus factores de interacción indicados en la tabla 18, sobrecarga de 250lb/pie² es decir 12.40 KN/m², muestran efectos favorables con sumatoria de fuerzas en X-X, fuerza Resistente $FR=1086.08$ KN/m, fuerza deslizante $Fo=943.91$ KN/m, donde la división de ambas se obtiene FS de deslizamiento sísmico es inferior o igual al valor obtenido del FS obtenido ($FS=1.50*0.75=1.125 \leq FS$ deslizamiento MSR=1.15), por lo tanto cumple con lo dimensionado.

En referencia al autor Cipriano y Ponce (2022), citado en el antecedente nacional, menciona en su tesis de pregrado Titulado: “Estabilización de taludes con muros de suelos reforzados con geomallas biaxial aplicada al proyecto mejoramiento de la carretera Ninacaca - Huachon - Pasco - 2021”, presenta como resultado: la verificación externa de MSR obtiene el FS contra volteo de 2.21, análisis por excentricidad de 1.40 m y contra deslizamiento de 1.21, también por capacidad de carga de 2.00, y por ultimo menciona: que la aplicación del uso de geomallas biaxiales afecta la rigidez de la capa granular mecánicamente estabilizada del suelo reforzado en los muros de carga, seguridad de verificación, estabilidad externa reforzado en las capas granulares, logrando la estabilizaciones concretas y seguras.

En este punto coincidimos con los parámetros de dimensionamiento y evaluación del FS al deslizamiento por parte del autor Cipriano y Ponce (2022), mas no con los factores de geomateriales, ni con la sobrecarga, para nuestro estudio condicionamos un peso de sobrecarga comercialmente por lo que presenta acceso vehicular en la zona.

b) OE2:

En cuanto al segundo objetivo específico, se puede apreciar que el factor de seguridad a la capacidad de carga de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos es confiable en Acobamba, Huancavelica – 2023, mencionando un dimensionamiento óptimo de MSR que con la elección de geomallas uniaxiales tomadas de UX-GEOMATRIX tipo UX-100/Tult de 100 KN/m y UX-135/Tult de 135 KN/m, indicados en la tabla 18, sobrecarga de 250 lb/pie² es decir 12.40 KN/m², manifiestan efectos favorables mediante el análisis por corte global, presión ultima $\sigma_{ult}=1415.14$ KN/m², presión aplicable $\sigma_{aplic}=368.39$ KN/m² donde el FS de capacidad de carga sísmica es menor al parámetro del FS de carga de MSR obtenido ($FS=2.5*0.75=1.875 \leq FS \text{ cap. carga MSR}=3.84$), por lo tanto cumple con lo dimensionado. según los factores de seguridad sísmica mínimo especificado según el diseño AASHTO.

En referencia al autor Retamozo (2023), citado en el antecedente nacional, menciona en su tesis de pregrado Titulado: “Muro de suelo reforzado aplicado a la vía de acceso al puente El Toro de la carretera vecinal al C.P. El Toro - Arequipa”, presenta como resultado: que para el material afirmado y el material subrasante, el método de Bishop que utiliza para el análisis estático y pseudo estático influye notablemente en los FS superiores que 1.00, satisfaciendo la estabilidad de la pendiente del cruce de la carretera ancha izquierda y la sección de análisis de transición del vecindario.

En este punto concordamos con la evaluación del FS a la capacidad de carga por parte del autor Retamozo (2023), que condiciona un diseño de análisis estático y pseudo estático, para nuestro estudio consideramos un diseño de análisis por corte global, ambos diseños confrontan resultados conservadores dentro de los límites de factor de seguridad.

c) OG3:

En cuanto al tercer objetivo específico, se puede apreciar la incidencia del análisis tensión – deformación de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos es estable en Acobamba, Huancavelica – 2023, presentando resultados esfuerzos-deformables en los sentidos horizontales y verticales, en la figura 43 se observa los desplazamientos horizontales con un valor de $2.01 \cdot 10^{-3}$ m, que es equivalente a 0.20 cm, según expertos geotécnicos, este resultado no representa daños estructurales, encontrándose internamente en los límites recomendados por desplazamiento sobre su eje horizontal, mientras que en los desplazamientos verticales con un valor de $1.76 \cdot 10^{-3}$ m. equivalente a 0.17 cm, este factor es mínimo si se le contrasta con el máximo autorizado, de igual modo por las restricciones de desplazamientos provocados por la tensión-deformación, el desplazamiento máximo horizontal permitido según la curva empírica figura 43 de FHWA se obtuvo de 9.31 cm, por lo que para el diseño cumplió la condición máxima, y el asentamiento vertical máximo permitido según la norma AASHTO solo en la aplicación de muros reforzados se obtuvo de 22.50 cm por lo que en la figura 42 se representa con un valor de desplazamiento vertical de 0.17 cm es menor al máximo autorizado, de la misma forma cumple el asentamiento con la norma en mención. En la figura 40 se representa la deformación con malla generada por el software Plaxis 2D, el desplazamiento extremo total es de $2.67 \cdot 10^{-3}$ m quiere decir que sufre un desplazamiento

de 0.27 cm. En la figura 41 se representa la tensión efectiva de 872.72 KN/m² y tensiones medias efectivas de 493.07 KN/m², las regiones sombreadas ayudan a una mejor visualización de tensiones en que zonas presenta menor valor.

En referencia al autor Mejia (2021), citado en el antecedente nacional, menciona en su tesis de pregrado Titulado: “Modelamiento numérico y calibración de muro de suelo reforzado”, presenta como resultados: que el esfuerzo – deformación calculados mediante el programa Plaxis 2D y la practicidad por elementos finitos, muestra sobre la base del muro se desarrolla un esfuerzo vertical de 700 kPa, muy similar al que se calcularía asumiendo una superficie semi infinita. Un máximo esfuerzo vertical del orden de 1700 – 2200 kPa se encuentra en el pie del muro, por lo cual se debe tener mayor cuidado en la compactación de esta zona, mientras que en el estudio de estabilidad física por parte de la metodología de reducción paramétrica y de equilibrio límite ambos diferentes en lo que respecta a la superficie potencial de falla y factor de seguridad. Los valores del FS de ambas metodologías no difieren en más de 10% pero sus superficies de falla son muy diferentes y finalmente en la calibración del modelo se ha realizado variando los parámetros que más influyen en los resultados de asentamiento con el fin de contrastarlo con los asentamientos reales medidos.

En referencia al autor Coria y Herquinio (2021), citado en el antecedente nacional, menciona en su tesis de pregrado Titulado: “Propuesta de diseño de muro de suelo reforzado como soporte de vías ferroviarias mediante técnicas numéricas en el tramo Mariscal Cáceres – Acoria del ferrocarril Huancayo - Huancavelica”, presenta como resultados: que en el trabajo generado por el software Plaxis 2D logro en desplazamientos horizontales valores de 0.00687 m, en desplazamientos máximos horizontales de 5.33 cm,

cumpliendo el diseño condicionado. También se logró apreciar la apariencia de máximos esfuerzos que se localizaron en la parte inferior del elemento estructural del MSR, considerando que a grandes profundidades el esfuerzo se genera más. Con esta cita se idealiza esfuerzos mayores promedios en la fracción inferior del muro de 661 KN/m².

Finalmente compartimos la idealización de software Plaxis 2D con los autores en mención en el análisis de tensión-deformación, ya que nos permitió obtener resultados que muestran similitudes en ambas investigaciones desarrolladas por los esfuerzos verticales, esfuerzo horizontales máximos y permitidos, ha sido indispensable la aplicación del software de ingeniería geotecnia proporcionándonos resultados de discretización, nodos, desplazamientos, esfuerzos y enmallado, debidamente considerado bajo los reglamentos de análisis numérico de elementos finitos.

CONCLUSIONES

OG:

La presente investigación consiente concluir, que el análisis numérico a través del método de elementos finitos para dimensionamiento óptimo de muro de suelo reforzado (MSR) en Acobamba, Huancavelica, con una altura $H=10$ m, sección transversal $L_{\text{ancho}}=9.50$ m y longitudinal $L_{\text{longitud}}=45$ ml, integrado con geomallas uniaxiales tomadas de UX-GEOMATRIX tipo UX-100 y UX-135, sobrecarga 12.40 KN/m² y aplicados mediante el software Plaxis 2D, que los desplazamiento laterales máximo obtenidos son menores y conservadores a los desplazamiento laterales máximo permitidos por el FHWA y la norma AASHTO, siendo también importantes los parámetros de mecánica de suelos empleados en la aplicación al software en mención, con un correcto dimensionamiento y análisis.

a) OE1:

Se concluye, que el factor de seguridad al deslizamiento de MSR mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos en Acobamba, Huancavelica, con geomallas uniaxiales tomadas de UX-GEOMATRIX tipo UX-100/Tult de 100 KN/m y UX-135/Tult de 135 KN/m indicados en la tabla 18 y sobrecarga de 12.40 KN/m², muestran efectos superables, el FS de deslizamiento sísmico es menor o igual al valor del FS obtenido ($FS=1.50*0.75=1.125 \leq FS$ deslizamiento MSR= 1.15), cumpliendo lo dimensionado.

b) OE2:

Se concluye, que el factor de seguridad a la capacidad de carga de MSR mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos en Acobamba, Huancavelica, con geomallas uniaxiales tomadas de UX-GEOMATRIX tipo UX-100/Tult de 100 KN/m y

UX-135/Tult de 135 KN/m indicadas en la tabla 18 y sobrecarga de 12.40 KN/m², muestran efectos prósperos mediante el análisis por corte global, donde el FS de capacidad de carga sísmica es menor al valor del FS de carga de MSR en Acobamba obtenido ($FS=2.5*0.75=1.875 \leq FS \text{ cap. carga MSR}=3.84$), cumpliendo lo dimensionado.

c) OG3:

Por último, se concluye que el factor de seguridad por análisis tensión – deformación de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos en Acobamba, Huancavelica, presenta desplazamientos horizontales de $2.01*10^{-3}$ m, que es equivalente a 0.20 cm, desplazamientos verticales de $1.76*10^{-3}$ m. equivalente a 0.17cm, según expertos geotécnicos, estos valores no representan daño estructural, consecuentemente el desplazamiento máximo horizontal permitido según la curva empírica figura 43 de FHWA se obtuvo de 9.31 cm, asentamiento vertical máximo permitido según la norma AASHTO de 22.50 cm, por lo tanto se finaliza que los valores obtenidos por elementos finitos (Plaxis 2D) son inferiores a los valores permitidos por FHWA y AASHTO y al desplazamiento extremo total de $2.67*10^{-3}$ m o 0.27 cm, todos cumplen con los estándares de seguridad global.

RECOMENDACIONES

OG:

Utilizar métodos numéricos de elementos finitos como Plaxis 2d optimiza estudios abarcados a muros de suelo reforzado (MSR) con alturas inferiores a $H=10$ m, la integración geomateriales uniaxiales, biaxiales u otros tipo, también sobrecargas inferiores a 12.40 KN/m^2 , el desplazamiento será el óptimo conservador que por los desplazamientos laterales máximos permitidos por las normas FHWA y AASHTO, debidamente expresados en estudios de mecánica de suelos aplicables a caminos con pendientes separadas o de factor de seguridad insignificante. El uso de geomateriales, dimensionamiento óptimo y el análisis numérico adecuado tienen un impacto característico en el factor de seguridad aprobada en Acobamba, Huancavelica.

a) OE1:

Implementar el uso de geomallas uniaxiales UX-GEOMATRIX como UX-100, UX-135 u otros, con sobrecargas menores a 12.40 KN/m^2 mostrarán efectos que puede ser superado al factor de seguridad de deslizamiento sísmico dependiendo de la aplicación Plaxis 2D aprobada en Acobamba, Huancavelica

b) OE2:

Implementar el uso de geomallas uniaxiales UX-GEOMATRIX como UX-100, UX-135 u otros, con sobrecargas menores a 12.40 KN/m^2 mostrarán efectos que puede ser superado al factor de capacidad de carga sísmica dependiendo de la aplicación Plaxis 2D aprobada en Acobamba, Huancavelica

c) OG3:

Por último, encargamos que el FS por análisis tensión – deformación de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos en Acobamba,

Huancavelica u otros lugares cercanos, presentaran desplazamientos horizontales y verticales equivalentes de acuerdo al análisis geotécnico estructural, los valores generados para este tipo de estudio no representaran daño estructural, consecuentemente el desplazamiento máximo horizontal permitido por los valores obtenidos por elementos finitos (Plaxis 2D) serán inferiores a los valores calculados por FHWA y AASHTO, todos cumpliendo con los estándares de seguridad global.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Allen, Tony M. y Bathurst, Richard J. . 2001. *Predicción de cargas de refuerzo del suelo en muros de tierra mecánicamente estabilizada (MSE)*. Washington : s.n., 2001.
- Alva Hurtado, Jorge E. . 2016. *Diseño de muro de contención*. Lima : s.n., 2016.
- Alvarado Sánchez, Sergio Alonso. 2012. *Análisis técnico sobre el uso de geomallas de refuerzo para la pavimentación y repavimentación de carreteras*. Costa Rica : s.n., 2012.
- Alvarez Risco, Aldo. 2020. *Justificación de la investigación*. Facultad de Ciencias Empresariales y Económicas, Universidad de Lima. Lima : s.n., 2020.
- Azorin Cruz, Reinier. 2014. *Análisis de estabilidad de taludes mediante técnicas de modelación numérica en 3D utilizando Plaxis 3D Foundation*. Universidad Central Marta Abreu de las Villas. Villa Clara : s.n., 2014. Trabajo de diploma .
- Baena Paz, Guillermina . 2017. *Metodología de la investigación*. Mexico : s.n., 2017.
- Briceño Balza, Johannes, y otros. 2022. *Evaluación de la estabilidad en muros utilizando modelos numéricos*. Facultad de Ingeniería , Universidad de Carabobo . Venezuela : s.n., 2022. Revista de Ingeniería UC .
- Broere, W. . 2018. *Manual referencial PLAXIS 2D*. 2018.
- Camargo García, Carolina Andrea y Gonzales Escamilla, Alba Lucia. 2011. *Modelamiento de problemas de estructuras de contención lateral mediante programa de elementos finitos*. Bucaramanga : s.n., 2011.
- Cañas Pineda , Abercio. 2021. *Análisis de la estabilidad global en muros de suelo reforzado*. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental , Escola de Camins . Barcelona : s.n., 2021. Tesis de posgrado.

- Cañas Pineda, Abercio . 2021. *Análisis de la estabilidad global en muros de suelo reforzado*.
Barcelona : s.n., 2021.
- Carrasco Díaz, Sergio. 2018. Metodología de la Investigación. 2018.
- Castillo Bustos, Marcelo Remigio . 2021. Tecnicas e instrumentos para recoger datos del hecho social educativo. 2021, 2602-8247.
- Celigüeta Lizarza, Juan Tomás . 2000. *Método de los elementos finitos para análisis estructural*.
Gipuzkoa : s.n., 2000.
- Cerrolaza , Miguel. 2007. *El método de los elementos finitos para ingeniería y ciencias aplicadas: teoría y programas*. Caracas : Miguel Angel García e Hijo s.r.l., 2007. pág. 102.
- Cervera Ruiz, Miguel y Blanco Díaz , Elena. 2015. *Resistencia de Materiales*. Barcelona : CIMNE, 2015. pág. 21.
- Chambers Basilio, Rodrigo Alejandro. 2022. *Comparación de los parámetros de diseño de un muro de contención mediante método convencional y método de elementos finitos*. Escuela de Ingenieria , Pontificia Universidad Católica de Chile . Santiago de Chile : s.n., 2022.
Tesis de posgrado .
- Chang Chang, Luis y Alva Hurtado, Jorge E. 1991. *Deslizamientos y aluviones en el Perú*. Lima : s.n., 1991.
- Cipriano Parpon, Idenson Lider y Ponce Morales, Gilbert. 2022. *Estabilización de taludes con muros de suelos reforzados con geomallas biaxial aplicada al proyecto mejoramiento de la carretera Ninacaca - Huachon - Pasco - 2021*. Facultad de Ingenieria y Arquitectura , Universidad Nacional Hermilio Valdizán . Huanuco : s.n., 2022. Tesis de Pregrado.
- Coria Urcia, Marjorie Lilibeth y Herquinio Meza , Will Bryan. 2021. *Propuesta de diseño de muro de suelo reforzado como soporte de vías ferroviarias mediante técnicas numéricas en el*

- tramo Marical Cáceres - Acoria del ferrocarril Huancayo - Huancavelica*". Facultad de ingeniería , Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima : s.n., 2021. Tesis Pregrado.
- Creixell M., Jose. 1992. *Estabilidad de las construcciones* . Col. Cuauhtémoc : Reverté Ediciones S.A., 1992. pág. 191. Vol. Primera edición .
- Crespo Villalaz, Carlos. 1980. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. s.l. : LIMUSA, 1980. pág. 289. Vol. Quinta edición.
- Curiel, Andrés y Fortaleza, Arturo. 2007. *Muro de contención en suelo reforzado "Solución alternativa a un muro tradicional de hormigón"*. Facultad de Ingeniería, Universidad de Montevideo. Montevideo : s.n., 2007. pág. 99, Investigaciones de Ingeniería.
- Das, Braja M. 2001. *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. Sacramento - California : s.n., 2001.
- Das, Braja M. 2013. *Fundamentos de ingeniería geotecnia*. Santa Fe : RPK, 2013. pág. 452.
- Díaz Díaz, Yamyle Abigail y López Alvarado, Elisabeth Fabiola. 2008. *Plaxis como herramienta de modelación para la solución de algunos problemas geotécnicos reales en la ciudad de Punta Arenas*. Punta Arenas : s.n., 2008.
- Dirven , Blass Beto, y otros. 2018. *El desarrollo rural establecido en las áreas Vulnerables*. Lima : Colección Racso, 2018.
- Duque, Gonzalo. 2016. *Geomecánica*. Universidad Nacional de Colombia, Manizales. Colombia : s.n., 2016.
- Dzul Escamilla, Marisela. 2013. *Aplicación básica de los métodos científicos*. 2013.
- Egoavil Perea, Hugo. 2011. *Sistema de Suelo Reforzado Terramesh en Proyectos Mineros*. 2011.
- Fernández Bedoya, Víctor Hugo. 2020. *Tipos de justificación en la investigación científica*. 17 de Julio de 2020, pág. 12.

- FHWA. 2009. *Diseño y construcción de muros de tierra estabilizados mecánicamente y taludes de suelo reforzado – Volumen I*. EE.UU. : s.n., 2009.
- Fuentes Andrade, Patrick Kabir y Torres Parada, Omar Leonardo . 2014. Geosintéticos para mitigación y prevención del riesgo. 2014.
- Galabru, Paul. 2004. *Tratado de procedimientos generales de construcción - CIMENTACIONES Y TUNELES* . Barcelona, Bogotá, Buenos Aires, Caracas, México, Rio de Janeiro : REVERTÉ S.A., 2004. pág. 273. Vol. Segunda Edición .
- Garnica, Paul, Reyes, Rosemberg y Gómez, Jesus. 2013. *Diseño de muros reforzados con geosintéticos*. Instituto Mexicano del transporte. Queretaro : Sanfadila, 2013.
- Geomatrix. 2021. Geosintéticos para Geotecnia. [En línea] 2021. <https://www.geomatrix.co/>.
- Grupo SMABTP, Asefa. 2011. Suelos colapsables: Conceptos y desarrollo de patologías. [En línea] 2011.
- Hernández Sampieri , Roberto, Fernández Collado, Carlos y Baptista Lucio, Pilar. 2014. *Metodología de la investigación*. España : McGraw Hill, 2014.
- Hu, Hai-chang. 1954. *Sobre algunos principios variacionales en la teoría de la elasticidad y la teoría de la plasticidad*. 1954.
- Jiménez, Leonardo Alfonso. 2006. *Los geosintéticos como solución a la estabilidad de taludes*. Facultad de Ingeniería, Escuela politécnica del ejército . Sangolqui : s.n., 2006. tesis de pregrado .
- Kosalim, Valdy y Gunawan , Antonio. 2023. *Efectos de las esquinas del muro de contención sobre la tensión lateral distribución y deformación*. Facultad de Ingeniería, Universidad Bina Nusantara. Indonesia : s.n., 2023. Conferencia internacional sobre desarrollo de Ingeniería Ecologica .

- Koukis G., Tsiambaos G., Sabatakakis N. 1996. *Landslides in Greece: Research evolution and quantitative analysis "Seventh international symposium on landslides Trondheim Norway"*. 1996. págs. 1935 - 1940.
- Kumar Shukla, Sanjay y Yin, Jian-Hua. 2006. *Fundamentos de geosintéticos ingeniería*. Londres : s.n., 2006.
- Lara Huamaní, Marilia Sabi y Rivas Laguna, Carlos Andres. 2021. *Análisis de la influencia de la redistribución de esfuerzos en la transmisión de presiones al suelo de fundación en muros de suelo reforzado sometidos a altas cargas, empleando análisis no lineal por el método de elementos finitos*. Facultad de ingeniería, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima : s.n., 2021. Tesis de Pregrado.
- Lee, Kenneth L. y Richardson, Gregory N. 1975. *Diseño Sísmico de muros de tierra armada*. 1975.
- Llatas Cancino, Dahlberg De Tournefor y Capuñay Santisteban, José Milton. 2019. *Análisis comparativo entre los métodos de equilibrio límite, cuña profunda y software especializado en elementos finitos, para el diseño geotécnico de muros anclados; aplicado a ejecución de sótanos en lima metropolitana*. Lambayeque : s.n., 2019. pág. 21.
- Manual de carreteras. 2016. *MTC*. Lima : s.n., 2016.
- Mejía Nuñez, Luis Marcos. 2021. *Modelamiento numérico y calibración de muro de suelo reforzado*. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima : s.n., 2021. Tesis de Pregrado.
- MTC E 110 y MTC E 111. 2016. *Determinación de límite líquido (LL), límite plástico (LP) de los suelos e índice de plasticidad (IP)*. Lima : s.n., 2016.
- MTC E 113. 2016. *Método de ensayo estándar para la gravedad específica de sólidos de suelo mediante Picnómetro de agua*. Lima : s.n., 2016.

- MTC E 117. 2016. *Ensayo para determinar la densidad y peso unitario del suelo insitu*. Lima : s.n., 2016.
- Nakajima, T, y otros. 1996. *Análisis de cargas de refuerzo de muros de suelo verticales reforzados con geosintéticos considerando la restricción de los pies*. 1996.
- Nieto Leal, Andrés , Camacho Tauta, Javier Fernando y Ruiz Blanco, Edwin Fernando. 2009. *Determinación de parámetros para los modelos elastoplásticos Mohr-Coulomb y Hardening Soil en suelos arcillosos*. 2009.
- NTP 339.129, Dirección de Normalización - INACAL. 2019. *Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos*. San Isidro - Lima : s.n., 2019.
- NTP 339.131, Dirección de Normalización - INACAL. 2019. *Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo*. San Isidro - Lima : s.n., 2019.
- NTP 339.143, Dirección de Normalización - INACAL. 2019. *Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena*. San Isidro-Lima : s.n., 2019.
- Ñaupas Paitán, Humberto, y otros. 2018. *Metodología de la investigación científica*. Bogotá : s.n., 2018.
- Plaxis. 2012. *Mum Plaxisbai*. 2012.
- Ramírez, Ghelber Isaac. 2014. *Propiedades físicas y mecánicas de los suelos*. 2014.
- Redolfi , Emilio R. 2007. *Suelos colapsables*. 2007.
- Relloso Chacin, Rafael. 2021. *Metodología de la Investigación. Metodología de la Investigación*. Estados Unidos. : s.n., 2021, pág. 13.

- Retamozo Saenz, Luis Angel. 2023. *Muro de suelo reforzado aplicado a la vía de acceso al puente El Toro de la carretera vecinal al C.P. El Toro - Arequipa*. Facultad de Ingeniería , Universidad Peruana Los Andes. Huancayo : s.n., 2023. pág. 102, Tesis Pregrado.
- Rodriguez, Daniela. 2020. *Investigación aplicada: características, definición, ejemplos*. Argentina : Lifeder, 2020.
- Scientific Manual. 2002. *Delft University of Technology & PLAXIS B.V*. Tokyo : s.n., 2002.
- Sencico. 2020. *Norma E.020 - Cargas*. Lima : s.n., 2020.
- Shree Tewari, Bhagya. 2020. *Análisis numérico y modelado de muros de contención de tierra reforzados mediante geocélulas*. Departamento de Ingeniería Civil , Instituto Nacional de Tecnología. Kurukshetra : s.n., 2020. Tesis de Posgrado.
- Suarez Díaz, Jaime. 1998. *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga : s.n., 1998.
- Suárez Diaz, Jaime. 2012. *Deslizamientos; tecnicas de remediacion*. 2012.
- Suarez, Jaime. 1998. *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Instituto de investigaciones sobre erosión y deslizamientos., Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga : s.n., 1998.
- Tovar, Genner Luis. 1986. *El asentamiento y la segregación de los Blancos y Mestizos*. Bogotá : Cengage, 1986.
- Vásquez Rodríguez, War Antonio. 2020. *Metodología de la investigación*. Unidad Académica de Estudios Generales, Universidad de San Martín de Porres. Ciudad Universitaria Santa Anita : s.n., 2020.
- Vázquez, Manuel y López, Eloísa. 1971. *El método de elementos finitos aplicado al análisis estructural*. 1971.

Ventura, Escario. 1981. *Terraplenes y pedraplenes*. Madrid : s.n., 1981.

Yepes Piqueras, Víctor . 2008. *Suelo reforzado con geosintéticos*. 2008.

Zuazua, Enrique. 2004. *Una introducción histórica al Análisis numérico, el control y su docencia*.

Departamento de matemáticas, Universidad Autónoma 28049. Madrid : s.n., 2004.

ANEXOS

Anexo N°01: Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título del proyecto: “ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO, ACOBAMBA, HUANCVELICA – 2023”

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variable	Dimensiones	Indicadores	Metodología
<p>Problema general: ¿Cuál es el dimensionamiento óptimo de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos en Acobamba, Huancavelica – 2023?</p> <p>Problemas Específicos: a. ¿Cuál es el factor de seguridad óptimo al deslizamiento de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos en Acobamba, Huancavelica – 2023? b. ¿Cuál es el factor de seguridad óptimo a la capacidad de carga de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos en Acobamba, Huancavelica – 2023? c. ¿Cuál es la incidencia óptima del Análisis Tensión - deformación de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos en Acobamba, Huancavelica – 2023?</p>	<p>Objetivo general: Determinar el dimensionamiento óptimo de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos en Acobamba, Huancavelica – 2023.</p> <p>Objetivos Específicos: a. Determinar el factor de seguridad óptimo al deslizamiento de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos en Acobamba, Huancavelica – 2023. b. Definir el factor de seguridad óptimo a la capacidad de carga de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos en Acobamba, Huancavelica – 2023. c. Determinar la incidencia óptima del Análisis Tensión - deformación de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos en Acobamba, Huancavelica – 2023.</p>	<p>Hipótesis General El dimensionamiento óptimo de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos es confiable en Acobamba, Huancavelica – 2023.</p> <p>Hipótesis Específicos: a. El factor de seguridad al deslizamiento de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos es confiable en Acobamba, Huancavelica – 2023. b. El factor de seguridad a la capacidad de carga de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos es confiable en Acobamba, Huancavelica – 2023. c. La incidencia del Análisis Tensión - deformación de muros de suelo reforzado mediante el análisis numérico por el método de elementos finitos es estable en Acobamba, Huancavelica – 2023.</p>	<p>Independiente VI: Análisis numérico por el método de elementos finitos</p> <hr/> <p>Dependiente VD. Dimensionamiento óptimo de muros de suelo reforzado</p>	<p>D1: Método de elementos finitos (MEF)</p> <hr/> <p>D1: Factor de seguridad al deslizamiento (FSD)</p> <hr/> <p>D2: Factor de seguridad a la Capacidad de carga (FSCC)</p> <hr/> <p>D3: Análisis Tensión - Deformación (ATD)</p>	<p>II: Ecuaciones, elementos (nodos) y mallas triangulares</p> <hr/> <p>II: Métodos Determinísticos Es estable al deslizamiento si: $FS_{(Deslizamiento)} = \frac{\sum F_R}{\sum F_o} > (1.5 * 0.75)$</p> <hr/> <p>II: Métodos Determinísticos Es estable a la capacidad portante del suelo si: $FS_{(Cap.de\ carga)} = \frac{\sum \sigma_{ult}}{\sigma_{apli}} \geq (2.5 * 0.75)$</p> <hr/> <p>II. Principio de trabajo virtual (esfuerzos) $\delta G_{ext} = \int_v (\nabla \delta)^T \sigma + \delta \varepsilon^T (\sigma(\varepsilon) - \sigma) + \delta \sigma^T (\nabla u - \varepsilon) d\Omega$</p>	<p>Método de investigación: Método científico</p> <p>Tipo de investigación: Aplicativo</p> <p>Nivel de investigación: Explicativo</p> <p>Diseño de investigación: Cuasi experimental</p> <p>Población y Muestra: a. Población: Análisis numérico mediante elementos finitos para el dimensionamiento óptimo del muro de suelo reforzado será la carretera Pallalla – Mayunmarca, Acobamaba, Huancavelica. b. Muestra: Análisis numérico mediante elementos finitos para el dimensionamiento óptimo del muro de contención será para en el sector Mayunmarca, Acobamaba, Huancavelica. c. Muestreo: Probabilístico</p> <p>Técnica: La técnica a utilizar es la observación experimental, ya que los datos se obtienen de ensayos de laboratorios como también la recolección y procesamiento de datos como en los resultados obtenidos en el análisis y modelamiento.</p> <p>Instrumento de Investigación: Fichas técnicas de recolección de datos.</p>

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2023.

Anexo N°02: Matriz de operacionalización de variables

MATRIZ DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos	Escala
<p>Independiente</p> <p>VI: Análisis numérico por el método de elementos finitos</p>	<p style="text-align: center;">DCI 1:</p> <p>El análisis numérico por los elementos finitos es un método relativamente nuevo que se dio a conocer en el año 1967 por Clough y Woodward. El método divide la masa de suelo en unidades pequeñas, se interconectan por medio de sus nodos y sus bordes predefinidos. Al conectarse se forma una malla de elementos finitos (Azorin Cruz, 2014).</p>	<p style="text-align: center;">DOI 1:</p> <p>El método consiste en evaluar los resultados que se dan en forma de esfuerzos y desplazamientos en los nodos. La condición de falla se evaluará como un fenómeno progresivo en donde no todos los elementos fallan al mismo tiempo (Azorin Cruz, 2014). Se busca determinar un análisis optimo usando el método de elementos finitos: *D1: Método de elementos finitos (MEF) Lo cual se dividirá en un solo indicador para identificar claramente la dimensión.</p>	<p>D1: Método de elementos finitos (MEF)</p>	<p>I1: Ecuaciones, elementos (nodos) y mallas triangulares</p>	<p>Software PLAXIS 2D</p>	
<p>Dependiente</p> <p>VD: Dimensionamiento óptimo de muros de suelo reforzado</p>	<p style="text-align: center;">DCD 1:</p> <p>Un “Muro de Suelo Reforzado” es una estructura de suelo compactado, a la cual se le introduce elementos de refuerzo que trabajan a tensión, ya que aumentan la resistencia del suelo y disminuyen las deformaciones del muro. Se emplea para la estabilidad al terreno natural u otro material cuando se modifica su talud natural o terrenos inestables. (Manual de carreteras, 2016).</p>	<p style="text-align: center;">DOD 1:</p> <p>El diseño se inicia con la selección de dimensiones tentativas, las cuales se analizan por requerimientos de estabilidad y estructural, revisándose luego las dimensiones. Este un proceso de iteraciones sucesivas, que se optimiza mediante programas de cómputo (Alva Hurtado, 2016). Alguno de los factores a tener en cuenta para realizar este proceso está identificado como dimensiones: *D1: Factor de seguridad al deslizamiento (FSD) *D2: Factor de seguridad a la Capacidad de carga (FSCC) *D3: Análisis Tensión - Deformación (ATD) Los cuales se dividen en indicadores que servirán para identificar claramente las dimensiones.</p>	<p>D1: Factor de seguridad al deslizamiento (FSD)</p> <hr/> <p>D2: Factor de seguridad a la Capacidad de carga (FSCC)</p> <hr/> <p>D3: Análisis Tensión - Deformación (ATD)</p>	<p>I1: Métodos Determinísticos Es estable al deslizamiento si: $FS_{(Deslizamiento)} = \frac{\sum F_R}{\sum F_o} > (1.5 * 0.75)$</p> <hr/> <p>I2: Métodos Determinísticos Es estable a la capacidad portante del suelo si: $FS_{(cap.de\ carga)} = \frac{\sum \sigma_{ult}}{\sigma_{apli}} \geq (2.5 * 0.75)$</p> <hr/> <p>I3: Principio de trabajo virtual (esfuerzos) $\delta G_{ext} = \int_V (\nabla \delta)^T \sigma + \delta \varepsilon^T (\sigma(\varepsilon) - \sigma) + \delta \sigma^T (\nabla u - \varepsilon) d\Omega$</p>	<p>Ficha de recopilación de información. Norma CE 020</p>	<p>Razón</p>

Nota: Elaboración propia de la investigación, 2023.

Anexo N°03: Confiabilidad y validez

TITULO DE LA TESIS: Analisis Numérico por el método de elementos finitos para dimensionamiento óptimo de muros de suelo reforzado, Acabanba - Huancavelica, - 2023.

AUTOR: Pisco Luvayo, Ana Lucía / Vicente Ramos, Jeli Rocky

EXPERTO 03-APELLIDOS Y NOMBRES: Hidalgo Solís Ederson Eddie

GRADO ACADÉMICO: Ingeniería

ESPECIALIDAD: Geología - Geomecánica

CARGO: Supervisor

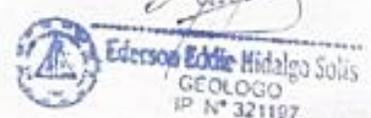
INSTITUCION: Ecosur Pucara - Unidad Volcan Tachó

TELEFONO: 942868205

EXPERIENCIA DESDE LA COLEGIATURA: 4 años

ASPECTOS DE VALIDACION

INDICADORES	CRITERIOS	ASPECTOS DE VALIDACION																			
		MUY DELICADO				DEFICIENTE				REGULAR				BUENO				MUY BUENA			
		0	6	11	18	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96
5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100		
1. Claridad	Esta formulado con lenguaje apropiado															X					
2. Objetividad	Esta expresado en conducta observable																	X			
3. Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia pedagógica															X					
4. Organización	Existe una organización lógica																	X			
5. Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad																	X			
6. Intencionalidad	Adecuado para valorar los instrumentos de investigación																	X			
7. Consistencia	Basados en aspectos teóricos científicos																	X			
8. Coherencia	Entre los índices, indicadores															X					
9. Metodología	La estrategia corresponde al propósito del diagnóstico															X					
10. Pertinencia	Es útil y adecuado para la investigación																	X			



 Ederson Eddie Hidalgo Solís
 GEOLOGO
 IP N° 321107

TITULO DE LA TESIS: Analisis numerico por el metodo de elementos finitos para dimensionamiento optimo de muros de suelo reforzado, Acobamba - Huancavelica 2023

AUTOR: Porco Anco, Ana Lusa / Vicente Ramos Jels Ratty

EXPERTO 01-APELLIDOS Y NOMBRES: Carbajal Gonzalo Ysaac Miguel

GRADO ACADEMICO: Ingeniero

ESPECIALIDAD: Geologia - Geotecnista

CARGO: Geotecnista

INSTITUCION: Ecosem PUCARA - CHINALCO

TELEFONO: 991-841-576

EXPERIENCIA DESDE LA COLEGIATURA: 36 años

ASPECTOS DE VALIDACION

INDICADORES	CRITERIOS	MUY DELICADO				DEFICIENTE				REGULAR				BUENO				MUY BUENA			
		0	6	11	18	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. Claridad	Esta formulado con lenguaje apropiado														X						
2. Objetividad	Esta expresado en conducta observable																X				
3. Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia pedagogica														X						
4. Organización	Existe una organización logica																X				
5. Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad																X				
6. Intencionalidad	Adecuado para valorar los instrumentos de investigacion																X				
7. Consistencia	Basados en aspectos teoricos cientificos																X				
8. Coherencia	Entre los indices, indicadores															X					
9. Metodologia	La estrategia corresponde al proposito del diagnostico															X					
10. Pertinencia	Es util y adecuado para la investigacion																X				



Ysaac Miguel Carbajal Lemelin
 GEOTECNISTA
 CIP. N° 107854

TITULO DE LA TESIS: Analisis Numerico Por El Metodo De Elementos Finitos Para Dimensionamiento

AUTOR: PABLO ARROYO ANA LUCIA / VICENTE DARRAS JELSI RODDY.

EXPERTO OZ-APELLIDOS Y NOMBRES: HUIDOBRO NIETO, ELVIS ALEX

GRADO ACADEMICO: Ingeniero

ESPECIALIDAD: Geologia - Minas

CARGO: JEFE DE TAC

INSTITUCION: COSEM SMELTER SA. - EL BROCAL

TELEFONO: 967 - 811 - 740

EXPERIENCIA DESDE LA COLEGIATURA: 6 años

ASPECTOS DE VALIDACION

INDICADORES	CRITERIOS	MUY DELICADO		DEFICIENTE				REGULAR				BUENO				MUY BUENA					
		0	6	11	18	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. Claridad	Esta formulado con lenguaje apropiado																	X			
2. Objetividad	Esta expresado en conducta observable																		X		
3. Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia pedagogica																	X			
4. Organización	Existe una organización logica																		X		
5. Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad																		X		
6. Intencionalidad	Adecuado para valorar los instrumentos de investigacion																		X		
7. Consistencia	Basados en aspectos teoricos científicos																		X		
8. Coherencia	Entre los indices, indicadores																	X			
9. Metodologia	La estrategia corresponde al proposito del diagnostico																	X			
10. Pertinencia	Es util y adecuado para la investigacion																			X	


 Elvís Huidobro Nieto
 GEÓLOGO
 CIP N° 228935

Anexo N°04: Panel fotográfico de la aplicación del instrumento



Anexo N°04. 1. Exploración panorámica de las circunstancias que se encuentra el talud de estudio.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2023.



Anexo N°04. 2. Excavaciones de C-3/M-2 y C-1/M-7 con detalles característicos de las muestras.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2023.



Anexo N°04. 3. Tamizado de muestras representativas de ensayo granulométrico.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2023.



Anexo N°04. 4. Ejecución de ensayos de Límites de atterberg y contenido de humedad.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2023.

Anexo N°05: Instrumento de investigación y constancia de su aplicación

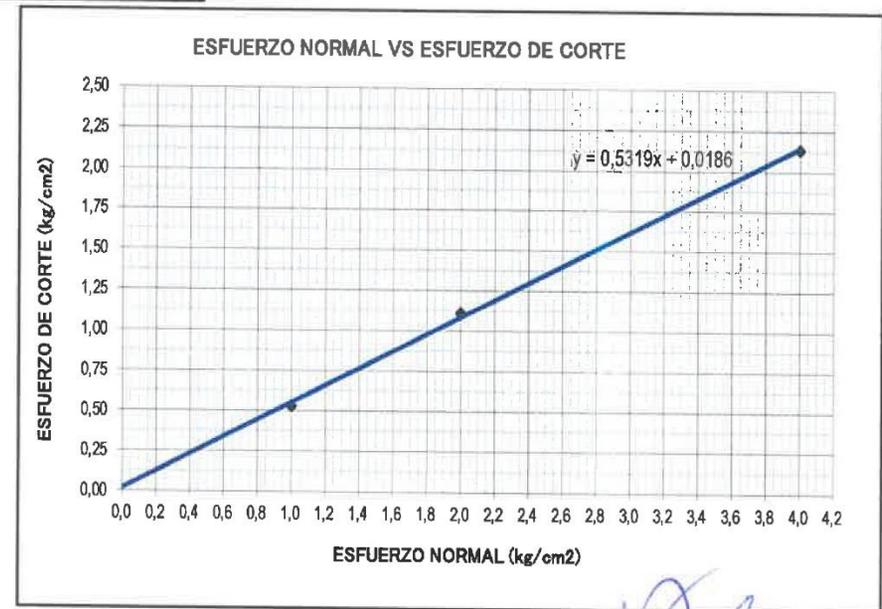
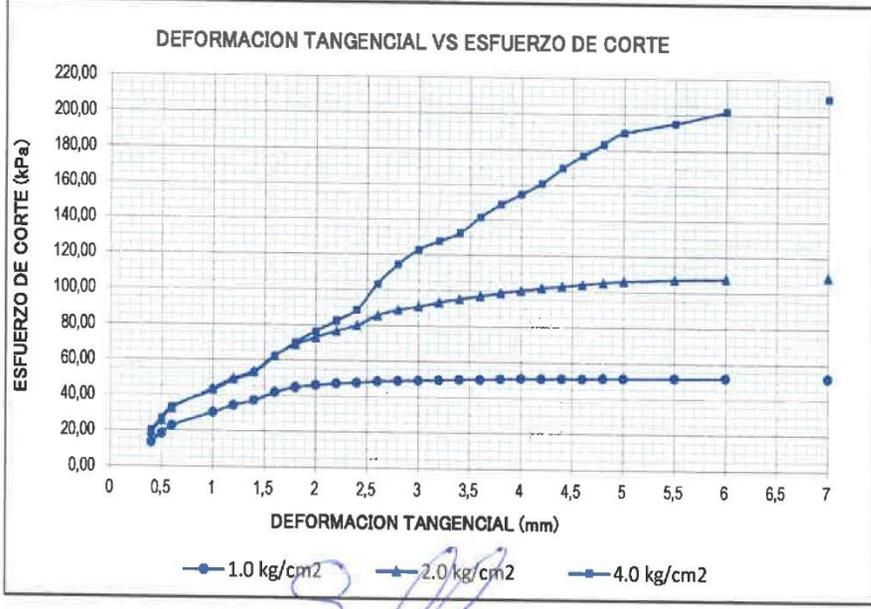
EB ENGINEER BEAR

Suelos, concreto y pavimentos.

RUC: 10473512900

ENSAYO DE CORTE DIRECTO (ASTM D 3080, AASHTO T 236, MTC E 123)

Proyecto	: "ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO, ACOBAMBA, HUANCAVELICA - 2023"	Región	: HUANCAVELICA
Solicitante	: PARCO ARROYO, Ana Lucia	Provincia	: ACOBAMBA
	: VICENTE RAMOS Jelsi Roddy	Distrito	: ANDABAMBA
Calicata	: EXP - 01 (KM: 33+850)	Lugar	: MAYHUACCACCA
Ubicación	: DATUM WGS84 HUSO 18 ZONA L E=537633m N=8600353m		
Fecha	: DICIEMBRE 2023		




 Tec. Sayra Paloma De La Cruz Arellano
 LAB. DE SUELOS Y MATERIALES

Angulo de fricción interna ϕ' (°):	28,0
Cohesion C' (kg/cm ²):	0,02


 GELY VANESSA PARRIZO CORTI
 INGENIERO CIVIL
 CIP N° 213013

EB ENGINEER BEAR

Suelos, concreto y pavimentos.

RUC: 10473512900

ENSAYO DE CORTE DIRECTO (ASTM D 3080, AASHTO T 236, MTC E 123)

Proyecto : "ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO, ACOBAMBA, HUANCVELICA - 2023"

Solicitante : PARCO ARROYO, Ana Lucia
VICENTE RAMOS Jelsi Roddy
Región : HUANCVELICA
Provincia : ACOBAMBA
Calicata : EXP - 01 (KM: 33+850)
Distrito : ANDABAMBA
Ubicación : DATUM WGS84 HUSO 18 ZONA L E=537633m N=8600353m
Lugar : MAYHUACCACCA
Fecha : DICIEMBRE 2023

DATOS

Especimen : REMOLDEADO (MATERIAL < MALLA N° 4)

Profundidad : EXP - 01 (KM: 33+850)

Tipo de Celda : CUADRADA

Lado o Diametro Celda : 63,69 mm Espesor de muestra en celda: 21,55 mm

Tipo de ensayo : CONSOLIDADO DRENADO

Especimen N°	1	2	3
Lado o Diametro de la muestra (mm) :	63,69	63,69	63,69
Altura inicial de la muestra (mm) :	21,55	21,55	21,55
Densidad Humeda Inicial (tn/m3) :	1,570	1,570	1,570
Contenido de Humedad (%) :	5,36%	5,36%	5,36%
Densidad Seca Inicial (tn/m3) :	1,490	1,490	1,490
Deformacion vertical despues de la consolidacion (mm) :	0,430	0,550	1,830
Altura de la muestra antes de aplicar el esfuerzo de corte (mm) :	21,12	21	19,72
Esfuerzo Normal (kg/cm2) :	1	2	4
Esfuerzo de Corte Maximo (Kpa) :	52,09	109,03	209,58
Esfuerzo de Corte Maximo (kg/cm2) :	0,53	1,11	2,14

Angulo de friccion interna ϕ' (°) : 28,0

Cohesion C' (kg/cm2) : 0,02


Tec. Sayra Paloma De la Cruz Arellano
LAB DE SUELOS
Y MATERIALES


INGENIERO CIVIL
CIP N° 2132 J

EB ENGINEER BEAR

Suelos, concreto y pavimentos.

RUC: 10473512900

ENSAYO DE CORTE DIRECTO (ASTM D 3080, AASHTO T 236, MTC E 123)

Proyecto	: "ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO, ACOBAMBA, HUANCAVELICA - 2023"	Región	: HUANCAVELICA
Solicitante	: PARCO ARROYO, Ana Lucia VICENTE RAMOS Jelsi Roddy	Provincia	: ACOBAMBA
Calicata	: EXP - 01 (KM: 33+850)	Distrito	: ANDABAMBA
Ubicación	: DATUM WGS84 HUSO 18 ZONA L E=537633m N=8600353m	Lugar	: MAYHUACCACCA
Fecha	: DICIEMBRE 2023		



Saura
Tec. Sayra Paloma De La Cruz Arellano
LAB DE SUELOS
Y MATERIALES

Gely
GELY FANESSA NÚÑEZ CANGA
INGENIERO CIVIL
CIP N° 213943

EB ENGINEER BEAR

Suelos, concreto y pavimentos.

RUC: 10473512900

ENSAYO DE CORTE DIRECTO (ASTM D 3080, AASHTO T 236, MTC E 123)

Proyecto : "ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO, ACOBAMBA, HUANCVELICA – 2023"

Solicitante : PARCO ARROYO, Ana Lucia
VICENTE RAMOS Jelsi Roddy

Calicata : EXP - 02 (KM: 33+800)

Ubicación : DATUM WGS84 HUSO 18 ZONA L E=537583m N=8600336m

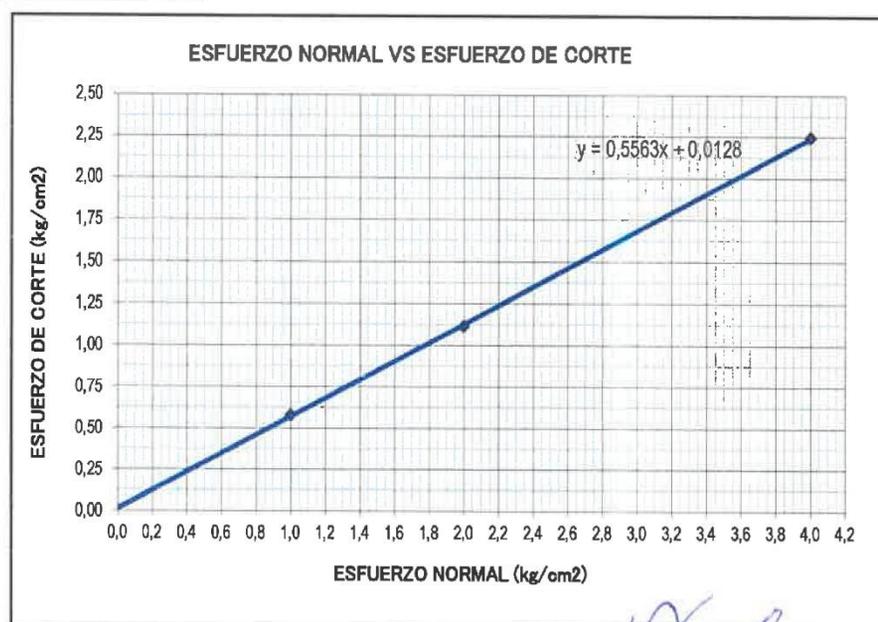
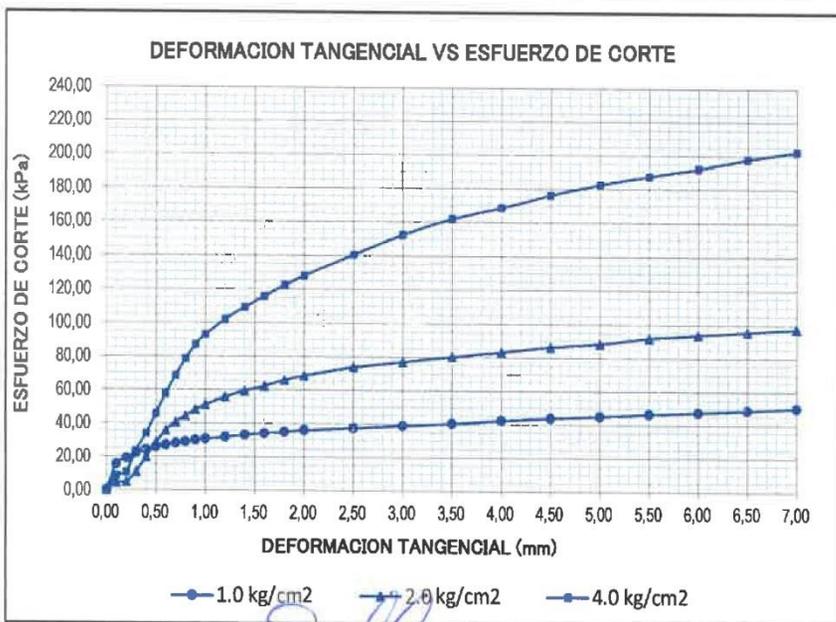
Fecha : DICIEMBRE 2023

Región : HUANCVELICA

Provincia : ACOBAMBA

Distrito : ANDABAMBA

Lugar : MAYHUACCACCA



Suarez
Tec. Sayra Paloma de la Cruz Arellano
LAB DE SUELOS
Y MATERIALES

Angulo de fricción interna ϕ' (°)	29,1
Cohesion C' (kg/cm ²)	0,01

[Firma]
GELY VANESSA PEREZ COHEN
INGENIERO CIVIL
CIP N° 213943

EB ENGINEER BEAR

Suelos, concreto y pavimentos.

RUC: 10473512900

ENSAYO DE CORTE DIRECTO (ASTM D 3080, AASHTO T 236, MTC E 123)

Proyecto : "ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO, ACOBAMBA, HUANCVELICA - 2023"

Solicitante : PARCO ARROYO, Ana Lucia Región : HUANCVELICA

VICENTE RAMOS Jelsi Roddy Provincia : ACOBAMBA

Calicata : EXP - 02 (KM: 33+800) Distrito : ANDABAMBA

Ubicación : DATUM WGS84 HUSO 18 ZONA L E=537583m N=8600336m Lugar : MAYHUACCA

Fecha : DICIEMBRE 2023

DATOS

Especimen : REMOLDEADO (MATERIAL < MALLA N° 4)

Profundidad : EXP - 02 (KM: 33+800)

Tipo de Celda : CUADRADA

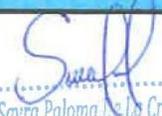
Lado o Diámetro Celda : 63,69 mm Espesor de muestra en celda : 21,55 mm

Tipo de ensayo : CONSOLIDADO DRENADO

Especimen N°	1	2	3
Lado o Diámetro de la muestra (mm) :	63,69	63,69	63,69
Altura inicial de la muestra (mm) :	21,55	21,55	21,55
Densidad Humeda Inicial (tn/m3) :	1,561	1,561	1,561
Contenido de Humedad (%) :	5,34%	5,34%	5,34%
Densidad Seca Inicial (tn/m3) :	1,482	1,482	1,482
Deformacion vertical despues de la consolidacion (mm) :	2,080	2,820	4,800
Altura de la muestra antes de aplicar el esfuerzo de corte (mm) :	19,47	18,73	16,75
Esfuerzo Normal (kg/cm2) :	1	2	4
Esfuerzo de Corte Maximo (Kpa) :	56,45	109,46	219,85
Esfuerzo de Corte Maximo (kg/cm2) :	0,58	1,12	2,24

Angulo de friccion interna ϕ' (°) : 29,1

Cohesion C' (kg/cm2) : 0,01


Tec. Sayra Paloma De La Cruz Arellano
LAB DE SUELOS
Y MATERIALES


INGENIERO CIVIL
CIP 1621424



ENSAYO DE CORTE DIRECTO
(ASTM D 3080, AASHTO T 236, MTC E 123)

Proyecto : "ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO, ACOBAMBA, HUANCVELICA - 2023"

Solicitante : PARCO ARROYO, Ana Lucia
VICENTE RAMOS Jelsi Roddy

Calicata : EXP - 02 (KM: 33+800)

Ubicación : DATUM WGS84 HUSO 18 ZONA L E=537583m N=8600336m

Fecha : DICIEMBRE 2023

Región : HUANCVELICA
Provincia : ACOBAMBA
Distrito : ANDABAMBA
Lugar : MAYHUACCACCA



S. Arellano
Dra. Sayra Paloma De La Cruz Arellano
LAB DE SUELOS
Y MATERIALES

[Signature]
Dra. Vanessa P. Arellano
INGENIERO CIVIL
10.11.2023

EB ENGINEER BEAR

Suelos, concreto y pavimentos.

RUC: 10473512900

ENSAYO DE CORTE DIRECTO (ASTM D 3080, AASHTO T 236, MTC E 123)

Proyecto : "ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO, ACOBAMBA, HUANCAMELICA - 2023"

Solicitante : PARCO ARROYO, Ana Lucia
VICENTE RAMOS Jelsi Roddy

Calicata : EXP - 03 (KM: 33+690)

Ubicación : DATUM WGS84 HUSO 18 ZONA L E=537489m N=8600381m

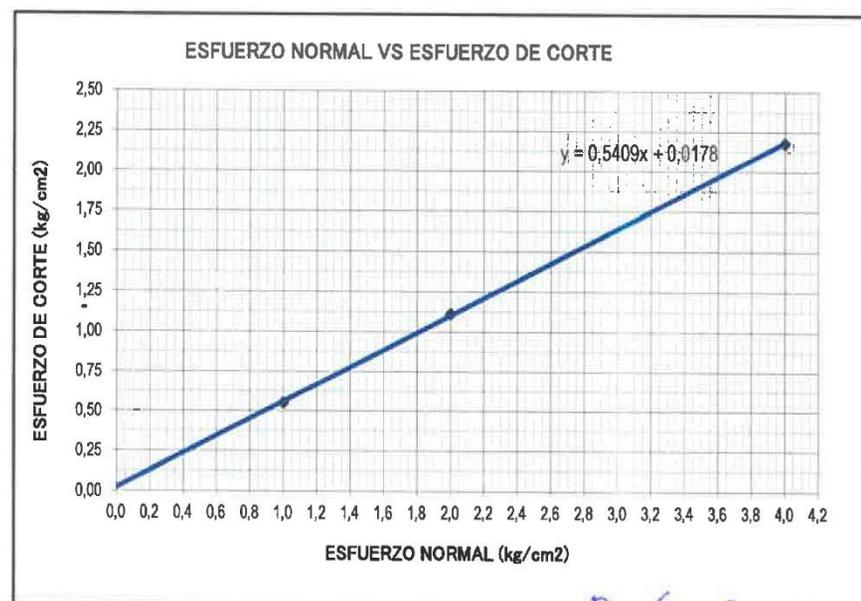
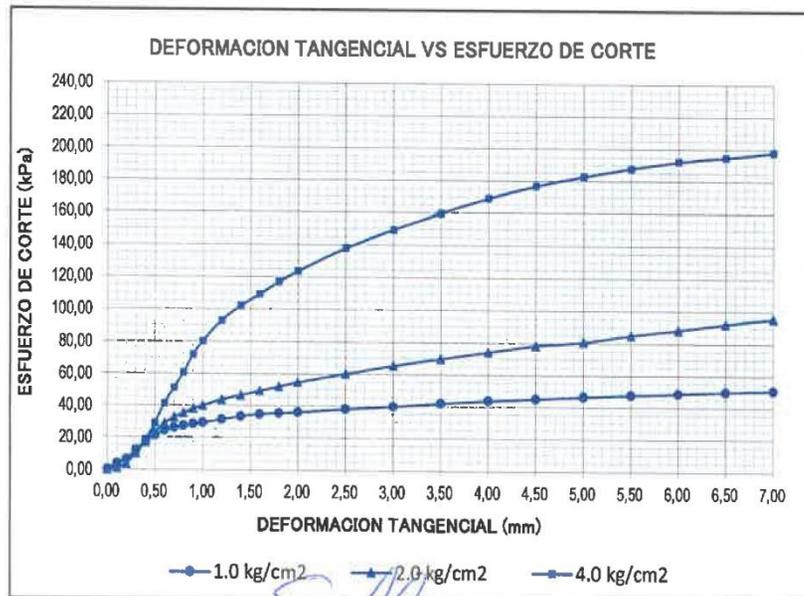
Fecha : DICIEMBRE 2023

Región : HUANCAMELICA

Provincia : ACOBAMBA

Distrito : ANDABAMBA

Lugar : MAYHUACCACCA



Tec. Sayra Paloma De La Cruz Arellano
LAB DE SUELOS
Y MATERIALES

Angulo de friccion interna ϕ' (°) : 28,4

Cohesion C' (kg/cm²) : 0,02

INGENIERO CIVIL
CIP N° 213043

EB ENGINEER BEAR

Suelos, concreto y pavimentos.

RUC: 10473512900

ENSAYO DE CORTE DIRECTO (ASTM D 3080, AASHTO T 236, MTC E 123)

Proyecto : "ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO, ACOBAMBA, HUANCAMELICA - 2023"

Solicitante : PARCO ARROYO, Ana Lucia
VICENTE RAMOS Jelsi Roddy
Región : HUANCAMELICA
Provincia : ACOBAMBA
Calicata : EXP - 03 (KM: 33+690)
Distrito : ANDABAMBA
Ubicación : DATUM WGS84 HUSO 18 ZONA L E=537489m N=8600381m
Lugar : MAYHUACCA
Fecha : DICIEMBRE 2023

DATOS

Especimen : REMOLDEADO (MATERIAL < MALLA N° 4)
Profundidad : EXP - 03 (KM: 33+690)
Tipo de Celda : CUADRADA
Lado o Diametro Celda : 63,69 mm
Espesor de muestra en celda: 21,55 mm

Tipo de ensayo : CONSOLIDADO DRENADO

Especimen N°	1	2	3
Lado o Diametro de la muestra (mm) :	63,69	63,69	63,69
Altura inicial de la muestra (mm) :	21,55	21,55	21,55
Densidad Humeda Inicial (tn/m3) :	1,621	1,621	1,621
Contenido de Humedad (%) :	5,15%	5,15%	5,15%
Densidad Seca Inicial (tn/m3) :	1,542	1,542	1,542
Deformacion vertical despues de la consolidacion (mm) :	0,530	1,310	2,720
Altura de la muestra antes de aplicar el esfuerzo de corte (mm) :	21,02	20,24	18,83
Esfuerzo Normal (kg/cm2) :	1	2	4
Esfuerzo de Corte Maximo (Kpa) :	54,11	108,94	213,66
Esfuerzo de Corte Maximo (kg/cm2) :	0,55	1,11	2,18

Angulo de friccion interna ϕ' (°) : 28,4

Cohesion C' (kg/cm2) : 0,02

Tec. Sayra Paloma De La Cruz Acuña
LAB DE SUELOS
Y MATERIALES

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ACOBAMBA

EB ENGINEER BEAR

Suelos, concreto y pavimentos.

RUC: 10473512900

ENSAYO DE CORTE DIRECTO (ASTM D 3080, AASHTO T 236, MTC E 123)

Proyecto : "ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO, ACOBAMBA, HUANCAVELICA - 2023"

Solicitante : PARCO ARROYO, Ana Lucia
VICENTE RAMOS Jelsi Roddy

Calicata : EXP - 03 (KM: 33+690)

Ubicación : DATUM WGS84 HUSO 18 ZONA L E=537489m N=8600381m

Fecha : DICIEMBRE 2023

Región : HUANCAVELICA
Provincia : ACOBAMBA
Distrito : ANDABAMBA
Lugar : MAYHUACCACCA


Tec. Sayra Paloma De La Cruz Arellano
LAB DE SUELOS
Y MATERIALES




INGENIERO CIVIL
CIP N° 213343

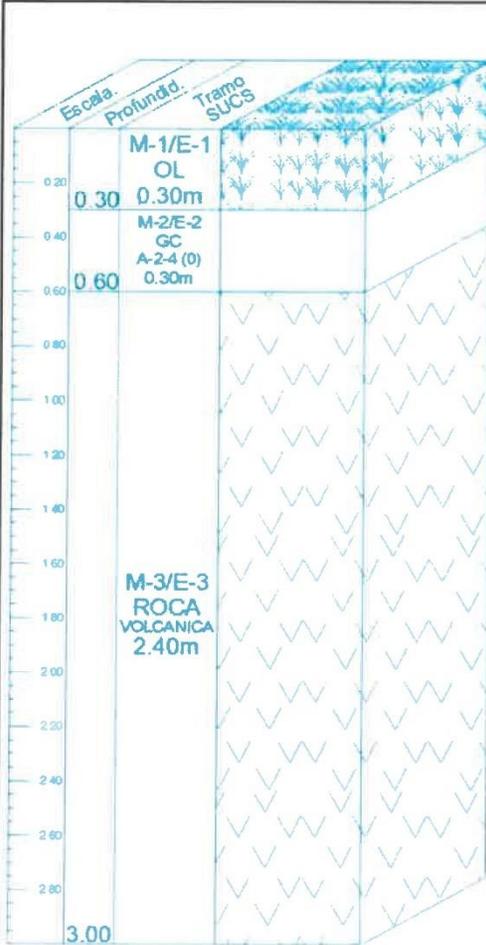
DESCRIPCION E IDENTIFICACION DE SUELOS

(VISUAL - MANUAL)

NORMA ANTA 0 246, NTP 120-190

Proyecto : "ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO, ACOBAMBA, HUANCAMELICA - 2023"
Solicitante : PARCO ARROYO, Ana Lucia
Calicata : EXP - 01 (KM: 33+850)
Ubicación : DATUM WGS84 HUSO 18 ZONA L E=537633m N=8600353m
Fecha : DICIEMBRE 2023

Región : HUANCAMELICA
Provincia : ACOBAMBA
Distrito : ANDABAMBA
Lugar : MAYHUACCACCA



DESCRIPCION	PROFUNDIDAD
	3.00m

De 0.00m a 0.30m, Terreno de cobertura conformado por suelos orgánicos de color negruzco, con presencia de bastante arena, pequeña cantidad de grava y mucha cantidad de arcillas orgánicas, material suelto, estrato que se deberá de sobrepasar si se desea plantear algún desplante de cimentación.

De 0.30m a 0.60m, Depósitos residuales, estrato de color beige, conformados por una Grava Arcillosa que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un GC y el sistema de Clasificación del AASHTO como un A-2-4 (0), presenta bastante cantidad de Grava (64.59%), de poca a pequeña cantidad de arena (13.94%) y pequeña cantidad de finos (21.47%); la fracción que pasa la malla N° 40 es de plasticidad media (límite líquido de 30.27%, Índice plástico 8.41%; lo que indica que la fracción fina es arcillosa), húmedo sin presencia visible de agua, con una cementación nula y cohesión media, la compactación en el momento de auscultación es casi firme (LP-w), el terreno se podría considerar una estructura homogénea, tiene una resistencia a la excavación manual baja cuando esta húmedo, de talud vertical con un grado de estabilidad de paredes estable.

De 0.60m a 3.00m, Depósitos piroclásticos de color rosado claro, conformados por una Roca Volcánica conocida como TRAQUITA, con algunos componentes visibles como plagioclasa (ortosa), minerales ferromagnesianos y óxidos, con tamaño de grano de 1mm a 3mm, textura de grano medio, con un grado de cohesión alto, grado de dureza muy resistente, grado de resistencia muy resistente ($G_c=1462.07$ Kg/cm²), densidad de 2.68 gr/cm³, con una resistencia del macizo rocoso RMR para taludes de 23 (roca de clase IV - mala) y para cimentaciones de 41 (roca de clase III - media), húmedo sin presencia visible de agua, con una cementación media alta, la compactación en el momento de auscultación es firme, el terreno se podría considerar de estructura homogénea, tiene una resistencia a la excavación manual alta cuando esta húmedo, de talud vertical con un grado de estabilidad de paredes estable.

Tec. Sayra Paloma De la Cruz Arellano
 LAB DE SUELOS Y MATERIALES



NOTA: La altura de los diferentes estratos, fueron proporcionados por el solicitante.

NIVEL FREÁTICO: No se encontró hasta la altura de excavación realizada.

FOTO DE CAMPO



DESCRIPCION E IDENTIFICACION DE SUELOS (VISUAL - MANUAL)

NORMA ASTM D2486, NTP 700.150

Proyecto : "ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO, ACOBAMBA, HUANCAMELICA – 2023"

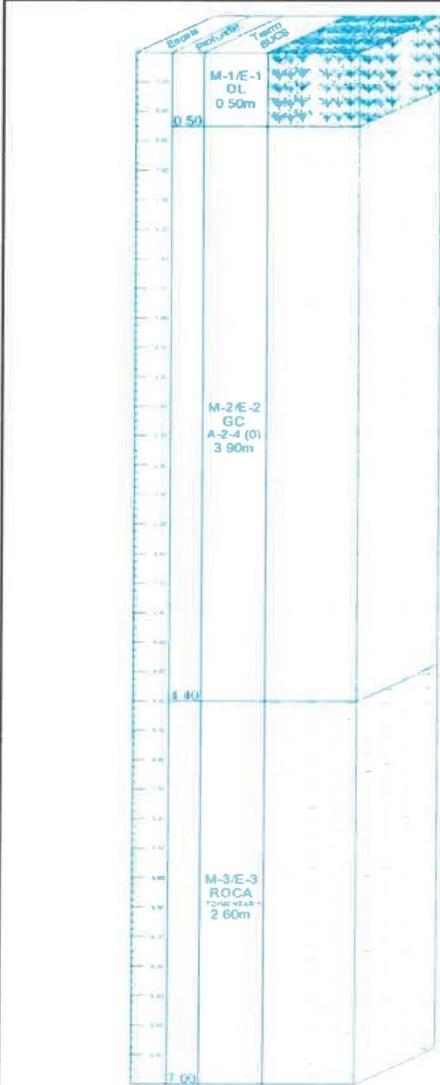
Solicitante : PARCO ARROYO, Ana Lucia
VICENTE RAMOS Jelsi Roddy

Calicata : EXP - 03 (KM: 33+690)

Ubicación : DATUM WGS84 HUSO 18 ZONA L E=537489m N=8600381m

Fecha : DICIEMBRE 2023

Región : HUANCAMELICA
Provincia : ACOBAMBA
Distrito : ANDABAMBA
Lugar : MAYHUACCA



DESCRIPCION	PROFUNDIDAD
	7.00m

De 0.00m a 0.50m, Terreno de cobertura conformado por suelos orgánicos de color negruzco, con presencia de bastante arena, pequeña cantidad de grava y mucha cantidad de arcillas orgánicas, material suelto, estrato que se deberá de sobrepasar si se desea plantear algún desplante de cimentación.

De 0.50m a 4.40m, Depósitos residuales, estrato de color beige, conformados por una Grava Arcillosa con arena que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un GC y el sistema de Clasificación del AASHTO como un A-2-4 (0), presenta bastante cantidad de Grava (71.75%), pequeña cantidad de arena (15.86%) y pequeña cantidad de finos (12.39%); la fracción que pasa la malla N° 40 es de plasticidad media (límite líquido de 30.26%, Índice plástico 6.44%; lo que indica que la fracción fina es arcillosa), húmedo sin presencia visible de agua, con una cementación nula y cohesión media, la compactación en el momento de auscultación es casi firme (LP<w), el terreno se podría considerar una estructura homogénea, tiene una resistencia a la excavación manual baja cuando esta húmedo, de talud vertical con un grado de estabilidad de paredes estable.

De 4.40m a 7.00m, Depósitos sedimentarios de color marrón claro, conformados por una Roca Sedimentaria conocida como MARGA, con algunos componentes visibles como calcita, arcillas y óxidos, con tamaño de grano de 1mm, textura de grano fino, con un grado de cohesión muy bajo, grado de dureza moderadamente resistente, grado de resistencia débil (Gc=362.39 Kg/cm2), densidad de 2.64 gr/cm3, con una resistencia del macizo rocoso RMR para taludes de 25 (roca de clase IV - mala) y para cimentaciones de 43 (roca de clase III - media), húmedo sin presencia visible de agua, con una cementación media alta, la compactación en el momento de auscultación es firme, el terreno se podría considerar de estructura homogénea", tiene una resistencia a la excavación manual alta cuando esta húmedo, de talud vertical con un grado de estabilidad de paredes estable.

Tec. Sayra Paloma De La Cruz Arcinero
 LAB DE SUELOS
 Y MATERIALES

Ing. [Firma]
 [Firma]

NOTA: La altura de los diferentes estratos, fueron proporcionados por el solicitante.

NIVEL FREATICO: No se encontró hasta la altura de excavación realizada.

FOTO DE CAMPO





ENSAYO ESTANDAR DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
(ASTM DE 422, D 4318, D 2487, D 2216, D 4254, D 854, DE 1557)

:"ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO, ACOBAMBA, HUANCVELICA - 2023"

Proyecto

Solicitante : PARCO ARROYO, Ana Lucia
VICENTE RAMOS Jelsi Roddy
Calicata : CALICATA "C-03"
Estrato : E - 02
Fecha : DICIEMBRE 2023

Region : HUANCVELICA
Provincia : ACOBAMBA
Distrito : ANDABAMBA
Lugar : MAYHUACCACCA

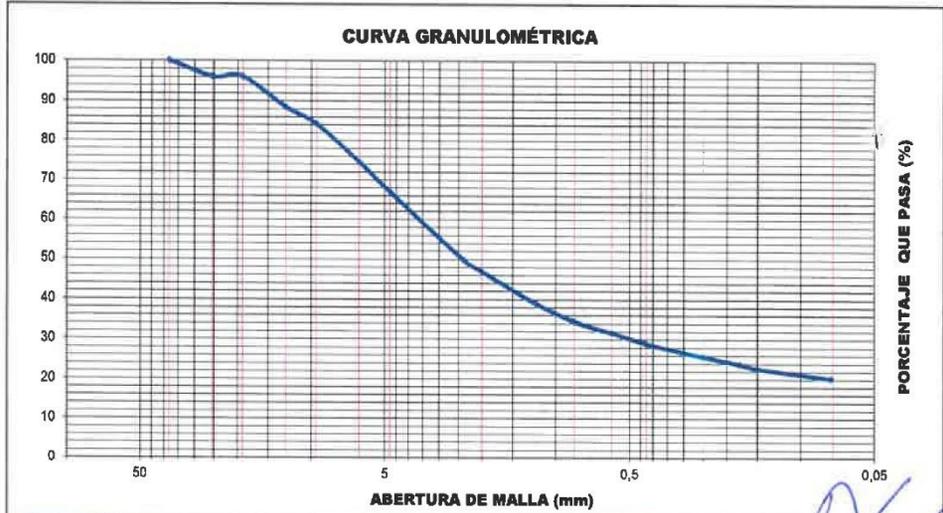
ENSAYO ESTANDAR DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
(ASTM DE 422, D 4318, D 2487, D 2216, D 4254, D 854, DE 1557)

TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	% QUE PASA
3"	76,200				
2 1/2"	63,500				
2"	50,800				
1 1/2"	38,100				100,00
1"	25,400	40,22	3,90	3,90	96,10
3/4"	19,050	0,00	0,00	3,90	96,10
1/2"	12,700	78,53	7,61	11,51	88,49
3/8"	9,525	43,53	4,22	15,73	84,27
1/4"	6,350	100,48	9,74	25,47	74,53
Nº 4	4,750	78,69	7,63	33,10	66,90
Nº 8	2,380	176,71	17,13	50,23	49,77
Nº 10	2,000	30,73	2,98	53,21	46,79
Nº 16	1,190	83,71	8,12	61,33	38,67
Nº 20	0,840	44,18	4,28	65,61	34,39
Nº 30	0,590	30,20	2,93	68,54	31,46
Nº 40	0,426	26,91	2,61	71,15	28,85
Nº 50	0,297	23,73	2,30	73,45	26,55
Nº 60	0,250	10,37	1,01	74,45	25,55
Nº 80	0,177	20,01	1,94	76,39	23,61
Nº 100	0,149	11,41	1,11	77,50	22,50
Nº 200	0,075	24,94	2,42	79,92	20,08
FONDO LAVADO		207,15	20,08	100,00	0,00
TOTAL		1031,50			

DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
Peso seco inicial (gr)	1031,50
peso seco lavado (gr)	824,35
Pérdida por lavado (gr)	207,15

ENSAYO ESTANDAR	
% Grava	33,10
% Arena	46,82
% Finos	20,08

COEFICIENTES DE UNIFORMIDAD Y CURVATURA					
D10 (mm)	0,037	D30 (mm)	0,498	D60 (mm)	3,796
D15 (mm)	0,056	D50 (mm)	2,412	D85 (mm)	10,076
Cu = 101,64			Cc = 1,75		



CLASIFICACION DE SUELOS			
AASHTO		SUCS	
A-2-4	(0)	GC	GRAVA ARCILLOSA CON ARENA

Tec. Sayra Paloma De La Cruz Arellano
LAB DE SUELOS Y MATERIALES

[Handwritten signature]
INSTITUCIÓN EDUCATIVA

EB ENGINEER BEAR

Suelos, concreto y pavimentos.

RUC: 10473512900

LÍMITES DE ATTERBERG ASTM D 4318-17e1

Proyecto : "ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO, ACOBAMBA, HUANCAVELICA - 2023"

Solicitante : PARCO ARROYO, Ana Lucia
VICENTE RAMOS Jelsi Roddy

Calicata : CALICATA "C-03"

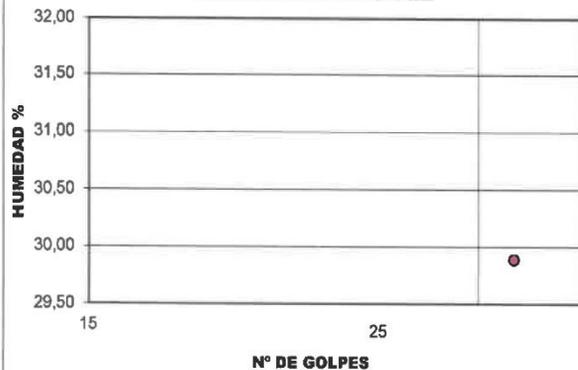
Estrato : E - 02

Fecha : DICIEMBRE 2023

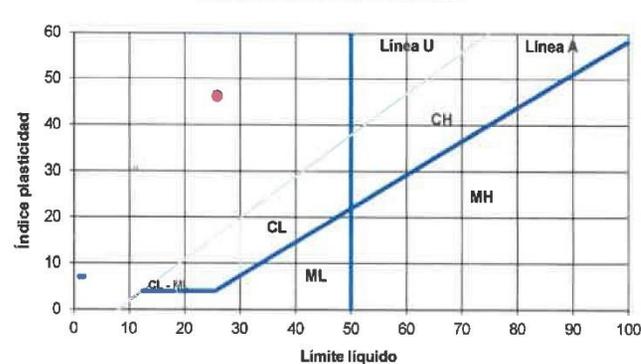
Region : HUANCAVELICA
Provincia : ACOBAMBA
Distrito : ANDABAMBA
Lugar : MAYHUACCACCA

LÍMITES DE CONSISTENCIA		LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D-4319, MTC E 111-2016)			LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D-4319, MTC E 111-2016)		LÍMITES DE CONSISTENCIA	
Tara Número	Unidades	67	60	47	39,5	57		
Peso Recipiente + Suelo Húmedo	gr	65,51	61,00	31,01	24,49	59,57	LL (%) =	25,93
Peso Recipiente + Suelo Seco	gr	62,90	60,05	29,65	23,30	58,40	LP (%) =	-20,30
Peso del Recipiente	gr	53,52	55,32	25,10	25,20	53,09	LL - LP = IP (%) =	46,23
Peso del Suelo Seco	gr	9,38	4,73	4,55	-1,90	5,31		
Peso del Agua	gr	2,61	0,95	1,36	1,19	1,17		
Contenido de Humedad	%	27,83	20,19	29,89	-62,63	22,03		
Número de Golpes		20	25	32				

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



CARTA DE PLASTICIDAD



Sueff
Téc. Sayra Paloma De La Cruz Arellano
LAB DE SUELOS
Y MATERIALES

[Signature]
ING. JAVIER P. CONDOR
INGENIERO CIVIL
1994-12-13

EB ENGINEER BEAR

Suelos, concreto y pavimentos.

RUC: 10473512900

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO NORMA ASTM D6913 / D6913M-17 / D1140-17 / D5519-15

Proyecto : "ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO, ACOBAMBA, HUANCAMELICA - 2023"

Solicitante : PARCO ARROYO, Ana Lucia
VICENTE RAMOS Jelsi Roddy

Calicata : CALICATA "C-02"

Estrato : E-02

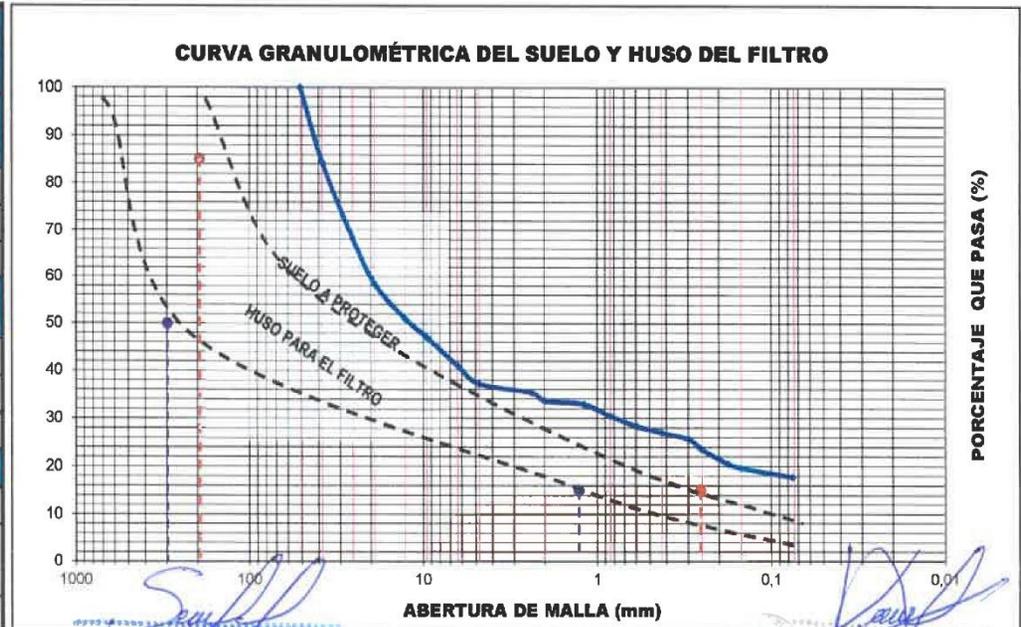
Fecha : DICIEMBRE 2023

Region _____
Provincia _____
Distrito _____
Lugar _____

DETERMINACION DE HUSO GRANULOMETRICO PARA FILTRO

DEFINICIÓN : Dos factores principales influyen al seleccionar el material de un filtro: la granulometría para el material del filtro debe ser tal que: a) El suelo a proteger no sea lavado por el filtro b) que no se genere una carga de presión hidrostática excesiva en el suelo con un coeficiente inferior de permeabilidad.

RESUMEN ENSAYOS ESTÁNDAR	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		MATERIAL DE FILTRO	
	SUELO A PROTEGER		Según Terzaghi y Peck 1967	
	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
	% Grava	62,79	$D_{65(F)}(mm) < 5 D_{65(S)}$	193,075
	% Arena	19,56	$D_{15(F)}(mm) \geq 4 D_{15(S)}$	0,255
	% de Finos	17,66		
	COEFICIENTES DE UNIFORMIDAD Y CURVATURA		Adicionalmente Según el Departamento de Marina de los Estados Unidos 1971	
	$D_{10} = D_{a(mm)}$	0,042	$D_{50(F)}(mm) < 25 D_{50(S)}$	297,245
	$D_{30(mm)}$	0,784	$D_{15(F)}(mm) < 20 D_{15(S)}$	1,274
	$D_{60(mm)}$	20,087		
Cu =	472,98	CLASIFICACION DE SUELOS		
Cc =	0,72	Clasificación SUCS	GC	
$D_{15(mm)}$	0,064	GRAVA ARCILLOSA CON ARENA		
$D_{50(mm)}$	11,890			
$D_{85(mm)}$	38,615			Clasificación AASHTO



Tec. Sayra Paloma De La Cruz Arellano

LAB. DE SUELOS
Y MATERIALES



EB ENGINEER BEAR

Suelos, concreto y pavimentos.

RUC: 10473512900

LÍMITES DE ATTERBERG ASTM D 4318-17e1

Proyecto : "ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL METODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO, ACOBAMBA, HUANCAVELICA - 2023"

Solicitante : PARCO ARROYO, Ana Lucia
VICENTE RAMOS Jelsi Roddy

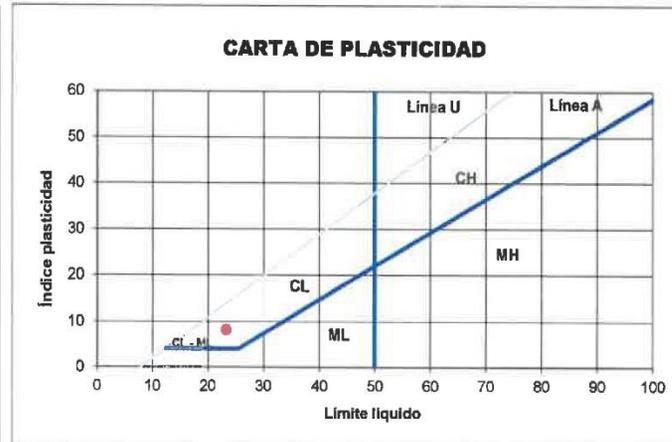
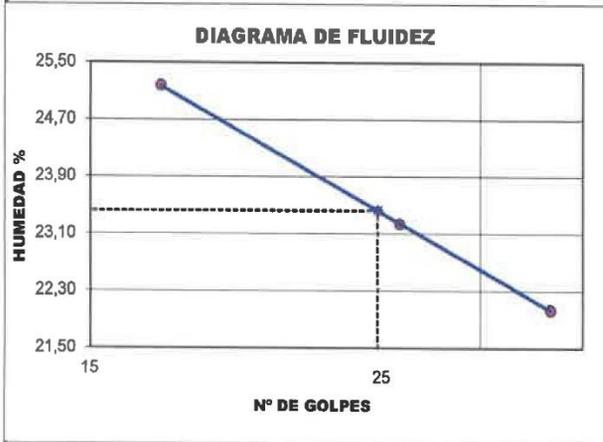
Calicata : CALICATA "C-01"

Estrato : E - 03

Fecha : DICIEMBRE 2023

Region : HUANCAVELICA
Provincia : ACOBAMBA
Distrito : ANDABAMBA
Lugar : MAYHUACCACCA

LÍMITES DE CONSISTENCIA		LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D-4319, MTC E 111-2016)			LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D-4319, MTC E 111-2016)		LÍMITES DE CONSISTENCIA	
Tara Número	Unidades	38	31	25	49	23		
Peso Recipiente + Suelo Húmedo	gr	28,40	35,85	34,67	27,91	34,48	LL (%) =	23,42
Peso Recipiente + Suelo Seco	gr	26,60	34,29	33,50	27,04	33,60	LP (%) =	15,20
Peso del Recipiente	gr	19,45	27,55	28,19	21,26	27,87	LL - LP = IP (%) =	8,22
Peso del Suelo Seco	gr	7,15	6,74	5,31	5,78	5,73		
Peso del Agua	gr	1,80	1,57	1,17	0,87	0,88		
Contenido de Humedad	%	25,17	23,24	22,03	15,05	15,36		
Número de Golpes		17	26	34				



Suzuki
Tec. Sayra Paloma De La Cruz Arellano
LAB DE SUELOS
Y MATERIALES

[Signature]
INGENIERO CIVIL
CIP N° 213523



**ENSAYO ESTANDAR DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
(ASTM DE 422, D 4318, D 2487, D 2216, D 4254, D 854, DE 1557)**

Proyecto : "ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO, ACOBAMBA, HUANCAMELICA - 2023"

Solicitante : PARCO ARROYO, Ana Lucia
VICENTE RAMOS Jelsi Roddy

Calicata : CALICATA "C-02"

Estrato : E - 02

Fecha : DICIEMBRE 2023

Region : HUANCAMELICA
Provincia : ACOBAMBA
Distrito : ANDABAMBA
Lugar : MAYHUACCACCA

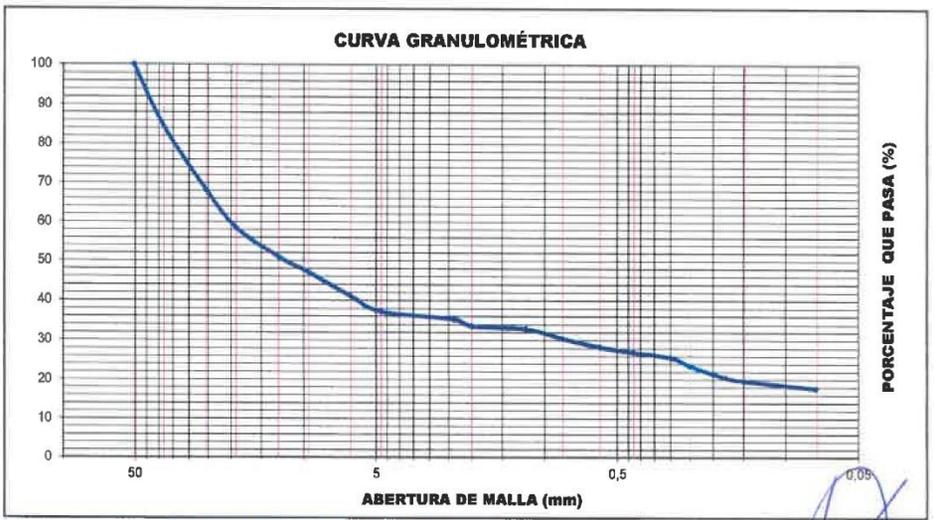
**ENSAYO ESTANDAR DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
(ASTM DE 422, D 4318, D 2487, D 2216, D 4254, D 854, DE 1557)**

TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	% QUE PASA
3"	76,200				
2 1/2"	63,500				
2"	50,800				100,00
1 1/2"	38,100	265,32	15,83	15,83	84,37
1"	25,400	275,21	16,22	31,85	68,15
3/4"	19,050	165,30	9,74	41,59	58,41
1/2"	12,700	125,60	7,40	48,99	51,01
3/8"	9,525	67,01	3,95	52,94	47,06
1/4"	6,350	102,12	6,02	58,96	41,04
Nº 4	4,750	64,94	3,83	62,79	37,21
Nº 8	2,380	32,10	1,89	64,68	35,32
Nº 10	2,000	28,66	1,69	66,37	33,63
Nº 16	1,190	12,30	0,72	67,09	32,91
Nº 20	0,840	41,30	2,43	69,52	30,48
Nº 30	0,590	36,40	2,14	71,67	28,33
Nº 40	0,426	22,60	1,33	73,00	27,00
Nº 50	0,297	23,68	1,40	74,40	25,60
Nº 60	0,250	35,33	2,08	76,48	23,52
Nº 80	0,177	52,15	3,07	79,55	20,45
Nº 100	0,149	14,64	0,86	80,41	19,59
Nº 200	0,075	32,71	1,93	82,34	17,66
FONDO LAVADO		299,69	17,86	100,00	0,00
TOTAL		1697,06			

DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
Peso seco inicial (gr)	1697,06
peso seco lavado (gr)	1397,37
Pérdida por lavado (gr)	299,69

ENSAYO ESTANDAR	
% Grava	62,79
% Arena	19,56
% Finos	17,86

COEFICIENTES DE UNIFORMIDAD Y CURVATURA					
D10 (mm)	0,042	D30 (mm)	0,784	D60 (mm)	20,087
D15 (mm)	0,064	D50 (mm)	11,890	D85 (mm)	38,615
Cu = 472,98			Cc = 0,72		



CLASIFICACION DE SUELOS			
AASHTO		SUCS	
A-2-4	(0)	GC	GRAVA ARCILLOSA CON ARENA

Tec. Sayra Valoma Ne La Cruz Arellano
LAB DE SUELOS Y MATERIALES

Matemero Coll
MATHEMERO COLL
CIP Nº 218243

EB ENGINEER BEAR

Suelos, concreto y pavimentos.

RUC: 10473512900

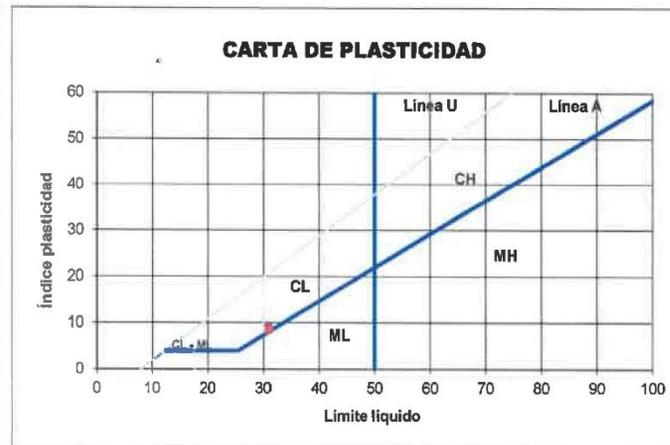
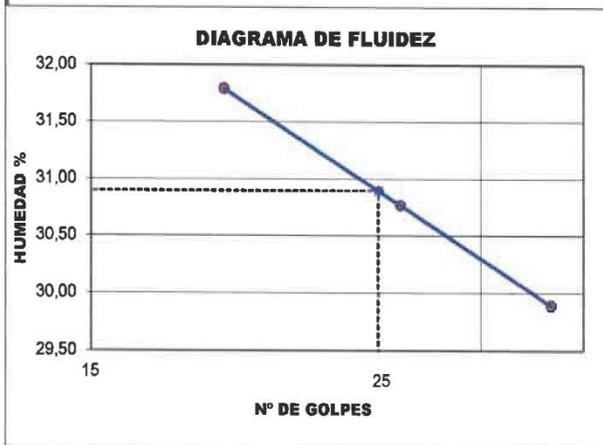
LÍMITES DE ATTERBERG ASTM D 4318-17e1

Proyecto : "ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO, ACOBAMBA, HUANCVELICA - 2023"

Solicitante : PARCO ARROYO, Ana Lucia
VICENTE RAMOS Jelsi Roddy
Calicata : CALICATA "C-02"
Estrato : E - 02
Fecha : DICIEMBRE 2023

Region : HUANCVELICA
Provincia : ACOBAMBA
Distrito : ANDABAMBA
Lugar : MAYHUACCACCA

LÍMITES DE CONSISTENCIA		LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D-4319, MTC E 111-2016)			LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D-4319, MTC E 111-2016)		LÍMITES DE CONSISTENCIA	
Tara Número	Unidades	69	60	47	41	57		
Peso Recipiente + Suelo Húmedo	gr	65,51	61,50	31,01	24,49	59,57	LL (%) =	30,89
Peso Recipiente + Suelo Seco	gr	62,90	60,05	29,65	23,30	58,40	LP (%) =	22,24
Peso del Recipiente	gr	54,69	55,32	25,10	18,00	53,09	LL - LP = IP (%) =	8,65
Peso del Suelo Seco	gr	8,21	4,73	4,55	5,30	5,31		
Peso del Agua	gr	2,61	1,45	1,36	1,19	1,17		
Contenido de Humedad	%	31,79	30,77	29,89	22,45	22,03		
Número de Golpes		19	26	34				



Tec. Soyra Paloma De La Cruz Arellano
LAB DE SUELOS
Y MATERIALES

[Handwritten signature]

EB ENGINEER BEAR

Suelos, concreto y pavimentos.

RUC: 10473512900

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO NORMA ASTM

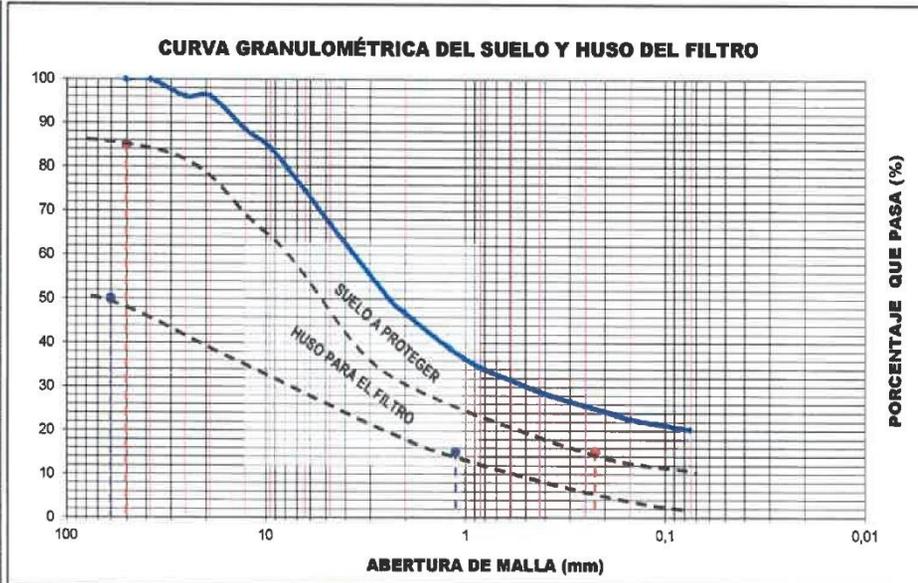
D6913 / D6913M-17 / D1140-17 / D5519-15

Proyecto	:"ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO, ACOBAMBA, HUANCAMELICA – 2023"		
Solicitante	: PARCO ARROYO, Ana Lucia	Region	Region
	: VICENTE RAMOS Jelsi Roddy	Provincia	Provincia
Calicata	: CALICATA "C-03"	Distrito	Distrito
Estrato	: E-02	Lugar	Lugar
Fecha	: DICIEMBRE 2023		

DETERMINACION DE HUSO GRANULOMETRICO PARA FILTRO

DEFINICIÓN : Dos factores principales influyen al seleccionar el material de un filtro: la granulometría para el material del filtro debe ser tal que: a) El suelo a proteger no sea lavado por el filtro b) que no se genere una carga de presión hidrostática excesiva en el suelo con un coeficiente inferior de permeabilidad.

RESUMEN ENSAYOS ESTÁNDAR	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		MATERIAL DE FILTRO	
	SUELO A PROTEGER		Según Terzaghi y Peck 1967	
	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
	% Grava	33,10	$D_{85(F)} = < 5 D_{85(S)} =$	50,380
	% Arena	46,82	$D_{15(F)} = >= 4 D_{15(S)} =$	0,224
	% de Finos	20,08		
	COEFICIENTES DE UNIFORMIDAD Y CURVATURA		Adicionalmente Según el Departamento de Marina de los Estados Unidos 1971	
	$D_{10} = D_{60(mm)}$	0,037	$D_{50(F)} = < 25 D_{50(S)} =$	60,308
	$D_{30(mm)}$	0,498	$D_{15(F)} = < 20 D_{15(S)} =$	1,120
	$D_{60(mm)}$	3,796		
$C_u =$	101,64	CLASIFICACION DE SUELOS		
$C_c =$	1,75	Clasificación SUCS	GC	
$D_{15(mm)}$	0,056	GRAVA ARCILLOSA CON ARENA		
$D_{50(mm)}$	2,412			
$D_{85(mm)}$	10,076	Clasificación AASHTO	A-2-4 (0)	



Saura
Tec. Soyra Paloma De La Cruz Arellano
LAB DE SUELOS
Y MATERIALES

Diana
INGENIERA EN GEOTECNIA
INGENIERO CIVIL
77P N° 213043

ENSAYO ESTANDAR DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (ASTM DE 422, D 4318, D 2487, D 2216, D 4254, D 854, DE 1557)

Proyecto : "ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO, ACOBAMBA, HUANCAMELICA - 2023"

Solicitante : PARCO ARROYO, Ana Lucia
VICENTE RAMOS Jelsi Roddy

Callcata : CALICATA "C-01"

Estrato : E - 03

Fecha : DICIEMBRE 2023

Region : HUANCAMELICA
Provincia : ACOBAMBA
Distrito : ANDABAMBA
Lugar : MAYHUACCACCA

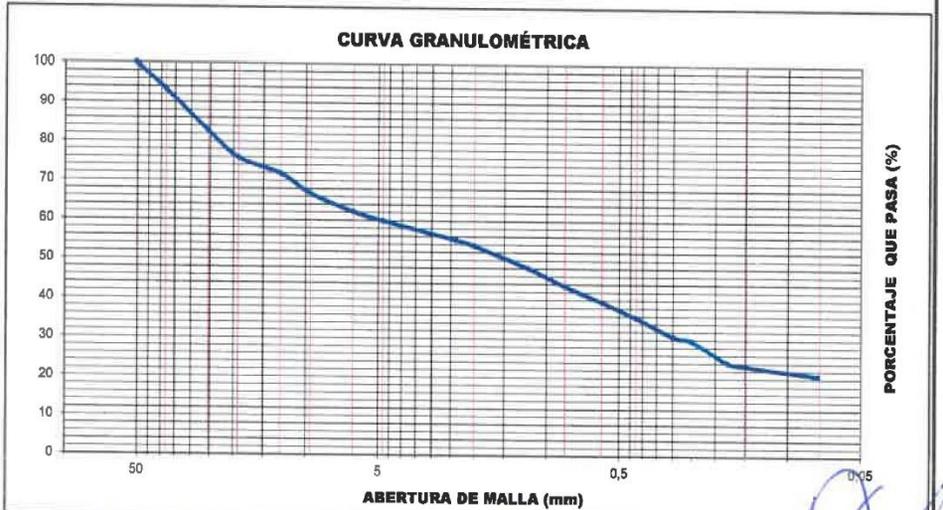
ENSAYO ESTANDAR DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	% QUE PASA
3"	76,200				
2 1/2"	63,500				
2"	50,800				100,00
1 1/2"	38,100	55,74	6,85	6,85	93,15
1"	25,400	86,54	10,63	17,48	82,52
3/4"	19,050	55,30	6,79	24,27	75,73
1/2"	12,700	32,66	4,01	28,28	71,72
3/8"	9,525	41,00	5,04	33,32	66,68
1/4"	6,350	36,79	4,52	37,84	62,16
Nº 4	4,750	18,54	2,28	40,12	59,88
Nº 8	2,380	38,98	4,79	44,91	55,09
Nº 10	2,000	12,00	1,47	46,38	53,62
Nº 16	1,190	45,56	5,60	51,98	48,02
Nº 20	0,840	36,78	4,52	56,49	43,51
Nº 30	0,590	33,00	4,05	60,55	39,45
Nº 40	0,426	31,79	3,91	64,45	35,55
Nº 50	0,297	40,10	4,93	69,38	30,62
Nº 60	0,250	8,42	1,03	70,41	29,59
Nº 80	0,177	45,63	5,61	76,02	23,98
Nº 100	0,149	6,72	0,83	76,85	23,15
Nº 200	0,075	20,43	2,51	79,35	20,65
FONDO LAVADO		168,06	20,65	100,00	0,00
TOTAL		814,04			

DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
Peso seco inicial (gr)	814,04
peso seco lavado (gr)	645,98
Pérdida por lavado (gr)	168,06

ENSAYO ESTANDAR	
% Grava	40,12
% Arena	39,24
% Finos	20,65

COEFICIENTES DE UNIFORMIDAD Y CURVATURA					
D10 (mm)	0,036	D30 (mm)	0,269	D60 (mm)	4,832
D15 (mm)	0,054	D50 (mm)	1,476	D85 (mm)	28,361
Cu = 133,02			Cc = 0,41		



CLASIFICACION DE SUELOS	
AASHTO	SUCS
A-2-4 (0)	-- --

Tec. Sayra Paloma De La Cruz Avellaneda
LAB DE SUELOS Y MATERIALES

INGENIERO CIVIL
CIP Nº 2130

EB ENGINEER BEAR

Suelos, concreto y pavimentos.

RUC: 10473512900

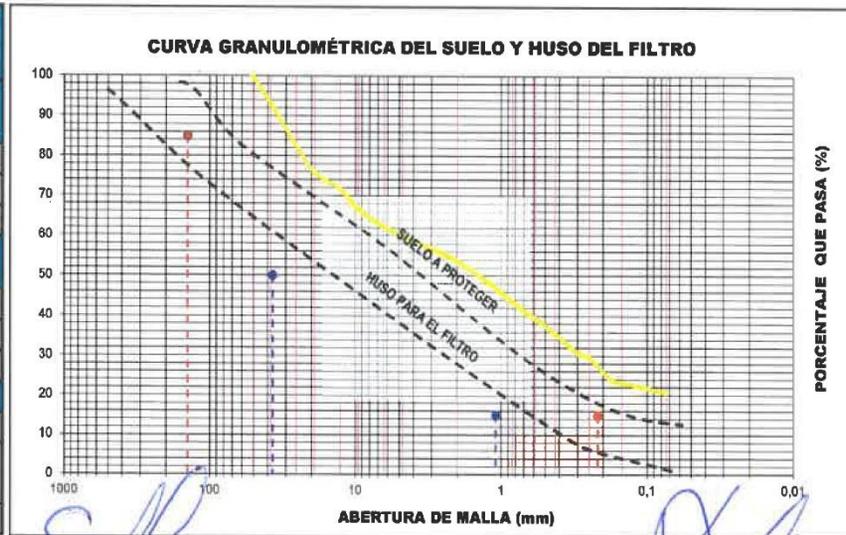
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO NORMA ASTM D6913 / D6913M-17 / D1140-17 / D5519-15

Proyecto	:"ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO, ACOBAMBA, HUANCAMELICA - 2023"			
Solicitante	: PARCO ARROYO, Ana Lucia		Region	Region
	VICENTE RAMOS Jelsi Roddy		Provincia	Provincia
Calicata	: CALICATA "C-01"		Distrito	Distrito
Estrato	: E-03		Lugar	Lugar
Fecha	: DICIEMBRE 2023			

DETERMINACION DE HUSO GRANULOMETRICO PARA FILTRO

DEFINICIÓN : Dos factores principales influyen al seleccionar el material de un filtro: la granulometría para el material del filtro debe ser tal que: a) El suelo a proteger no sea lavado por el filtro b) que no se genere una carga de presión hidrostática excesiva en el suelo con un coeficiente inferior de permeabilidad.

RESUMEN ENSAYOS ESTÁNDAR	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		MATERIAL DE FILTRO	
	SUELO A PROTEGER		Según Terzaghi y Peck 1967	
	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
% Grava	40,12	$D_{85}(F) (mm) \leq 5 D_{85}(S)$	141,803	
% Arena	39,24	$D_{15}(F) (mm) \geq 4 D_{15}(S)$	0,218	
% de Finos	20,65			
COEFICIENTES DE UNIFORMIDAD Y CURVATURA		Adicionalmente Según el Departamento de Maquina de los Estados Unidos 1931		
$D_{10} = D_{9}(mm) =$	0,036	$D_{90}(F) (mm) \leq 25 D_{50}(S)$	36,902	
$D_{30}(mm) =$	0,269	$D_{15}(F) (mm) \leq 20 D_{15}(S)$	1,090	
$D_{60}(mm) =$	4,832			
Cu =	133,02	CLASIFICACION DE SUELOS		
Cc =	0,41	Clasificación SUCS	--	
$D_{15}(mm) =$	0,054			
$D_{50}(mm) =$	1,476			
$D_{85}(mm) =$	28,361	Clasificación AASHTO	A-2-4 (0)	



Tec. Saira Patricia De La Cruz Arellano
LAB DE SUELOS
Y MATERIALES



Proyecto : "ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO, ACOBAMBA, HUANCVELICA – 2023"

Solicitante : PARCO ARROYO, Ana Lucia
VICENTE RAMOS Jelsi Roddy

Calicata : EXP - 01 (KM: 33+850)

Ubicación : DATUM WGS84 HUSO 18 ZONA L E=537633m N=8600353m

Fecha : DICIEMBRE 2023

Región : HUANCVELICA

Provincia : ACOBAMBA

Distrito : ANDABAMBA

Lugar : MAYHUACCACCA

SUELO DE NIVEL DE CIMENTACION

PESO UNITARIO SUELTO (PUS)

Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A PESO DEL MOLDE (gr)	3.695,0	3.695,0	3.695,0
B PESO DEL SUELO + MOLDE (gr)	5.016,0	5.008,0	5.026,0
C PESO DEL SUELO SUELTO (gr) = (B)-(A)	1.321,0	1.313,0	1.331,0
D VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	940,8	940,8	940,8
E PESO UNITARIO SUELTO (Kg/m ³) = (C)/(D)	1.404	1.396	1.415
PROMEDIO PUS (Kg/m³)	1.405		

PESO UNITARIO COMPACTADO (PUC) METODO DEL APISONADO

Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A PESO DEL MOLDE (gr)	3.695,0	3.695,0	3.695,0
B PESO DEL SUELO + MOLDE (gr)	5.322,0	5.330,0	5.328,0
C PESO DEL SUELO APISONADO (gr) = (B)-(A)	1.627,0	1.635,0	1.633,0
D VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	940,8	940,8	940,8
E PESO UNITARIO APISONADO (Kg/m ³) = (C)/(D)	1.729	1.738	1.736
PROMEDIO PUC (Kg/m³)	1.734		

DETERMINACION DE LA HUMEDAD

EXPLORACION		VICENTE RAMOS Jelsi Roddy	
RECIPIENTE	Nº		
1 PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE DE LA MUESTRA	gr	115,40	132,60
2 PESO SUELO SECO+RECIPIENTE DE LA MUESTRA	gr	112,62	129,00
3 PESO RECIPIENTE	gr	50,31	52,72
4 PESO AGUA EN LA MUESTRA	gr	2,78	3,60
5 PESO SECO DE LA MUESTRA	gr	62,31	76,28
6 HUMEDAD	%	4,46%	4,72%
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	4,59%	

DETERMINACION DEL PESO UNITARIO REPRESENTATIVO

PESO UNITARIO SUELTO PUS (Kg/m ³)	1.405
PESO UNITARIO COMPACTO PUC (Kg/m ³)	1.734
PESO UNITARIO REPRESENTATIVO DEL SUELO (Kg/m³)	1.570

Suyra
Tec. Suyra Paloma De La Cruz Arellano
LAB DE SUELOS
Y MATERIALES

Roddy
INGENIERO CIVIL
CIP N° 20323

Proyecto : "ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO, ACOBAMBA, HUANCVELICA - 2023"

Solicitante : PARCO ARROYO, Ana Lucia
VICENTE RAMOS Jelsi Roddy

Calicata : EXP - 03 (KM: 33+690)

Ubicación : DATUM WGS84 HUSO 18 ZONA L E=537489m N=8600381m

Fecha : DICIEMBRE 2023

Región : HUANCVELICA

Provincia : ACOBAMBA

Distrito : ANDABAMBA

Lugar : MAYHUACCACCA

SUELO DE NIVEL DE CIMENTACION

PESO UNITARIO SUELTO (PUS)

N° DE ENSAYO		Ensayo N° 01	Ensayo N° 02	Ensayo N° 03
A	PESO DEL MOLDE (gr)	1.854,0	1.854,0	1.854,0
B	PESO DEL SUELO + MOLDE (gr)	5.723,0	5.704,0	5.714,0
C	PESO DEL SUELO SUELTO (gr) = (B)-(A)	3.869,0	3.850,0	3.860,0
D	VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	2.974,0	2.974,0	2.974,0
E	PESO UNITARIO SUELTO (Kg/m ³) = (C)/(D)	1.301	1.295	1.298
PROMEDIO PUS (Kg/m³)		1.298		

PESO UNITARIO COMPACTADO (PUC) METODO DEL APISONADO

N° DE ENSAYO		Ensayo N° 01	Ensayo N° 02	Ensayo N° 03
A	PESO DEL MOLDE (gr)	1.854,0	1.854,0	1.854,0
B	PESO DEL SUELO + MOLDE (gr)	6.712,0	6.703,0	6.720,0
C	PESO DEL SUELO APISONADO (gr) = (B)-(A)	4.858,0	4.849,0	4.866,0
D	VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	2.974,0	2.974,0	2.974,0
E	PESO UNITARIO APISONADO (Kg/m ³) = (C)/(D)	1.633	1.630	1.636
PROMEDIO PUC (Kg/m³)		1.633		

DETERMINACION DE LA HUMEDAD

EXPLORACION			VICENTE RAMOS Jelsi Roddy	
	RECIPIENTE	N°	35,0	51,0
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE DE LA MUESTRA	gr	98,12	112,30
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE DE LA MUESTRA	gr	94,65	109,32
3	PESO RECIPIENTE	gr	28,90	54,25
4	PESO AGUA EN LA MUESTRA	gr	3,47	2,98
5	PESO SECO DE LA MUESTRA	gr	65,75	55,07
6	HUMEDAD	%	5,28%	5,41%
CONTENIDO DE HUMEDAD			5,34%	

DETERMINACION DEL PESO UNITARIO REPRESENTATIVO

PESO UNITARIO SUELTO PUS (Kg/m³)	1.298
PESO UNITARIO COMPACTO PUC (Kg/m³)	1.633
PESO UNITARIO REPRESENTATIVO DEL SUELO (Kg/m³)	1.466


Tec. Sayra Paloma De la Cruz Arellano
LAB DE SUELOS
Y MATERIALES


INGENIERO CIVIL
CIP N° 213043

Proyecto : "ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO, ACOBAMBA, HUANCVELICA - 2023"

Solicitante : PARCO ARROYO, Ana Lucia
VICENTE RAMOS Jelsi Roddy

Calicata : EXP - 02 (KM: 33+800)

Ubicación : DATUM WGS84 HUSO 18 ZONA L E=537583m N=8600336m

Fecha : DICIEMBRE 2023

Región : HUANCVELICA

Provincia : ACOBAMBA

Distrito : ANDABAMBA

Lugar : MAYHUACCACCA

SUELO DE NIVEL DE CIMENTACION

PESO UNITARIO SUELTO (PUS)

N° DE ENSAYO		Ensayo N° 01	Ensayo N° 02	Ensayo N° 03
A	PESO DEL MOLDE (gr)	3.695,0	3.695,0	3.695,0
B	PESO DEL SUELO + MOLDE (gr)	5.038,0	5.001,0	5.010,0
C	PESO DEL SUELO SUELTO (gr) = (B)-(A)	1.343,0	1.306,0	1.315,0
D	VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	940,8	940,8	940,8
E	PESO UNITARIO SUELTO (Kg/m ³) = (C)/(D)	1.428	1.388	1.398
PROMEDIO PUS (Kg/m³)		1.404		

PESO UNITARIO COMPACTADO (PUC) METODO DEL APISONADO

N° DE ENSAYO		Ensayo N° 01	Ensayo N° 02	Ensayo N° 03
A	PESO DEL MOLDE (gr)	3.695,0	3.695,0	3.695,0
B	PESO DEL SUELO + MOLDE (gr)	5.338,0	5.385,0	5.389,0
C	PESO DEL SUELO APISONADO (gr) = (B)-(A)	1.643,0	1.690,0	1.694,0
D	VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	940,8	940,8	940,8
E	PESO UNITARIO APISONADO (Kg/m ³) = (C)/(D)	1.746	1.796	1.801
PROMEDIO PUC (Kg/m³)		1.781		

DETERMINACION DE LA HUMEDAD

EXPLORACION			VICENTE RAMOS Jelsi Roddy	
	RECIPIENTE	N°	35,0	51,0
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE DE LA MUESTRA	gr	98,12	112,30
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE DE LA MUESTRA	gr	94,15	108,82
3	PESO RECIPIENTE	gr	28,90	54,25
4	PESO AGUA EN LA MUESTRA	gr	3,97	3,48
5	PESO SECO DE LA MUESTRA	gr	65,25	54,57
6	HUMEDAD	%	6,08%	6,38%
CONTENIDO DE HUMEDAD			6,23%	

DETERMINACION DEL PESO UNITARIO REPRESENTATIVO

PESO UNITARIO SUELTO PUS (Kg/m ³)	1.404
PESO UNITARIO COMPACTO PUC (Kg/m ³)	1.781
PESO UNITARIO REPRESENTATIVO DEL SUELO (Kg/m³)	1.593

Saura
Tec. Saura Paloma De La Cruz Arellano
LAB DE SUELOS
Y MATERIALES

Roddy
INGENIERO CIVIL
CIP N° 213943

Anexo N°06: Certificados de calibración



Arsou Group

Laboratorio de Metrología

Fecha de emisión	2023/03/10
Solicitante	EMPRESA COMUNAL DE SERVICIOS MULTIPLES SMELTER SOCIEDAD ANONIMA
Dirección	JR. GRAU NRO. 13 COMUNIDAD SMELTER PASCO - PASCO - TINYAHUARCO
Instrumento de medición	BALANZA
Identificación	NO INDICA
Intervalo de indicación	6200 g
División de escala Resolución	0.1 g
División de verificación (e)	0.1 g
Tipo de indicación	Digital
Marca / Fabricante	OHAUS
Modelo	NVT6201ZH
N° de serie	8345671842
Procedencia	ESTADOS UNIDOS
Ubicación	Laboratorio de suelos
Lugar de calibración	Laboratorio de ARSOU GROUP S.A.C.
Fecha de calibración	2023/03/10

Método/Procedimiento de calibración

"Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase III y IIII" (PC-001) del SNM-INDECOPI, 3era edición Enero 2009 y la Norma Metrológica Peruana "Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento No Automático (NMP 003:2009)

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.



ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
ventas@arsougroup.com
www.arsougroup.com

ARSOU GROUP S.A.C.
Ing. Hugo Luis Kravalo Carnica
METROLOGIA



Arso Group

Laboratorio de Metrología

Patrones e Instrumentos auxiliares

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
PESATEC PERÚ S.A.C.	Juego de Pesas de 1mg a 1kg	1226-MPES-C-2022
PESATEC PERÚ S.A.C.	Juego de Pesas de 1g a 1kg	1227-MPES-C-2022
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 5kg	1228-MPES-C-2022
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 10 kg	1229-MPES-C-2022
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 20kg	1230-MPES-C-2022

Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental Inicial: 26 °C Final: 26 °C
Humedad Relativa Inicial: 86 %hr Final: 86 %hr

Resultados

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Medición N°	Carga LI= 3100 g			Carga LI= 6200 g		
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)
1	3100.0	0.001	-0.001	6200.1	0.005	-0.002
2	3100.0	0.002	-0.004	6200.1	0.004	-0.004
3	3100.0	0.004	-0.005	6200.1	0.006	-0.004
4	3100.0	0.003	-0.007	6200.1	0.003	-0.009
5	3100.0	0.003	-0.009	6200.1	0.005	-0.012
6	3100.0	0.004	-0.001	6200.0	0.007	-0.014
7	3100.0	0.004	-0.004	6200.0	0.003	-0.01
8	3100.1	0.007	-0.008	6200.0	0.005	-0.009
9	3100.0	0.006	-0.004	6200.0	0.004	-0.007
10	3100.1	0.005	-0.003	6200.0	0.004	-0.008

Carga (g)	Diferencia Máxima Encontrada (g)	Error Máximo Permitido (g)
3100	0	0.05
6200	0	0.3



ARSOU GROUP S.A.C.
Ing. Hugo Luis Arévalo Carnica
METROLOGÍA

ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú

Tel: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437

ventas@arsougroup.com

www.arsougroup.com



ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Posición de la Carga	Determinación de E_0				Determinación de E_0				
	Carga Min ⁽¹⁾ (g)	I (kg)	ΔL (g)	E_0 (g)	Carga L (g)	I (kg)	ΔL (g)	E (g)	E_c (g)
1	1	1	0.003	-0.001	500	500	0.005	-0.003	0.002
2		1	0.005	-0.004		500	0.003	-0.002	0.003
3		1	0.004	0.003		500	0.001	-0.001	-0.002
4		1	0.006	0.002		500	0.001	0.002	0.005
5		1	0.002	-0.003		500	0.006	-0.001	0.002

⁽¹⁾ Valor entre 0 y 10 e

ENSAYO DE PESAJE

Carga L (g)	Crecientes				Decrecientes				EMP ⁽²⁾ (±g)
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	E_c (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	E_c (g)	
1.0	1.0	0.004	-0.001						0.05
10.0	10.0	0.006	0.004	0.004	10.0	0.006	0.001	0.004	0.05
20.0	20.0	0.002	-0.005	0.003	20.0	0.005	0.004	-0.003	0.05
50.0	50.0	0.002	0.004	0.005	50.0	0.009	-0.003	-0.003	0.05
100.0	100.0	0.004	0.004	0.006	100.0	0.005	0.003	0.001	0.05
200.0	200.0	0.001	0.005	0.002	200.0	0.004	-0.004	0.001	0.05
500.0	500.0	0.003	0.004	0.003	500.0	0.004	0.004	0.004	0.05
1000.0	1000.0	0.004	0.004	0.002	1000.0	0.005	-0.005	-0.002	0.05
2000.0	2000.0	0.009	0.004	0.003	2000.0	0.003	-0.004	-0.001	0.3
5000.0	5000.0	0.015	0.008	0.001	5000.0	0.014	-0.009	-0.02	0.3
6200.0	6200.0	0.012	0.006	0.005	6200.0	0.006	-0.015	-0.09	0.3

Leyenda

I: Indicación de la balanza
 E_0 : Error en cero

ΔL : Carga Incrementada
 E_c : Error corregido

E: Error encontrado
EMP: Error máximo permitido

INCERTIDUMBRE EXPANDIDA Y LECTURA CORREGIDA

Incertidumbre expandida de medición $U_R = 2^* \sqrt{0.00205 \text{ g}^2 + 0.000000104046 \text{ R}^2}$

Lectura Corregida $R_{\text{corregida}} = R + 7.523685435 \text{ R}$

R: Indicación de lectura de balanza (g)

Observaciones

1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. Los EMP para esta balanza, corresponden para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud II según la Norma Metrología Peruana NMP 003:2009
3. La incertidumbre de la medición ha sido calculada para un nivel de confianza de aproximadamente del 95 % con un factor de cobertura $k=2$.
4. (*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
5. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"





Arso Group
Laboratorio de Metrología

Fecha de emisión 2023/03/10

Solicitante EMPRESA COMUNAL DE SERVICIOS MULTIPLES
SMELTER SOCIEDAD ANONIMA

Dirección JR. GRAU NRO. 13 COMUNIDAD SMELTER PASCO - PASCO -
TINYAHUARCO

Instrumento de medición BALANZA

Identificación NO INDICA

Intervalo de indicación 620 g

División de escala 0.01 g
Resolución

División de verificación 0.01 g
(e)

Tipo de indicación Digital

Marca / Fabricante OHAUS

Modelo NV622ZH

N° de serie 834768545

Procedencia ESTADOS UNIDOS

Ubicación Laboratorio de suelos

Lugar de calibración Laboratorio de ARSOU GROUP S.A.C.

Fecha de calibración 2023/03/10

Método/Procedimiento de calibración

"Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase III y IIII" (PC-001) del SNM-INDECOPI, 3era edición Enero 2009 y la Norma Metrológica Peruana "Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento No Automático (NMP 003:2009)

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.



ARSOU GROUP S.A.C
Ing. Hugo Luis Arevalo Carnica
METROLOGÍA

ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
ventas@arsougroup.com
www.arsougroup.com



Patrones e Instrumentos auxiliares

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
PESATEC PERÚ S.A.C.	Juego de Pesas de 1mg a 1kg	1226-MPES-C-2022
PESATEC PERÚ S.A.C.	Juego de Pesas de 1g a 1kg	1227-MPES-C-2022
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 5kg	1228-MPES-C-2022
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 10 kg	1229-MPES-C-2022
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 20kg	1230-MPES-C-2022

Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental Inicial: 26 °c Final: 26 °C
Humedad Relativa Inicial: 86 %hr Final: 86%hr

Resultados

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Medición N°	Carga L1= 310 g			Carga L1= 620 g		
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)
1	320.00	0.001	-0.001	620.01	0.005	-0.002
2	320.00	0.002	-0.004	620.00	0.001	-0.002
3	320.00	0.004	-0.005	620.00	0.006	-0.002
4	320.01	0.003	-0.007	620.01	0.003	-0.005
5	320.01	0.003	-0.009	620.00	0.002	-0.011
6	320.00	0.004	-0.001	620.01	0.005	-0.011
7	320.00	0.004	-0.004	620.01	0.003	-0.01
8	320.00	0.007	-0.008	620.00	0.002	-0.007
9	320.01	0.006	-0.004	620.01	0.001	-0.005
10	320.01	0.005	-0.003	620.01	0.002	-0.002

Carga (g)	Diferencia Máxima Encontrada (g)	Error Máximo Permitido (g)
320.01	0	0.05
620.01	0	0.3



ARSOU GROUP S.A.C.
Ing. Hugo Luis Arevalo Carnica
METROLOGÍA



ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Posición de la Carga	Determinación de E ₀				Determinación de E ₀				
	Carga Mín ⁽¹⁾ (g)	I (kg)	ΔL (g)	E ₀ (g)	Carga L (g)	I (kg)	ΔL (g)	E (g)	E _c (g)
1	0.5	0.5	0.004	-0.001	10	10.00	0.006	-0.001	0.001
2		0.5	0.006	-0.004		10.01	0.003	-0.001	0.004
3		0.5	0.005	0.004		10.00	0.004	-0.002	-0.005
4		0.5	0.007	0.001		10.00	0.001	0.004	0.003
5		0.5	0.009	-0.002		10.01	0.004	0.004	0.002

⁽¹⁾ Valor entre 0 y 10 e

ENSAYO DE PESAJE

Carga L (g)	Crecientes				Decrecientes				EMP ⁽²⁾ (±g)
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	E _c (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	E _c (g)	
0.05	0.05	0.004	-0.001	0.002					
1.00	1.00	0.006	0.004	0.004	1.00	0.006	0.001	0.004	0.1
5.00	5.00	0.002	-0.005	0.003	5.00	0.005	0.004	-0.003	0.1
10.00	10.00	0.002	0.004	0.005	10.00	0.009	-0.003	-0.003	0.1
50.00	50.00	0.001	0.002	0.001	50.00	0.004	0.002	0.0001	0.1
100.00	100.00	0.009	0.004	0.008	100.00	0.005	0.005	0.001	0.1
200.00	200.00	0.009	0.004	0.008	200.00	0.005	0.005	0.001	0.1
300.00	300.00	0.005	0.008	0.003	300.00	0.007	0.004	0.004	0.1
500.00	500.00	0.004	0.004	0.005	500.00	0.005	-0.03	-0.002	0.1
600.00	600.00	0.009	0.004	0.004	600.00	0.003	-0.008	-0.01	0.5
620.00	619.99	0.015	0.008	0.001	619.99	0.014	-0.014	-0.01	0.5

Leyenda

I: Indicación de la balanza

ΔL: Carga Incrementada

E: Error encontrado

E₀: Error en cero

E_c: Error corregido

EMP: Error máximo permitido

INCERTIDUMBRE EXPANDIDA Y LECTURA CORREGIDA

Incertidumbre expandida de medición $U_R = 2 \cdot \sqrt{0,00005 \text{ g}^2 + 0,0000006877059 \text{ R}^2}$

Lectura Corregida $R_{\text{corregida}} = R + 75,422899285 \text{ R}$

R: Indicación de lectura de balanza (g)

Observaciones

1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. Los EMP para esta balanza, corresponden para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud II según la Norma Metrológica Peruana NMP 003:2009
3. La incertidumbre de la medición ha sido calculada para un nivel de confianza de aproximadamente del 95 % con un factor de cobertura k=2.
4. (*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
5. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú
Tel: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
ventas@arsougroup.com
www.arsougroup.com



ARSOU GROUP S.A.C
Ing. Hugo Luis Arévalo Carnica
METROLOGÍA



Arso Group
Laboratorio de Metrología

Fecha de emisión 2023/03/10

Solicitante **EMPRESA COMUNAL DE SERVICIOS MULTIPLES
SMELTER SOCIEDAD ANONIMA**

Dirección JR. GRAU NRO. 13 COMUNIDAD SMELTER PASCO -
PASCO - TINYAHUARCO

Instrumento de medición **BALANZA**

Identificación NO INDICA

Intervalo de indicación 30000 g

División de escala 1 g

Resolución

División de verificación (e) 1 g

Tipo de indicación Digital

Marca / Fabricante OHAUS

Modelo R21PE30

N° de serie 8340110645

Procedencia ESTADOS UNIDOS

Ubicación Laboratorio de suelos

Lugar de calibración Laboratorio de ARSOU GROUP S.A.C.

Fecha de calibración 2023/03/10

Método/Procedimiento de calibración

"Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase III y IIII" (PC-001) del SNM-INDECOPI, 3era edición Enero 2009 y la Norma Metroológica Peruana "Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento No Automático (NMP 003:2009)

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.





Patrones e Instrumentos auxiliares

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
PESATEC PERÚ S.A.C.	Juego de Pesas de 1mg a 1kg	1226-MPES-C-2022
PESATEC PERÚ S.A.C.	Juego de Pesas de 1g a 1kg	1227-MPES-C-2022
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 5kg	1228-MPES-C-2022
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 10 kg	1229-MPES-C-2022
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 20kg	1230-MPES-C-2022

Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental	Inicial: 25 °C	Final: 26 °C
Humedad Relativa	Inicial: 85 %hr	Final: 85 %hr

Resultados

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Medición N°	Carga L1= 15000 g			Carga L1= 30000 g		
	I (g)	ΔI (g)	E (g)	I (g)	ΔI (g)	E (g)
1	15000	0.07	-0.12	3000	0.05	-0.1
2	15000	0.07	-0.15	29999	0.04	-0.12
3	14999	0.04	-0.12	30000	0.05	-0.13
4	14999	0.02	-0.11	30000	0.04	-0.1
5	15000	0.06	-0.11	30000	0.03	-0.11
6	15000	0.07	-0.11	30000	0.05	-0.11
7	15000	0.06	-0.11	30000	0.04	-0.11
8	15000	0.06	-0.12	30000	0.05	-0.1
9	15000	0.09	-0.12	30000	0.04	-0.11
10	15000	0.08	-0.1	30000	0.05	-0.11
Carga (g)	Diferencia Máxima Encontrada (g)		Error Máximo Permitido (g)			
15000	0		1			
30000	0		5			





ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Posición de la Carga	Determinación de E ₀				Determinación de E ₀				
	Carga Mín ⁽¹⁾ (g)	I (kg)	ΔL (g)	E ₀ (g)	Carga L (g)	I (kg)	ΔL (g)	E (g)	E _c (g)
1	1	1	0.04	-0.06	500	500	0.07	-0.02	0.07
2		1	0.05	-0.01		500	0.07	-0.02	0.06
3		1	0.03	-0.03		500	0.05	-0.01	-0.03
4		1	0.02	0.01		500	0.07	0.04	0.05
5		1	0.07	-0.02		499	0.07	0.19	0.21

⁽¹⁾ Valor entre 0 y 10 e

ENSAYO DE PESAJE

Carga L (g)	Crecientes				Decrecientes				EMP ^(B) (±g)
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	E _c (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	E _c (g)	
1	1	1	-0.02	0.02					1
5	10	10	0.01	0.01	10	0.04	0.01	0.03	1
10	50	50	-0.01	0.01	50	0.04	-0.03	-0.05	1
50	100	100	0.03	0.02	100	0.02	-0.07	-0.05	1
100	200	200	0.02	0.02	200	0.06	-0.04	0.01	1
500	500	500	0.01	0.01	500	0.06	-0.01	0.00	1
1000	1000	1000	-0.02	0.02	1000	0.05	0.00	0.02	1
5000	5000	4999	-0.05	0.03	4999	0.06	-0.18	-0.02	1
10000	10000	9999	0.01	0.01	4999	0.15	0.21	0.11	5
15000	15000	14998	0.09	0.03	14999	0.05	-0.12	-0.01	5
30000	30000	30000	0.15	0.18	30000	0.05	-0.18	-0.15	5

Incertidumbre de la medición: 1 g

Leyenda

I: Indicación de la balanza ΔL: Carga Incrementada E: Error encontrado
E₀: Error en cero E_c: Error corregido EMP: Error máximo permitido

INCERTIDUMBRE EXPANDIDA Y LECTURA CORREGIDA

Incertidumbre expandida de medición $U_R = 2 \cdot \sqrt{0.43325 \text{ g}^2 + 0.000000010841 \text{ R}^2}$

Lectura Corregida $R_{\text{corregida}} = R + 0.938558532 \text{ R}$

R: Indicación de lectura de balanza: (g)

Observaciones

1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. Los EMP para esta balanza, corresponden para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud II según la Norma Metroológica Peruana NMP 003:2009
3. La incertidumbre de la medición ha sido calculada para un nivel de confianza de aproximadamente del 95 % con un factor de cobertura k=2.
4. (*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.

5. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"





Arso Group

Laboratorio de Metrología

Fecha de emisión	2023/03/10
Solicitante	EMPRESA COMUNAL DE SERVICIOS MULTIPLES SMELTER SOCIEDAD ANONIMA
Dirección	JR. GRAU NRO. 13 COMUNIDAD SMELTER PASCO - PASCO - TINYAHUARCO
Instrumento de medición	MOLDE PROCTOR DE 4"
Identificación	NO INDICA
Marca	ARSOU
Modelo	NO INDICA
Serie	2008
Estructura	FIERRO
Acabado	ZINCADO
Procedencia	PERÚ
Lugar de calibración	Laboratorio de suelos Laboratorio de ARSOU GROUP S.A.C.
Fecha de calibración	2023/03/10

Método/Procedimiento de calibración

La calibración se efectuó por comparación directa tomando como referencia el procedimiento PC-012 5ta Ed. 2012., "Procedimiento de Calibración de Pie de Rey", del Instituto Nacional de Calidad - INACAL y la Norma ASTM D 1557 y MTC E 115 Compactación de Suelos en Laboratorio utilizando una energía modificada (56 000 pie-lb/pie³ [2 700 kN-m/m³]).

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus Instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del Instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.



ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Vv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
ventas@arsougroup.com
www.arsougroup.com

ARSOU GROUP S.A.C

Ing. Hugo Luis Arávalo Carnica
METROLOGIA



Arso Group

Laboratorio de Metrología

Patrones e Instrumentos auxiliares

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
DSI PERU AUTOMATION EIRL	Pie de Rey digital	L-0048-2022

Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental	Inicial: 25 °C	Final: 26 °C
Humedad Relativa	Inicial: 85 %hr	Final: 85 %hr

Resultados

TABLA N° 01
DIÁMETRO INTERIOR

PUNTO	MEDICIÓN	DIÁMETRO ESPECIFICADO	EMP
N° 1	101.75	101.6	+/- 0,66mm
N° 2	99.86	101.6	+/- 0,66mm
N° 3	102.11	101.6	+/- 0,66mm
N° 4	101.88	101.6	+/- 0,66mm
PROMEDIO	101.40	:	OK

TABLA N° 02
ALTURA MEDIDO

PUNTO	MEDICIÓN	ALTURA ESPECIFICADO	EMP
N° 1	115.96	116.43	+/- 0,5mm
N° 2	115.97	116.43	+/- 0,5mm
N° 3	116.23	116.43	+/- 0,5mm
N° 4	116.41	116.43	+/- 0,5mm
PROMEDIO	116.14	:	OK



ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
ventas@arsougroup.com
www.arsougroup.com

ARSOU GROUP S.A.C

Ing. Hugo Luis Arevalo Carac
METROLOGÍA



Arsou Group

Laboratorio de Metrología

TABLA N° 03

VOLUMEN

PUNTO	MEDICIÓN	VOLUMEN ESPECIFICADO	EMP
N° 1	938	944.14	+/- 14 cc

PROMEDIO 938 : OK

Observaciones

1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. (*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
3. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"



ARSOU GROUP S.A.C.

Ing. Hugo Luis Arevalo Carnicé
METROLOGÍA

ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú

Tel: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437

ventas@arsougroup.com

www.arsougroup.com



Arsou Group
Laboratorio de Metrología

Fecha de emisión 2023/03/29

Solicitante EMPRESA COMUNAL DE SERVICIOS MULTIPLES
SMELTER SOCIEDAD ANONIMA

Dirección JR. GRAU NRO. 13 COMUNIDAD SMELTER PASCO -
PASCO - TINYAHUARCO

Instrumento de medición MOLDE PROCTOR DE 6"

Identificación NO INDICA

Marca ARSOU

Modelo NO INDICA

Serie 131092

Estructura FIERRO

Acabado ZINCADO

Procedencia PERÚ

Ubicación Laboratorio de suelos
Lugar de calibración Laboratorio de ARSOU GROUP S.A.C.

Fecha de calibración 2023/03/29

Método/Procedimiento de calibración

La calibración se efectuó por comparación directa tomando como referencia el procedimiento PC-012 5ta Ed. 2012., "Procedimiento de Calibración de Pie de Rey", del Instituto Nacional de Calidad - INACAL y la Norma ASTM D 1557 y MTC E 115 Compactación de Suelos en Laboratorio utilizando una energía modificada (56 000 pie-lb/pie³ [2 700 kN-m/m³]).

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.



ARSOU GROUP S.A.C.
Ing. Hugo Luis Arévalo Carnica
METROLOGIA

ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú
Tel: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
ventas@arsougroup.com
www.arsougroup.com



Patrones e Instrumentos auxiliares

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
DSI PERU AUTOMATION EIRL	Pie de Rey digital	L-0048-2022

Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental Inicial: 26 °C Final: 26 °C
Humedad Relativa Inicial: 82 %hr Final: 82 %hr

Resultados

TABLA N° 01
DIÁMETRO INTERIOR

PUNTO	MEDICIÓN	DIÁMETRO ESPECIFICADO	EMP
N° 1	152.49	152.4	+/- 0,66mm
N° 2	152.28	152.4	+/- 0,66mm
N° 3	151.93	152.4	+/- 0,66mm
N° 4	152.12	152.4	+/- 0,66mm

PROMEDIO 152.21 : OK

TABLA N° 02
ALTURA MEDIDO

PUNTO	MEDICIÓN	ALTURA ESPECIFICADO	EMP
N° 1	116.44	116.43	+/- 0,5mm
N° 2	116.06	116.43	+/- 0,5mm
N° 3	116.17	116.43	+/- 0,5mm
N° 4	116.23	116.43	+/- 0,5mm

PROMEDIO 116.23 : OK



ARSOU GROUP S.A.C.

Ing. Hugo Luis Arévalo Carnica
METROLOGIA

ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú
Tel: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
ventas@arsougroup.com
www.arsougroup.com



TABLA N° 03
VOLUMEN

PUNTO	MEDICIÓN	VOLUMEN ESPECIFICADO	EMP
N° 1	2115	2124	+/- 25 cc

PROMEDIO : 2115 : OK

Observaciones

1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. (*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
3. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"



ARSOU GROUP S.A.C.
Ing. Hugo Luis Arévalo Carnica
METROLOGÍA



Arso Group

Laboratorio de Metrología

Fecha de emisión	2023/03/10
Solicitante	EMPRESA COMUNAL DE SERVICIOS MULTIPLES SMELTER SOCIEDAD ANONIMA
Dirección	JR. GRAU NRO. 13 COMUNIDAD SMELTER PASCO - PASCO - TINYAHUARCO
Instrumento de medición	MARTILLO PROCTOR DE 5.5 LB
Identificación	NO INDICA
Marca	ARSOU
Modelo	NO INDICA
Serie	2508
Estructura	FIERRO
Acabado	ZINCADO
Procedencia	PERÚ
Ubicación	Laboratorio de suelos
Lugar de calibración	Laboratorio de ARSOU GROUP S.A.C.
Fecha de calibración	2023/03/10

Método/Procedimiento de calibración

La calibración se efectuó por comparación directa tomando como referencia el procedimiento PC-012 5ta Ed. 2012., "Procedimiento de Calibración de Pie de Rey", del Instituto Nacional de Calidad - INACAL y la Norma ASTM D 1557 y MTC E 115 Compactación de Suelos en Laboratorio utilizando una energía modificada (56 000 pie-lb/pie³ [2 700 kN-m/m³]).

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del Instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.



ARSOU GROUP S.A.C.

Mza. E Lote 2 Urb. La virreyna, San Martín de Porres, Lima, Perú
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
ventas@arsougroup.com
www.arsougroup.com

ARSOU GROUP S.A.C.

Fig. Mega Luis Arovalto Carmona
METROLOGIA



Arso Group
Laboratorio de Metrología

Patrones e Instrumentos auxiliares

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
DSI PERU AUTOMATION EIRL	Pie de Rey digital	L-0048-2022

Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental	Inicial: 25 °C	Final: 25 °C
Humedad Relativa	Inicial: 85 %hr	Final: 85 %hr

Resultados

TABLA N° 01
VERIFICACIÓN

	Promedio	Tolerancia	Resultado
Peso Martillo (g.)	2499.7	2500 ± 10	OK
∅ Cara Impacto (mm)	50.9	50,8 ± 0,13	OK
Altura de Caída (mm)	303.99	304,8 ± 1,3	OK

Observaciones

1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. (*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
3. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"



ARSOU GROUP S.A.C.

Mza. E Lote 2 Urb. La virreyna, San Martín de Porres, Lima, Perú
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
ventas@arsougroup.com
www.arsougroup.com

ARSOU GROUP S.A.C

Ing. Hugo Luis Arevalo Carriza
METROLOGÍA



Arsou Group

Laboratorio de Metrología

Fecha de emisión 2023/03/10

Solicitante EMPRESA COMUNAL DE SERVICIOS MULTIPLES SMELTER
SOCIEDAD ANONIMA

Dirección JR. GRAU NRO. 13 COMUNIDAD SMELTER PASCO - PASCO -
TINYAHUARCO

Instrumento de medición MARTILLO PROCTOR DE 10 LB

Identificación NO INDICA

Marca ARSOU

Modelo NO INDICA

Serie 20223

Estructura FIERRO

Acabado ZINCADO

Procedencia PERÚ

Ubicación Laboratorio de suelos

Lugar de calibración Laboratorio de ARSOU GROUP S.A.C.

Fecha de calibración 2023/03/10

Método/Procedimiento de calibración

La calibración se efectuó por comparación directa tomando como referencia el procedimiento PC-012 5ta Ed. 2012., "Procedimiento de Calibración de Pie de Rey", del Instituto Nacional de Calidad - INACAL y la Norma ASTM D 1557 y MTC E 115 Compactación de Suelos en Laboratorio utilizando una energía modificada (56 000 pie-lb/pie³ [2 700 kN-m/m³]).

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.



ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
ventas@arsougroup.com
www.arsougroup.com

ARSOU GROUP S.A.C

Ing. Hugo Luis Arevalo Carnico
METROLOGIA



Arsou Group
Laboratorio de Metrología

Patrones e Instrumentos auxiliares

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
DSI PERU AUTOMATION EIRL	Pie de Rey digital de 300 mm a 0.01 mm	L-0048-2022

Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental	Inicial: 25 °C	Final: 26 °C
Humedad Relativa	Inicial: 86 %hr	Final: 86 %hr

Resultados

TABLA N° 01
VERIFICACIÓN

	Promedio	Tolerancia	Resultado
Peso Martillo (g.)	4537	4536 ± 9	OK
∅ Cara Impacto (mm)	50.7	50,8 ± 0,13	OK
Altura de Caída (mm)	456	457,2 ± 1,6	OK

Observaciones

1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. (*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
3. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"



ARSOU GROUP S.A.C

Ing. Hugo Luis Arevalo Carnicé
METROLOGÍA

ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
ventas@arsougroup.com
www.arsougroup.com



Arsou Group

Laboratorio de Metrología

Fecha de emisión	2023/03/10
Solicitante	EMPRESA COMUNAL DE SERVICIOS MULTIPLES SMELTER SOCIEDAD ANONIMA
Dirección	JR. GRAU NRO. 13 COMUNIDAD SMELTER PASCO - PASCO - TINYAHUARCO
Instrumento de medición	CANASTILLA PARA PESO ESPECIFICO
Identificación	NO INDICA
Marca	ARSOU
Modelo	NO INDICA
Serie	603
Malla	N° 7
Estructura	ACERO
Procedencia	PERÚ
Ubicación	Laboratorio de suelos
Lugar de calibración	Laboratorio de ARSOU GROUP S.A.C.
Fecha de calibración	2023/03/10

Método/Procedimiento de calibración

La Calibración se realizó por comparación tomando como referencia el método descrito en el PC-012 Sta Ed. 2012: "Procedimiento de Calibración de Pie de Rey" del Instituto Nacional de Calidad - INACAL y la Norma Americana ASTM - E11.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.



ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
ventas@arsougroup.com
www.arsougroup.com

ARSOU GROUP S.A.C

Ing. Hugo Luis Arevalo Carnica
METROLOGIA



Arsou Group

Laboratorio de Metrología

Patrones e Instrumentos auxiliares

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
DSI AUTOMATION EIRL	Pie de Rey digital de 300 mm a 0.01 mm	L-0048-2022

Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental Inicial: 25 °C Final: 25 °C
Humedad Relativa Inicial: 86 %hr Final: 86 %hr

Resultados

TABLA N° 01
MEDICIÓN DE LOS PUNTOS

PUNTO	MEDICIÓN (mm)	LUZ	EMP
N° 1	2.72	2.8mm	+/- 0.095 mm
N° 2	2.69	2.8mm	+/- 0.095 mm
N° 3	2.74	2.8mm	+/- 0.095 mm
N° 4	2.73	2.8mm	+/- 0.095 mm
N° 5	2.79	2.8mm	+/- 0.095 mm

PROMEDIO **2.73** : **OK**



ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú
Tel: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
ventas@arsougroup.com
www.arsougroup.com

ARSOU GROUP S.A.C.
Ing. Hugo Luis Arévalo Carnica
METROLOGÍA



Arsou Group

Laboratorio de Metrología

Fecha de emisión 2023/03/10

Solicitante EMPRESA COMUNAL DE SERVICIOS MULTIPLES
SMELTER SOCIEDAD ANONIMA

Dirección JR. GRAU NRO. 13 COMUNIDAD SMELTER PASCO - PASCO -
TINYAHUARCO

Instrumento de medición VERNIER

Identificación NO INDICA

Marca INSIZE

Modelo 1108300W

Serie 2010171354

Sistema DIGITAL

Medida 12 in

Procedencia ESTADOS UNIDOS

Ubicación Laboratorio de suelos

Lugar de calibración Laboratorio de ARSOU GROUP S.A.C.

Fecha de calibración 2023/01/28

Método/Procedimiento de calibración

La Calibración se realizó por comparación tomando como referencia el método descrito en el PC-012: "Procedimiento de Calibración de Pie de Rey" del SNM-INDECOPI. 5ta Ed.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.



ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
ventas@arsougroup.com
www.arsougroup.com

ARSOU GROUP S.A.C

Ing. Hugo Lelis Arevalo Carnica
METROLOGÍA



Arsou Group

Laboratorio de Metrología

Patrones e Instrumentos auxiliares

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
Patrones de referencia de INACAL	BLOQUES PATRONES	LLA-150-2022
Patrones de referencia de INACAL	ANILLO PATRON	LLA-198-2022
Patrones de referencia de INACAL	VARILLA PATRON	LLA-182-2022

Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental Inicial: 26 °C Final: 26 °C
Humedad Relativa Inicial: 85 %hr Final: 85 %hr

Resultados

TABLA N° 01

VERIFICACIÓN

Bloque Patrón	Indicación Promedio del Ple de Rey (mm)			Máximo error encontrado (± mm)	Máximo error permitido (± mm)
	Punto I	Punto II	Punto III		
10.00	10.02	10.04	10.03	-0.03	0.05
20.00	20.01	20.01	20.02	-0.01	0.05
50.00	50.01	50.01	50.00	-0.01	0.05
100.00	100.02	100.00	100.01	-0.01	0.05
150.00	150.03	150.00	151.00	-0.34	0.05
200.00	200.01	200.03	200.01	-0.02	0.05

INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

0.08825

Observaciones

1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. (*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
3. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"

ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
ventas@arsougroup.com
www.arsougroup.com



ARSOU GROUP S.A.C.
Ing. Hugo Luis Arévalo Carnica
METROLOGÍA



Arsou Group

Laboratorio de Metrología

Fecha de emisión	2023/03/10
Solicitante	EMPRESA COMUNAL DE SERVICIOS MULTIPLES SMELTER SOCIEDAD ANONIMA
Dirección	JR. GRAU NRO. 13 COMUNIDAD SMELTER PASCO - PASCO - TINYAHUARCO
Instrumento de medición	CONO Y PISÓN DE ABSORCIÓN
Identificación	NO INDICA
Marca	ARSOU
Modelo	NO INDICA
Serie	180294
Estructura	ACERO
Procedencia	PERÚ
Ubicación	Laboratorio de suelos
Lugar de calibración	Laboratorio de ARSOU GROUP S.A.C.
Fecha de calibración	2023/03/10

Método/Procedimiento de calibración

La calibración se efectuó por comparación directa tomando como referencia el procedimiento PC-012 Sta. Ed., "Procedimiento de Calibración de Pie de Rey", del SNM-INDECOPI y la Norma del MTC 205.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.



ARSOU GROUP S.A.C.

Mza. E Lote 2 Urb. La virreyna, San Martín de Porres, Lima, Perú
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
ventas@arsougroup.com
www.arsougroup.com

ARSOU GROUP S.A.C.

Ing. Hugo Luis Arevalo Carriza
METROLOGÍA



Arsou Group

Laboratorio de Metrología

Patrones e Instrumentos auxiliares

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
DSI AUTOMATION EIRL	Pie de Rey digital de 300 mm a 0.01 mm	L-0048-2022
Patrones de referencia de INACAL	Balanza Ohaus de 30 kg x 1 g	211-LM-2022

Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental	Inicial: 25 °C	Final: 25 °C
Humedad Relativa	Inicial: 85 %hr	Final: 86 %hr

Resultados

TABLA N° 01

MOLDE CÓNICO

	Dato Prom. (mm)	Tolerancia	Resultado
Espesor	1.49	> 0.8	OK
∅ Interior Base Menor	40.6	40 +/- 3	OK
∅ Interior Base Mayor	91.2	90 +/- 3	OK
Altura	75.21	75 +/- 3	OK

TABLA N° 01

PISÓN

	Dato Prom. (mm)	Tolerancia	Resultado
Peso (g.)	340.12	340 +/- 15	OK
Superfi. Circ. Plana (mm)	24.56	25 +/- 3	OK

Observaciones

1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. (*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
3. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"



ARSOU GROUP S.A.C.

Mza. E Lote 2 Urb. La virreyna, San Martín de Porres, Lima, Perú
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
ventas@arsougroup.com
www.arsougroup.com

ARSOU GROUP S.A.C.

Ing. Hugo Luis Arevalo Carnica
METROLOGÍA



Fecha de emisión	2023/03/29	<p>Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)</p> <p>Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.</p> <p>ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.</p> <p>Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.</p> 
Solicitante	EMPRESA COMUNAL DE SERVICIOS MULTIPLES SMELTER SOCIEDAD ANONIMA	
Dirección	JR. GRAU NRO. 13 COMUNIDAD SMELTER PASCO - PASCO - TINYAHUARCO	
Instrumento de medición	COPA CASAGRANDE	
Identificación	NO INDICA	
Marca	ARSOU	
Modelo	CSA904	
Serie	23871	
Mecanismo	MANUAL	
Ranurador	METALICO	
Procedencia	PERÚ	
Ubicación	Laboratorio de suelos	
Lugar de calibración	Laboratorio de ARSOU GROUP S.A.C.	
Fecha de calibración	2023/03/29	
Método/Procedimiento de calibración	La calibración se efectuó por comparación directa tomando como referencia el procedimiento PC-012 5ta. Ed., "Procedimiento de Calibración de Pie de Rey", del Instituto Nacional de la Calidad - INACAL y la Norma del MTC 110.	

ARSOU GROUP S.A.C.

Ing. Julio Luis Arevalo Carnicé
METROLOGÍA



Patrones e Instrumentos auxiliares

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
DSI PERU AUTOMATION EIRL	Pie de Rey digital	L-0048-2022

Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental	Inicial: 26 °C	Final: 26 °C
Humedad Relativa	Inicial: 82 %hr	Final: 82 %hr

Resultados

IMAGEN N° 01

Dimensiones	Aparato de Límite Líquido							Romador		
	Conjunto de la Cazuela			Base				Extremo Curvado		
	A	B	C	N	K	L	M	a	b	c
Descripción	Radio de la Copa	Espesor de la Copa	Profundidad de la Copa	Copa desde la guía del elevador hasta la base	Espesor	Largo	Ancho	Espesor	Borde Curvado	Ancho
Métrico, mm	54	2.0	27	47	50	150	125	10.0	2.0	13.5
Tolerancia, mm	2	0.1	1	1.5	5	5	5	0.1	0.1	0.1
Inglés, pulg.	2.13	0.079	1.063	1.850	2	5.90	4.92	0.39	0.08	0.53
Tolerancia, pulg.	0.08	0.004	0.4	0.6	0.2	0.2	0.2	0.004	0.004	0.004

TABLA N° 01

CAZUELA

DESCRIPCIÓN	DATO PROMEDIO (mm)	TOLERANCIA (mm)	RESULTADO
ESPESOR	2.09	+/- 0.1	OK
PROFUNDIDAD	26.78	+/- 1	OK



ARSOU GROUP S.A.C.
Ing. Hugo Luis Arevalo Carrica
METROLOGIA



TABLA N° 02

BASE

DESCRIPCIÓN	DATO PROMEDIO (mm)	TOLERANCIA (mm)	RESULTADO
GUÍA DEL ELEVADOR	48.36	+/- 1.5	OK
ESPESOR	50.61	+/- 5	OK
LARGO	151.30	+/- 5	OK
ANCHO	125.21	+/- 5	OK
HUELLA	3.79	+/- 13	OK

TABLA N° 03

RANURADOR

DESCRIPCIÓN	DATO PROMEDIO (mm)	TOLERANCIA (mm)	RESULTADO
CALIBRADOR CUADRADO	10.03	+/- 0.2	OK
ESPESOR	9.97	+/- 0.1	OK
BORDE CORTANTE	2.02	+/- 0.1	OK
ANCHO	13.54	+/- 0.1	OK

Observaciones

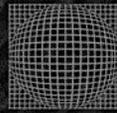
1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. (*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
3. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"



Fin de documento

ARSOU GROUP S.A.C
Ing. Hugo Luis Arévalo Carnic
METROLOGÍA

Anexo N°07: Especificación técnica de geomalla



Las geomallas uniaxiales FORTGRID son elaboradas con el exclusivo Multifilamento G5 de Poliéster de Alta Tenacidad (PET) ⁽¹⁾ de Geomatrix, desarrolladas para interactuar con suelos y agregados pétreos, proporcionando alta resistencia a la tensión y alto módulo de deformación a las estructuras de suelo que conforman.

Las fibras de geomalla son recubiertas con un copolímero que le otorga mayor rigidez dimensional y la protección necesaria en su instalación. FORTGRID UX presenta estabilidad en el comportamiento mecánico a largo plazo a través de su baja plastodeformación (bajo creep), lo cual representa permanencia en la función de refuerzo a través del tiempo y control de deformaciones en la estructura reforzada.

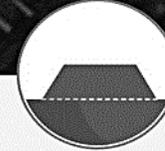
FORTGRID UX es empleada en la construcción de taludes de alta pendiente, muros de contención en suelo reforzado y terraplenes sobre suelos blandos.



Refuerzo de muros de contención.



Estabilización de taludes de alta pendiente.



Terraplenes sobre suelos blandos.

PROPIEDADES MECÁNICAS

ENSAYO

UNIDAD

VALORES MARV

			UX 50	UX 75	UX 100	UX 135	UX 165	UX 200	UX 300
Resistencia última a la tensión (MD) ⁽²⁾		kN/m	55,0	80,0	115	135	173	200	300
Resistencia última a la tensión (TD) ⁽²⁾	ASTM D 6637	kN/m	24,0	25,0	25,0	31,0	54,0	50,0	50,0
Elongación última (MD) ⁽³⁾		%	11,2	11,9	12,3	12,4	12,0	12,5	12,7
Resistencia máxima disponible para diseño a 75 años	GRI - GG4 (b)	kN/m	27,5	40,0	57,5	67,5	86,6	100	150
Módulo secante al 2% elongación (MD)	ASTM D 6637	kN/m	593,6	772,4	1080	1232	1663	1694	2772
Coeficiente de interacción por Pull out Ci @ 24 kPa	ASTM D 6706		1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09

PROPIEDADES FÍSICAS

			UX 50	UX 75	UX 100	UX 135	UX 165	UX 200	UX 300
Tamaño de abertura (MD) ⁽³⁾	Medido	mm	30	31	30	25	26	26	26
Tamaño de abertura (TD) ⁽³⁾	Medido	mm	27	27	21	21	20	21	16

PRESENTACIÓN DEL ROLLO

			UX 50	UX 75	UX 100	UX 135	UX 165	UX 200	UX 300
Ancho ⁽⁴⁾ x largo	Medido	m	5,30 x 90	5,30 x 90	5,30 x 60	5,30 x 50	5,30 x 40	5,30 x 40	5,30 x 25
Ancho ⁽⁴⁾ x largo	Medido	m						2,65 x 40	

Observaciones:

MARV: Los valores reportados corresponden a los mínimos valores promedio de rollo (MARV en inglés), los cuales son calculados del promedio menos dos desviaciones estándar de un población de datos extensa y que estadísticamente representa un 97,7 % de nivel de confianza que cualquier muestra tomada para aseguramiento de la calidad, excederá el valor reportado. **MD:** Dirección de la máquina, a lo largo de los rollos. **TD:** Dirección transversal a través del largo de los rollos. **(1)** Poliéster de alta tenacidad (PET) de peso molecular mayor a 25000 g/mol y grupos carboxilo finales a menores a 30, resistente a la degradación por rayos UV, biológicamente inerte y resistente a ácidos, álcalis y condiciones químicas presentes naturalmente en los suelos. **(2)** Las propiedades de tensión se determinaron empleando la opción B (Múltiples costillas) del Método de prueba ASTM D6637 debido a que tiene en cuenta la interacción de todas las costillas en el ancho del espécimen. **(3)** Valor promedio. **(4)** El ancho puede variar en un rango de +/- 1,0%.

Geomatrix se reserva el derecho a hacer sin previo aviso cambios en esta hoja técnica por actualización y mejora de sus productos.

Geomatrix cuenta con su propio laboratorio acreditado por el Geosynthetic Accreditation Institute – Laboratory Accreditation Program (GAI-LAP), el cual garantiza la competencia e independencia del laboratorio para llevar a cabo pruebas específicas de Geosintéticos.

El alto nivel de calidad permanente se garantiza mediante la implementación de buenas prácticas de un sistema de gestión de calidad enmarcado en las normas **NTC-ISO 9001, NTC-ISO 14001, NTC-ISO 45001**; así como de un sistema de inspección y evaluación estricto, conforme a los lineamientos de las normas **ASTM D4354 y ASTM D4759** y de las especificaciones de supervivencia establecidas en **FHWA NHI 07 – 092 y AASHTO M288**.

Los valores de las propiedades mecánicas corresponden a la resistencia nominal del material Tult. Para efectos de diseño, se debe determinar la resistencia disponible Tdisp considerando la aplicación de factores de reducción que cuantifican la afectación del material por daños de instalación, daños por ataques químicos y por fluencia mediante la ecuación (a) así:

$$T_{disp} = \frac{T_{ult}}{RF_{CR} \cdot RF_D \cdot RF_{ID}} \quad (a)$$

En la Tabla 1 se presentan los valores mínimos para cada caso.

Tabla 1. Factores de reducción para FORTEX®

Nº	Factor de reducción	Valor	
1	Factor de reducción por creep RF_{CR} (Según ASTM D 5262 / 6992)		
	@ 75 años	1.58	
	@ 114 años	1.60	
2	Factor de reducción por durabilidad RF_D (daños por ataques químicos ó bacteriológicos) ^(b)	3 < pH < 5 8 < pH < 9	5 < pH < 8
		1.30	1.15
3	Factor de reducción por daños durante la instalación RF_{ID} ^(b) ^(c)	Material tipo 1. Tamaño máx 100 mm. (4plg) alrededor de 30mm (1¼plg)	Material tipo 2. Tamaño máx 20mm (¾plg). alrededor de 0,70mm (¼plg)
		1.30 - 1.85	1.10 - 1.30

(b) De acuerdo con FHWA-NHI-10-024, según ensayos GRI GG7 – GRI GG8;

(c) La resistencia en los nudos es superior a 110 N, superando los requisitos de supervivencia ante daños de instalación de acuerdo con FHWA NHI-07-092. Los valores bajos del rango se asocian con materiales poco abrasivos, colocados con equipo de construcción convencional, con presiones de inflado menores a 550 kPa (80 psi). Los valores altos del rango se asocian con materiales abrasivos provenientes de trituración.

El Multifilamento G5 debe su alta estabilidad química y física a la complejidad polimérica del Poliéster de Alta Tenacidad (PET) utilizado y al proceso de transformación de GEOMATRIX, que incluye procesos especiales de tensionamiento y orientación mediante los cuales se le confieren características particulares entre las cuales se destacan la alta resistencia a la tensión y el alto módulo de deformación, bajo creep, resistencia a la carga cíclica y resistencia a las altas temperaturas. Estas características, combinadas con la técnica de construcción y el impregnado con copolímero, dan como resultado una geomalla de alto desempeño, resistente al daño por instalación, de alta estabilidad dimensional y alta eficiencia en la interacción con el agregado (entramamiento).

Los resultados obtenidos en ensayos de deformación plástica (creep) efectuados a las geomallas FORTGRID® en laboratorio acreditado GAI – LAP demuestran que éstas pueden reforzar suelos utilizando hasta el 62,5% de la resistencia última sin presentar deformación plástica, en periodos hasta de 114 años, como se aprecia en la figura 1.

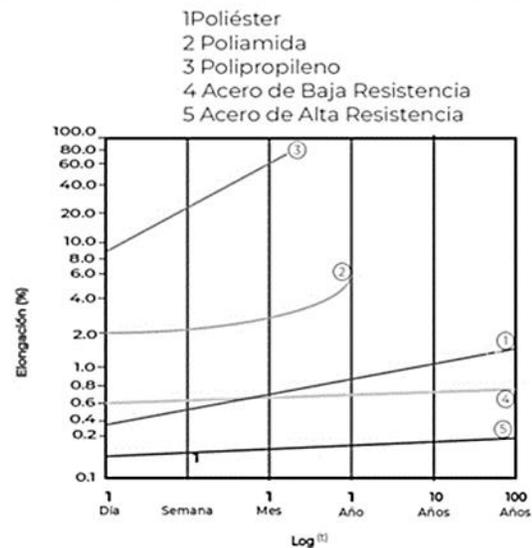
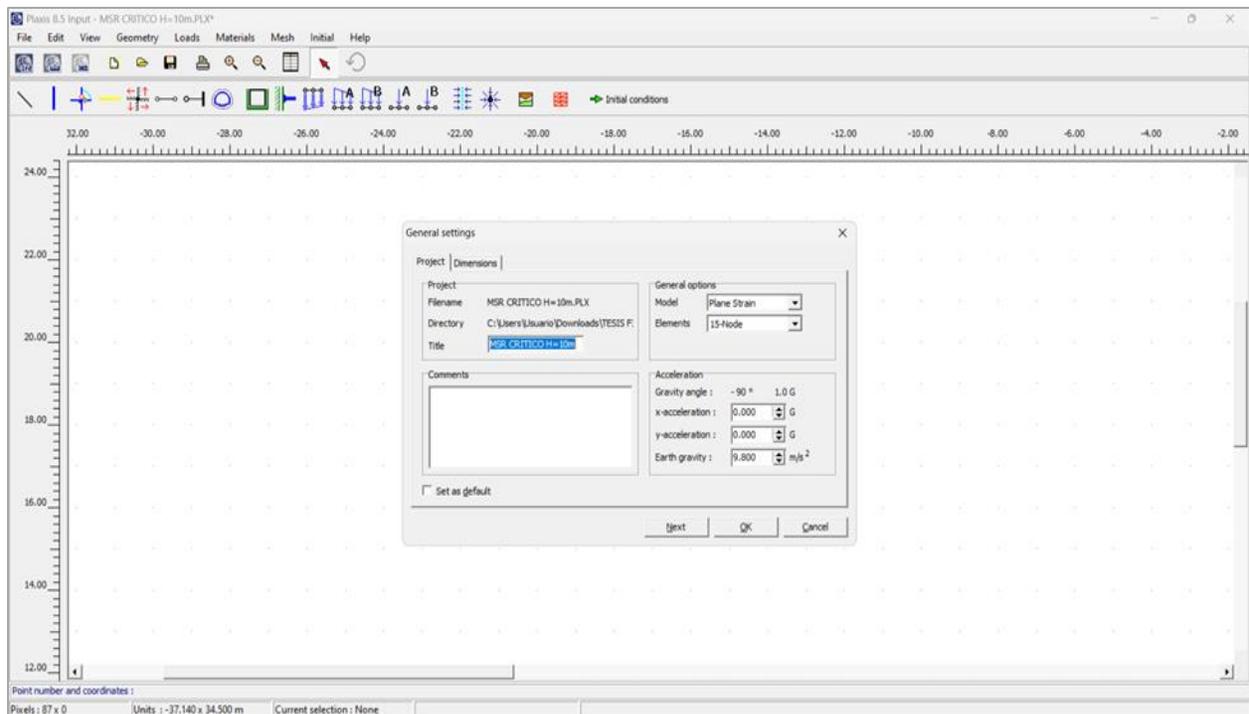


Figura 1. Deformación plástica a través del tiempo. Materiales sometidos al 60% de su carga última en tensión. Adaptado de (Pilarzick K.W. Geosynthetics in Hydraulic and Coastal Engineering)



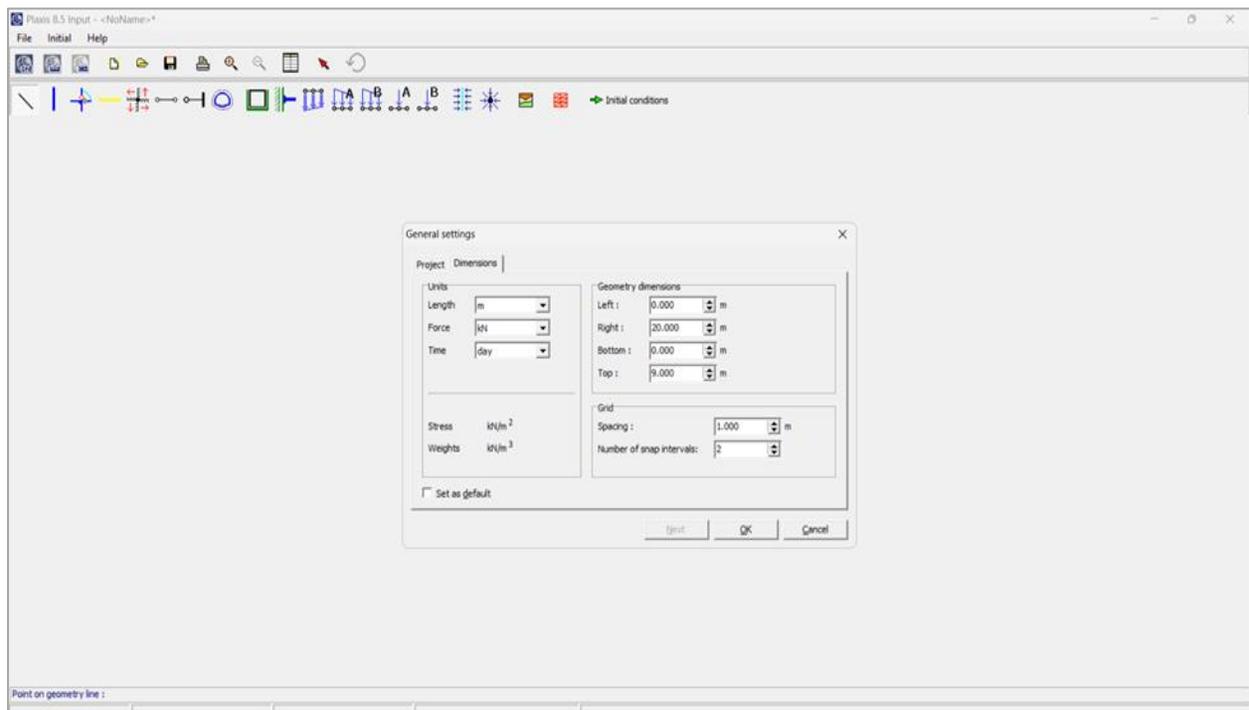
2021-10

Anexo N°08: Modelado de MSR en el software Plaxis 2D



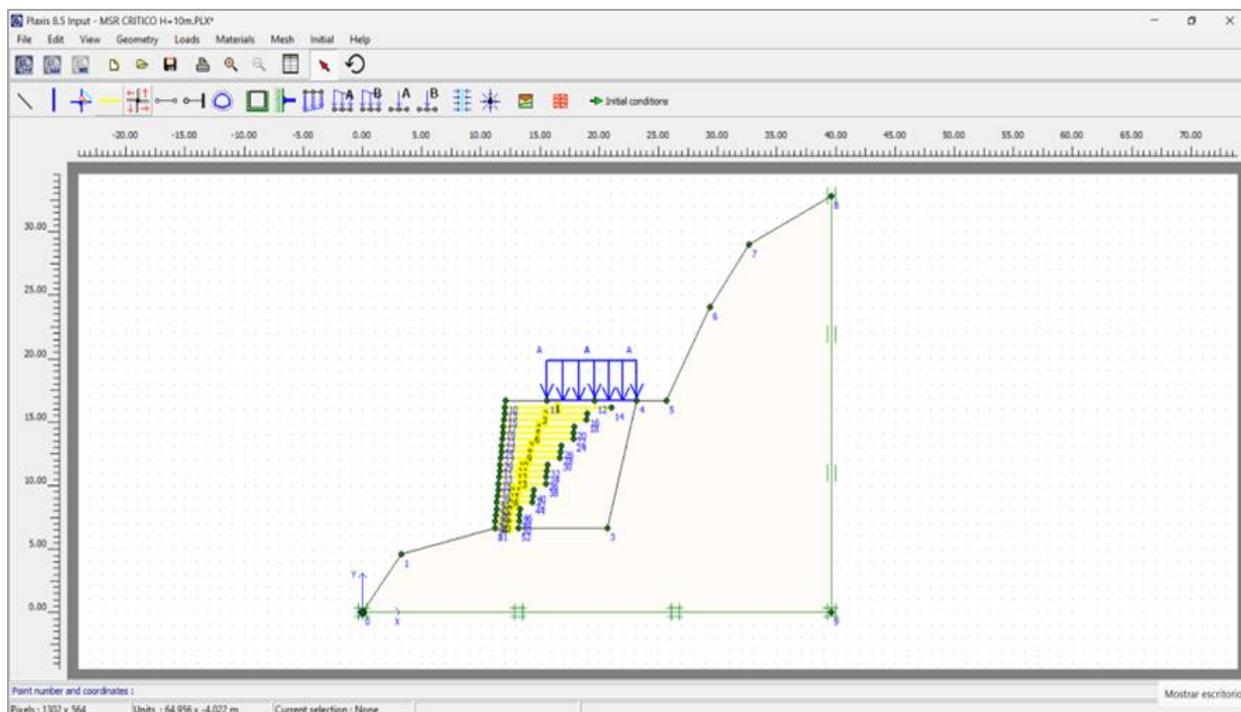
Anexo N°08. 1. Abrir programa Plaxis 2, crear título; general opciones de 15 nodos.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.



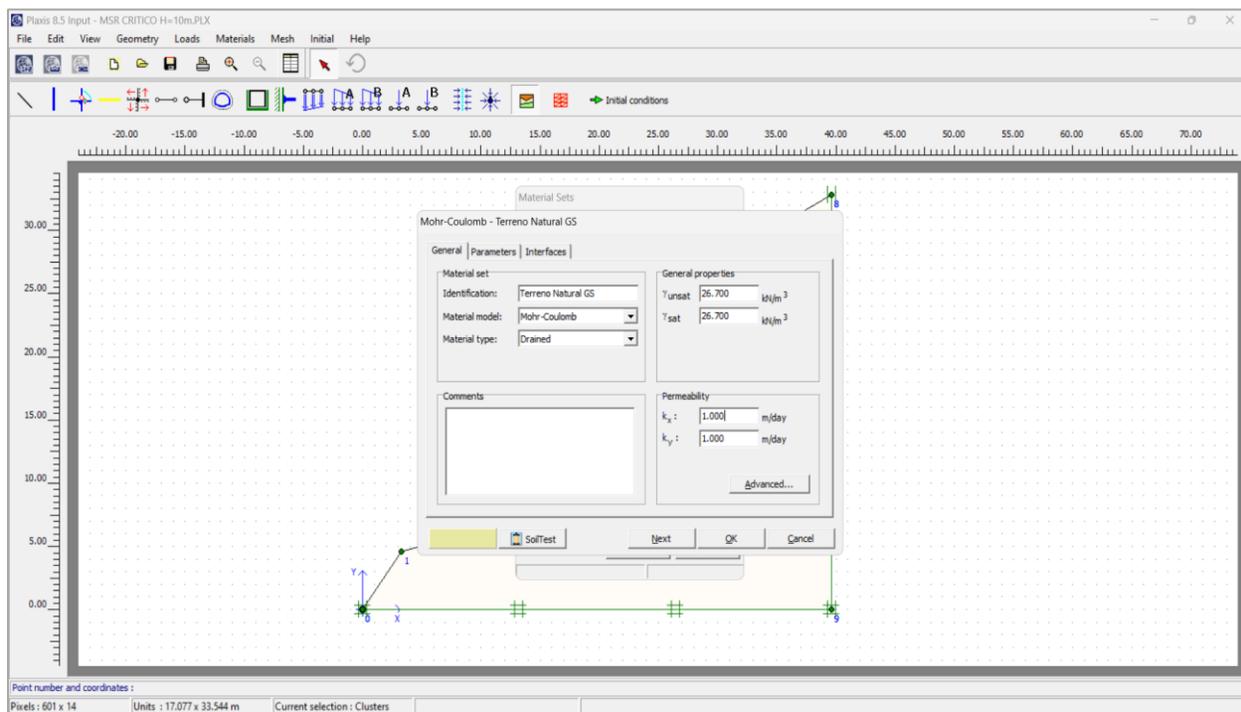
Anexo N°08. 2. Generar unidades, dimensiones de geometría y relación de grillas.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.



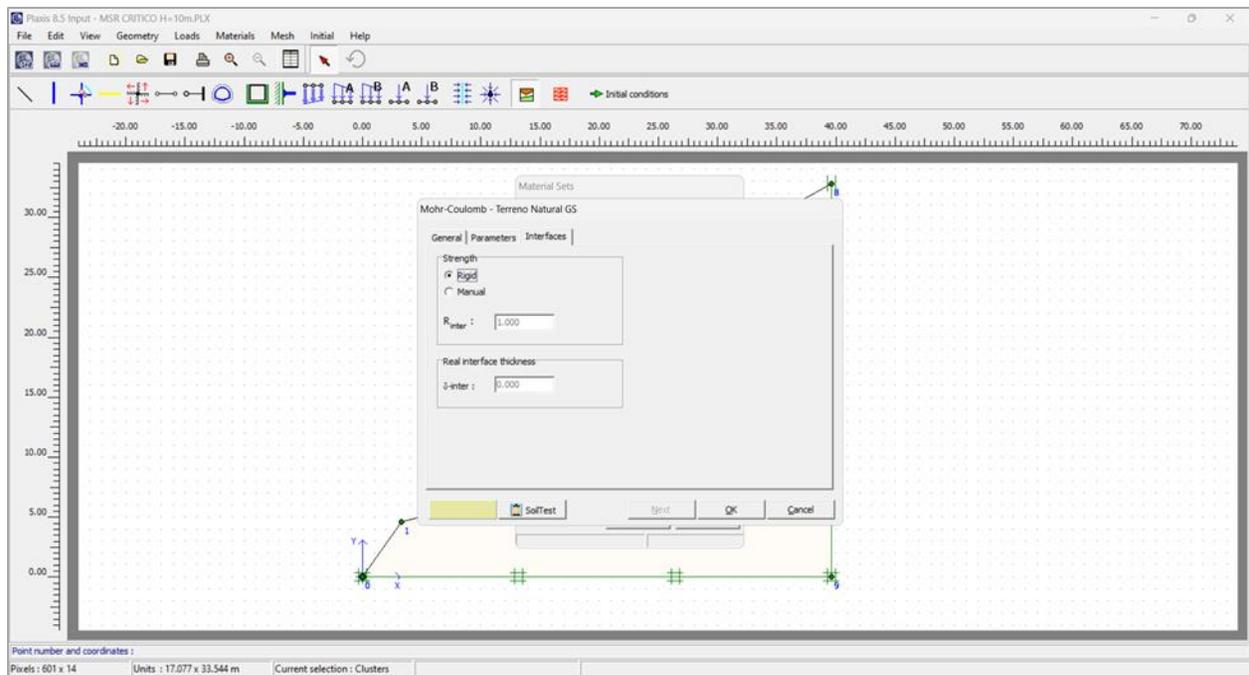
Anexo N°08. 3. Generación de la geometría, las geomallas, las cargas.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.



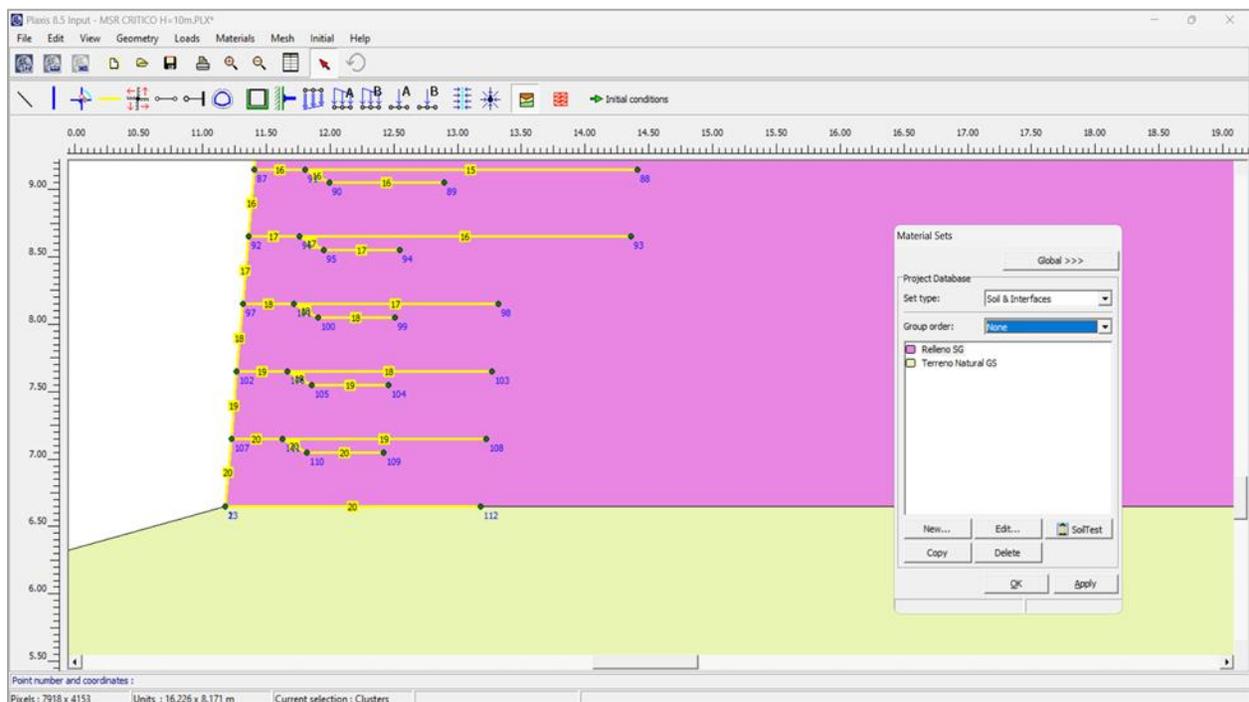
Anexo N°08. 4. Creación de las propiedades de los materiales (natural y relleno reforzado).

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.



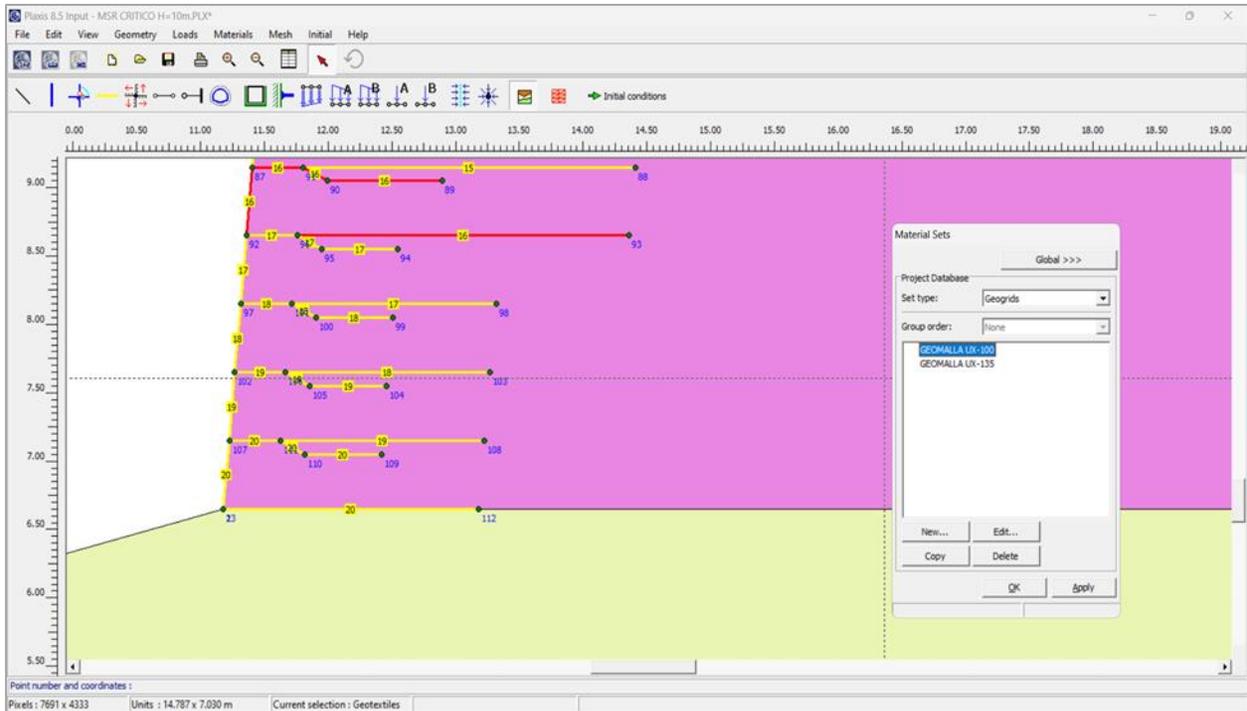
Anexo N°08. 5. Delimitación de materiales para rigidizar según el tipo de área o zona.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.



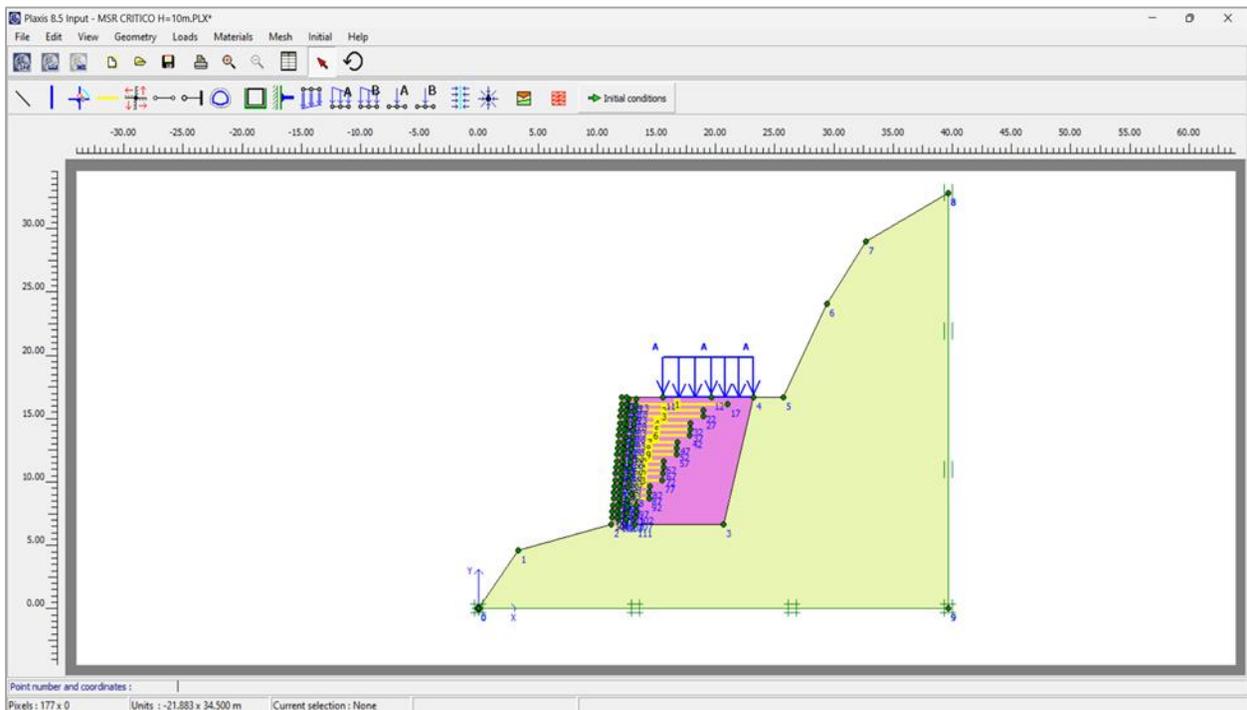
Anexo N°08. 6. Selección del tipo de material creado a cada elemento de la geometría.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.



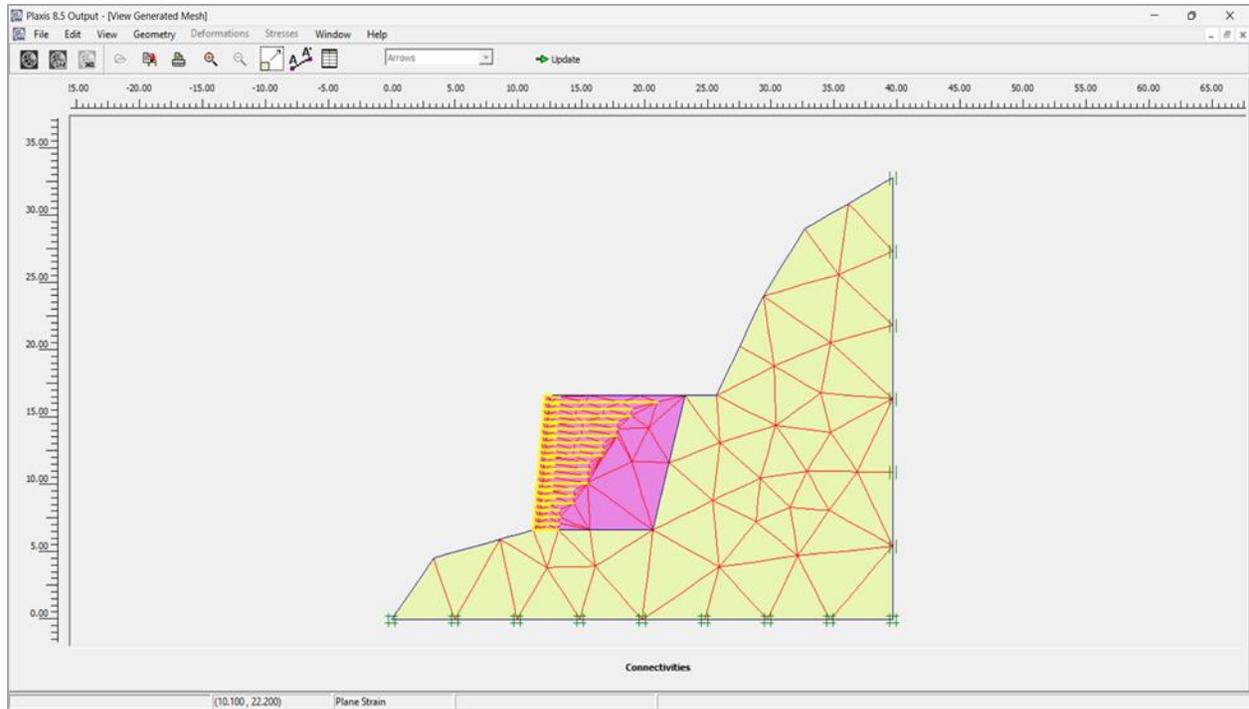
Anexo N°08. 7. Selección del tipo de material de geomallas creado a cada tipo de capas de la geometría.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.



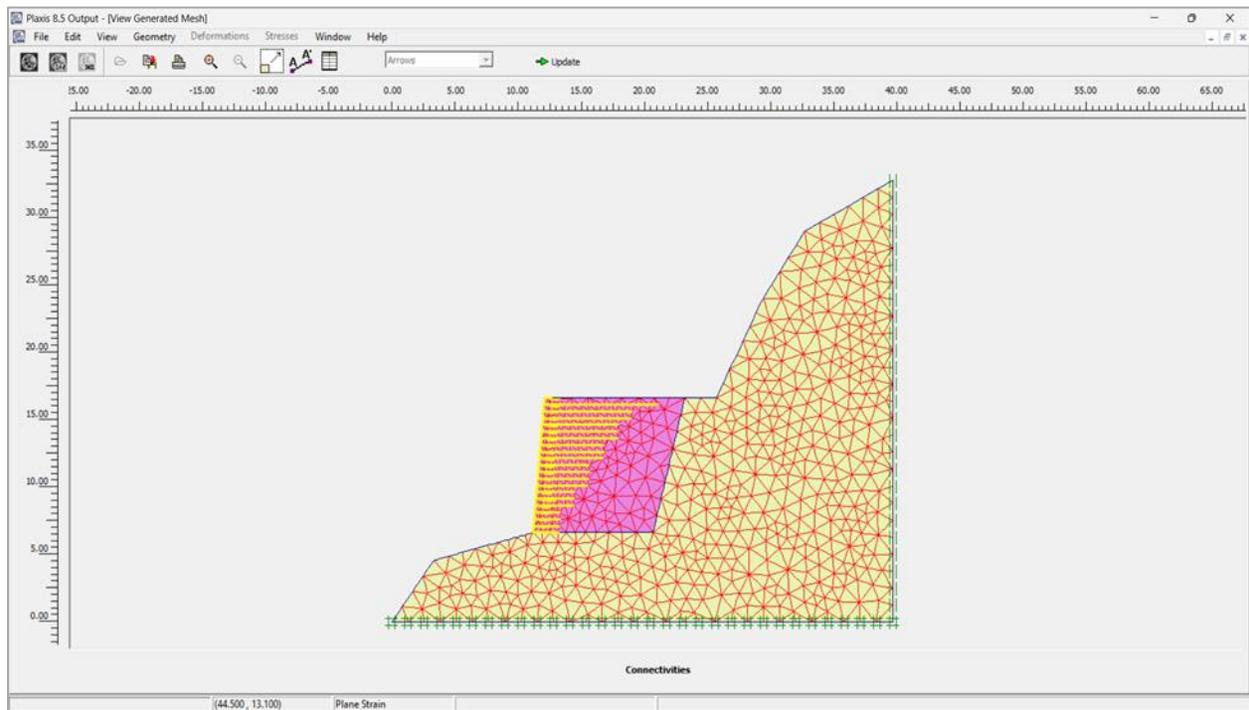
Anexo N°08. 8. Definición final de materiales a cada tipo de elemento geométrico.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.



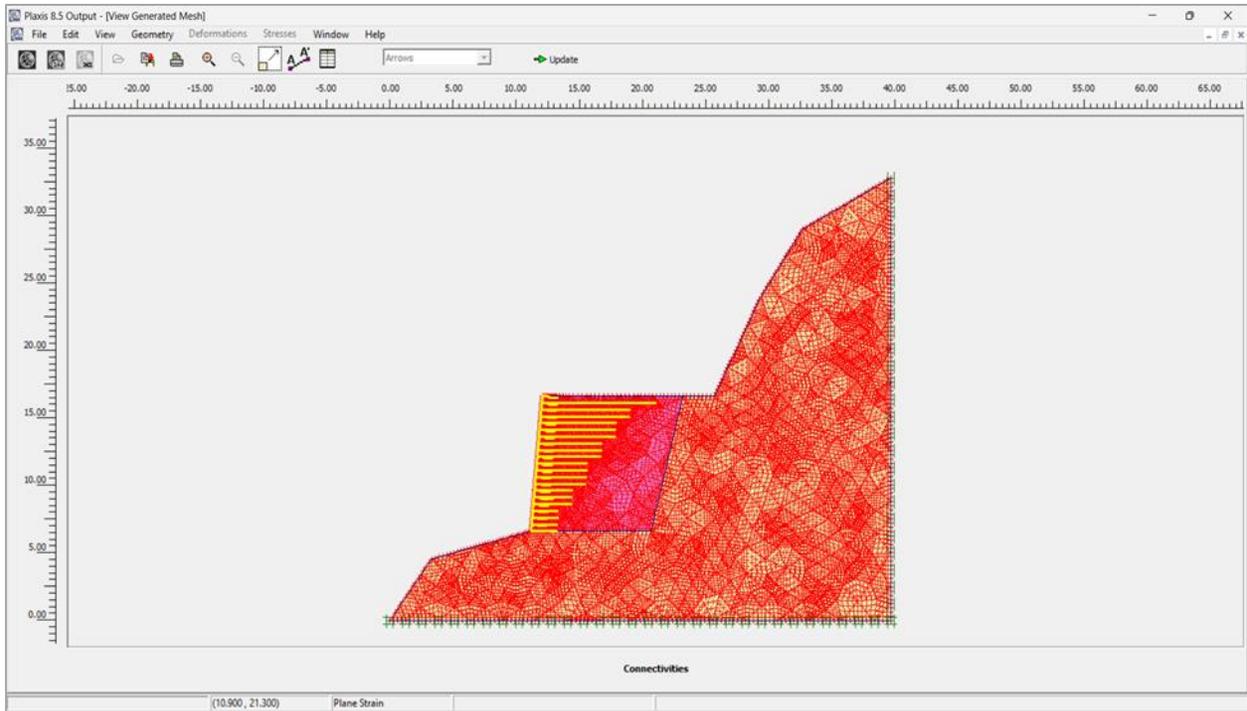
Anexo N°08. 9. Generación de mallas de análisis de la interfaz de elementos finitos.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.



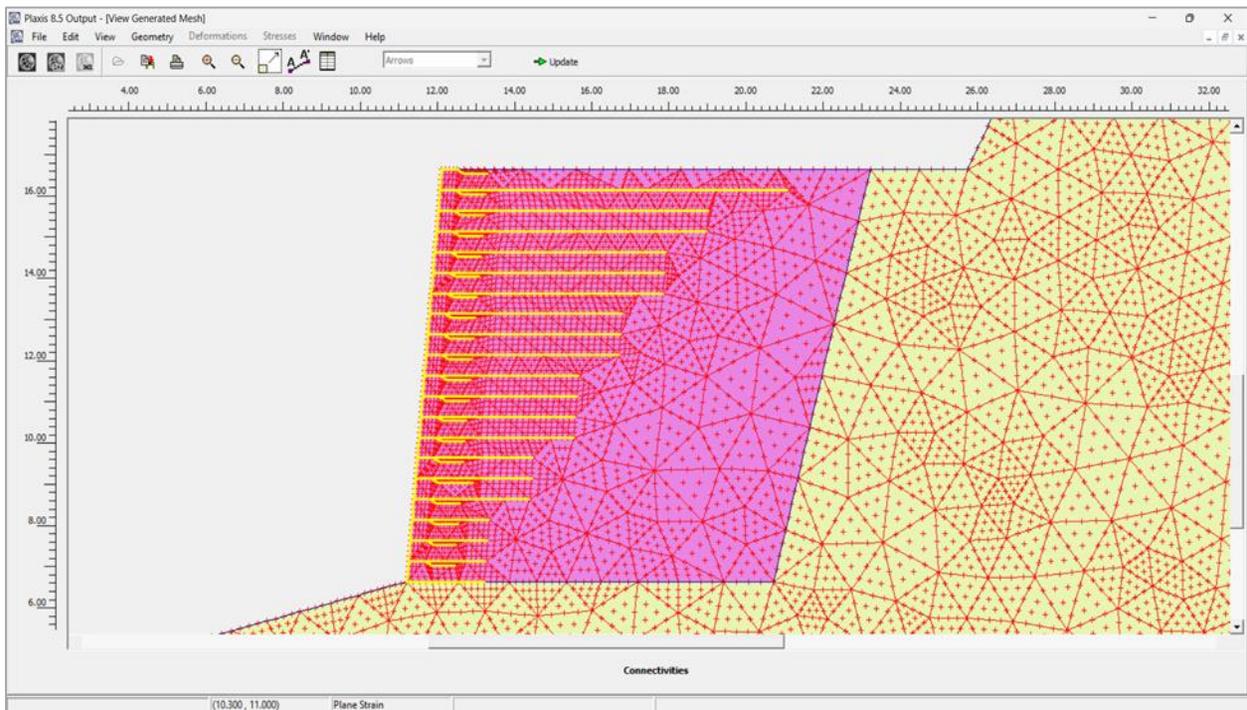
Anexo N°08. 10. Reducción de mallas, elección de mallado muy fino, fino, grueso, muy grueso.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.



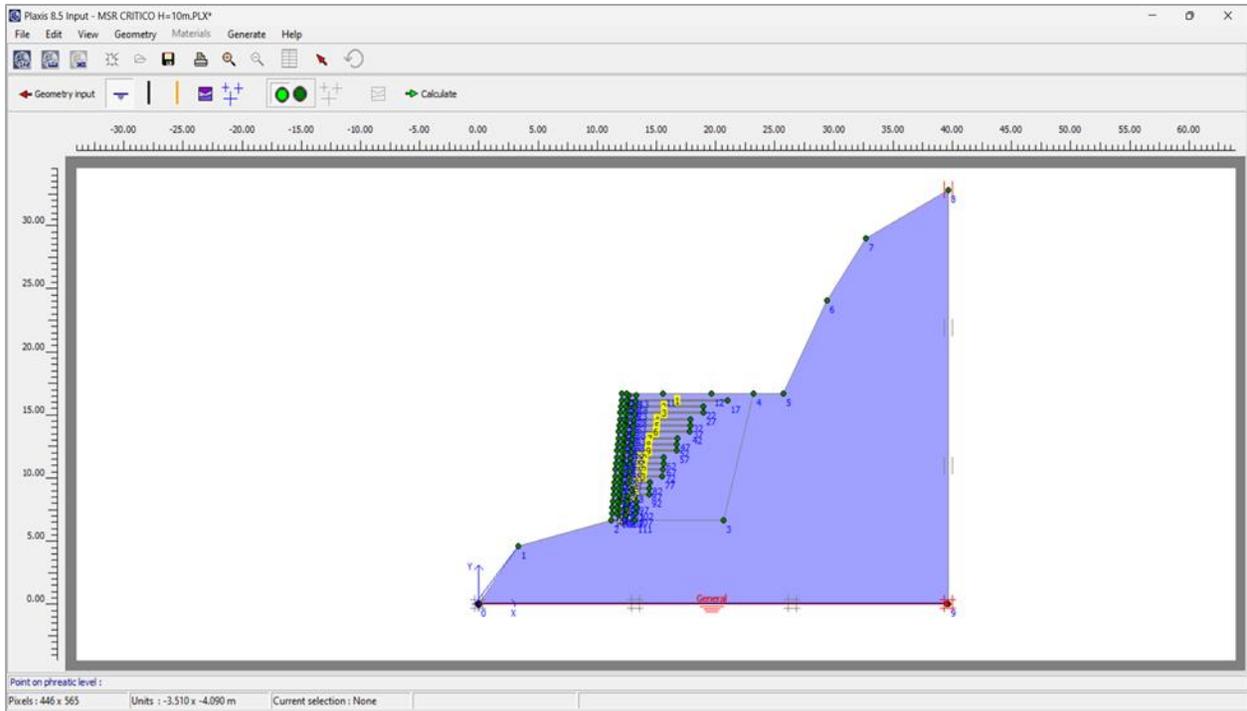
Anexo N°08. 11. Observación de la geometría de los nodos, y enmallado.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.



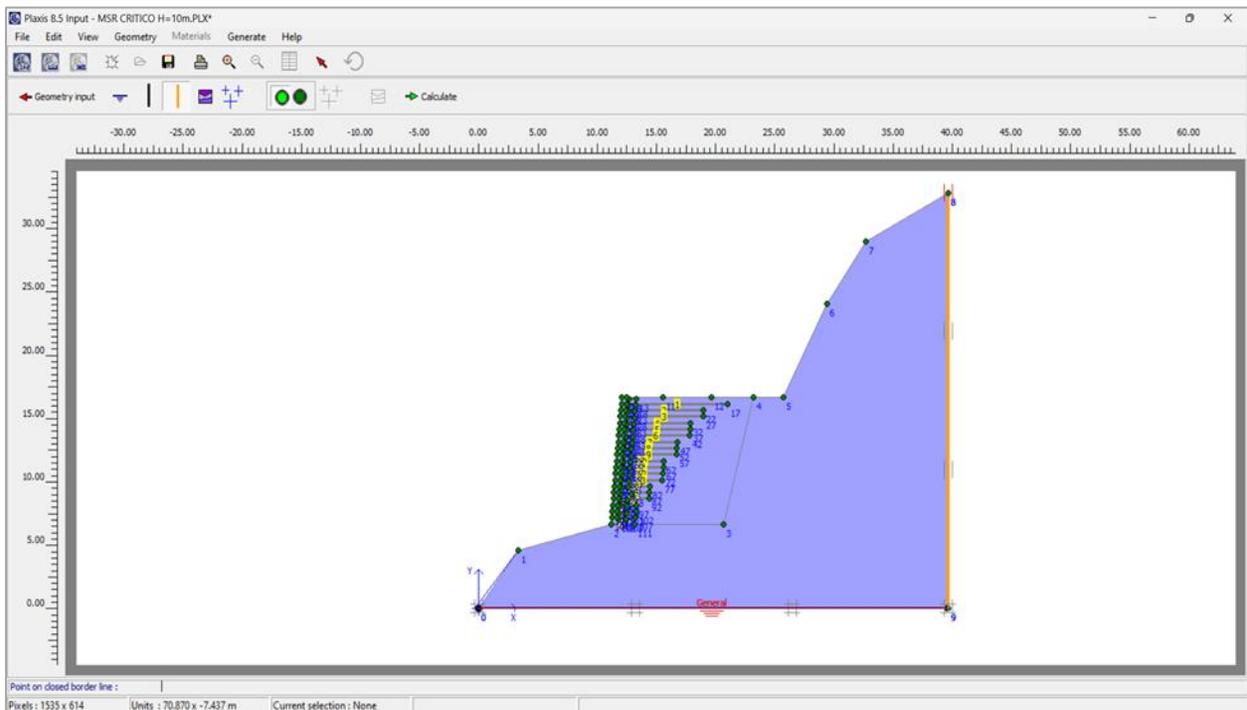
Anexo N°08. 12. Refinamiento de los nodos en el relleno o refuerzo del muro estabilizado.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.



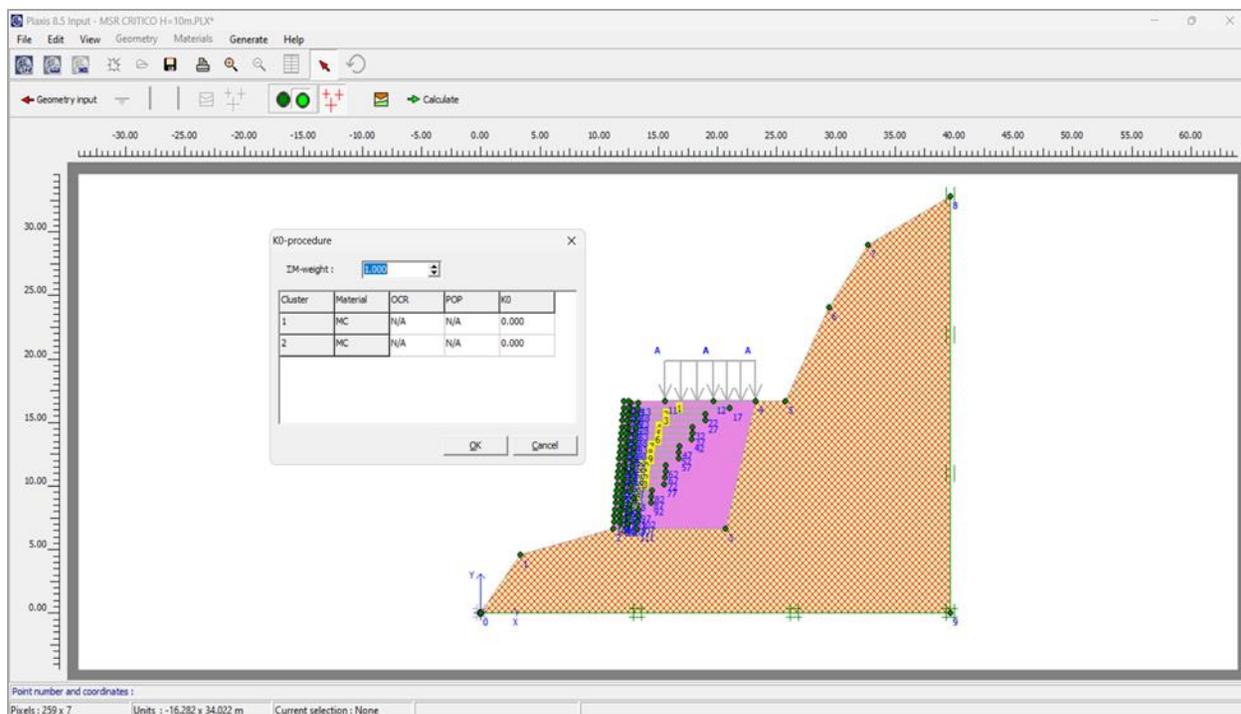
Anexo N°08. 13. Presión severa de nivel freático, no presenta por falta de más ensayos.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.



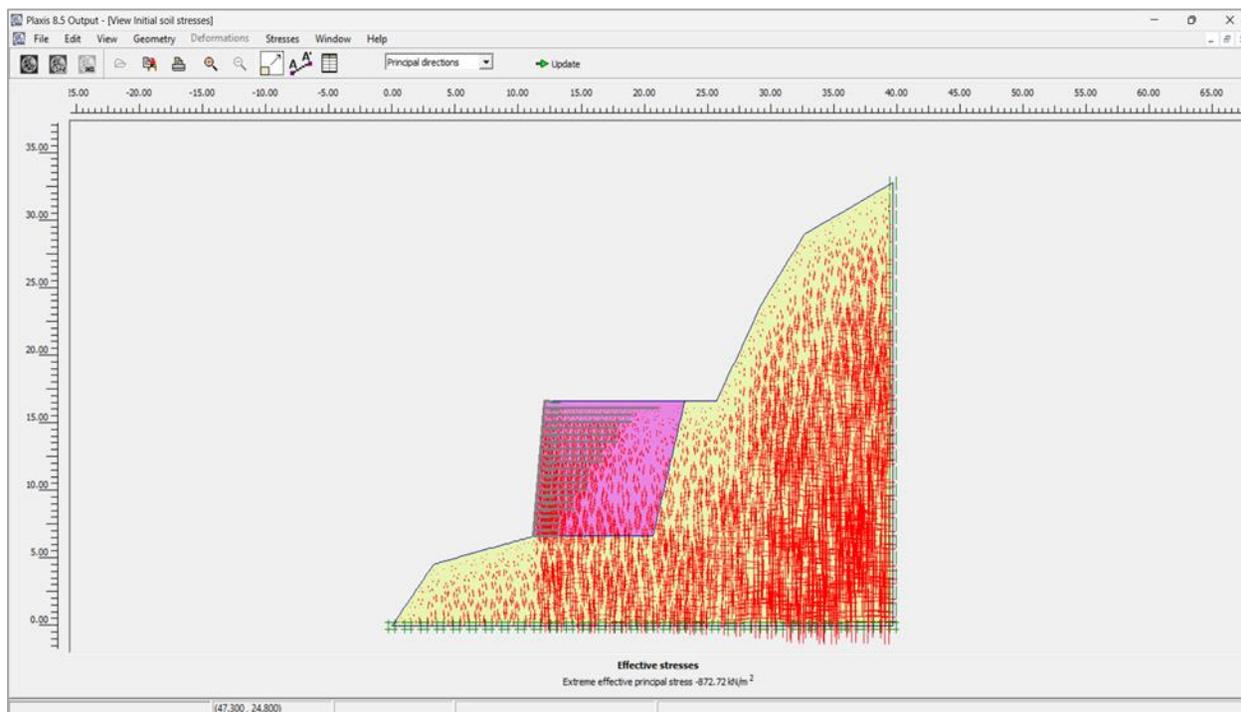
Anexo N°08. 14. Proyección de eje de simetría.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.



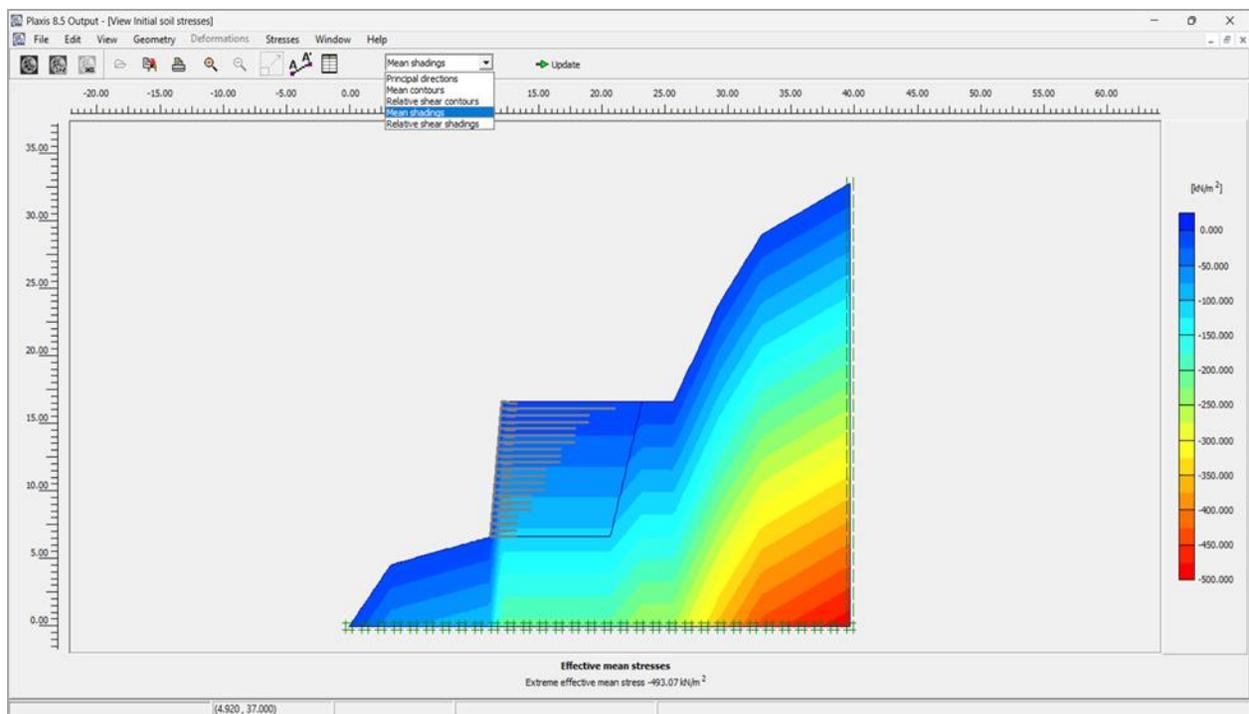
Anexo N°08. 15. Esfuerzos iniciales, valor de 1 esta referido al del peso propio, ratio y la relación entre esfuerzos.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.



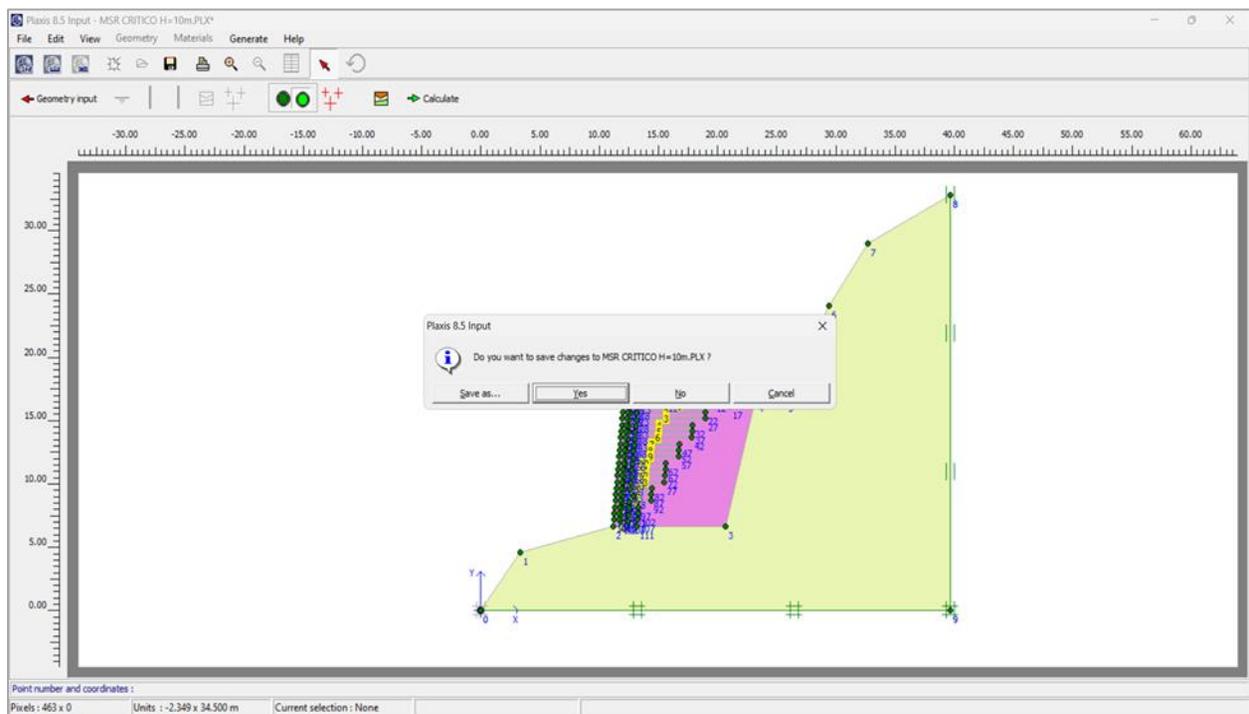
Anexo N°08. 16. Se observa los esfuerzos iniciales, tensiones efectivas.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.



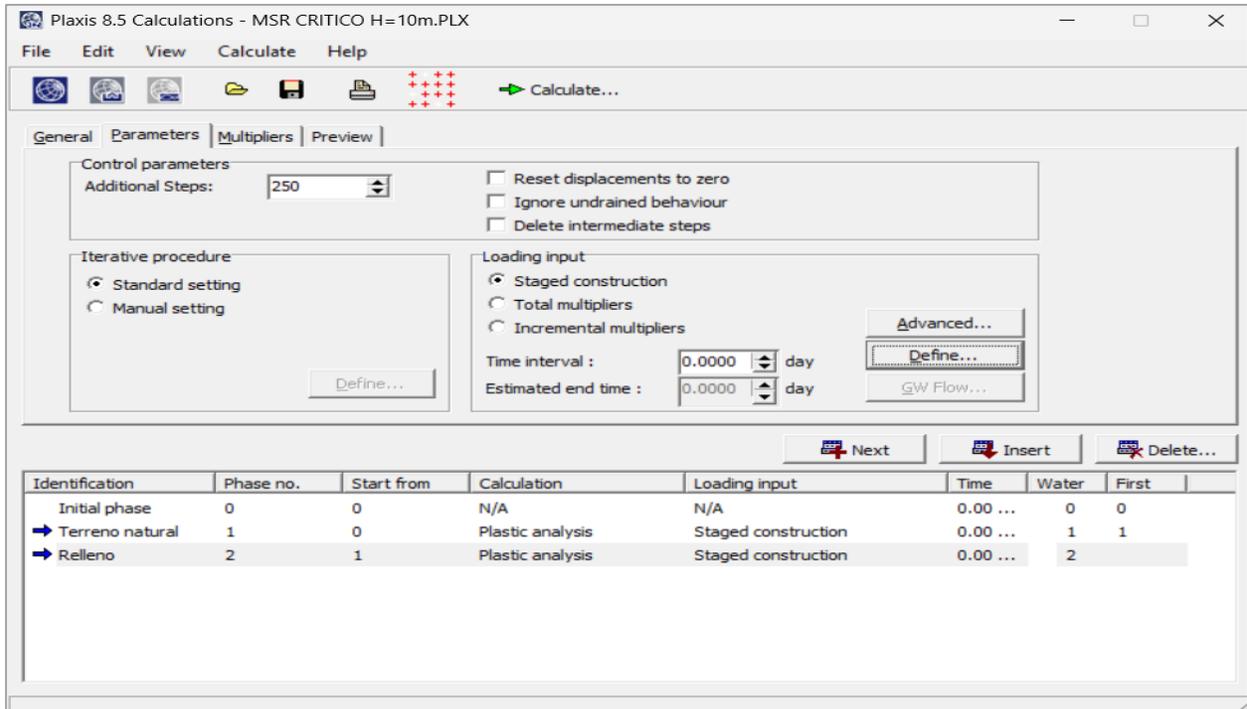
Anexo N°08. 17. Generación de las tensiones medias efectivas.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.



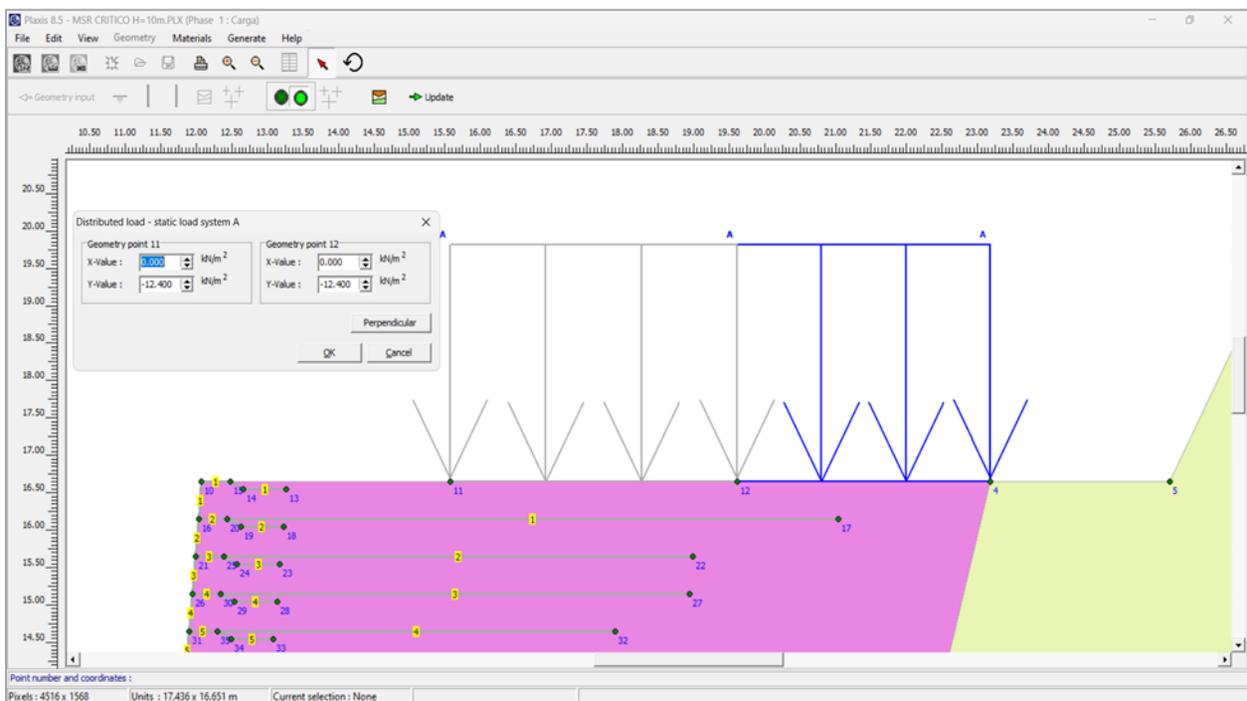
Anexo N°08. 18. Generar cálculos para etapas de construcción.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.



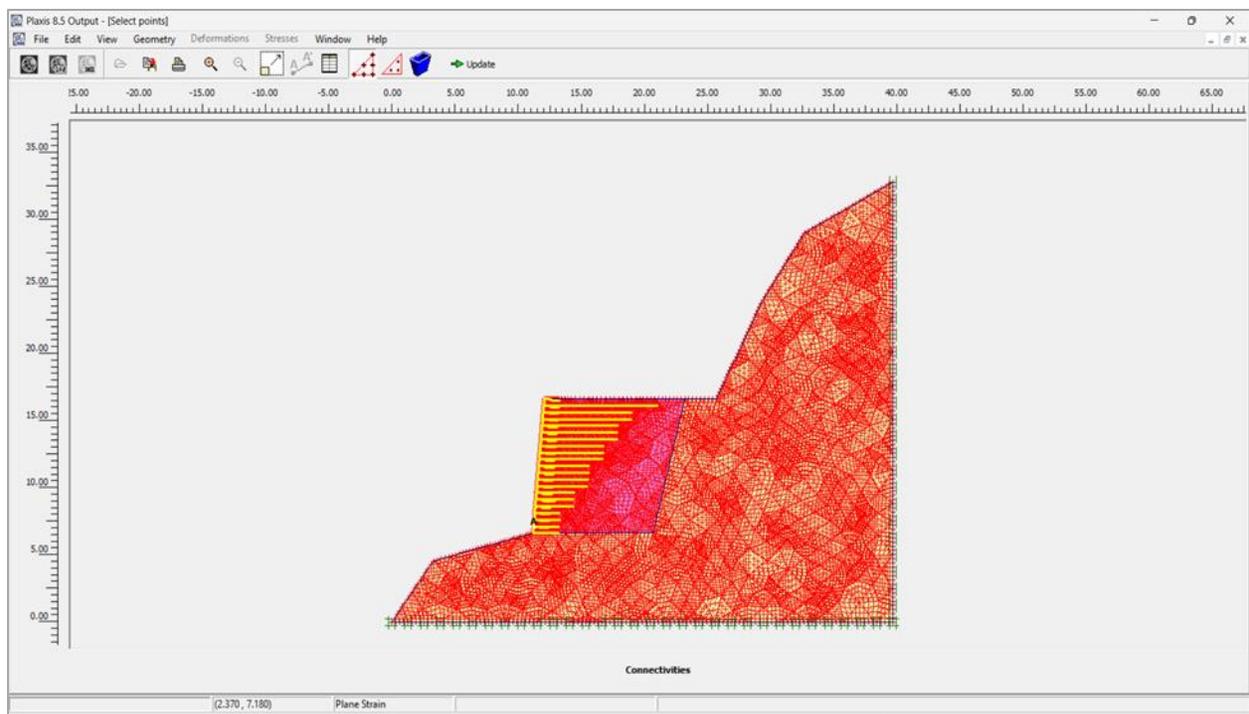
Anexo N°08. 19. Creación de fases y definición del proceso constructivo

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.



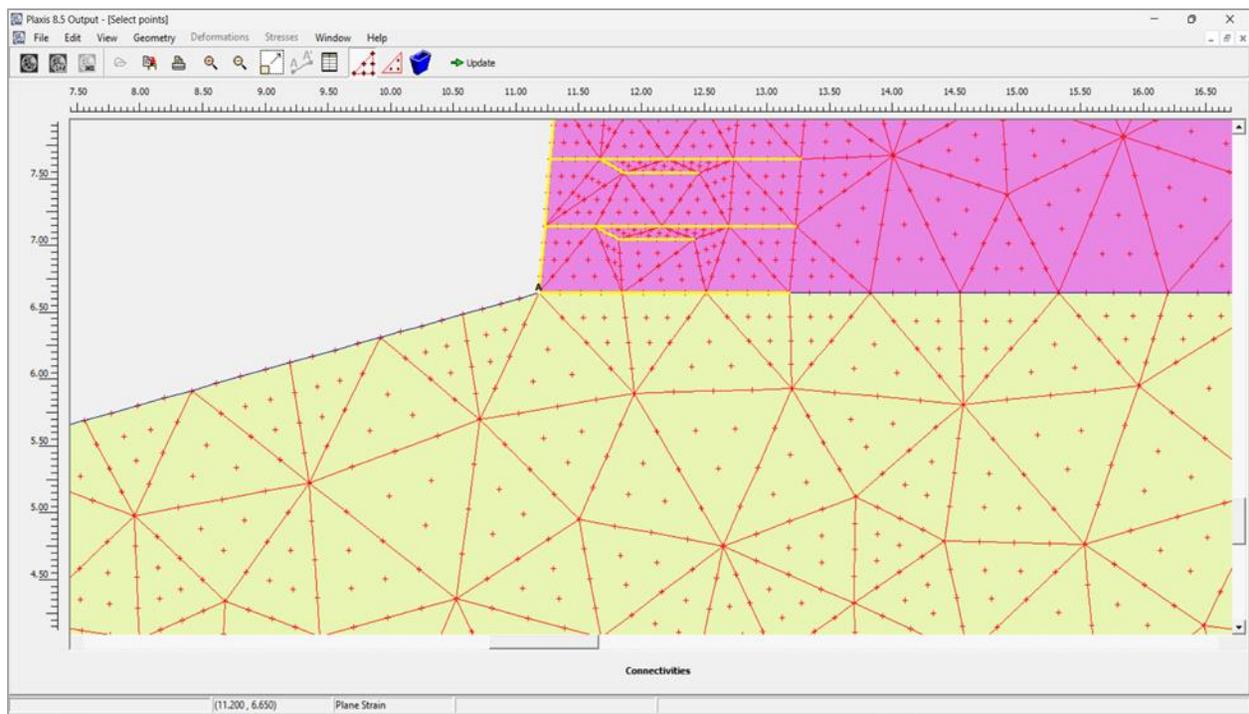
Anexo N°08. 20. Asignación de cargas (vehicular y nieve).

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.



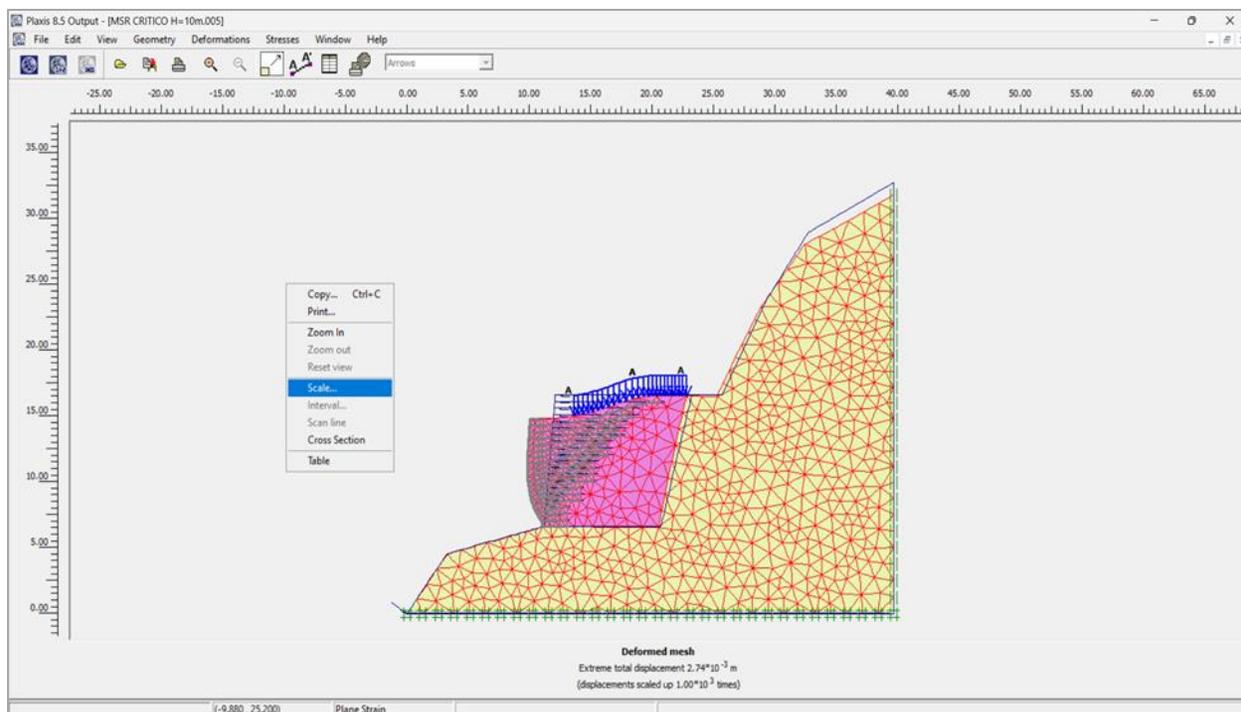
Anexo N°08. 21. Incorporación de puntos de control para la evaluación estructural geotécnico.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.



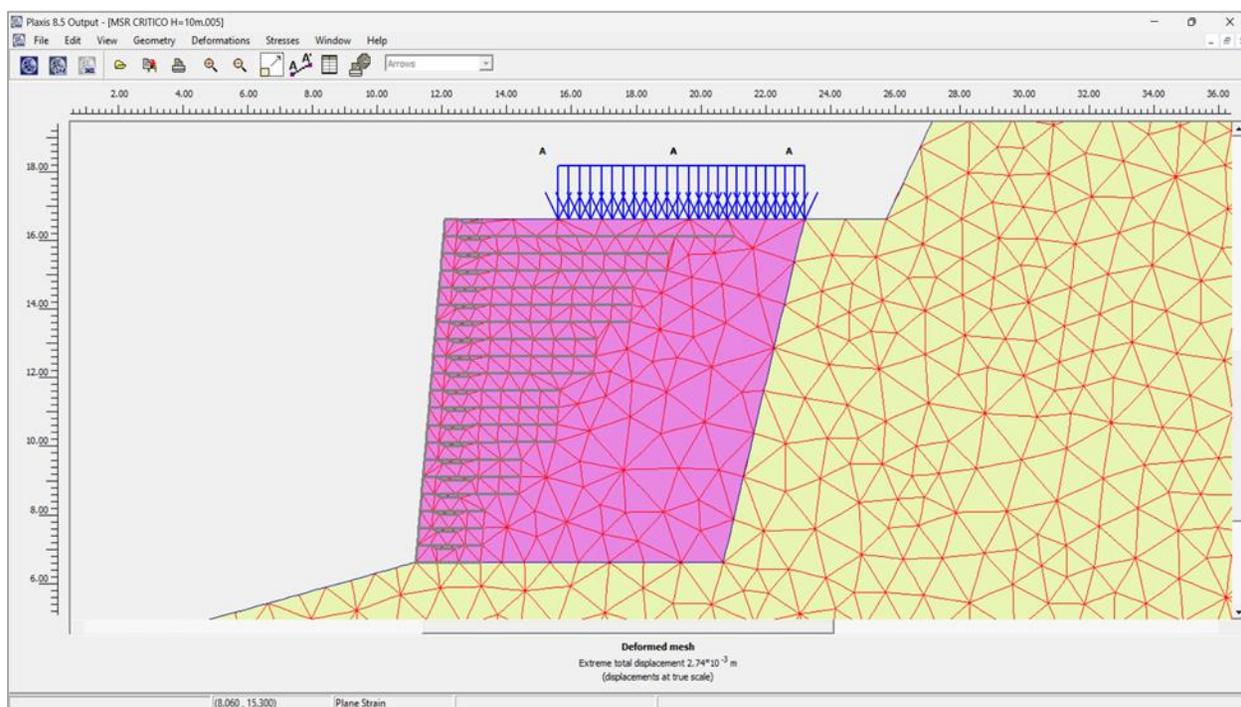
Anexo N°08. 22. Discretización y punto de análisis.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.



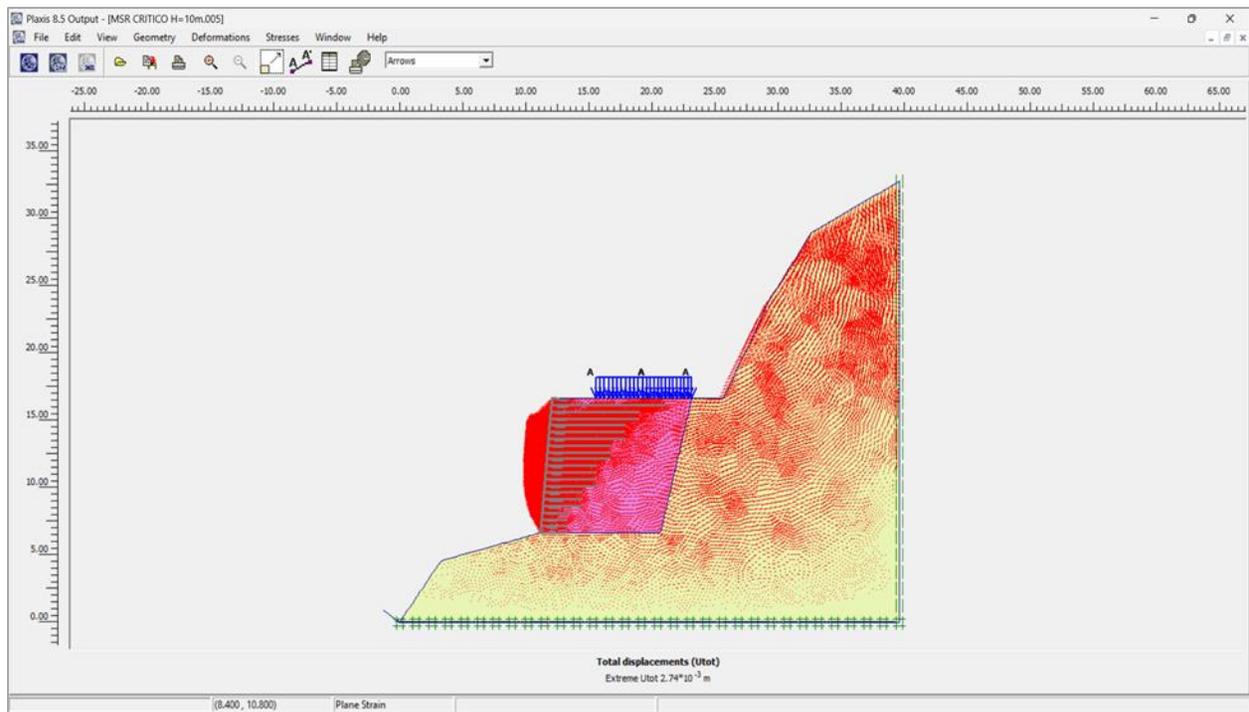
Anexo N°08. 23. Cálculo de la deformación y generación de mallas.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.



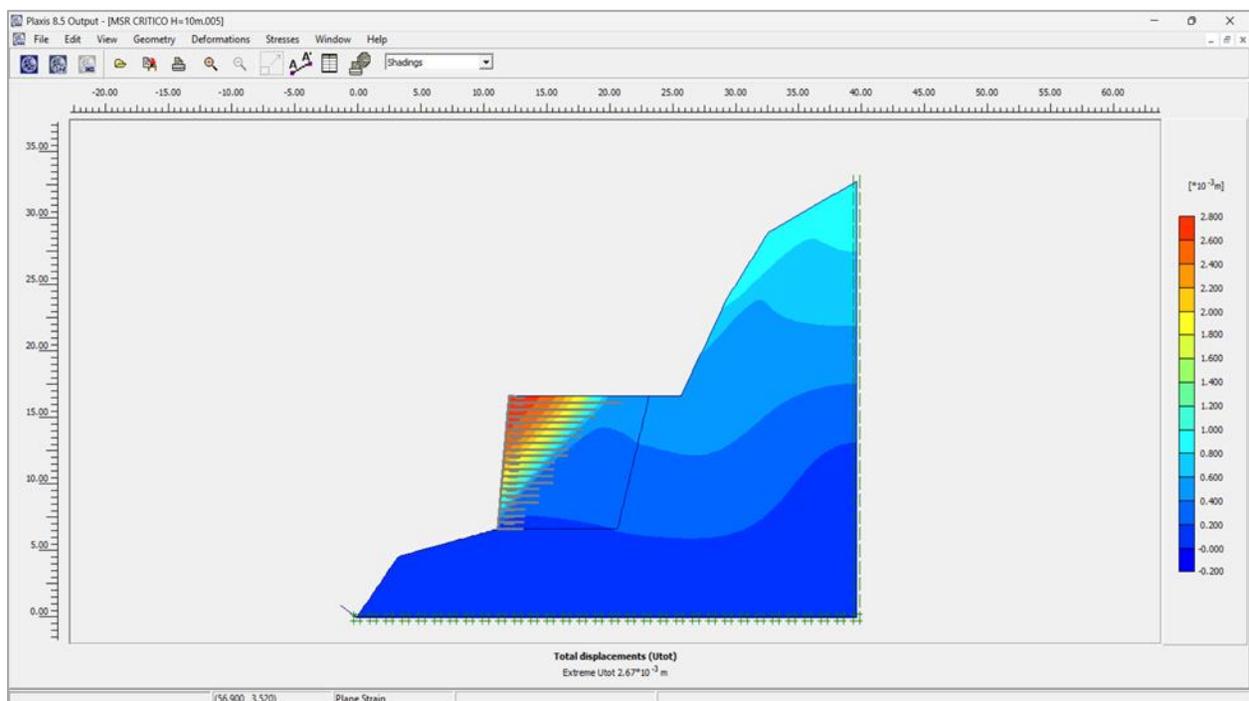
Anexo N°08. 24. Mejorando la escala del muro para una mejor visualización real.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.



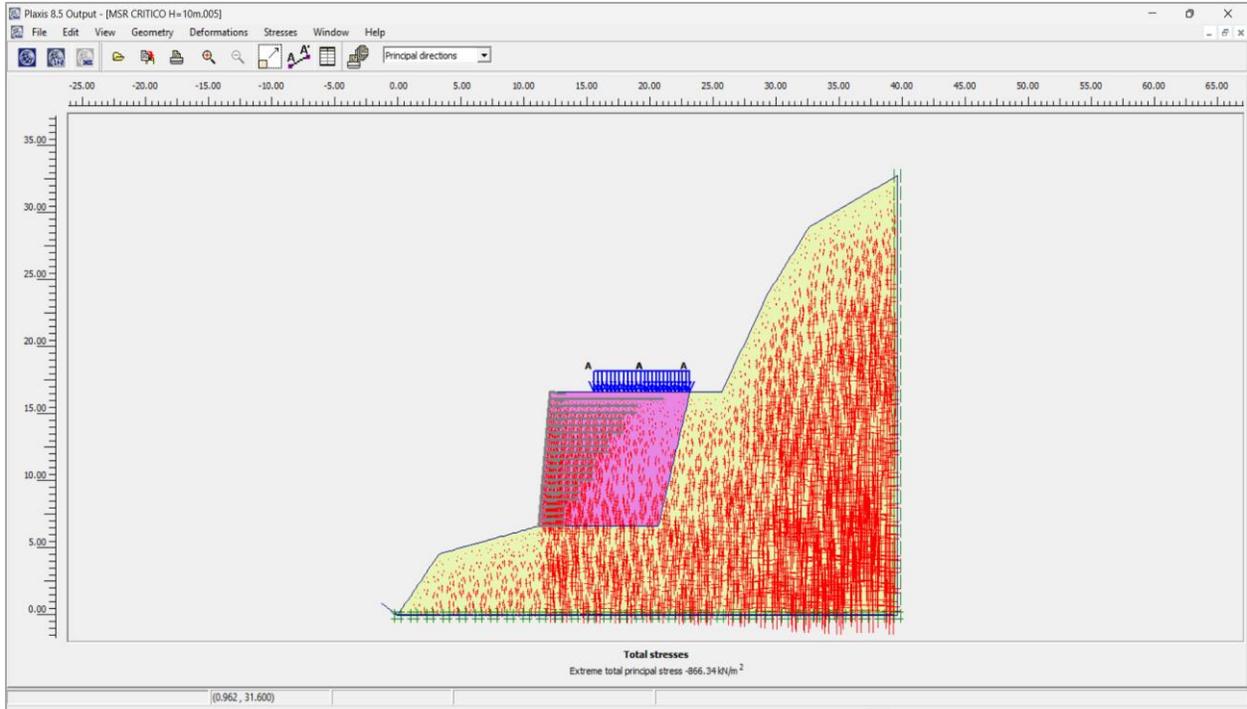
Anexo N°08. 25. Visualización del desplazamiento de deformación de contorno parcial total 0.27cm.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.



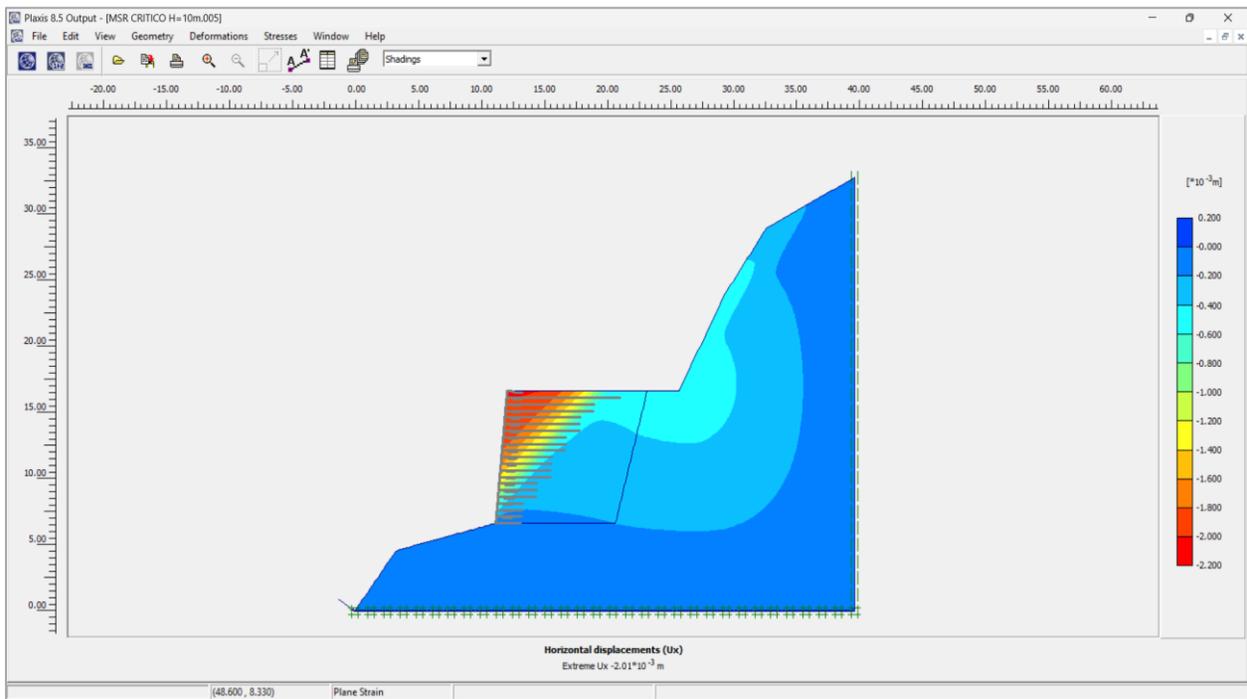
Anexo N°08. 26. Aprovechamiento de observación hacia la distribución de esfuerzo según relieves sombreados.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.



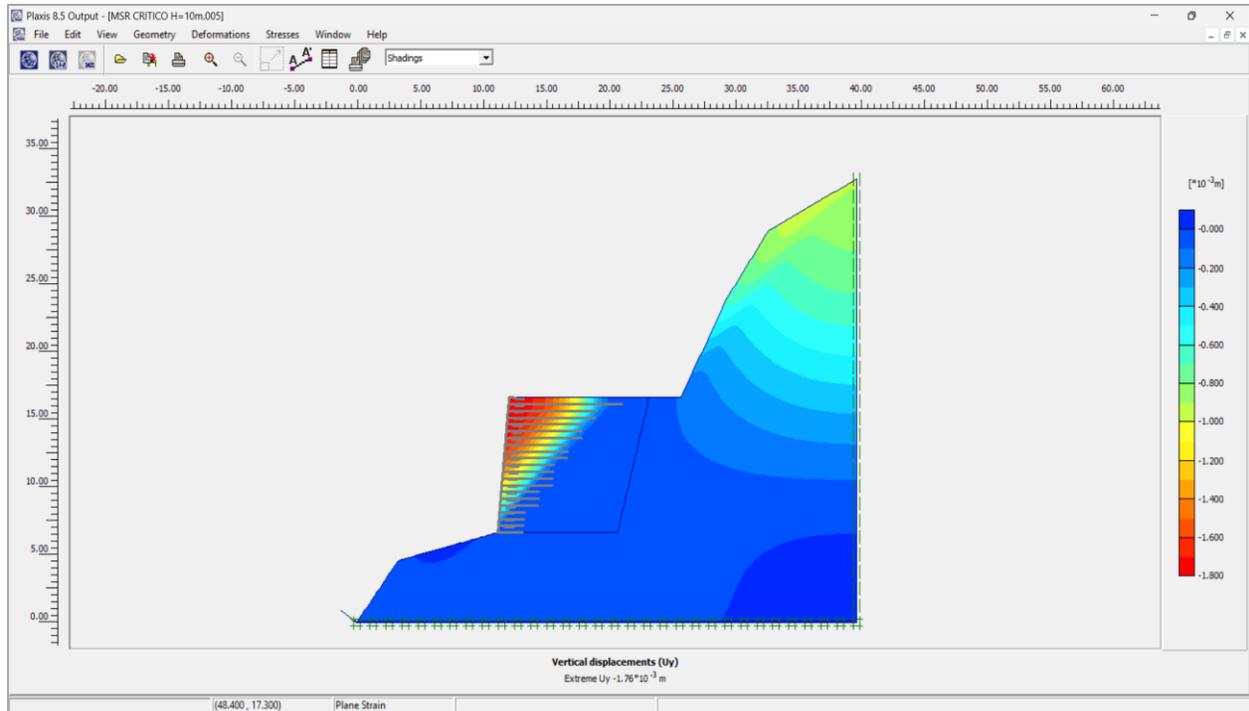
Anexo N°08. 27. Interacción de las fuerzas totales que presenta el análisis tensión-deformación.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.



Anexo N°08. 28. Desplazamientos horizontales de 0.20cm.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.



Anexo N°08. 29. Desplazamientos verticales de 0.18cm.

Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2024.

Anexo N°09: Análisis del dimensionamiento óptimo de MSR

“ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO, ACOBAMBA, HUANCAMELICA – 2023”

Autores:
 Bach. PARCO ARROYO, Ana Lucia
 Bach. VICENTE RAMOS, Jelsi Roddy

DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO - GEOMALLAS

01. Establecimiento de las Dimensiones Geométricas del Muro de Suelo Reforzado.

Condiciones Geométricas del MSR	
Factor de Seguridad Geo malla (F.S.)	1.5
Sobrecargas mínimas (q)	12.4
La altura del Muro (H)	10.00 m
Longitud del Muro (L)	9.50 m
Angulo de Inclinación de la Talud	85°

02. Determinación de las propiedades Geotécnicas de los Suelos

Propiedades Geotécnicas de los Suelos				
Tipo de Suelo	Peso Unitario γ (KN/m ³)	Angulo de Fricción ϕ (°)	Cohesión Cf (KN/m ²)	Calicata
Suelo de Fundación	$\gamma_f=26.70$	$\phi_f=29.10$	$C_f=0.98$	C - 02 KM
Suelo Retenido	$\gamma_b=26.70$	$\phi_b=29.10$		33+800
Suelo Reforzado	$\gamma_r=19.30$	$\phi_r=33.20$	$C_f=4.00$	C - 04

03. Determinación de las propiedades de la Geo malla a utilizarse.

Propiedades de la Geomalla a utilizarse			
Definición	Interpretación	Datos	
Material 01	Tipo Refuerzo	UX-100	
	Resis. Ult. Tensión	Tult	115.00 Kn/m
	Coef. Interacción	Ci	1.09
Material 02	Tipo Refuerzo	UX-135	
	Resis. Ult. Tensión	Tult	135.00 Kn/m
	Coef. Interacción	Ci	1.09

Factores de Reducción		
Fac. Creep	FRcr :	1.58
Fac. Durabilidad	FRdq :	1.3
Fac. Daños I.	FRdi :	1.3

04. Establecer los parámetros de diseño para la geo malla Uniaxial.

04.01. Determinamos el factor de Reducción Total (FR T).

$$FR_T = FR_{DI} * FR_{CR} * FR_{DQ}$$

FR_T	2.6702
--------	--------

04.02. Determinamos la Resistencia Permisible de la Geo malla (T adm).

$$T_{adm} = \frac{T_{ult}}{FS * FR_T}$$

01. Primer material	Tadm	28.71 KN/m	UX-100
02. Segundo material	Tadm	33.71 KN/m	UX-135

05. Calculo de los Esfuerzos en el Muro de suelo Reforzado.

05.01. Determinar de Coeficiente de Presión Activa con Rankine (Ka)

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi_b}{2} \right)$$

K_a	0.35
-------	------

05.02. Determinar de Coeficiente de Tierra Lateral con Rankine (Kr)

$$K_r = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi_r}{2} \right)$$

K_r	0.29
-------	------

05.03. Determinar las Presiones Verticales (σ_v).

05.03.01. Criterio De Esfuerzo Máximo (σ_{v1}).

$$\sigma_{v1} = \gamma_r * z + q$$

γ_r	19.30 KN/m
z	?
q	q=12.40

05.03.02. Criterio de Arrancamiento (σ_{v2}).

$$\sigma_{v2} = \gamma_r * z$$

γ_r	19.30 KN/m
z	?

05.03.03. Determinar las Presiones Laterales (σ_H).

$$\sigma_H = \sigma_{v1} * K_r$$

$$\sigma_H = K_r * \gamma_r * z + q * K_r$$

$K_r * \gamma_r$	5.64
z	?
$q * K_r$	3.63

06. Evaluación de la Estabilidad Interna del Muro de Suelo Reforzado-Estático.

06.01. Determinar el Espaciamiento entre Capas o Separación Vertical (S_v).

$$S_v = \frac{T_{adm} * C_i}{\sigma_H}$$

Determinar el Espaciamiento entre Capas o Separación Vertical			
Capa (Superior)	Z (m)	Sv cal. (m)	Sv (m)
20	0.50	4.854798342	0.5
19	1.00	3.376918089	0.5
18	1.50	2.588834424	0.5
17	2.00	2.098986342	0.5
16	2.50	1.765017369	0.5
15	3.00	1.522735468	0.5
14	3.50	1.338940631	0.5
13	4.00	1.194735529	0.5
12	4.50	1.078572327	0.5
11	5.00	0.982996358	0.5
10	5.50	0.902980206	0.5
9	6.00	0.835010167	0.5
8	6.50	0.776556427	0.5
7	7.00	0.72575121	0.5
6	7.50	0.681185513	0.5
5	8.00	0.641776399	0.5
4	8.50	0.606677832	0.5
3	9.00	0.575219255	0.5
2	9.50	0.546862342	0.5
1	10.00	0.521169929	0.5

06.02. Calculo de la Fuerzas de Tracción Máxima en las capas de Refuerzo ($T_{m\acute{a}x}$).

$$T_{max} = \sigma_H * S_v$$

Calculo de la Fuerzas de Tracción Máxima en las capas de Refuerzo.			
Capa	Z (m)	Sv (m)	Tmax (KN/m)
20	0.50	0.50	3.22
19	1.00	0.50	4.63
18	1.50	0.50	6.04
17	2.00	0.50	7.46
16	2.50	0.50	8.87
15	3.00	0.50	10.28
14	3.50	0.50	11.69
13	4.00	0.50	13.10
12	4.50	0.50	14.51
11	5.00	0.50	15.92
10	5.50	0.50	17.33
9	6.00	0.50	18.74
8	6.50	0.50	20.15
7	7.00	0.50	21.56
6	7.50	0.50	22.97
5	8.00	0.50	24.38
4	8.50	0.50	25.79
3	9.00	0.50	27.20
2	9.50	0.50	28.61
1	10.00	0.50	30.02

06.03. Estabilidad de la Estructura con respecto a la Falla por Poullout o Arrancamiento de la Geomalla.

06.03.01. Longitud del Refuerzo resistente al Arrancamiento o Pullout (Le).

$$L_e \geq \frac{1.5 * T_{max}}{C * F * \sigma_{v2} * R_c * \alpha} \geq 1m$$

C	0.98	Geomalla = 0.8tanØr Relación de Cobertura Factor de Corrección a Escala
F	0.52	
Rc	1.00	
α	0.80	

Longitud del Refuerzo resistente al Arrancamiento o Pullout.						
Capa	Z (m)	Sv (m)	Tmax (KN/m)	Le cal. (m)	Le min. (m)	Le (m)
20	0.50	0.50	3.22	1.22	1.00	1.22
19	1.00	0.50	4.63	0.88	1.00	1.00
18	1.50	0.50	6.04	0.76	1.00	1.00
17	2.00	0.50	7.46	0.71	1.00	1.00
16	2.50	0.50	8.87	0.67	1.00	1.00
15	3.00	0.50	10.28	0.65	1.00	1.00
14	3.50	0.50	11.69	0.63	1.00	1.00
13	4.00	0.50	13.10	0.62	1.00	1.00
12	4.50	0.50	14.51	0.61	1.00	1.00
11	5.00	0.50	15.92	0.60	1.00	1.00
10	5.50	0.50	17.33	0.60	1.00	1.00
9	6.00	0.50	18.74	0.59	1.00	1.00
8	6.50	0.50	20.15	0.59	1.00	1.00
7	7.00	0.50	21.56	0.58	1.00	1.00
6	7.50	0.50	22.97	0.58	1.00	1.00
5	8.00	0.50	24.38	0.58	1.00	1.00
4	8.50	0.50	25.79	0.57	1.00	1.00
3	9.00	0.50	27.20	0.57	1.00	1.00
2	9.50	0.50	28.61	0.57	1.00	1.00
1	10.00	0.50	30.02	0.57	1.00	1.00

06.03.02. Longitud Geométrica (LR).

$$L_R = (H - z) * \tan\left(45^\circ - \frac{\phi_r}{2}\right)$$

Longitud Geométrica (LR)				
Capa	Z (m)	Sv (m)	LR cal. (m)	LR (m)
20	0.50	0.50	5.14	5.14
19	1.00	0.50	4.87	4.87
18	1.50	0.50	4.60	4.60
17	2.00	0.50	4.33	4.33
16	2.50	0.50	4.06	4.06
15	3.00	0.50	3.78	3.78
14	3.50	0.50	3.51	3.51
13	4.00	0.50	3.24	3.24
12	4.50	0.50	2.97	2.97
11	5.00	0.50	2.70	2.70
10	5.50	0.50	2.43	2.43
9	6.00	0.50	2.16	2.16
8	6.50	0.50	1.89	1.89
7	7.00	0.50	1.62	1.62
6	7.50	0.50	1.35	1.35
5	8.00	0.50	1.08	1.08
4	8.50	0.50	0.81	0.81
3	9.00	0.50	0.54	0.54
2	9.50	0.50	0.27	0.27
1	10.00	0.50	0.00	0.00

06.03.03. Determinar la Doble Superior (Lo).

$$L_o = \frac{S_v * \sigma_H}{4 * C_i * \sigma_{v2} * \tan \phi_r}$$

Determinar la Doble Superior.					
Capa	Z (m)	Sv (m)	Lo cal. (m)	Lo adop. (m)	Lo (m)
20	0.50	0.50	0.12	1.20	1.20
19	1.00	0.50	0.08	1.20	1.20
18	1.50	0.50	0.07	1.20	1.20
17	2.00	0.50	0.07	1.20	1.20
16	2.50	0.50	0.06	1.20	1.20
15	3.00	0.50	0.06	1.20	1.20
14	3.50	0.50	0.06	1.20	1.20
13	4.00	0.50	0.06	1.20	1.20
12	4.50	0.50	0.06	1.20	1.20
11	5.00	0.50	0.06	1.20	1.20
10	5.50	0.50	0.06	1.20	1.20
9	6.00	0.50	0.06	1.20	1.20
8	6.50	0.50	0.06	1.20	1.20
7	7.00	0.50	0.06	1.20	1.20
6	7.50	0.50	0.06	1.20	1.20
5	8.00	0.50	0.06	1.20	1.20
4	8.50	0.50	0.06	1.20	1.20
3	9.00	0.50	0.05	1.20	1.20
2	9.50	0.50	0.05	1.20	1.20
1	10.00	0.50	0.05	1.20	1.20

06.03.04. Determinar la Longitud de la Capa de Geomalla (LG).

$$L_G = L_e + L_R + L_o + L_v$$

Determinar la Longitud de la Capa de Geomalla.						
Capa	Z (m)	Sv (m)	Le (m)	LR (m)	Lo (m)	LG (m)
20	0.50	0.50	1.22	5.14	1.20	8.06
19	1.00	0.50	1.00	4.87	1.20	7.57
18	1.50	0.50	1.00	4.60	1.20	7.30
17	2.00	0.50	1.00	4.33	1.20	7.03
16	2.50	0.50	1.00	4.06	1.20	6.76
15	3.00	0.50	1.00	3.78	1.20	6.48
14	3.50	0.50	1.00	3.51	1.20	6.21
13	4.00	0.50	1.00	3.24	1.20	5.94
12	4.50	0.50	1.00	2.97	1.20	5.67
11	5.00	0.50	1.00	2.70	1.20	5.40
10	5.50	0.50	1.00	2.43	1.20	5.13
9	6.00	0.50	1.00	2.16	1.20	4.86
8	6.50	0.50	1.00	1.89	1.20	4.59
7	7.00	0.50	1.00	1.62	1.20	4.32
6	7.50	0.50	1.00	1.35	1.20	4.05
5	8.00	0.50	1.00	1.08	1.20	3.78
4	8.50	0.50	1.00	0.81	1.20	3.51
3	9.00	0.50	1.00	0.54	1.20	3.24
2	9.50	0.50	1.00	0.27	1.20	2.97
1	10.00	0.50	1.00	0.00	1.20	2.70

06.04. Estabilidad de la Estructura con respecto a la Falla por Elongación o ruptura de la Geomalla.

$$T_{max} \leq T_{adm} * Rc$$

Estabilidad de la Estructura con respecto a la Falla por Elongación o ruptura de la Geomalla.					
Capa	Z (m)	Tmax (KN/m)	Tadm (KN/m)	Material	Verificacion
20	0.50	3.22	28.71	UX-100	Cumple
19	1.00	4.63	28.71	UX-100	Cumple
18	1.50	6.04	28.71	UX-100	Cumple
17	2.00	7.46	28.71	UX-100	Cumple
16	2.50	8.87	28.71	UX-100	Cumple
15	3.00	10.28	28.71	UX-100	Cumple
14	3.50	11.69	28.71	UX-100	Cumple
13	4.00	13.10	28.71	UX-100	Cumple
12	4.50	14.51	28.71	UX-100	Cumple
11	5.00	15.92	28.71	UX-100	Cumple
10	5.50	17.33	28.71	UX-100	Cumple
9	6.00	18.74	28.71	UX-100	Cumple
8	6.50	20.15	28.71	UX-100	Cumple
7	7.00	21.56	28.71	UX-100	Cumple
6	7.50	22.97	28.71	UX-100	Cumple
5	8.00	24.38	28.71	UX-100	Cumple
4	8.50	25.79	28.71	UX-100	Cumple
3	9.00	27.20	33.71	UX-135	Cumple
2	9.50	28.61	33.71	UX-135	Cumple
1	10.00	30.02	33.71	UX-135	Cumple

07. Evaluación de la Estabilidad Interna del Muro de Suelo Reforzado (Cargas Sísmicas-Diseño Pseudo estático)

07.01. Cálculo de la Aceleración Máxima (Am)

$$A_m = (1.45 - A) * A$$

A	0.25
Am	0.3

07.02. Cálculo del peso de la Zona Activa (WA)

$$W_A = 0.5H^2 \tan\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right) * \gamma_r$$

WA	521.77 KN/m
----	-------------

07.03. Cálculo de la Fuerza Inercial (PI)

$$P_i = A_m * W_A$$

PI	156.53 KN/m
----	-------------

07.04. Cálculo del Incremento Dinámico (Tmd).

$$T_{md} = P_i \left(\frac{L_{ei}}{\sum_{i=n} (L_{ei})} \right) \quad T_{total} = T_{máx} + T_{md}$$

Cálculo del Incremento Dinámico.					
Capa	Z (m)	Le (m)	Tmd (KN/m)	Tmax (KN/m)	Ttotal (KN/m)
20	0.50	1.22	18.70	3.22	21.92
19	1.00	1.00	15.32	4.63	19.95
18	1.50	1.00	15.32	6.04	21.36
17	2.00	1.00	15.32	7.46	22.77
16	2.50	1.00	15.32	8.87	24.18
15	3.00	1.00	15.32	10.28	25.59
14	3.50	1.00	15.32	11.69	27.00
13	4.00	1.00	15.32	13.10	28.41
12	4.50	1.00	15.32	14.51	29.82
11	5.00	1.00	15.32	15.92	31.23
10	5.50	1.00	15.32	17.33	32.64
9	6.00	1.00	15.32	18.74	34.06
8	6.50	1.00	15.32	20.15	35.47
7	7.00	1.00	15.32	21.56	36.88
6	7.50	1.00	15.32	22.97	38.29
5	8.00	1.00	15.32	24.38	39.70
4	8.50	1.00	15.32	25.79	41.11
3	9.00	1.00	15.32	27.20	42.52
2	9.50	1.00	15.32	28.61	43.93
1	10.00	1.00	15.32	30.02	45.34
Total		10.22			

07.05. Estabilidad de la Estructura con respecto a la Falla de Poullout o Arrancamiento de la Geomalla bajo cargas sísmicas.

07.05.01. Longitud del Refuerzo resistente al arrancamiento o Poullout (Le)

$$L_e \geq \frac{1.5 * 0.75 T_{total}}{C * 0.8F * \sigma_v * Rc * \alpha} \geq 1m \quad L_e \geq \frac{1.5 * 0.75 T_{total}}{2 * 0.8 * 0.8 \tan \phi_r * \sigma_v * Rc * \alpha} \geq 1m$$

Longitud del Refuerzo resistente al arrancamiento o Poullout.						
Capa	Z (m)	Sv (m)	Ttotal (KN/m)	Le cal. (m)	Le min. (m)	Le (m)
20	0.50	0.50	21.92	7.78	1.00	7.78
19	1.00	0.50	19.95	3.54	1.00	3.54
18	1.50	0.50	21.36	2.53	1.00	2.53
17	2.00	0.50	22.77	2.02	1.00	2.02
16	2.50	0.50	24.18	1.72	1.00	1.72
15	3.00	0.50	25.59	1.51	1.00	1.51
14	3.50	0.50	27.00	1.37	1.00	1.37
13	4.00	0.50	28.41	1.26	1.00	1.26
12	4.50	0.50	29.82	1.18	1.00	1.18
11	5.00	0.50	31.23	1.11	1.00	1.11
10	5.50	0.50	32.64	1.05	1.00	1.05
9	6.00	0.50	34.06	1.01	1.00	1.01
8	6.50	0.50	35.47	0.97	1.00	1.00
7	7.00	0.50	36.88	0.94	1.00	1.00
6	7.50	0.50	38.29	0.91	1.00	1.00
5	8.00	0.50	39.70	0.88	1.00	1.00
4	8.50	0.50	41.11	0.86	1.00	1.00
3	9.00	0.50	42.52	0.84	1.00	1.00
2	9.50	0.50	43.93	0.82	1.00	1.00
1	10.00	0.50	45.34	0.80	1.00	1.00

Para determinar la longitud de la capa de Geomalla

Longitud de la capa de Geomalla.							
Capa	Z (m)	Sv (m)	Le sismo (m)	LR (m)	Lo (m)	Le+Lr cal. (m)	Le+Lr util. (m)
20	0.50	0.50	7.78	5.14	1.20	12.92	13.00
19	1.00	0.50	3.54	4.87	1.20	8.41	9.00
18	1.50	0.50	2.53	4.60	1.20	7.12	8.00
17	2.00	0.50	2.02	4.33	1.20	6.35	7.00
16	2.50	0.50	1.72	4.06	1.20	5.77	6.00
15	3.00	0.50	1.51	3.78	1.20	5.30	6.00
14	3.50	0.50	1.37	3.51	1.20	4.88	5.00
13	4.00	0.50	1.26	3.24	1.20	4.51	5.00
12	4.50	0.50	1.18	2.97	1.20	4.15	5.00
11	5.00	0.50	1.11	2.70	1.20	3.81	4.00
10	5.50	0.50	1.05	2.43	1.20	3.49	4.00
9	6.00	0.50	1.01	2.16	1.20	3.17	4.00
8	6.50	0.50	1.00	1.89	1.20	2.89	4.00
7	7.00	0.50	1.00	1.62	1.20	2.62	3.00
6	7.50	0.50	1.00	1.35	1.20	2.35	3.00
5	8.00	0.50	1.00	1.08	1.20	2.08	3.00
4	8.50	0.50	1.00	0.81	1.20	1.81	2.00
3	9.00	0.50	1.00	0.54	1.20	1.54	2.00
2	9.50	0.50	1.00	0.27	1.20	1.27	2.00
1	10.00	0.50	1.00	0.00	1.20	1.00	2.00

07.06. Diseñado para resistir el componente estático y dinámico de la carga de la siguiente manera:

07.06.01. Para el Componente Estático

$$T_{m\acute{a}x} \leq \frac{T_{ult\ rs} * Rc}{0.75 * FS * FR_T}$$

Para el Componente Estático.			
Capa	Z (m)	Tmax (KN/m)	Tult rs (KN/m)
20	0.50	3.22	9.68
19	1.00	4.63	13.92
18	1.50	6.04	18.16
17	2.00	7.46	22.39
16	2.50	8.87	26.63
15	3.00	10.28	30.87
14	3.50	11.69	35.11
13	4.00	13.10	39.34
12	4.50	14.51	43.58
11	5.00	15.92	47.82
10	5.50	17.33	52.06
9	6.00	18.74	56.29
8	6.50	20.15	60.53
7	7.00	21.56	64.77
6	7.50	22.97	69.01
5	8.00	24.38	73.24
4	8.50	25.79	77.48
3	9.00	27.20	81.72
2	9.50	28.61	85.96
1	10.00	30.02	90.19

07.06.02. Para el Componente Dinámico

$$T_{md} \leq \frac{T_{ult\ rt} * Rc}{0.75 * FS * FR_{DQ} * FR_{DI}}$$

Para el Componente Dinámico.			
Capa	Z (m)	Tmd (KN/m)	Tult rt (KN/m)
20	0.50	18.70	35.54
19	1.00	15.32	29.12
18	1.50	15.32	29.12
17	2.00	15.32	29.12
16	2.50	15.32	29.12
15	3.00	15.32	29.12
14	3.50	15.32	29.12
13	4.00	15.32	29.12
12	4.50	15.32	29.12
11	5.00	15.32	29.12
10	5.50	15.32	29.12
9	6.00	15.32	29.12
8	6.50	15.32	29.12
7	7.00	15.32	29.12
6	7.50	15.32	29.12
5	8.00	15.32	29.12
4	8.50	15.32	29.12
3	9.00	15.32	29.12
2	9.50	15.32	29.12
1	10.00	15.32	29.12

$$T_{ult} = T_{ult_{rs}} + T_{ult_{rt}}$$

Verificación de la Tracción Última- Condición Sísmica.							
Capa	Z (m)	Tult rs (KN/m)	Tult rt (KN/m)	Tult cal. (KN/m)	Tult Dis. (KN/m)	Material	Verificación
20	0.50	9.68	35.54	45.23	115.00 Kn/m	UX-100	Cumple
19	1.00	13.92	29.12	43.04	115.00 Kn/m	UX-100	Cumple
18	1.50	18.16	29.12	47.28	115.00 Kn/m	UX-100	Cumple
17	2.00	22.39	29.12	51.51	115.00 Kn/m	UX-100	Cumple
16	2.50	26.63	29.12	55.75	115.00 Kn/m	UX-100	Cumple
15	3.00	30.87	29.12	59.99	115.00 Kn/m	UX-100	Cumple
14	3.50	35.11	29.12	64.23	115.00 Kn/m	UX-100	Cumple
13	4.00	39.34	29.12	68.46	115.00 Kn/m	UX-100	Cumple
12	4.50	43.58	29.12	72.70	115.00 Kn/m	UX-100	Cumple
11	5.00	47.82	29.12	76.94	115.00 Kn/m	UX-100	Cumple
10	5.50	52.06	29.12	81.17	115.00 Kn/m	UX-100	Cumple
9	6.00	56.29	29.12	85.41	115.00 Kn/m	UX-100	Cumple
8	6.50	60.53	29.12	89.65	115.00 Kn/m	UX-100	Cumple
7	7.00	64.77	29.12	93.89	115.00 Kn/m	UX-100	Cumple
6	7.50	69.01	29.12	98.12	115.00 Kn/m	UX-100	Cumple
5	8.00	73.24	29.12	102.36	115.00 Kn/m	UX-100	Cumple
4	8.50	77.48	29.12	106.60	115.00 Kn/m	UX-100	Cumple
3	9.00	81.72	29.12	110.84	135.00 Kn/m	UX-135	Cumple
2	9.50	85.96	29.12	115.07	135.00 Kn/m	UX-135	Cumple
1	10.00	90.19	29.12	119.31	135.00 Kn/m	UX-135	Cumple

08. Verificación de la estabilidad externa del Muro de Suelo Reforzado.

Factor de Seguridad contra Volteo	Fs=2.00
Factor de Seguridad contra Deslizamiento	Fs=1.50
Factor de Seguridad de Capacidad de Carga	Fs=2.50

08.01. Cálculo de las Fuerzas que Afectan al Muro de Suelo Reforzado

08.01.01. Fuerzas Estáticas

i) Cálculo de la Fuerza Horizontal Activa de Rankine por unidad de longitud del muro.

$$Ea = \frac{1}{2} * Ka * \gamma_b * H^2$$

Ea	461.36 KN/m
----	-------------

Punto de Aplicación respecto a la Base

$$Y = \frac{H}{3}$$

y	3.33 m
---	--------

ii) Cálculo de la Fuerza Horizontal por Sobrecarga.

$$Es/c = Ka * q * H$$

Es/c	42.85 KN/m
------	------------

Punto de Aplicación respecto a la Base

$$Y = \frac{H}{2}$$

y	5.00 m
---	--------

iii) Cálculo de la Fuerza Vertical de Suelo Reforzado.

$$V_1 = \gamma_r * H * L$$

V1	1833.50 KN/m
----	--------------

Punto de Aplicación respecto al punto C

$$X = \frac{L}{2}$$

X	4.75 m
---	--------

iv) Cálculo de la Fuerza Vertical de la Sobrecarga.

$$V_2 = q * L$$

V2	117.80 KN/m
----	-------------

Punto de Aplicación respecto al punto C

$$X = \frac{L}{2}$$

X	4.75 m
---	--------

08.01.02. Fuerzas Pseudoestáticas (MONONOBE-OKABE)

El análisis y la posterior evaluación de la estabilidad sísmica externa se describe a continuación:
 i) Cálculo de la aceleración máxima que actúa en el MSR (Am).

$$A_m = (1.45 - A) * A$$

A	0.25
Am	0.3

ii) Cálculo de la fuerza de inercia horizontal (PIR) y el empuje sísmico (PAE).

$$P_{IR} = 0.5 * A_m * \gamma_r * H^2$$

PIR	289.50 KN/m
-----	-------------

Punto de Aplicación respecto al punto C

$$Y = \frac{H}{2}$$

Y	5.00 m
---	--------

$$P_{PE} = 0.375 * A_m * \gamma_b * H^2$$

PAE	300.38 KN/m
50% PAE	150.19 KN/m

Punto de Aplicación respecto al punto C

$$Y = 0.6 * H$$

y	6.00 m
---	--------

El PAE es reducido al 50% porque es poco probable que estas dos fuerzas alcancen su punto máximo simultáneamente.

08.02. Factor de Seguridad contra Volteo

$$FS_{(Volteo)} = \frac{\sum M_R(\text{sin sobrecarga})}{M_o} \geq (FS * 0.75)$$

$$FS_{(Volteo)} = \frac{V_1 * \left(\frac{L}{2}\right)}{E_{s/c} * \left(\frac{H}{2}\right) + E_a * \left(\frac{H}{3}\right) + P_{IR} * \left(\frac{H}{2}\right) + 50\% * P_{AE} * (0.6 * H)} \geq (FS * 0.75)$$

FS	1.5
FS(Volteo)	2.12 KN.m/m
FS(Volteo) ≥ FS	Cumple

08.03. Análisis por Excentricidad

$$X = \frac{\sum M_R - \sum M_o}{\sum V}$$

X	2.65 m
---	--------

La revisión por excentricidad será admitida como aceptable si el valor que es obtenido, no excede L/3.

$$e = \frac{L}{2} - \frac{\left[V_1 * \left(\frac{L}{2}\right) + V_2 * \left(\frac{L}{2}\right) \right] - \left[E_{s/c} * \left(\frac{H}{2}\right) + E_a * \left(\frac{H}{3}\right) + P_{IR} * \left(\frac{H}{2}\right) + 50\% * P_{AE} * (0.6 * H) \right]}{V_1 + V_2}$$

L/3	3.17 m
e	2.10 m
e < L/3	Cumple

08.04. Factor de Seguridad contra Deslizamiento

$$FS_{(Deslizamiento)} = \frac{\sum F_R}{F_o} \geq (FS * 0.75) \quad FS_{(Deslizamiento)} = \frac{(V_1 + V_2) * \tan \phi_f}{E_{s/c} + E_a + P_{IR} + 50\% * P_{AE}} \geq (FS * 0.75)$$

FS	1.125
FS(Deslizamiento)	1.15 KN.m/m
FS(Desliz.) ≥ FS	Cumple

08.05. Factor de Seguridad de Capacidad de Carga

$$FS_{(Cap.de carga)} = \frac{\sum \sigma_{ult}}{\sigma_{apli}} \geq (FS * 0.75)$$

$$\sigma_{ult} = C_f * N_c + \frac{1}{2} * \gamma_f * B * N_\gamma \quad \sigma_{aplic} = \frac{\sum Fv}{L - 2 * e}$$

$$N_q = e^{\pi * \tan(\phi_f)} * \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi_f}{2} \right)$$

$$N_c = \frac{(N_q - 1)}{\tan \phi_f}$$

$$N_\gamma = 2 * (N_q + 1) * \tan \phi_f$$

Nq	16.63
Nc	28.08
Ny	19.62
σ_{ult}	1415.14
σ_{aplic}	368.39
FS	1.88
FS(Cap. de carga)	3.84
FS(C. carga) \geq FS	Cumple

09. Analisis Tension - Deformación

$$\delta_{m\acute{a}x} = \delta_R * \frac{H}{250} \quad (Inextensible) \quad \vee \quad \delta_{m\acute{a}x} = \delta_R * \frac{H}{75} \quad (Extensible)$$

Desplazamiento lateral máximo	
Grillas entre 0 - 1.5	4
H	10.00 m
$\delta_{m\acute{a}x} = H/250$	0.04
$\delta_{m\acute{a}x} = H/75$	0.13
Lmuro	45.00 ml
Espacios	11.25 ml
L/H	1.125
δ_R	0.698
Extensible	
Desplazamiento	9.31 cm

$$\delta v_{m\acute{a}x} = \frac{L}{200}$$

Asentamiento máximo	
Lmuro	45.00 m
$\delta v_{m\acute{a}x} = L/200$	22.50 cm

Anexo N°10: Planos

CAL. P. 33+500
 Norte: 8600537.47
 Este: 537419.747
 Cota: 3454.62msnm

DESIGN SPEED = 20 km/h
 STA 33+520 DB

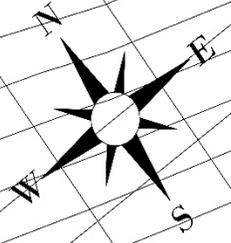


MURO DE SUELO REFORZADO PROYECTADO
 L= 45.00 m : H=10.00 m, 9.00M : A=9.50 m

33+800

33+820

33+840

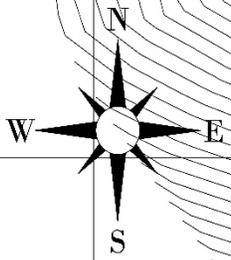


PLANTA GENERAL SECCION CRITICA DE MURO DE SUELO REFORZADO
 Esc. 1/100

CAL. P. 33+800
 Norte: 8600382.50
 Este: 537566.646
 Cota: 3447.18msnm



CAL. P. 33+850
 Norte: 8600363.21
 Este: 537614.388
 Cota: 3450.00msnm



PLANTA GENERAL SECCION VIAL PROYECTADA
 Esc. 1/500



NRO	SECTOR	EXPLORACION	NORTE	ESTE	COTA	ESTRATO	PROFUNDIDAD (m)
1.000	MAXIBACACCA	C-01 KM 33+500	8600537.47	537419.74	3454.62	E1/M1	0.00 - 0.30
						E1/M2	0.30 - 0.60
						E2/M3	0.60 - 3.00
2.000	MAXIBACACCA	C-02 KM 33+600	8600392.50	537566.65	3447.18	E1/M4	0.00 - 0.50
						E1/M5	0.50 - 2.80
						E2/M6	2.80 - 3.50
3.000	MAXIBACACCA	C-01 KM 33+650	8600363.21	537614.39	3450.00	E1/M7	0.00 - 0.50
						E1/M8	0.50 - 4.40
						E2/M9	4.40 - 7.00

TERCER ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA DIMENSIONAMIENTO OPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO, ACORAMBA, HUANCAYELCA, 2027

UNIVERSIDAD PERUAN LOS ANDES

PROFESIONAL RESPONSABLE: [Nombre]

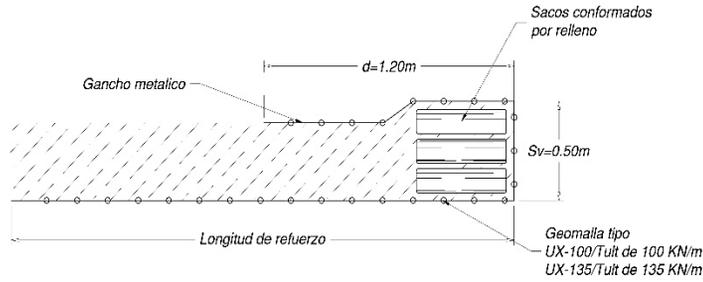
FECHA: [Fecha]

ESCALA: [Escala]

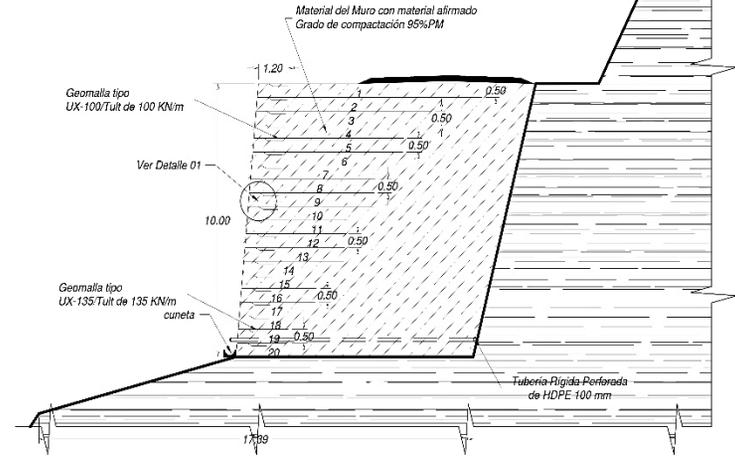
MSR-01

CAL. P. 33+500
 Norte: 8600537.47
 Este: 537419.747
 Cota: 3454.62msnm

DESIGN SPEED = 20 km/h
 STA 33+520.00



DETALE 01
 Esc. 1/50

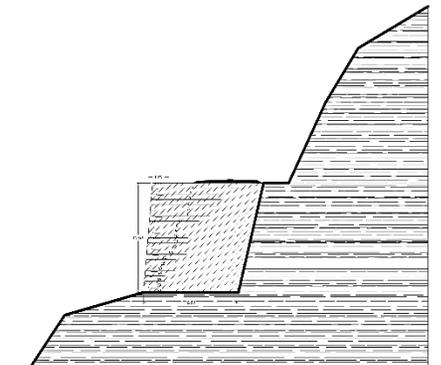


SECCION TIPICA DE MURO DE SUELO REFORZADO
 Esc. 1/100

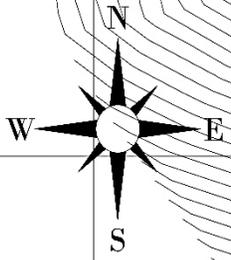
CAL. P. 33+800
 Norte: 8600382.50
 Este: 537566.646
 Cota: 3447.18msnm



CAL. P. 33+850
 Norte: 8600363.21
 Este: 537614.388
 Cota: 3450.00msnm



SECCION TIPICA DE MSR PARA PLAXIS 2D
 Esc. 1/100



PLANTA GENERAL SECCION VIAL PROYECTADA
 Esc. 1/500

TÉRMINO: ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE MUROS DE SUELO REFORZADO, ACOBAMBA, HUANCAYELCA, 2027			
UNIVERSIDAD PERUAN LOS ANDES			
PROFESIONAL RESPONSABLE	PROYECTO	ESCALA	MSR-01
UNIVERSIDAD PERUAN LOS ANDES	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ACOBAMBA	ESCALA: 1:500	UNIVERSIDAD PERUAN LOS ANDES

