

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Propuesta para mejorar la serviciabilidad de un talud vial
incorporando un muro de suelo reforzado con el Sistema
Terramesh para el proyecto Quebrada Honda-Ferrocarril
Central-Huancayo**

Saul Sanchez Puchoc

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Huancayo, 2019

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



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

ASESOR

Ing. Nancy Margot Montañez Huamán

AGRADECIMIENTO

A mi asesora de tesis: Ing. Nancy Margot Montañez Huamán por la confianza depositada en mí; apoyo, consejos y enseñanzas durante todo este tiempo.

A mis padres: Saúl y Haydeé por la confianza depositada en mi persona, y también a mis hermanas Jenny y Pamela por el apoyo incondicional.

Finalmente, a todos familiares por los consejos e impulsarme a ser mejor persona y profesional.

DEDICATORIA

A mis padres y hermanas por haberme forjado como una persona de bien que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ellos entre los que se incluye este trabajo de investigación. Me formaron con reglas y libertades impulsándome siempre a alcanzar mis propósitos.

ÍNDICE

PORTADA.....	I
ASESOR	II
AGRADECIMIENTO.....	III
DEDICATORIA.....	IV
ÍNDICE	V
LISTA DE TABLAS.....	VII
LISTA DE FIGURAS	VIII
RESUMEN.....	X
ABSTRACT	XI
INTRODUCCIÓN.....	XII
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	13
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	13
1.1.1. Planteamiento del problema.....	13
1.1.2. Formulación del problema.....	18
1.2. Objetivos de la Investigación.....	19
1.2.1. Objetivo Principal	19
1.3. Justificación e importancia	20
1.4. Hipótesis y descripción de variable	20
1.4.1. Hipótesis Principal.....	20
1.4.2. Hipótesis Secundarias	20
1.4.3. Variable Independiente	21
1.4.4. Variable Dependiente.....	21
CAPÍTULO II MARCO TEORICO	22
2.1. Antecedentes	22
2.1.1. Antecedentes Nacional	22
2.1.2. Antecedentes Internacionales	24
2.2. Bases Teóricas	25
2.2.1. Concepto de Suelo Reforzado	25
2.2.2. El Sistema Terramesh®	28
2.2.3. Ventajas del Sistema Terramesh®.....	33
2.2.4. Desventajas del Sistema Terramesh®	35
2.2.5. Propiedades Mecánicas.....	36
2.2.6. Empresa Maccaferri S.A.C.....	37
2.2.7. Análisis y Diseño Estructural de un Muro de Suelo Reforzado.....	37
2.2.8. Normas	82
2.2.9. Cargas	83
2.3. Software.....	85
2.4. Proceso Constructivo	86
2.5. Definición de términos básicos.....	87
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....	89
3.1. Método, y alcance de la investigación	89
3.1.1. Nivel.....	89
3.1.2. Tipo.....	89
3.1.3. Investigación Transversal.....	90
3.2. Diseño de la investigación.....	90
3.3. Población y muestra.....	90
3.3.1. Población	90

3.3.2.	Muestra.....	90
3.3.3.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	91
CAPÍTULO IV	93
EL PROYECTO	93
4.1.	Aspectos Generales.....	93
4.1.1.	Ubicación y accesibilidad	93
4.1.2.	Descripción de la zona.....	94
4.1.3.	Planos.....	95
4.2.	Investigaciones geotécnicas.....	99
4.2.1.	Calicatas	99
4.2.2.	Ensayos de densidad natural	99
4.2.3.	Exploraciones Geofísicas.....	100
4.2.4.	Ensayos de laboratorio	100
4.3.	Descripción Geotécnica	103
4.3.1.	Descripción Estratigráfica.....	103
4.3.2.	Parámetros geotécnicos.....	103
4.3.3.	Sismicidad.....	104
4.4.	Análisis y diseño del muro de suelo reforzado Tipo C	104
4.5.	Análisis y Diseño de los muros de suelo reforzado Tipo A, B Y D	151
4.6.	Presupuesto.....	211
CAPÍTULO V DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	213
CONCLUSIONES	214
FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	216
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	217
ANEXOS	220

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: SEQ Tabla * ARABIC 1 Nivel de servicio por tiempo de demora	14
Tabla 2: SEQ Tabla * ARABIC 2 Propiedades del Alambre	36
Tabla 3: SEQ Tabla * ARABIC 3 Propiedades Mecánicas de la geomalla.....	36
Tabla 4: SEQ Tabla * ARABIC 4 Propiedades del revestimiento plástico	37
Tabla 5:SEQ Tabla * ARABIC 5 Requisitos mínimos de las propiedades electroquímicas del material de relleno, para suelos reforzados.	41
Tabla 6: SEQ Tabla * ARABIC 6 Granulometría recomendada para R.S.S.	45
Tabla 7: SEQ Tabla * ARABIC 7 Factor de Corrección de acuerdo al tipo de refuerzo.	46
Tabla 8: SEQ Tabla * ARABIC 8 Resumen de los parámetros de diseño de la capacidad de extracción.	48
Tabla 9: SEQ Tabla * ARABIC 9 Tabla de factores de reducción	63
Tabla 10: SEQ Tabla * ARABIC 10 Peso propio del material de relleno	84
Tabla 11: SEQ Tabla * ARABIC 11 Ubicación Geográfica del Proyecto	93
Tabla 12: Resumen de los ensayos de densidad in situ.....	99
Tabla 13: Resumen de los ensayos geofísicos MASW-WGS-84	100
Tabla 14: Resumen de los ensayos estándar de clasificación de suelos	101
Tabla 15: Resumen de los ensayos estándar de Clasificación de Suelos	101
Tabla 16: Resumen de los ensayos de corte directo	101
Tabla 17: Resumen de los ensayos químicos	102
Tabla 18: Resumen de los ensayos de proctor modificado	102
Tabla 19: Resumen de los ensayos de gravedad específica y absorción	102
Tabla 20: Resumen de parámetros de resistencia y deformación.....	103
Tabla 21: Resumen de parámetros sísmicos.....	104

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: SEQ Figura * ARABIC 1 Mapa Vial de Junín, se detallan las principales vías de los distritos de El Tambo y Huancayo.....	15
Figura 2: SEQ Figura * ARABIC 3 Condición actual del terraplén, Quebrada Honda – Huancayo 16	
Figura 3: SEQ Figura * ARABIC 2 La inaccesibilidad a la zona y las condiciones que presenta, hacen que sea necesario ampliarla.	16
Figura 4: SEQ Figura * ARABIC 4 Muros de gravedad, algunos llevan acero en la parte superior, para soportar mejor las cargas, a este tipo de muro se le llama muro de semi-gravedad.	17
Figura 5: SEQ Figura * ARABIC 5 Los muros de retención en voladizo, son resistentes al empuje del suelo, son eficaces para resistir los momentos y fuerzas cortantes	17
Figura 6: SEQ Figura * ARABIC 6 Los muros con contrafuertes, son esencialmente empleados para resistir fuerzas cortantes y momentos flectores de gran magnitud.	18
Figura 7: SEQ Figura * ARABIC 7 Implementación de un muro de suelo reforzado empleado para incrementar la sección de la vía.	21
Figura 8: SEQ Figura * ARABIC 8 Deformación de un suelo sin y con refuerzo.....	26
Figura 9: SEQ Figura * ARABIC 9 Experimento empírico para ilustrar el concepto de suelo reforzado	27
Figura 10: SEQ Figura * ARABIC 11 Terramesh® System	28
Figura 11: SEQ Figura * ARABIC 10 Gavión caja compuesto de malla hexagonal.	29
Figura 12: SEQ Figura * ARABIC 12 Terramesh® Green	30
Figura 13: SEQ Figura * ARABIC 13 Biomac®.....	33
Figura 14: SEQ Figura * ARABIC 14 Los vacíos existentes en la estructura, permiten el libre paso del agua.	33
Figura 15: SEQ Figura * ARABIC 15 Su fácil construcción acelera el tiempo de ejecución del proyecto y la falta de emplear mano de obra calificada, permite reducir los costos.	34
Figura 16: SEQ Figura * ARABIC 16 Muro de suelo reforzado con Sistema Terramesh Padua-Italia.	35
Figura 17: SEQ Figura * ARABIC 17 Talud con suelo reforzado, para un proyecto vial	38
Figura 18: SEQ Figura * ARABIC 18 Aplicaciones de los muros de suelo reforzado	39
Figura 19: SEQ Figura * ARABIC 19 Transferencia de esfuerzo por fricción entre el suelo y el refuerzo del suelo.	43
Figura 20: SEQ Figura * ARABIC 20 Transmisión de esfuerzos por resistencia pasiva o trabazón	44
Figura 21: SEQ Figura * ARABIC 21 Definición de las dimensiones de geomallas para el cálculo de la capacidad de extracción.	50
Figura 22: SEQ Figura * ARABIC 22 Modos de falla para un talud reforzado	51
Figura 23: SEQ Figura * ARABIC 23 Método del equilibrio límite, para el análisis de un talud reforzado.	52
Figura 24: SEQ Figura * ARABIC 24 Análisis de estabilidad para un talud sin refuerzo.....	53
Figura 25: SEQ Figura * ARABIC 25 Modelo de muro reforzado con múltiples capas de refuerzo.	55
Figura 26: SEQ Figura * ARABIC 26 Análisis de círculo de falla usando el método de Bishop Simplificado en taludes reforzados	55
Figura 27: Figura * ARABIC 27 Modos de falla externo para muro de suelo reforzado.	58
Figura 28: SEQ Figura * ARABIC 28 Requisitos necesarios para el diseño de sistema de suelo reforzado.	61
Figura 29: SEQ Figura * ARABIC 29 Zona crítica definida por superficie de volteo y deslizamiento, que cumple el factor de seguridad requerido	65

Figura 30: SEQ Figura * ARABIC 30 Diagrama de cuerpo libre para determinar la fuerza requerida por el refuerzo.	67
Figura 31: SEQ Figura * ARABIC 31 Solución gráfica para determinar los requisitos de resistencia de refuerzo (Schmertmann 1987)	68
Figura 32: SEQ Figura * ARABIC 32 Consideraciones del espaciado de los refuerzos para taludes de gran altura.	70
Figura 33: SEQ Figura * ARABIC 33 Longitud de desarrollo de refuerzos, en un talud con suelo reforzado.	74
Figura 34: SEQ Figura * ARABIC 34 Análisis de estabilidad contra el deslizamiento en un talud reforzado.	77
Figura 35: SEQ Figura * ARABIC 35 Fallas en el suelo de fundación, en a) se muestra el análisis de inestabilidad general por asentamiento y en b) falla de capacidad por carga local.	78
Figura 36: SEQ Figura * ARABIC 36 Análisis de estabilidad sísmico, por el método del equilibrio límite	80
Figura 37: SEQ Figura * ARABIC 37 Consideraciones de drenaje de aguas superficiales y subterráneas en un talud reforzado.	81
Figura 38: SEQ Figura * ARABIC 38 Planificación, diseño y ejecución de un muro de suelo reforzado.	92
Figura 39: SEQ Figura * ARABIC 39 Ubicación del proyecto-Quebrada Honda	94
Figura 40: Modelos de carga T3-S3 utilizados en el proyecto de puentes	105
Figura 41: Área de influencia de la rueda	106
Figura 42 Diagrama del área de influencia del camión	106
Figura 43 Modelo de carga viva según la norma AREMA	107
Figura 44: Muro de suelo reforzado Tipo C, sin reforzar.	108
Figura 45: Idealización de las cargas de diseño.	109
Figura 46: Paragrid® - 80	112
Figura 47: Análisis de estabilidad del muro de suelo reforzado Tipo C, por medio de SLIDE V.6.	113
Figura 48: Análisis de estabilidad del muro tipo C, por el método de las dovelas de Bishop simplificado	115
Figura 49: Zona crítica a reforzar en el muro, delimitada por el polígono con líneas punteadas.	116
Figura 50: División del muro de suelo reforzado en Zonas	119
Figura 51: Distribución de los refuerzos por cada zona, para el muro de suelo reforzado tipo C.	124
Figura 52: Análisis de estabilidad externa por el método de Bishop simplificado, para el muro de suelo reforzado tipo C.	125
Figura 53: Análisis de estabilidad Interna por el método de Bishop simplificado, para el muro de suelo reforzado tipo C.	127
Figura 54: Análisis de estabilidad interna entre las zonas I y II, para el muro de suelo reforzado tipo C	129
Figura 55: Sistema de drenaje de aguas superficiales empleando geosintéticos y tuberías de drenaje	150

RESUMEN

La presente tesis tiene por objetivo proyectar la construcción de muros de suelo reforzado con el Sistema Terramesh para estabilizar y ampliar las dimensiones del terraplén existente en la zona de Quebrada Honda y Ferrocarril – Huancayo, para la construcción del corredor vial.

Para el diseño de los muros se ha empleado la metodología que propone la administración federal de autopistas del departamento de transportes de los EE.UU. “Diseño y Construcción de muros de tierra estabilizados mecánicamente y taludes de suelo reforzado – Volumen II – 2009” y la norma peruana “suelos y Taludes - CE0.20”. La Norma Norteamericana nos permite determinar la resistencia de tensión necesaria que los refuerzos deben de aportar a la estructura para obtener el factor de seguridad establecidos en la norma peruana CE.020. Los factores de seguridad mínimos para que la estructura no colapse tanto para el análisis estático son de 1.5 (Interna y externa) y en el análisis dinámico de 1.10.

El análisis de estabilidad de los muros diseñados se ha realizado de forma manual y con el uso de programas de computación SLIDE V.6 y MacStars W, que son softwares que emplean el método del equilibrio límite en sus análisis, dentro del cual se ha usado el método de Bishop Simplificado para calcular los factores de seguridad.

El factor de seguridad global para el talud más crítico fue de $FS_R = 1.698$ para el análisis estático y de $FS_R = 1.302$ para el análisis dinámico, siendo mayores a los recomendados en la norma garantizando así la estabilidad del talud.

Se concluye que el empleo de refuerzos (geosintéticos) anclados aportan resistencia a la tracción en los muros, estos refuerzos limitan la deformación lateral del suelo debido a la rigidez que aportan a la estructura en general haciéndolos actuar como un muro de gravedad, obteniendo así, factores de seguridad mayores a los muros sin refuerzo.

Palabras Claves:

Muro de suelo reforzado, sistema Terramesh, programa, diseño, dimensionamiento, factores de seguridad, análisis estático y dinámico, refuerzos, deformación, equilibrio límite.

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to project the construction of soil walls reinforced with the Terramesh System to stabilize and expand the dimensions of the existing embankment in the area of Quebrada Honda y Ferrocarril - Huancayo, for the construction of the road corridor.

The methodology proposed by the federal highway administration of the US Department of Transportation has been used to design the walls. "Design and construction of mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes - Volume II - 2009" and the Peruvian standard "Suelos y Taludes" - CE0.20", The North American Standard allows us to determine the necessary tensile strength that reinforcements must contribute to the structure to obtain the safety factor established in the Peruvian norm CE.020. The minimum safety factors for the structure without collapse for both static analysis are 1.5 (Internal and external) and in the dynamic analysis of 1.10.

The stability analysis of the specific walls has been performed manually and with the use of SLIDE V.6 and MacStars W computer programs, which are softwares that use the limit equilibrium method in their analysis, within which it has been used Bishop's method Simplified to calculate safety factors.

The overall safety factor for the most critical analysis was $FS_R = 1,698$ for static analysis and $FS_R = 1,302$ for dynamic analysis, being greater than those recommended in the standard thus guaranteeing the stability of the slope.

It is concluded that the use of anchored (geosynthetic) reinforcements provide tensile strength in the walls, these reinforcements limit the lateral deformation of the ground due to the rigidity they contribute to the structure in general, making them act as a gravity wall, thus obtaining safety factors greater than walls without reinforcement.

Keywords:

Reinforced floor wall, Terramesh System, Program, Design, Sizing, Safety Factors, Static and Dynamic Analysis, reinforcements, deformation, boundary balance.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años en el Perú se ha venido usando nuevos sistemas de contención de suelos que le han hecho frente a los sistemas de contención tradicionales. Un ejemplo claro es la implementación de sistemas de muros de suelo reforzados en la estabilización de terraplenes para la ampliación de vías; este sistema ha demostrado ser igual de eficiente que los muros de concreto simple o concreto armado, pero con una diferencia notable en el costo.

En el departamento de Junín, se han desarrollado proyectos importantes en la contención de taludes, empleando muros de suelo reforzado, un ejemplo es el empleo del sistema Terramesh, en el proyecto Sinaycocha para construir una laguna de relaves mineros.

Este sistema ha demostrado que no sólo es más barato que los tradicionales, sino que también genera un impacto ambiental menor en su construcción, y viviendo en una época en la que los proyectos de construcción civil tienden a generar impactos ambientales importantes en el medio ambiente, es necesario optar por sistemas que estén más en armonía con la naturaleza.

En la ciudad de Huancayo, al año 2019 se viene ejecutando el proyecto “Corredor vial del Norte”, el cual busca ser una vía alterna que une los distritos de El Tambo con San Agustín de Cajas y demás distritos, con la finalidad de reducir el tráfico. El planteamiento del proyecto considera una ampliación del terraplén existente en la zona de Quebrada Honda, zona que requiere la contención de 150 metros de longitud de vía con una altura máxima de 30m. en la parte central, debido a la altura se propone la construcción de un muro de suelo reforzado con sistema Terramesh, buscando optimizar costos y planteamiento una alternativa amigable con el medio ambiente.

La presente tesis está dividida, en cinco capítulos, el capítulo I: describe la problemática, objetivos justificación e hipótesis de la investigación; el capítulo II: desarrolla el marco teórico detallando los antecedentes, las bases teóricas, los softwares empleados y el proceso constructivo; el capítulo III: describe la metodología empleado en el desarrollo de la investigación; el capítulo IV: desarrolla el análisis y diseño detallado de los muros de suelo reforzado con el sistema Terramesh del proyecto Quebrada Honda-Ferrocarril Central-Huancayo; el capítulo V: expone la discusión de resultados y finalmente se presentan las conclusiones, recomendaciones, referencias y anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el Perú, un problema que se ha ido agravando año tras año, es el del transporte público, debido al creciente aumento de la población, por lo que es necesario construir nuevas vías de transporte que descongestionen el tráfico de las vías de las principales ciudades del Perú.

El Manual de capacidad de carreteras – HCM por sus siglas en inglés, categoriza el servicio de una vía en 6 niveles desde la A hasta la F, siendo el nivel A donde los autos demoran menos de 10 segundos en cruzar una intersección en horas pico y F representa un tiempo de demora mayor o igual a los 80 s.

Según las últimas evaluaciones del nivel de servicio de las principales vías de las más importantes ciudades del país, se han determinado niveles E y F en las horas pico, esto quiere decir que, los automóviles demoran entre 55 s y 80 s para cruzar una intersección y en algunas vías el tiempo de demora supera los 80 s. por lo que se infiere que, en la mayoría de vías del país, existen tiempos de demoras inaceptables con una coordinación muy pobre y/o ciclos demasiado largos.

Proyectos importantes se llevan a cabo en el país para hacer frente a este problema, un ejemplo es la municipalidad de Lima que está ejecutando actualmente el proyecto “Nueva Autopista Central” que unirá a los distritos de Lima y Chosica, que además beneficiará a las personas que van de Lima a todo el centro del país.

Así también, el Gobierno Regional de Junín (GRJ), ha presentado un proyecto para la construcción de la nueva carretera central, un proyecto que aliviará los problemas de transporte que hay actualmente en la región de Junín.

De acuerdo a Osore V. en su tesis "Evaluación del nivel de servicio por análisis de tráfico en la intersección semaforizada de Mariscal Castilla-Julio Sumar El Tambo, 2015" determinó que en las principales vías un automóvil puede demorar hasta 139 s en cruzar una intersección y esto aunado al aumento del parque automotor hacen intransitable las vías del distrito de El Tambo.

En la Tabla 1, se muestra los niveles de servicio por tiempo de demora, que necesita un automóvil para cruzar una intersección entre las calles Julio Sumar y Mariscal Castilla en el distrito de El Tambo, en horas pico. En el cuadro se muestran niveles de servicio F en ambas vías con tiempo de demora de hasta 139 s en la Av. Mariscal Castilla. Por lo que se deduce que el volumen de automóviles es superior a la capacidad de la vía, en estas circunstancias se presentan ciclos demasiados largos y con una notable reducción de velocidad de los automóviles.

Tabla 1: SEQ Tabla * ARABIC 1 Nivel de servicio por tiempo de demora

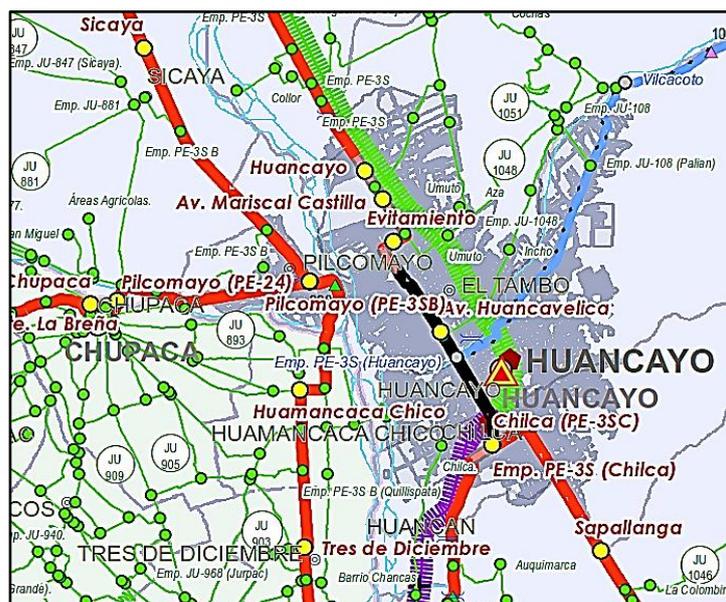
DIRECCIÓN	TIEMPO (sg.)	JULIO SUMAR / MARISCAL CASTILLA	TIEMPO (sg.)	LA MARINA / MARISCAL CASTILLA
AL NORTE	82.20	F	139.00	F
AL SUR	55.00	D	10.10	B
AL ESTE	79.90	E	79.90	-
AL OESTE	13.70	B	13.70	-
INTERSECCION	55.60	E	79.50	E

Fuente: Osore Torres "Evaluación del nivel de servicio por análisis de tráfico en la intersección semaforizada mariscal Castilla – Julio Sumar el Tambo 2015"

En el distrito de El Tambo en los últimos años se ha visto un crecimiento acelerado del parque automotor, por lo que se necesita nuevas vías de transporte masivo que descongestionen a la ya transitada carretera central, una alternativa es la construcción del proyecto vial Quebrada Honda - ferrocarril central, que sería el nexo de comunicación vial entre los distritos de El tambo y los distritos de Cajas, Hualhuas, Saños, Quilcas y San Jerónimo de Tunán.

Como se muestra en la Figura 1, las principales vías transitadas del distrito de Huancayo, son la Av. Huancavelica (Negro), la Av. Mariscal Castilla (Rojo, más adelante carretera central margen izquierda) y la carretera central margen derecha (Rojo), la línea verde representa el Ferrocarril Central.

Figura 1: SEQ Figura * ARABIC 1 Mapa Vial de Junín, se detallan las principales vías de los distritos de El Tambo y Huancayo.



Fuente: SINAC- MINISTERIO DE TRANSPORTES

De acuerdo a OSITRAN, la concesionaria DEVIANDES reporta un tráfico de aproximadamente 4000 a 6000 Vhc/día, cuando la carretera fue diseñada para un tráfico máximo de 4000 Vhc/día.

En función a lo evaluado se necesita nuevas vías de transporte masivo que descongestionen a la ya transitada carretera central, una alternativa es la construcción del proyecto vial Quebrada Honda - Ferrocarril Central. En la actualidad, en esta vía funciona el Ferrocarril Central Andino, el cual presta servicio de turismo a la ciudad de Lima – Huancayo alrededor de dos veces al mes, en la zona llamada Quebrada Honda, presenta una longitud aproximada de 150m de largo, las vías del tren son sostenidas por un terraplén como se observa en las Figuras 2 y 3, tiene una profundidad máxima de 30 m. en su parte central, la estructura está conformada por material de relleno.

Además, existe una alcantarilla con tres orificios de 2 m. x1.5 m. que permiten la circulación del caudal del río, que por olvido de las autoridades se encuentra en total abandono, no cumpliendo su objetivo.

Figura 2: SEQ Figura * ARABIC 3 Condición actual del terraplén, Quebrada Honda – Huancayo



Fuente: Propia

Figura 3: SEQ Figura * ARABIC 2 La inaccesibilidad a la zona y las condiciones que presenta, hacen que sea necesario ampliarla.



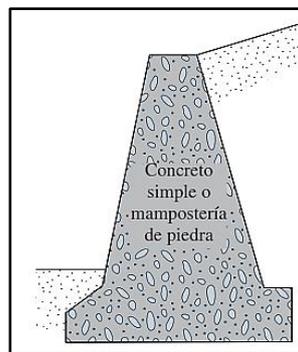
Fuente: Propia

Este terraplén no cuenta con los niveles de serviciabilidad adecuados ni tampoco con las dimensiones necesarias para la construcción de un corredor vial, por lo que es necesario, implementar estructuras de contención para mejorar su serviciabilidad y permitir la construcción de dicho proyecto.

Existen diversos sistemas de contención como los muros de gravedad que se construyen con concreto simple o mampostería, este tipo de construcciones no son

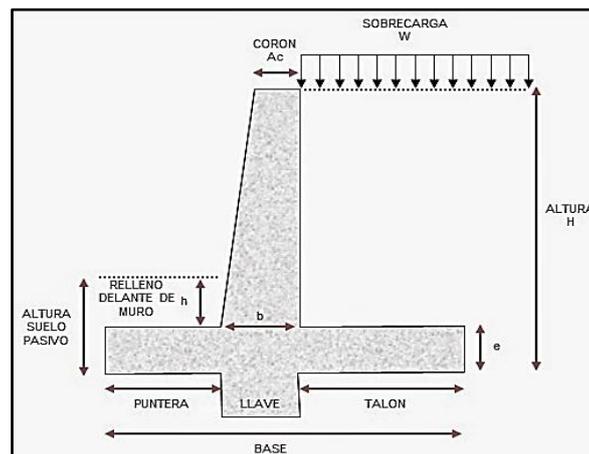
económicos para muros altos (ver Figura 4); los muros de retención en voladizo, están hechos de concreto reforzado y consisten en un cuerpo o alzado delgado y una losa de base, este tipo de muros es económico hasta una altura de 8m (Ver Figura 5); los muros de retención con contrafuerte son similares a los muros en voladizo, sólo que cuentan a intervalos regulares losas de concreto verticales delgadas conocidas como contrafuertes, que anclan entre sí el muro con la base, al igual que un muro de retención en voladizo, esta estructura es económica hasta una altura de 8 metros, ver la figura 6 (Das, 2012).

Figura 4: SEQ Figura * ARABIC 4 Muros de gravedad, algunos llevan acero en la parte superior, para soportar mejor las cargas, a este tipo de muro se le llama muro de semi-gravedad.



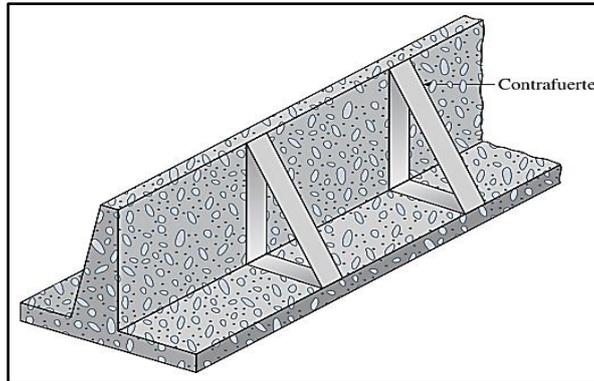
Fuente: Fundamentos de ingeniería de cimentaciones-Braja M. Das

Figura 5: SEQ Figura * ARABIC 5 Los muros de retención en voladizo, son resistentes al empuje del suelo, son eficaces para resistir los momentos y fuerzas cortantes



Fuente: Civil Geeks

Figura 6: SEQ Figura * ARABIC 6 Los muros con contrafuertes, son esencialmente empleados para resistir fuerzas cortantes y momentos flectores de gran magnitud.



Fuente: Fundamentos de ingeniería de cimentaciones-Braja M. Das

Para la construcción del corredor vial que disminuya el tráfico de la carretera central, por las características del proyecto y teniendo en cuenta la inaccesibilidad a la zona, el tema económico y el efecto al medio ambiente, se ha optado por construir un muro de suelo reforzado con el sistema Terramesh para recuperar la estabilidad y serviciabilidad del terraplén existente e incrementar sus dimensiones aguas arriba y aguas abajo.

1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.2.1. Problema Principal

¿Cómo mejorar geotécnicamente la serviciabilidad de un talud vial incorporando un muro de suelo reforzado con el Sistema Terramesh en el proyecto Quebrada Honda - Ferrocarril Central – Huancayo?

1.1.2.2. Problemas Específicos

- a. ¿Cuál es la metodología de diseño que se debe usar en el diseño de muros de suelo reforzado con el sistema Terramesh para mejorar la serviciabilidad del talud vial del proyecto Quebrada Honda - Ferrocarril central – Huancayo?

- b. ¿Cuál es el mejor método de análisis que se debe de emplear en el cálculo de los factores de seguridad de muros de suelo reforzado con Sistema Terramesh en el proyecto Quebrada Honda - Ferrocarril Central – Huancayo?
- c. ¿Cuáles son los factores de seguridad mínimo para el análisis estático y dinámico en muros de suelo reforzados con el sistema Terramesh para mejorar la serviciabilidad del talud vial del proyecto Quebrada Honda- Ferrocarril central – Huancayo?

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. OBJETIVO PRINCIPAL

Estabilizar geotécnicamente el talud vial, empleando un muro de suelo reforzado con el Sistema Terramesh en el proyecto Quebrada Honda -Ferrocarril central - Huancayo.

1.2.1. Objetivos Secundarios

- a. Utilizar la metodología propuesta por la administración federal de autopistas del departamento de transportes de los EE.UU. “Diseño y Construcción de muros de tierra estabilizados mecánicamente y taludes de suelo reforzado – Volumen II – 2009” y la norma peruana CE0.20 “suelos y Taludes “en el diseño de muros de suelo reforzado con el sistema Terramesh para mejorar la serviciabilidad del talud vial del proyecto Quebrada Honda -Ferrocarril Central –Huancayo.
- b. Aplicar el método del equilibrio límite para calcular los factores de seguridad de los muros de suelo reforzado con el sistema Terramesh en el Quebrada Honda -Ferrocarril Central – Huancayo.
- c. Investigar los factores de seguridad estático y dinámico para muros de suelo reforzado con el sistema Terramesh y cómo influye en la estabilidad del talud vial del proyecto Quebrada Honda- Ferrocarril Central – Huancayo.

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Con los diferentes métodos que se pueden emplear para estabilizar taludes, se propone por medio de esta tesis usar una alternativa que ha tenido mucha resonancia estas últimas décadas en el mundo y reciente mente en el Perú, un sistema eficiente que admite la realización de proyectos integrales con aportes técnicos y económicos en la estabilización de taludes.

El propósito de esta tesis es explicar el diseño completo de un muro de suelo reforzado con sistema Terramesh, sus ventajas y desventajas en su uso, en la estabilización del talud vial del proyecto Quebrada Honda – Ferrocarril Central.

La condición actual del terraplén no reúne las condiciones mínimas de serviciabilidad, poniendo en riesgo a las zonas aledañas, la implementación de este sistema mejorará enormemente la calidad de las personas, pues permitirá la construcción de un corredor vial que será una alternativa en la carretera central.

1.4. HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLE

1.4.1. HIPÓTESIS PRINCIPAL

La incorporación de muros de suelo reforzado con el sistema Terramesh mejorará geotécnicamente la serviciabilidad del terraplén vial del proyecto Quebrada Honda - Ferrocarril central – Huancayo.

1.4.2. HIPÓTESIS SECUNDARIAS

- a. La metodología de diseño propuesta por la administración federal de autopistas del departamento de transportes de los EE. UU, es óptima para el diseño de muros de suelos reforzados con el sistema Terramesh para el proyecto Quebrada Honda-Ferrocarril Central-Huancayo.
- b. El método del equilibrio límite permite el cálculo de los factores de seguridad muros de suelo reforzado con el sistema Terramesh para el proyecto Quebrada Honda-Ferrocarril Central-Huancayo.
- c. Los factores de seguridad establecidos por la administración federal de autopistas del departamento de transportes de los EE. UU y la CE.020 “Suelos

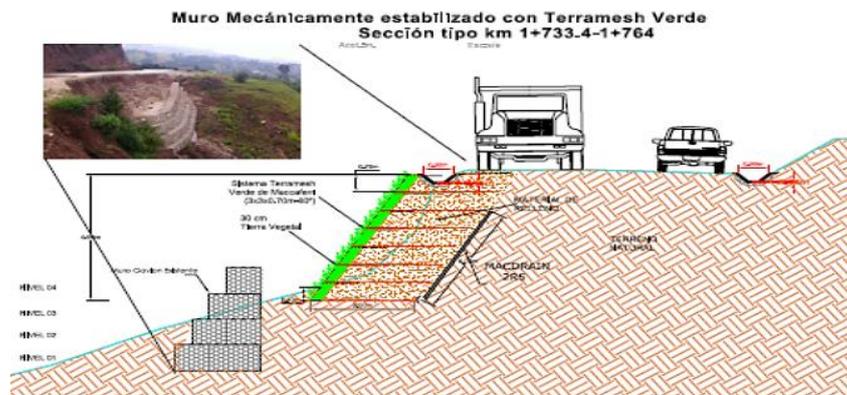
y Taludes” son óptimos para el análisis de muros de suelo reforzado con sistema Terramesh.

1.4.3. VARIABLE INDEPENDIENTE

VI: Muro de Suelo Reforzado

Trata de la estabilización mecánica de un terraplén empleando un sistema de refuerzos y paramentos, gracias a la interacción que se presenta entre estos elementos. El suelo al querer deslizarse, es retenido por el elemento de refuerzo, el cual, entra en tensión formando un bloque o macizo de tierra mecánicamente estabilizado. En la figura 7, es el empleo del Terramesh verde para ampliar la sección de la vía (Maccaferri, Reparación de falla recurrente mediante talud reforzado, 2016).

Figura 7: SEQ Figura * ARABIC 7 Implementación de un muro de suelo reforzado empleado para incrementar la sección de la vía.



Fuente: Case History-Maccaferri

1.4.4. VARIABLE DEPENDIENTE

VD: Serviciabilidad del Talud

La serviciabilidad de un talud es una medida de la capacidad que posee éste, para soportar el volteo, deslizamiento o hundimiento para el cual fue diseñado.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. ANTECEDENTES NACIONAL

Un primer trabajo corresponde a Altamirano G. y Rivas J. (2015), quienes para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad Ricardo Palma realizaron la tesis “Propuesta de remediación geotécnica de un talud incorporando un muro de suelo reforzado con el sistema Terramesh para el proyecto de la carretera Matarani – El Arenal”; el objetivo de la tesis fue estabilizar los taludes de un terraplén introduciendo fuerzas resistentes mediante refuerzos (geomallas y geosintéticos), un muro de suelo reforzado empleando el sistema Terramesh para el proyecto de la carretera del sub-tramo 1 Matarani-El Arenal, para dicho problema se planteó la construcción de un muro de suelo reforzado tipo Terramesh System que cubriría un largo de 300 m aproximadamente, desde el KM2+762.05 hasta el KM3+070. La metodología para este proyecto fue determinar en primer lugar la estabilidad interna, referente al espaciamiento de los geosintéticos, su longitud y la distancia de traslape; en segundo lugar, fue determinar la estabilidad externa contra el volteo, deslizamiento y falla de fundación. La conclusión de este trabajo fue que el sistema propuesto por los tesisistas y la empresa Odebrecht (empresa a cargo de la construcción) presentan factores de seguridad interno similares a diferencia del análisis de estabilidad global con el que, si presentan diferencias significativas, también se concluyó que, debido a las características del proyecto, el sistema propuesto es más barato que los tradicionales.

Un segundo trabajo corresponde a Pinedo M. (2012), quien para optar el título de Ingeniero Civil en la Pontificia Universidad Católica del Perú desarrolló la tesis

“Comparación entre Muros de Suelos Reforzado, con elementos extensibles y no extensibles”; el objetivo de esta investigación fue, diseñar un mismo muro con refuerzos extensibles e inextensibles y determinar quién presenta mejor factor de seguridad y, por ende, cuál es el más económico. La metodología empleada fue el diseño de un muro con ambos refuerzos, donde se determinó y se comparó las longitudes de los refuerzos y la estabilidad global de la estructura. La conclusión de la investigación fue, que los muros con refuerzos extensibles (geomallas) están afectadas por factores de reducción que disminuyen su resistencia a tracción hasta en un 72%, generando un mayor factor de seguridad para la estructura, otra conclusión fue, que los muros con refuerzos inextensibles son entre 23% a 34% más baratos, que los muros con refuerzos extensibles, para longitudes de hasta 11.25m.

Otro antecedente, es el presentado por Vásquez Y. (2014), quien para obtener el título de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional de Cajamarca elaboró la tesis “Evaluación de los muros de contención con concreto armado y suelo reforzado(Terramesh), en la carretera San Marcos – Cajabamba” , la presente tesis tiene lugar en la carretera de San Marcos – Cajabamba del KM 40+103,70 hasta el KM 40+ 193,70, el objetivo de la investigación es comparar los muros de suelo reforzado y concreto armado, respecto a su funcionabilidad, economía y tiempo de construcción, la metodología empleada fue diseñar los muros de concreto armado y de suelo reforzado, comparar sus factores de seguridad, así también como el costo de construcción y el tiempo de ejecución, se concluyó que los muros de suelos reforzados se construyen entre 57, 87% a 73.06% más rápido que los muros de concreto armado, para alturas de entre 2 m a 5 m por metro lineal. También se constató que los muros de suelos reforzados con sistema terramesh son un 24.90% a 51.57% más baratos que los muros de concreto armado, para alturas de entre 2 m a 5 m. Los muros de suelo reforzado son igual de eficientes que un muro de concreto armado, pero son más económicos y presentan un tiempo de ejecución menor.

2.1.2. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Un primer trabajo corresponde a Rendón E. (2005), quien para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad de San Carlos de Guatemala desarrolló la tesis titulada “Taludes reforzados con geosintéticos utilizados en carreteras”, el cual tiene como objetivo estudiar las normas, métodos, criterios, especificaciones y procedimientos necesarios para un adecuado mantenimiento de carreteras en lo que se refiere a taludes fabricados con geosintéticos. La metodología empleada fue en primer lugar determinar los parámetros geotécnicos, posteriormente diseñó un modelo de talud teniendo en cuenta los parámetros, y los factores de seguridad externos como internos, posteriormente explicó el proceso constructivo del talud y cuáles son los factores externos que influyen en su decadencia. Llegó a la conclusión de que el principal agente destructivo para este tipo de estructuras es el agua, por lo que se debe de contar con estructuras de drenaje para que el agua sea rápidamente evacuada y se controle la erosión.

Un segundo trabajo de investigación pertenece a Morataya L. (2011), quien para conseguir el título de Ingeniero Civil en la Universidad de San Carlos de Guatemala desarrolló la tesis “Sistema de tierra armada con geomalla” en la que propone salvar dos desniveles empleando muros de suelo reforzado con el sistema Terramesh, en la zona llamada Las Rosas Quetzaltenango y San Cristobal Mixo, que permita el libre paso vehicular. El objetivo es analizar el diseño y el método constructivo de muros de suelos reforzados empleando geomallas como refuerzos en las zonas antes mencionadas. La metodología empleada fue determinar los parámetros geotécnicos (ϕ, c, γ) del suelo, determinar los factores de seguridad y hacer un seguimiento al proceso constructivo. Llegó a la conclusión, de que los refuerzos sintéticos otorgan gran resistencia a la tensión, confinando la estructura de manera eficiente, y genera menos impacto ambiental. También llegó a la conclusión de que es necesario implementar sistemas de drenaje, tales como cunetas, geodrenes, etc., que no permitan la pérdida de finos y no afecte a la estabilidad general de la estructura. Su fácil construcción y su bajo costo, hace que cada vez este tipo de estructuras se emplee más en relación a los sistemas tradicionales de contención.

Un tercer trabajo de investigación pertenece a Contramaestre H. y Gonzales O. (2007), quienes para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad Católica Andrés Bello desarrollaron la tesis “Análisis comparativo de sistemas de estabilización de taludes bajo el concepto de suelos reforzados, comparando los

sistemas de tierra armada y Terramesh® System para un talud ubicado en Granjería de la Trinidad, Caracas, Edo, Miranda”, el objetivo fue las diferencias económicas que existen entre la construcción de un muro con Terramesh® System y un muro con Tierra Armada para la estabilización de un talud, la metodología fue descriptiva-experimental, en la cual se procedió a determinar los parámetros geotécnicos necesarios para su diseño y posteriormente a su comparación, los investigadores llegaron a la conclusión de que ambos sistemas son igual de eficientes a la hora de resistir los efectos de volteo, deslizamiento o hundimiento, la diferencia radica en el ámbito económico pues, el sistema de tierra armada es un 7.71% en promedio más barato que el Terramesh® System, para muros de hasta 5 m de altura.

2.2. BASES TEÓRICAS

Para llevar a cabo el diseño y el análisis de un muro de suelo reforzado con el sistema Terramesh, es importante conocer conceptos y definiciones que nos ayuden a entender el significado de cada uno de estos términos y como se relacionan entre sí para alcanzar los objetivos planteados.

2.2.1. CONCEPTO DE SUELO REFORZADO

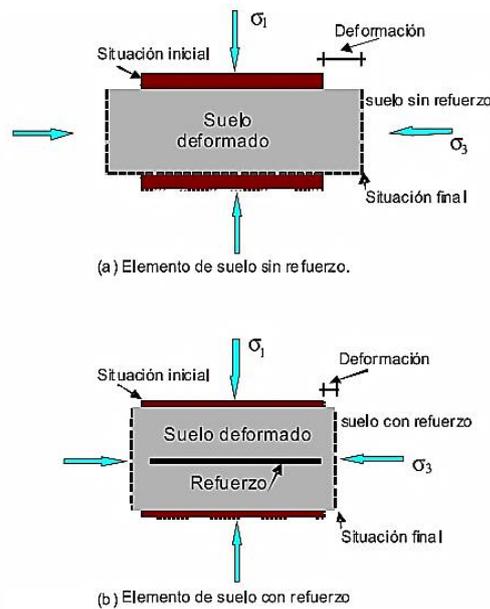
Una masa de suelo reforzado es análoga al concreto armado, pues las propiedades mecánicas de la masa mejoran cuando se coloca un refuerzo paralelo en dirección de la deformación principal para compensar la falta de resistencia a la tracción del suelo, según la Federal Highway Administration – National Highway Institute (**FHWA – NHI – 00 – 043, 2001**).

Las propiedades de tracción mejoradas son el resultado de la interacción entre el refuerzo y el suelo. El material compuesto tiene las siguientes características:

- La transferencia del esfuerzo entre el suelo y el refuerzo se realiza continuamente a lo largo del refuerzo.
- Los refuerzos se distribuyen a lo largo de toda la masa de suelo con un grado de regularidad y no deben estar expuestos.

En la figura 8, se muestra el principio básico del comportamiento de suelo reforzado.

Figura 8: SEQ Figura * ARABIC 8 Deformación de un suelo sin y con refuerzo.



Fuente: MACCAFERRI

Como se observa en la figura 8, se muestra unos rectángulos de color guindo tanto en el caso a y b, estas representan muestras de suelo. En el caso "a" representa una muestra de suelo sin reforzar y en el caso "b" un suelo con refuerzo. Ambas muestras de suelo son sometidas a un presión σ_1 , para el caso "a", que es la muestra sin refuerzo, se observa que esta sufre deformaciones verticales de compresión y deformaciones laterales de extensión (rectángulo de color plomo) y para el caso "b", la muestra con refuerzo, se observa que la muestra presenta deformaciones limitadas, esto debido a que los movimientos laterales son limitados por la reducida deformabilidad del refuerzo.

Esta restricción de deformaciones se obtiene con el desarrollo de esfuerzos de tracción en el elemento de refuerzo.

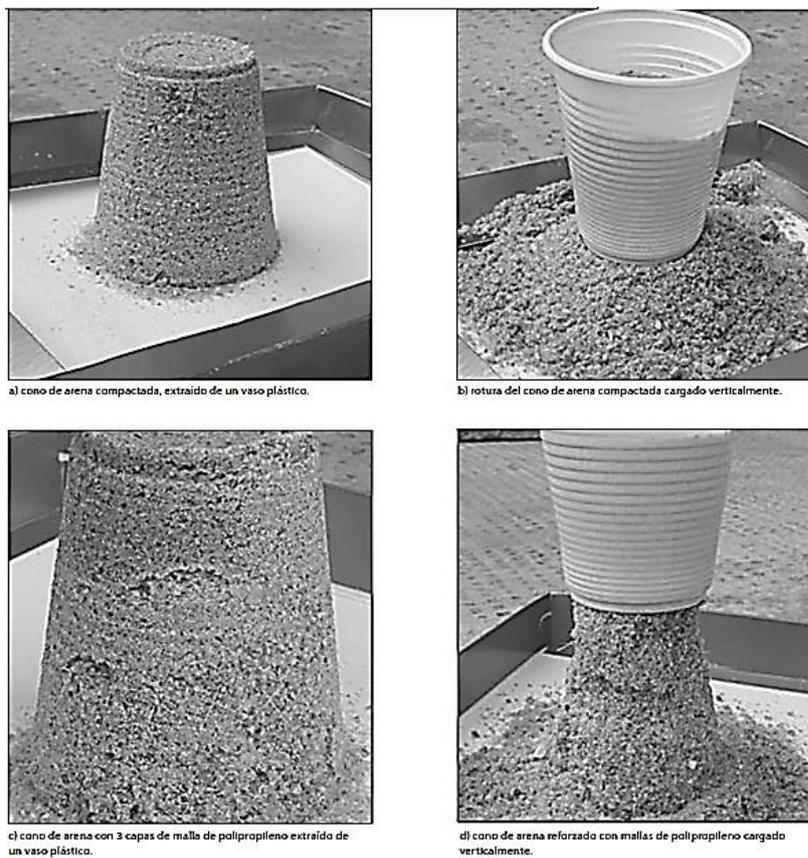
En la figura 9, se presenta un experimento empírico y sencillo que ilustra el impacto que tiene el refuerzo en un suelo. En la figura 9a. la arena ha sido bien compactada, adquiriendo la forma del vaso.

Al ser cargado verticalmente con el mismo vaso plástico, parcialmente lleno con arena (70% del volumen) es posible observar que el cono formado por arena se desmorona de inmediato por falta de resistencia interna y restricción lateral, ver figura 9b.

En la figura 9c. se ha realizado el mismo experimento, solo que en este caso se ha reforzado el cono de arena con tres capas de polipropileno y de igual manera se ha aplicado la misma carga que en el experimento anterior (70% del volumen), se observa que la estructura se mantiene en pie, demostrando que la estructura es capaz de soportar la carga externa sin romperse, ver figura 9d.

Esto es una forma didáctica de demostrar el concepto de suelo reforzado, mostrando que la introducción de un elemento sintético en una masa da una mayor resistencia al conjunto suelo – refuerzo (**Maccaferri, Manual técnico de suelo reforzado,2011**).

Figura 9: SEQ Figura * ARABIC 9 Experimento empírico para ilustrar el concepto de suelo reforzado



Fuente: Manual de suelos reforzados-Maccaferri

2.2.2. EL SISTEMA TERRAMESH®

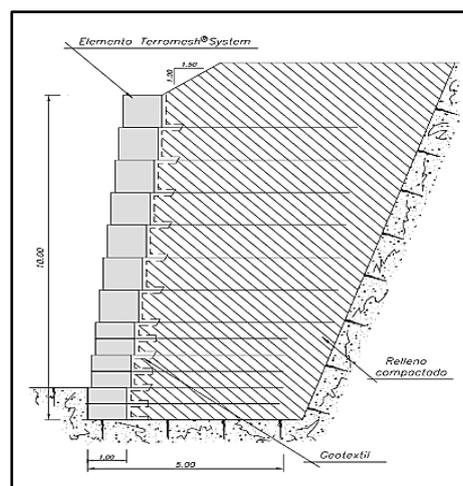
Es un sistema que permite la estabilización y contención de taludes mediante el empleo de refuerzos.

Esta técnica fue creada y patentada por la empresa MACCFERRI, basándose en el principio de suelo reforzado y en la tecnología desarrollada a inicios de los años 60 por el profesor Henry Vidal conocida mundialmente como “terre armée” (tierra armada). Sin embargo a la fecha en el Perú existen diversas empresas que ofertan y diseñan sistemas similares.

La empresa Maccaferri presenta dos alternativas de estabilización de taludes empleando el sistema Terramesh: 1) el TERRAMESH® SYSTEM y 2) el TERRAMESH® GREEN. (Maccaferri, Manual técnico de suelo reforzado,2011).

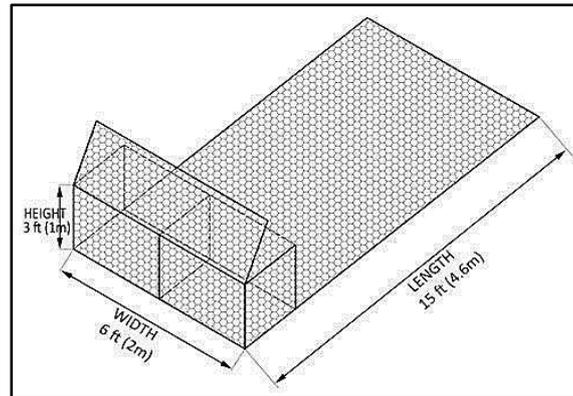
- a. **El Terramesh® System (ver figura 10)**, es empleado por lo general para contenciones de gran altura, principalmente cuando se requiere la formación o recomposición del macizo a ser contenido. Esta solución está formada por una estructura de suelo reforzada, constituidas por elementos metálicos en malla hexagonal a doble torsión, que al mismo tiempo forman el paramento externo (cara frontal del muro), cuyo aspecto es similar al de un gavión caja (ver figura 11), este último es relleno con piedras de la zona (Maccaferri, Manual de refuerzo de suelo, 2011).

Figura 10: SEQ Figura * ARABIC 11 Terramesh® System



Fuente: Base de datos-Maccaferri

Figura 11: SEQ Figura * ARABIC 10 Gavión caja compuesto de malla hexagonal.



Fuente: Base de datos-Maccaferri

Dentro de las ventajas de este sistema son que mantienen, la funcionalidad y características técnicas de las estructuras de gravedad en gaviones. Asimismo, permite el empleo del propio suelo local para la formación del macizo estructural, requiriendo en los casos más desfavorables sólo el mejoramiento del suelo a uno de mejor calidad.

El Terramesh® System se puede usar en obras como:

- Defensas de márgenes y obras transversales.
 - Sistemas para infraestructura vial.
 - Defensas ribereñas y obras transversales.
 - Refuerzo y estabilización de suelos.
 - Obras de contención
 - Soluciones para minería.
- b. **El Terramesh® Green.** Es un sistema de contención (ver figura 12) que se emplea cuando se quiere reforestar o dar un aspecto natural a terraplenes o similares, incluso cuando hay escasez de piedras en el sitio, o en su defecto cuando se busca minimizar el impacto ecológico en la zona. Este sistema está compuesto por los siguientes elementos:

Figura 12: SEQ Figura * ARABIC 12 Terramesh® Green



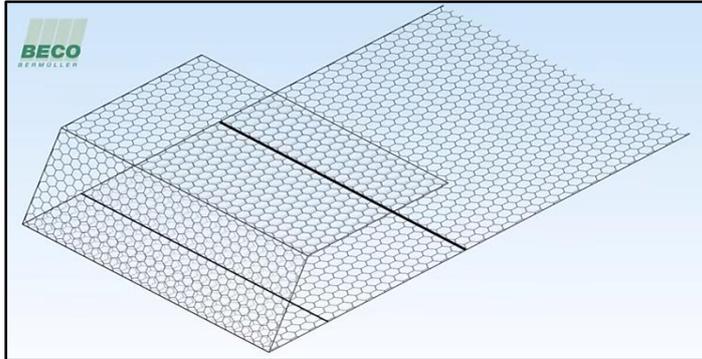
En las siguientes imágenes, se muestra los componentes del sistema terramesh:

- La malla hexagonal.
- Panel de refuerzo.
- Triángulo de soporte.
- Enganche metálico.
- Biomanta o geomanta.

COMPONENTES DEL SISTEMA TERRAMESH GREEN

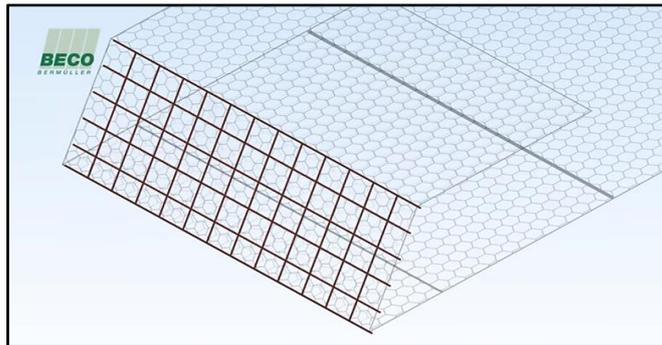
MALLA HEXAGONAL

Es el componente principal del Terramesh® Green, y conforma el armazón tipo caja. Las mallas hexagonales están compuestas de una aleación de Zn y Al llamada Galfan® y con una cubierta de PVC de 0.40mm.



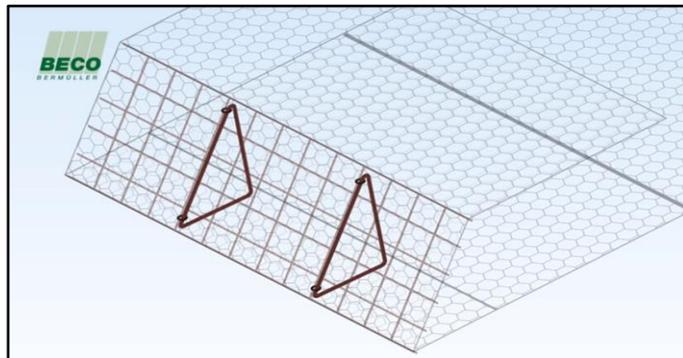
PANEL DE REFUERZO

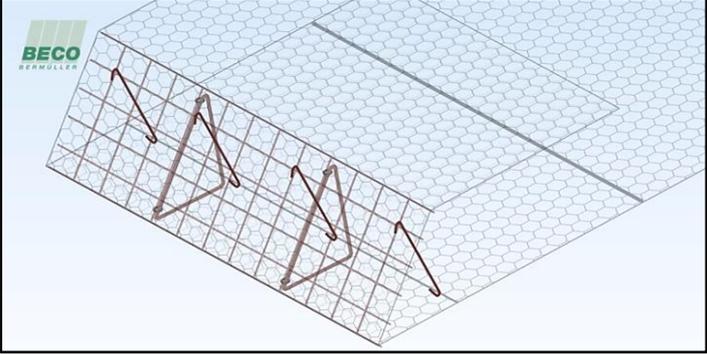
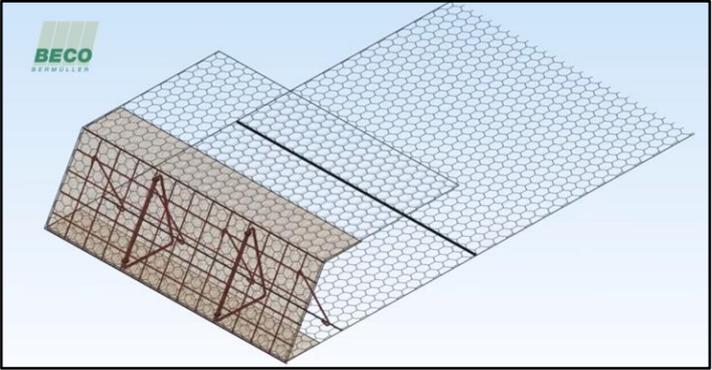
Son refuerzos verticales y horizontales electrosoldados a las mallas hexagonales y tienen la función de dar rigidez a la cara frontal del terramesh (Paramento) y sirve de base para colocar el biomanto.



TRIÁNGULO DE SOPORTE

Sirve para darle el grado de inclinación al talud, generalmente entre 70°-45° con respecto a la horizontal.



<p>ENGANCHE METÁLICO</p>	
<p>Une el paramento (cara exterior del talud) con la base del terramesh, manteniendo el grado de inclinación que se determinó con el triángulo de soporte.</p>	<p>BIOMANTA</p> <p>Es un sistema de revestimiento que protege el paramento o cara exterior del talud de la erosión, son fabricados con fibras naturales de paja agrícola y/o coco y estabilizada contra rayos UV. Tiempo de vida 2 años.</p> 

Para el proyecto de tesis presente se empleará el BioMac ® es una biomanta producida con fibra de coco que posee alta resistencia y degradación lenta, empleada en el revestimiento de taludes para protegerla de la erosión. Las fibras de coco al descomponerse se transforman en una camada de material fértil que favorece el crecimiento de las plantas, ver la figura 13.

Figura 13: SEQ Figura * ARABIC 13 Biomac®

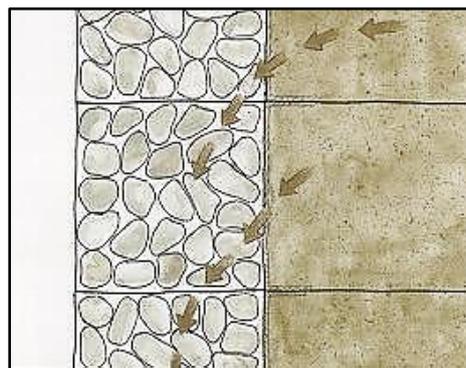


2.2.3. VENTAJAS DEL SISTEMA TERRAMESH®

El sistema Terramesh® presenta características que son únicas, con respecto a otros sistemas de contención, a continuación, se detallan sus principales ventajas:

- La flexibilidad que brinda a la estructura hace que sea capaz de soportar deformaciones mucho mayores que otros sistemas de contención, manteniendo la integridad estructural.
- La permeabilidad que ofrece este sistema posibilita el drenaje del terreno, evitando el empuje hidrostático que genera el agua (ver la figura14).

Figura 14: SEQ Figura * ARABIC 14 Los vacíos existentes en la estructura, permiten el libre paso del agua.



Fuente: Case History-Maccaferri

- La simplicidad constructiva, con la que se puede construir hace posible que no se emplee mano de obra calificada, el Sistema Terramesh puede

ejecutarse manualmente, con instalaciones y equipamientos mínimos inclusive en las regiones más inhóspitas (figura 15). Además, se puede construir de manera continua el paramento externo y las armaduras de refuerzo.

Figura 15: SEQ Figura * ARABIC 15 Su fácil construcción acelera el tiempo de ejecución del proyecto y la falta de emplear mano de obra calificada, permite reducir los costos.



Fuente: Case History-Maccaferri

- La versatilidad, que ofrece este sistema permite la construcción de paramentos inclinados, verticales y escalonados según la situación lo amerite.
- El Monolitismo y durabilidad, debido a que las cajas tipo gavión del Sistema Terramesh® encajan unas a otras como piezas de puzle, se crea una superestructura, capaz de resistir los esfuerzos de tracción y empuje generados por el terreno y las cargas adyacentes. Gracias a su revestimiento Galfan® y su cubierta de PVC, la geomalla es resistente a los efectos de ambientales, alargando su vida útil y reduciendo los gastos de mantenimiento.
- Amigable con el medio ambiente, pues el impacto constructivo es mínimo. El Terramesh® Green permite la forestación de los taludes, pues se puede insertar gajos de distintas especies naturales en su paramento, dando un aspecto natural al talud, acorde a su entorno ver la figura 17. (Maccaferri (2010). MIXED RSS FOR THE RRESHEN-KALISMSH HIGHWAY. Case History. Albania)

Figura 16: SEQ Figura * ARABIC 16 Muro de suelo reforzado con Sistema Terramesh Padua-Italia.



Fuente: Case History-Maccaferri

2.2.4. DESVENTAJAS DEL SISTEMA TERRAMESH®

- Requiere un espacio relativamente grande detrás de la pared o la cara exterior para obtener suficiente ancho de pared para la estabilidad interna y externa.
- Para muros con un grado de inclinación de la cara posterior mayor a 70° (MSEW) se requiere material granular selecto como relleno, el costo de importar material de relleno adecuado puede hacer que el sistema no sea económico).
- Se requiere criterios de diseño adecuados para abordar la corrosión de los elementos de refuerzo de acero, el deterioro de ciertos tipos elementos frontales expuestos como los geosintéticos a los rayos ultravioleta, y la degradación potencial del refuerzo de polímero del suelo,
- La calidad de los muros de suelo reforzado, serán el resultado de la calidad de los materiales de construcción y del ingeniero especialista en el diseño (FHWA-NHI-00-043, 2001).

2.2.5. PROPIEDADES MECÁNICAS

Las mallas hexagonales en doble torsión son fabricados con alambres (ASTM A641M) con revestimientos Galfan® (ASTM 856M-98, clase 80) y una protección adicional de material plástico (PVC) con un espesor menor de 0.40 mm.

Los alambres son la principal materia prima con la que se forman las mallas hexagonales, por lo que sus propiedades mecánicas deben ser lo suficientemente buenas, para resistir a los esfuerzos a los que serán sometidos y a los efectos de corrosión. En la Tabla 2, se muestran sus propiedades.

Tabla 2: SEQ Tabla * ARABIC 2 Propiedades del Alambre

PROPIEDADES DEL ALAMBRE DE AMARRE				FRECUENCIA MÍNIMA DE ENSAYOS	NORMA		
Tensión de rotura	Mpa	350 a 500	Clase A	1/3 ton prod.	ASTM A 641		
Alongación en la rotura	%	13	Clase A	1/3 ton prod.	ASTM A 641		
Cantidad de revestimiento metálico	g/m ²	240 a 290	Clase A	1/3 ton prod.	ASTM A 856 M		
Adherencia de revestimiento metálico	De acuerdo con la norma			1/3 ton prod.	ASTM A 641		
Diámetro del alambre de la malla	mm	2.2	2.4	2.7	3.0	1/3 ton prod.	ASTM A 641
Diámetro del alambre de borde	mm	2.7	3.0	3.4	3.9	1/3 ton prod.	ASTM A 975
Tolerancia en el diámetro	%	2.5			1/3 ton prod.	ASTM A 641	

Fuente: Oficina Técnica-Maccaferri

Así mismo, se muestran las propiedades de la geomalla, necesario en el diseño del talud. En la Tabla 3, se muestran las propiedades mecánicas de la geomalla hexagonal en doble torsión.

Tabla 3: SEQ Tabla * ARABIC 3 Propiedades Mecánicas de la geomalla

PROPIEDADES MECANICAS DE LA MALLA			NORMA
Tipo de Malla		8 X 10	ASTM A 975
Diámetro del Alambre	mm	2.7	ASTM A 975
Resistencia a la tracción de la malla*	kN/m	43	ASTM A 975
Resistencia de la conexión en la borda	kN/m	34	ASTM A 975

Fuente: Oficina Técnica-Maccaferri

En la Tabla 4, se muestran las propiedades del revestimiento plástico, todos los ensayos fueron realizado acorde a normas internacionales y brasileñas, este último porque Brasil es la sucursal más importante en América Latina.

Tabla 4: SEQ Tabla * ARABIC 4 Propiedades del revestimiento plástico

PROPIEDADES DEL REVESTIMIENTO PLÁSTICO			NORMA
Polímero		PVC	ASTM A 975
Espesor mínima	mm	0.4	ASTM A 975
Densidad	kg/dm ³	1.30 a 1.35	ASTM A 975
Dureza	shore D	50 a 60	ASTM A 975
Resistencia a la tracción	kg/cm ³	210	ASTM D 792
Elongación mínima	%	250	ASTM D 412
Temperatura de fragilidad	°C	-9	ASTM D 412

Fuente: Oficina Técnica-Maccaferrri

2.2.6. EMPRESA MACCAFERRI S.A.C.

La empresa Maccaferrri es una multinacional establecida en más de 70 países del mundo en los cinco continentes, líder en la fabricación y distribución de gaviones y productos de mallas de alambre asociados en la industria mundial de la construcción.

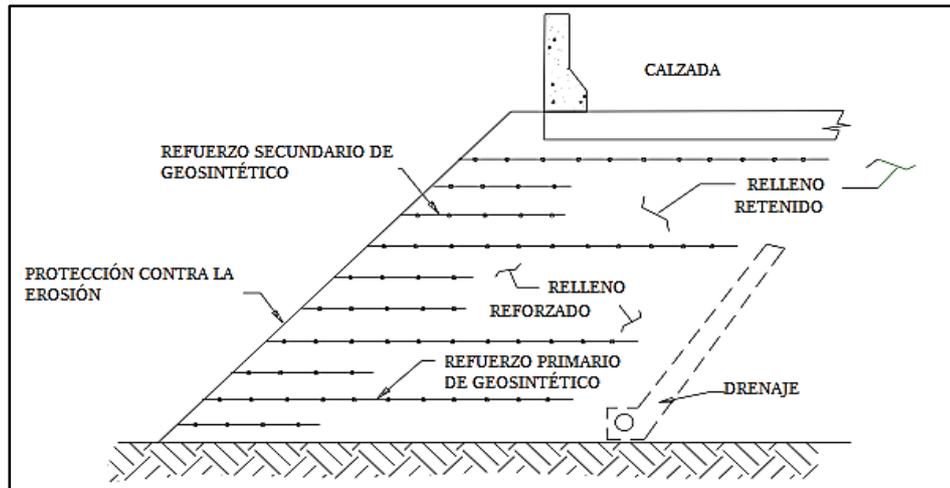
También fabrican una amplia gama de geosintéticos, incluyendo geo grillas y geocompuestos en numerosas fábricas alrededor del mundo.

El servicio que ofrecen no solo abarca, lo antes expuesto sino también el diseño y apoyo técnico durante todo el proceso de su construcción.

2.2.7. ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN MURO DE SUELO REFORZADO

El muro de suelo reforzado o Reinforced Soil Slopes (RSS), es un tipo de suelo reforzado en la que se incorporan elementos de refuerzo en estructuras construidas con inclinación de cara (Paramento) menor a los 70° (ver figura 17).

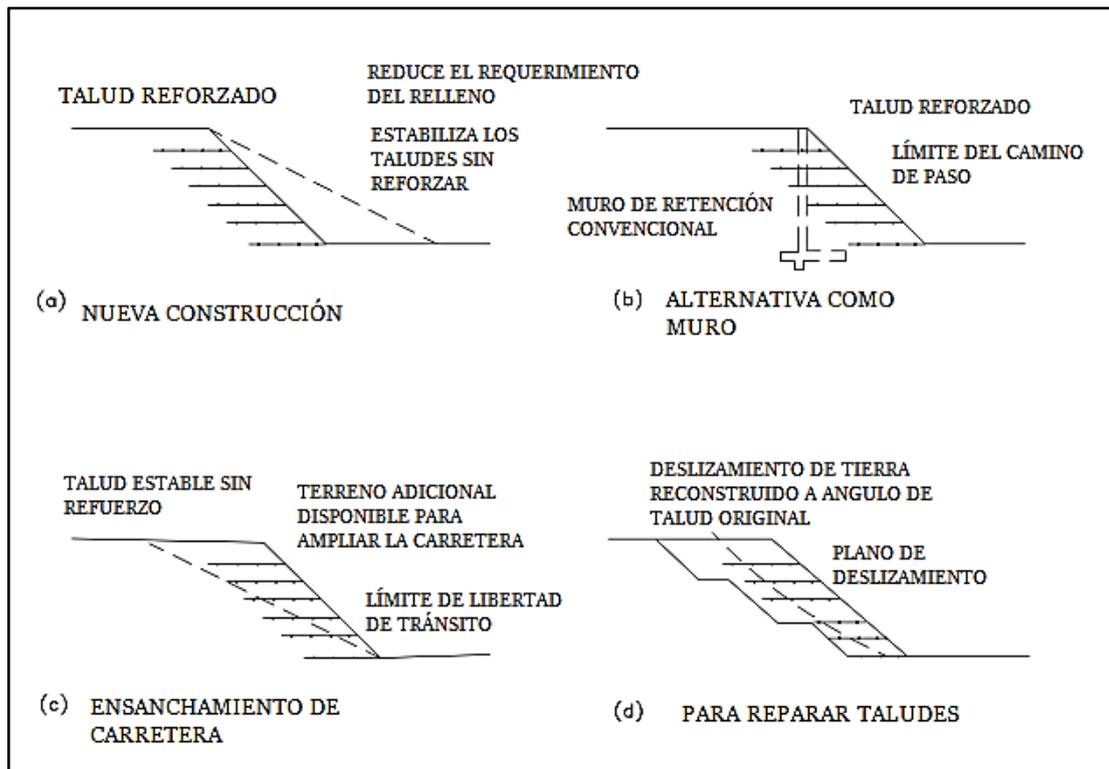
Figura 17: SEQ Figura * ARABIC 17 Talud con suelo reforzado, para un proyecto vial



Fuente: FHWA-NHI-00-043

El muro de RSS, emplea refuerzos que permiten la construcción de terraplenes con mayor ángulo de inclinación, la integración de estos refuerzos incrementa la estabilidad de la estructura permitiendo la construcción de pendientes empinadas sobre cimientos firmes para nuevas autopistas y también como muros de contención. En la figura 18, se observa los principales usos para el muro tipo RSS, en (a) se emplea para reparar una falla de pendiente, la nueva pendiente será más segura y reutilizará los residuos de la anterior, en (b) se emplea como alternativa de muro de retención, en (c) se emplea para ampliar el ancho de vía de una existente y (d) se emplea para reparar los taludes dañados (Kim Y. Russell A. Cho B. Wilde J. and Hee You B, **Geosynthetics Reinforced Steep Slopes: Current Technology in the United States, 2019**).

Figura 18: SEQ Figura * ARABIC 18 Aplicaciones de los muros de suelo reforzado



Fuente: FHWA-NHI-00-043

Se ha visto, cuán efectivos pueden ser este tipo de sistemas en la estabilización de terraplenes u otros proyectos similares. Hay aspectos necesarios que se tienen que tomar en consideración como parámetros para su diseño y construcción, tales como la evaluación de la zona de construcción, hacer una evaluación del campo y obtener la mayor cantidad de datos que nos ayuden a diseñar la estructura. En otros casos tiene que ver hasta el aspecto estético y los efectos medio ambientales.

Para el diseño del muro de suelo reforzado es necesario ejecutar investigaciones preliminares del subsuelo y recolectar cualquier dato existente relativo a las condiciones del subsuelo e ir a una visita de campo para obtener datos sobre:

- Límites e intervalos para secciones transversales topográficas.
- Condiciones de acceso para equipos y fuerza de trabajo.
- Patrones de drenaje superficial, filtración y características de la vegetación.
- Las características geológicas superficiales, incluyendo afloramiento de rocas y formas de tierra, y los cortes existentes.

- Excavaciones que nos puedan dar información del subsuelo.

Es necesario además hacer ensayos de laboratorio de las muestras recolectadas, para determinar características del suelo. Las pruebas índices incluyen:

- Determinación del contenido de humedad.
- Límites de Atterberg.
- Resistencia a la compresión y gradación.
- Peso específico seco.

Todas estas pruebas deben de realizarse, en concordancia a la norma ASTM D 2488-75.

Es de vital importancia la evaluación de cualquier material para su posible uso como relleno, la distribución y plasticidad del tamaño del grano son características que se debe tomar en consideración a la hora de su empleo en la construcción del terraplén. El tamaño de partícula efectivo (D10), se puede emplear para estimar la permeabilidad de los materiales no cohesivos. Además, es necesario realizar pruebas adicionales como el ensayo de corte directo o triaxial, también se puede realizar ensayos de compactación en materiales de relleno potenciales, según la norma AASHTO T 99 o 180 **(FHWA-NHI-00-043, 2001)**.

La compactación debe lograrse aproximadamente al 95% de la densidad seca máxima estándar dentro $\pm 2\%$ del óptimo contenido de humedad. Luego repita el procedimiento con la capa siguiente de geotextil y relleno, así sucesivamente **(Das, 2011)**.

Adicional a esto, realizar pruebas para indicar la agresividad potencial del material de relleno y los suelos in situ cercanos a la zona. Las pruebas deben de medir:

- PH del suelo.
- Resistividad Eléctrica.
- Contenido de sales incluido de sulfatos, sulfuros y cloruros.

En la Tabla 5 se muestran los parámetros mínimos que debe de cumplir el material de relleno:

Tabla 5:SEQ Tabla * ARABIC 5 Requisitos mínimos de las propiedades electroquímicas del material de relleno, para suelos reforzados.

PROPIEDADES	CRITERIO	NORMA
Resistividad	> 3000 ohm-cm	AASHTO T - 288-91
p.H.	> 5 < 10	AASHTO T - 289-91
Cloruros	< 100 PPM	AASHTO T - 291-91
Sulfatos	< 200 PPM	AASHTO T - 290-91
Contenido Orgánico	1% máx.	AASHTO T - 267-86

Fuente: FHWA-NHI-00-043

Los estudios geotécnicos nos permitirán observar un panorama general del proyecto y además nos ayudará a buscar la mejor alternativa para diseñar nuestro muro.

2.2.7.1. Concepto Técnico de un Muro de Suelo Reforzado

Un muro de suelo reforzado consiste en la disposición de refuerzos dispuestos en planos casi horizontales en el material de relleno para resistir la fuerza de tracción producto del empuje del terreno retenido. Existen diversos tipos de paramentos que protegen la estructura de los efectos de erosión. Este sistema es de naturaleza genérica por lo que puede emplear refuerzos y paramentos de cualquier naturaleza.

2.2.7.1.1. Materiales de Construcción

EL Refuerzo

Los materiales de refuerzo pueden clasificarse de diversas formas, por ejemplo, por el material con el cual se fabricaron, por la geometría que presentan, por el grado de deformación que presentan, etc.

a. Geometría del refuerzo

Lineal unidireccionales. Soleras metálicas lisas o corrugadas y bandas de geosintéticos.

Compuesto unidireccional. Geomalla o mallas metálicas.

Plana bidireccional. Refuerzo geosintéticos de lámina continua, mallas electro-soldadas y malla de alambre tejido.

b. Material del refuerzo

Se pueden hacer diferencia entre las características de refuerzos metálicos y no metálicos:

- **Refuerzos Metálicos.** Armaduras de acero galvanizado o sin galvanizar tipo barras.
- **Refuerzos Sintéticos.** Armaduras compuestas por geotextiles de polipropileno, polietileno o poliéster y armaduras de geomallas de polipropileno de alta densidad.

c. Extensibilidad del refuerzo

Existen dos tipos:

- **Inextensibles.** La deformación en ruptura del elemento de refuerzo es menor que la deformación de falla del suelo.
- **Extensible.** La deformación en ruptura del elemento de refuerzo es comparable e incluso mayor que la deformación de falla del suelo.

d. Mecanismos de transferencia

Los esfuerzos son transferidos entre el suelo y el refuerzo por fricción y/o resistencia pasiva dependiendo de la geometría del refuerzo.

- **La fricción**

Se desarrolla en aquellos lugares en donde no existe desplazamiento relativo entre el material de relleno y la

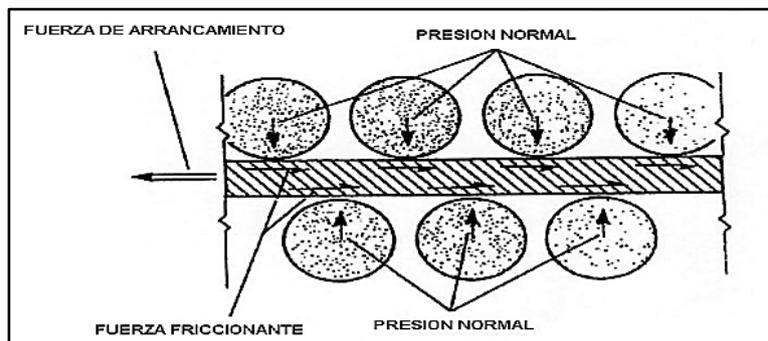
superficie de refuerzo. Es por este motivo que los elementos de refuerzo deben de estar correctamente alineados en la dirección del movimiento relativo entre el material de relleno y el refuerzo. Los elementos que garantizan, que el mecanismo de transferencia de tensión se lleve a cabo por medio de fricción, son los flejes de acero, las geomallas y geotextiles, ver la figura 19 (Pinedo, 2012).

- **La resistencia pasiva o trabazón**

La resistencia pasiva ocurre cuando el refuerzo soporta fuerza de tensión en su superficie “transversal” normal a la dirección del movimiento relativo del material de suelo reforzado.

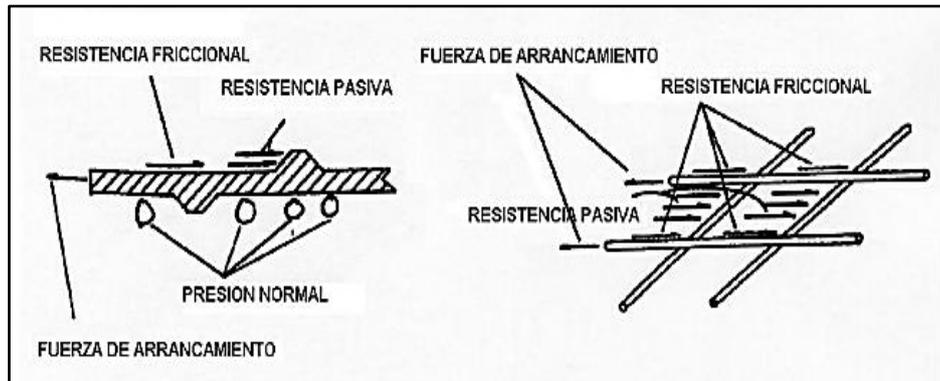
El grado de resistencia pasiva está en relación con el tipo de refuerzo, la rugosidad de su superficie y del material de relleno, ver figura 20. No obstante, también se debe de tener en consideración el espesor del refuerzo, su largo, el contenido de humedad, el ángulo de fricción y la cohesión (FHWA-NHI-00-043, 2001).

Figura 19: SEQ Figura * ARABIC 19 Transferencia de esfuerzo por fricción entre el suelo y el refuerzo del suelo.



Fuente: FHWA-NHI - 00 – 043 “Soil reinforcement principles and system design properties”

Figura 20: SEQ Figura * ARABIC 20 Transmisión de esfuerzos por resistencia pasiva o trabazón



Fuente: FHWA-NHI - 00 – 043 Soil reinforcement principles and system design properties

e. Modos de acción del refuerzo

La función principal del refuerzo es de restringir la deformación del macizo rocoso que se vaya a emplear; los esfuerzos originados por el material de relleno son transferidos a los refuerzos de dos maneras, que a continuación se describen:

- **Tensión**

Es la forma más usual para transferir los esfuerzos. Todos y cada uno de los refuerzos" longitudinales" están alineados en dirección de la mayor deformación, por lo que están sometidos a altos esfuerzos de tracción.

- **Corte y Rigidez Torsional**

Todos los refuerzos transversales que posean cierta rigidez en su estructura soportarán cierto grado de fuerza cortante y momentos flectores.

- **El Relleno**

Para estructuras RSS, se puede emplear un relleno menos selectivo, ya que los revestimientos son más flexibles y toleran más distorsión durante la construcción. Aun así, un relleno de alta calidad, cumple con los siguientes requisitos de gradación para facilitar la compactación y minimizar los requisitos de refuerzo.

En la tabla 6 se muestra la gradación para RSS:

Tabla 6: SEQ Tabla * ARABIC 6 Granulometría recomendada para R.S.S.

TAMAÑO DEL TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA
20.00 mm	100
4.76 mm (No. 4)	100-20
0.425 mm (No. 40)	0-60
0.075 mm (No. 200)	0-50

Fuente: AASHTO Highway Bridges Division II

2.2.7.1.2. Capacidad de Extracción o Pullout Capacity

Mide la fuerza necesaria para extraer la barra del muro de suelo reforzado, el refuerzo debe de tener la suficiente resistencia para soportar a la extracción esta fuerza de extracción es originada por las cargas, sobrecargas, y el peso de la estructura generalmente, de acuerdo a unos estudios realizados en campo y en estructuras a escalas se ha determinado una formula empírica **(FHWA-NHI-00-043,2001)**.

A continuación, se da una definición normalizada de la resistencia a la extracción o Pullout.

La resistencia de extracción, P_r , en cada uno de los niveles en los cuales se coloca elementos de refuerzo, está dada por la siguiente expresión.

$$P_r = F^* \cdot \alpha \cdot \sigma'_v \cdot L_e \cdot C \quad (Ec. 1)$$

Donde:

C = Ancho tributario del refuerzo, $C=2$ para geomallas.

F^* = Factor de resistencia al arrancamiento

α = Factor de corrección por efecto de escala que permite compensar la reducción no lineal de esfuerzos a lo largo de los refuerzos que tienden a ser altamente extensibles. Por lo general este factor es 1 para el caso de los refuerzos metálicos, en cambio para los refuerzos geosintéticos este factor está entre 0.6 y 1.

L_e = Longitud de empotramiento en la zona resistente, detrás de la superficie de falla crítica.

σ'_v = Tensión vertical efectiva, la cual se calcula en las distintas interfaces entre el elemento de suelo y refuerzo.

La longitud mínima de adherencia en la zona resistente es de 1 m.

El factor de corrección α depende de la compactación del material de relleno, del tipo de refuerzo (extensible o inextensible) y la longitud de refuerzo. Como se ha mencionado, para refuerzos de acero, es decir, elementos inextensibles el factor de corrección $\alpha = 1$, y mientras tanto, para refuerzos extensibles es menor a 1. A continuación se muestra en Tabla 7, los diferentes valores de corrección para cada tipo de refuerzo.

Tabla 7: SEQ Tabla * ARABIC 7 Factor de Corrección de acuerdo al tipo de refuerzo.

TIPO DE REFUERZO	FACTOR DE CORRECCIÓN
Todos los refuerzos de acero	1
Geomallas	0.8
Geotextiles	0.6

Fuente: FHWA, Publication N.º FHWA –NHI – 00-043 (2001)

El factor de resistencia al arrancamiento F^* se puede estimar empíricamente de ensayos de laboratorio y estudios de campo

a muestras de suelo reforzado. Para cualquier refuerzo F^* puede ser estimado usando la ecuación general:

$$F^* = \text{Resistencia de Fricción} + \text{Resistencia Pasiva}$$

$$F^* = F_q \cdot \alpha_\beta + \tan \rho \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

F_q = Factor de empotramiento

α_β = Factor que depende de la resistencia pasiva, la cual se basa en el espesor por unidad de ancho del elemento de refuerzo.

ρ = Ángulo de interacción suelo-refuerzo de la fricción.

En la Tabla 8, se muestra un resumen de los parámetros de diseño de la capacidad de extracción, acorde al tipo de refuerzo que se emplee en la construcción del muro de suelo reforzado. Estos parámetros fueron extraídos de la Federal Highway Administration en su publicación N°FHWA-NHI-00043 – 2001.

Tabla 8: SEQ Tabla * ARABIC 8 Resumen de los parámetros de diseño de la capacidad de extracción.

Fuente: FHWA, Publication N.º FHWA –NHI – 00-043 (2001)

Tipo de refuerzo	S_{opt}	Espaciado de las Grillas	$Tan \rho$	F_q	α_p	α Valor por defecto
Tiras Inextensibles		No se aplica	Obtener $Tan \rho$ a partir de pruebas o usar valores por defecto.	No se aplica	No se aplica	1.0
Geogrillas Inextensibles	$\frac{t(F_q)}{(2Tan\phi)}$	$S_t \leq S_{opt}$	Obtener $Tan \rho$ a partir de pruebas	No se aplica	No se aplica	1.0
	$\frac{t(F_q)}{(2Tan\phi)}$	$S_t > S_{opt}$	No se aplica	Obtener F_q a partir de pruebas o usar valores por defecto.	$t/(2S_t)$	1.0
Grillas Extensibles						
Min. (Abertura geogrilla) /d50 mayor a 1	$\frac{t(F_q)}{(2Tan\phi)}$	$S_t \leq S_{opt}$	Obtener $Tan \rho$ a partir de pruebas	No se aplica	No se aplica	0.8
	$\frac{t(F_q)}{(2Tan\phi)}$	$S_t > S_{opt}$	No se aplica	Obtener F_q a partir de pruebas o usar valores por defecto.	$\frac{(f_t, t)}{(2S_t)}$	0.8
(Min. Aber. geo /d50 menor a 1		No se aplica	Obtener $Tan \rho$ a partir de pruebas	No se aplica	No se aplica	0.8
Lámina extensible		No se aplica	Obtener $Tan \rho$ a partir de pruebas	No se aplica	No se aplica	0.6

Las empresas proveedoras de elementos de refuerzo para sistemas de muros de suelo reforzado han desarrollado variados parámetros a partir de una serie de pruebas de laboratorio y en campo, lo cual, les permite recomendar un determinado tipo de refuerzo que garantiza una resistencia a la extracción.

Además, se detallan una serie de relaciones semi-empíricas obtenidas a través de ensayos de campo y laboratorio que nos garantizan un 95% de confiabilidad.

Para los refuerzos de acero, es decir inextensibles, el factor de arrancamiento se puede determinar de la siguiente manera:

$$F^* = \tan \tan \rho = 1.2 + \log C_u \text{ para la parte superior de la estructura} = 2 \text{ máx. (Ec. 3)}$$

$$F^* = \tan \tan \phi, \text{ a una profundidad de 6 metros.}$$

$$(Ec. 4)$$

C_u , representa el coeficiente de uniformidad del material de relleno, por lo habitual tiene un valor de 10.

Para refuerzos de acero con un espaciamiento transversal se $S_t > 150 \text{ mm}$ (ver figura 21), el factor de arrancamiento F^* es una función del factor de empotramiento F_q , aplicado como sigue:

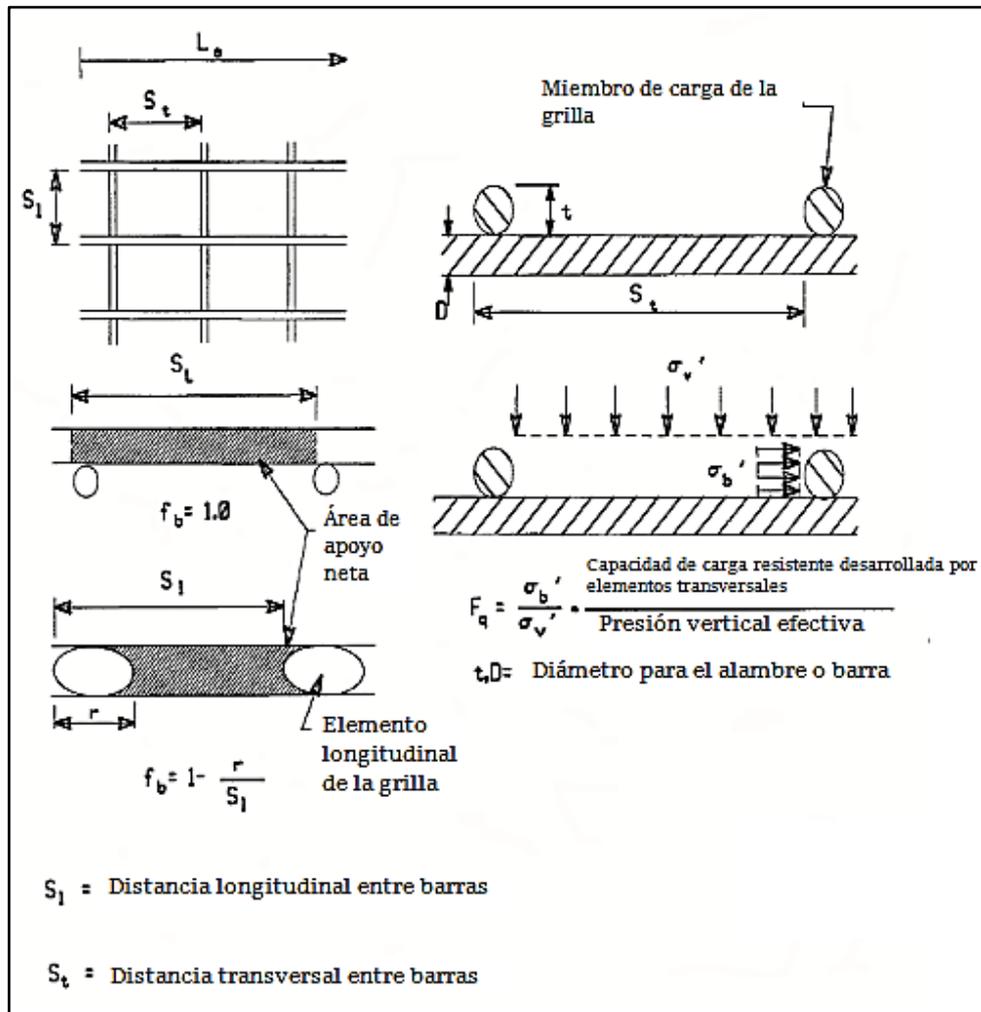
$F^* = F_q \alpha_\beta = 40 \alpha_\beta = 40 \left(\frac{t}{2S_t} \right) = 20 \left(\frac{t}{S_t} \right)$ en la parte superior de la estructura.

$F^* = \tan \tan \phi$ a partir de 6m hacia abajo.

Donde:

t = Espesor de la barra transversal y S_t = Será uniforme durante toda la longitud del refuerzo, longitud máxima $S_t = 610 \text{ mm}$.

Figura 21: SEQ Figura * ARABIC 21 Definición de las dimensiones de geomallas para el cálculo de la capacidad de extracción.



Fuente: Fuente: FHWA, Publication No. FHWA –NHI – 00-043 (2001)

Para refuerzos como geomallas y geotextiles, el factor de resistencia al arrancamiento F^* se determina en base a la reducción de la fricción disponible del suelo, por medio de un factor de reducción que a menudo es referido al coeficiente de interacción del suelo, C_i . Cuando no se disponga datos, el factor F^* se puede adoptar un valor algo conservador como:

$$F^* = \frac{2}{3} \tan \phi \quad (\text{Ec. 5})$$

2.2.7.2. Metodología para el diseño de un muro de suelo reforzado inclinado.

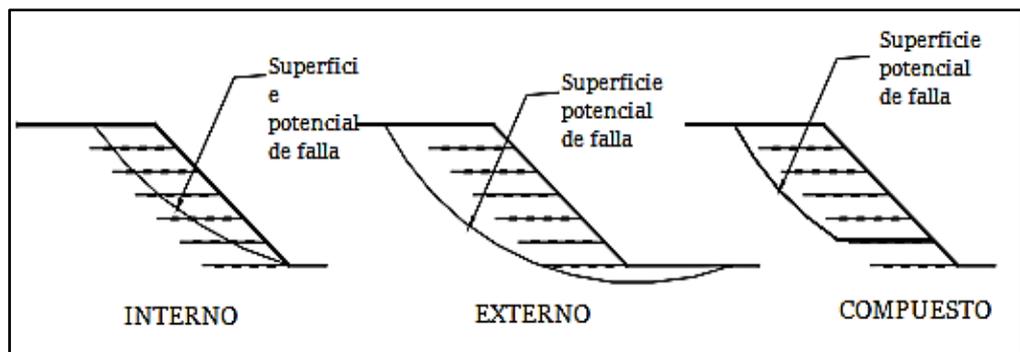
Existen diferentes metodologías para diseñar los muros de suelo reforzados inclinados, el que se empleó en esta tesis es la metodología que propone la FHWA (The Federal Highway Administration, 2009) el cual se basa en la teoría del equilibrio límite para analizar la estabilidad del talud.

Los requisitos generales para el diseño de este tipo de muro son muy similares a los que no llevan refuerzo. El factor de seguridad debe ser adecuado para las condiciones tanto a corto como a largo plazo y para todos los posibles modos de falla de la estructura.

Como está ilustrado en la figura 22, hay tres modos de falla para este tipo de muros.

- Interno, donde el plano de falla pasa por los elementos de refuerzo.
- Externo, donde la superficie de falla pasa por detrás y por debajo de la zona de suelo reforzada.
- El compuesto, donde la superficie de falla pasa por detrás y a través de la zona de suelo reforzada (**STRATA Global GeoSolutions, 2012**).

Figura 22: SEQ Figura * ARABIC 22 Modos de falla para un talud reforzado



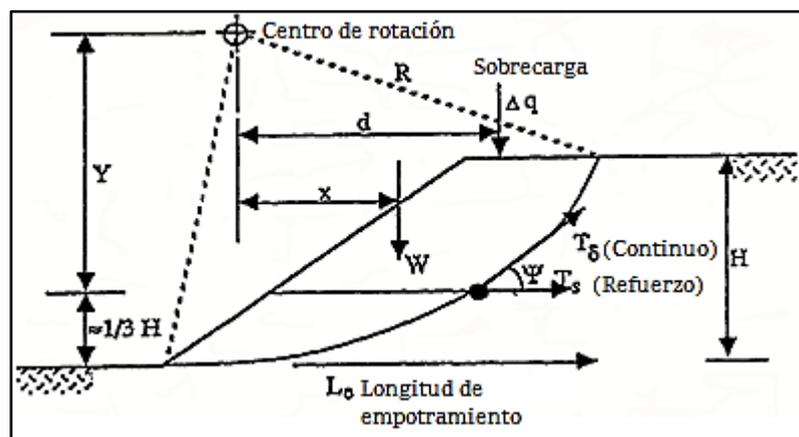
Fuente: STRATA Global GeoSolutions: Reinforced Soil Slopes and Embankments

Para el análisis de este tipo de muros (inclinación de la cara hasta 70°), el diseño se basa en las versiones modificadas de los métodos clásicos del método del equilibrio límite, ver figura 23.

- Se asume una superficie de falla circular o tipo cuña.
- La relación entre el momento resistente y momento que impulsa la desestabilización del talud, determinan el factor de seguridad.

Cuando una superficie de falla intersecta a una capa de refuerzo, se añade un momento de resistencia adicional al momento general de equilibrio. En un enfoque conservador, la deformación de los refuerzos no se toma en cuenta, por lo tanto, se asume que la fuerza de tensión actúa horizontalmente como se ve en la figura 23.

Figura 23: SEQ Figura * ARABIC 23 Método del equilibrio límite, para el análisis de un talud reforzado.

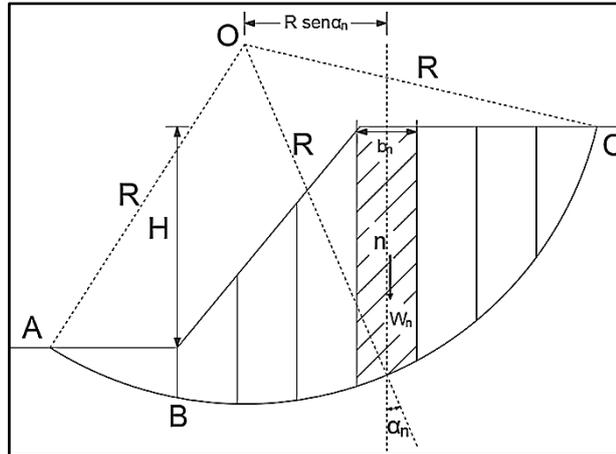


Fuente: FHWA-NHI-00-043

Se debe de tomar en cuenta una amplia variedad de superficies de falla potenciales, incluyendo superficies profundamente asentadas a través o detrás de la zona reforzada. El factor de seguridad crítico para la estabilidad del talud se toma de la superficie de falla sin reforzar que requiere el máximo refuerzo. Esta es la superficie de falla que tiene el mayor momento de desequilibrio que se opone al momento resistente, es decir, es la superficie con el menor factor de seguridad (FHWA-NHI-00-043, 2001).

En la figura 24 se muestra el análisis de estabilidad para un talud sin reforzar empleando el método de Bishop, Simplificado.

Figura 24: SEQ Figura * ARABIC 24 Análisis de estabilidad para un talud sin reforzo.



Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica-M. Braja Das

El factor de seguridad para la zona sin reforzar (FS_u) se calcula como sigue:

$$FS_u = \frac{M_R}{M_D} = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (cb + W_n \tan \phi) \frac{1}{m_{\alpha(n)}}}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \text{sen } \alpha_n} \quad (Ec. 6)$$

$$m_{\alpha(n)} = \cos \alpha_n + \frac{\tan \phi \text{sen } \alpha_n}{FS_u}$$

Donde:

M_R = Momento Resistente proporcionado por las fuerzas del suelo.

M_D = Momento de fuerza actuante respecto al centro de círculo de falla para causar la inestabilidad del talud.

c = Cohesión

b = Ancho de la dovela enésima.

ϕ = Ángulo de fricción del relleno.

W_n = Peso de la enésima dovela.

- α = Ángulo de inclinación de la dovela con respecto a la horizontal.
- FS_u = Factor de seguridad del talud sin reforzar.

Como se observa en la ecuación 6 , el factor de seguridad del talud sin reforzar (FS_u), se encuentra ubicado en ambos lados de la ecuación por lo que para resolverlo es necesario emplear un método iterativo de prueba y error para encontrar el valor de FS_u . Se deben de investigar varias superficies de falla para encontrar la superficie crítica que proporcione el mínimo factor de seguridad (**Duncan y otros, 2014**).

La contribución del refuerzo puede ser añadido directamente al momento resistente y al factor de seguridad (FS_r) para la sección reforzada es calculada como sigue:

$$FS_r = \frac{M_R + M_G}{M_D} = \frac{M_R + \sum_{n=1}^{n=p} (T_n \times Y_n)}{M_D} \quad (Ec. 7)$$

Donde:

M_G = Momento resistente que otorga el refuerzo a la estructura.

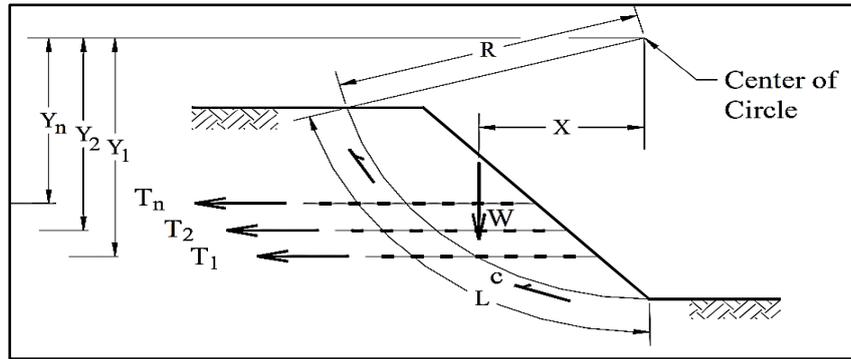
T_n = Resistencia a la tracción del n ésimo refuerzo.

Y_n = Brazo de palanca del n ésimo refuerzo con respecto al centro del círculo de falla, ver figura 25.

Tener en cuenta que la orientación de la fuerza de tracción del refuerzo influye en el cálculo del momento resistente debido al refuerzo y, por lo tanto, al factor de seguridad. Como se mencionó anteriormente, un enfoque conservador es considerar que la fuerza de tensión del refuerzo (T_{hor}) actúa horizontalmente. El máximo valor del momento resistente que puede tener debido al refuerzo se calcula como sigue:

$$M_G = \sum_{n=1}^{n=p} T_n \times Y_n$$

Figura 25: SEQ Figura * ARABIC 25 Modelo de muro reforzado con múltiples capas de refuerzo.

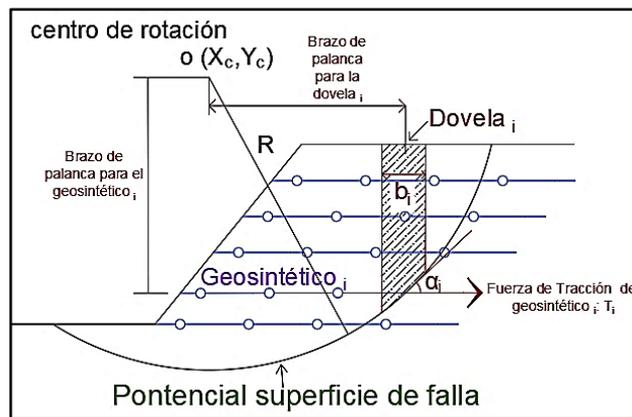


Fuente: Fuente: STRATA Global GeoSolutions: Reinforced Soil Slopes

Método de Bishop, Simplificado modificado para el análisis de muros de suelo con refuerzo

El método simplificado de Bishop es un método de equilibrio límite que puede incorporar en su análisis, la influencia del refuerzo para el cálculo de la estabilidad del talud como se muestra en la figura 26 (Das, 2001).

Figura 26: SEQ Figura * ARABIC 26 Análisis de círculo de falla usando el método de Bishop Simplificado en taludes reforzados



Fuente: Federal Highway Administration – NHI – 00 – 043

El factor de seguridad se determina como sigue:

$$FS_R = \frac{M_R}{M_D} = \frac{\sum_{i=1}^{i=p} (cb_i + (W_i - u_i b_i) \tan \phi) \frac{1}{m_{\alpha(i)}} + \sum_{i=1}^{i=p} T_i (Y_c - Y_i)}{\sum_{i=1}^{i=p} W_i \text{sen } \alpha_i}$$

Donde:

FS_R = Factor de Seguridad Requerido.

c = Cohesión efectiva del suelo en la base de la dovela.

b_i = Ancho de la dovela i -ésima, W_i = Peso de la dovela i -ésima

ϕ = Ángulo de fricción en la base de la dovela i -ésima.

α_i = Angulo de inclinación de la dovela respecto a la horizontal.

T_i = Resistencia a la tracción de la geosintético.

Y_c = La coordenada Y del centro del círculo de falla.

Y_i = La coordenada Y de la geosintético i .

i = Número total de dovelas consideradas.

u_i = Presión de poros en la i -ésima dovela.

$$u_i = h_i \gamma_w$$

Donde:

h_i = Altura del agua en la i -ésima dovela.

γ_w = Peso específico del agua, 9.81 kN/m³.

Consideraciones a tomar con respecto al análisis:

- En el análisis las fuerzas de corte son obviadas.
- El factor de Seguridad debería de estar entre 1.25 a 1.6.
- Para el análisis se asume que la presión de poros es nula (**Suarez, 2016**).

Finalmente, la longitud de empotramiento para cada capa de refuerzo más allá de la falla de superficie crítica debe ser lo suficientemente adecuado para resistir la extracción o Pullout (**Pinedo, 2012**). La

ecuación más usada frecuentemente para determinar la longitud de empotramiento (L_e) de los refuerzos es como sigue:

$$L_e = \frac{P_r \times FS}{2 \times C_i \times \sigma_n \times \tan \phi_i} \quad (Ec. 8)$$

Donde: P_r = Resistencia a la extracción o Pullout.

C_i = Coeficiente de interacción por extracción o Pullout, para geomallas C_i es igual a 0.9.

σ_n = Tensión normal que actúa sobre la longitud de anclaje de la geogrilla.

ϕ_i = Ángulo de fricción del suelo reforzado.

FS = Factor de Seguridad por extracción o Pullout (1.5)

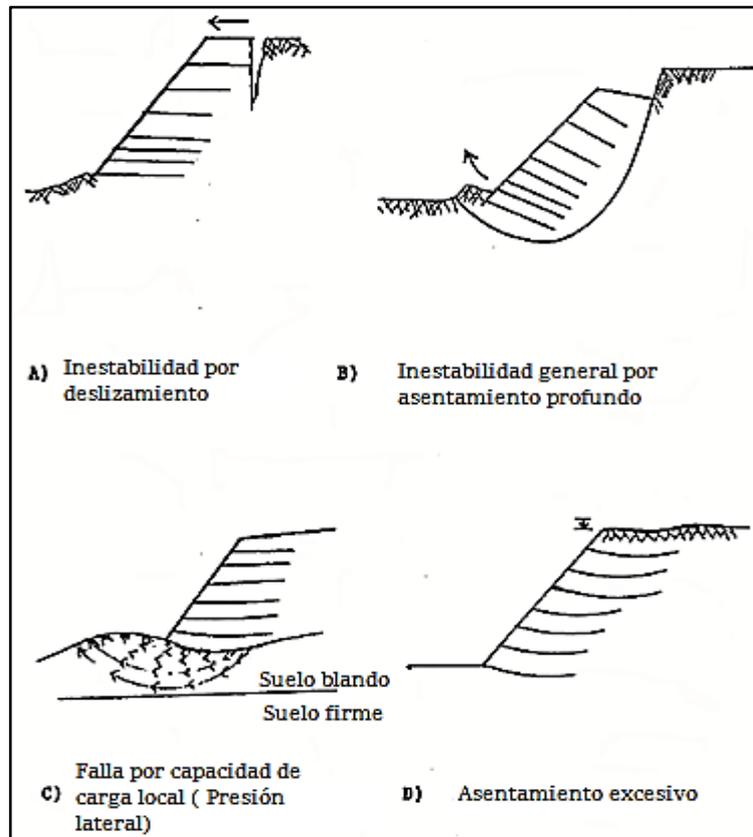
Dependiendo de las especificaciones de diseño, la longitud mínima de empotramiento L_e es de 1m más allá de la superficie de falla.

Actualmente, se cuentan con una infinidad de software que facilitan el cálculo de los factores de seguridad de las superficies de falla, la mayoría de ellos tiene programado métodos del equilibrio límite como, Bishop Simplificado, Spencer, Janbu, etc. La FHWA también ha desarrollado softwares como el ReSSA y el RSS.

2.2.7.2.1. Evaluación de la Estabilidad Externa

La estabilidad externa de un muro de suelo reforzado depende de la capacidad del muro de actuar como un bloque estable y de soportar todas las cargas externas sin fallar. En la figura 27 se muestra las fallas más comunes para este tipo de estructuras como (a) el deslizamiento, (b) inestabilidad general por asentamiento, (c) falla de capacidad de carga local en el pie del talud, y (d) asentamiento excesivo del talud.

Figura 27: Figura * ARABIC 27 Modos de falla externo para muro de suelo reforzado.

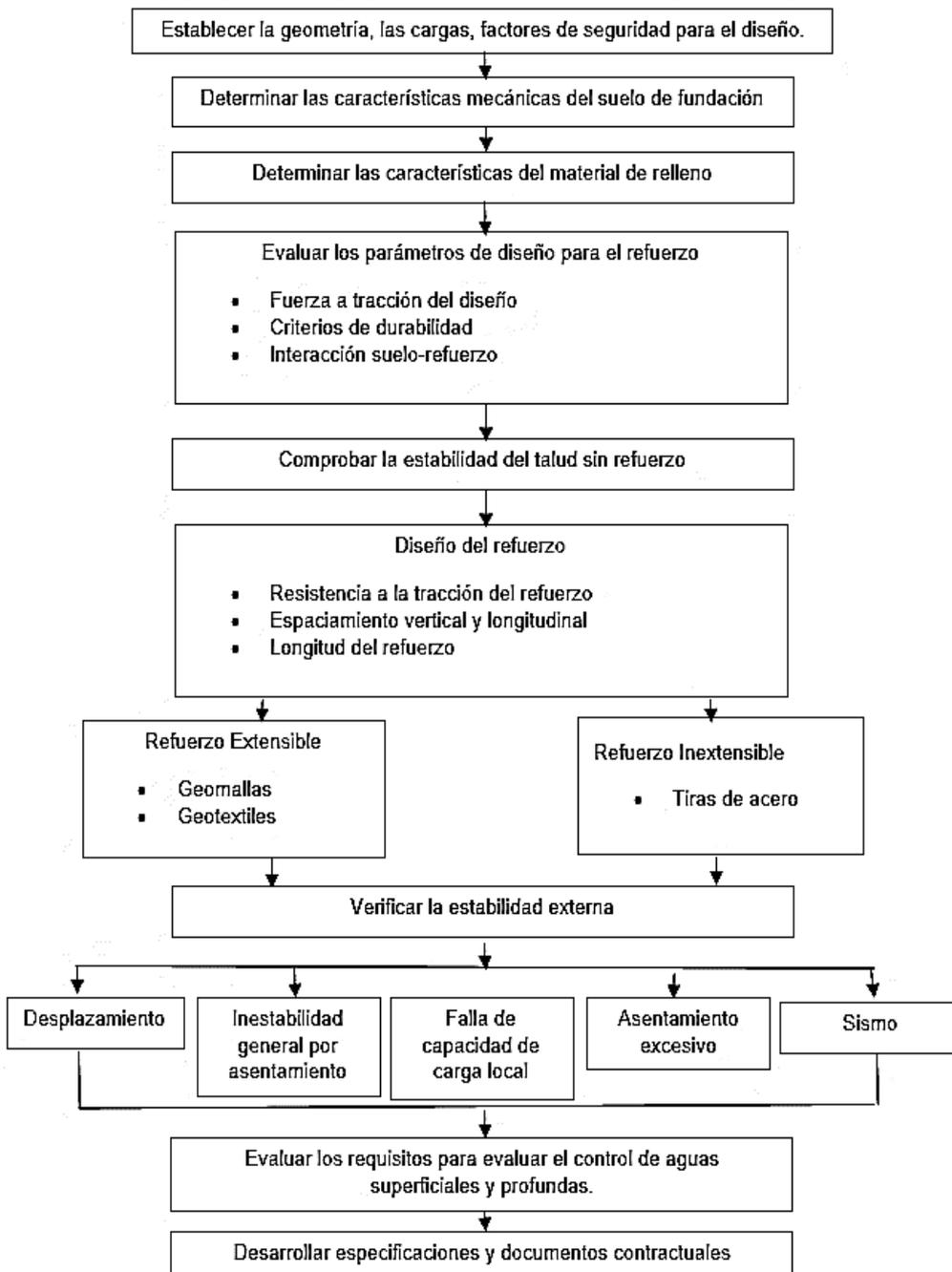


Fuente: FHWA-NHI-00-043

Los métodos convencionales de estabilidad mecánica del suelo también deben usarse para evaluar la estabilidad global de la masa de suelo reforzada. Deben considerarse las superficies rotativas y de falla de tipo cuña que se extienden detrás y debajo de la estructura. Se debe tener cuidado para identificar cualquier capa de suelo débil en los suelos detrás o debajo de la masa del suelo reforzado. Las superficies de falla compuesta inician externamente y pasan a través o entre las secciones de refuerzo también deben ser evaluadas, especialmente para pendientes complejas o condiciones del suelo. La evaluación de las fuerzas de filtración potenciales es especialmente crítica para el análisis de estabilidad global.

2.2.7.3. Diseño estándar de un muro de suelo reforzado

En esta sección se describirá el diseño paso a paso de un muro de suelo reforzado. La administración federal de autopistas de los Estados Unidos – por sus siglas en inglés FHWA, ha desarrollado un modelo de diseño, el cual se ha comprobado mediante una extensa evaluación experimental. En el siguiente diagrama de flujo se muestran los pasos:



necesarios a seguir.

Los pasos descritos en el diagrama de flujo son los siguientes:

Paso 1: Establecer la geometría, cargas y factores de seguridad para el diseño.

a. Requisitos geométricos y de carga (ver figura 28)

Altura del muro, H .

Ángulo de inclinación, θ .

Cargas Externas y sobrecargas (S/C)

Sobrecarga, q

Carga viva temporal, Δq

Diseño de aceleración sísmica, A_m

Cargas puntuales

b. Establecer el Factores de Seguridad requerido

Estabilidad externa y asentamiento.

Deslizamiento: F.S. ≥ 1.3 .

Estabilidad general: F.S. ≥ 1.3 .

Falla de capacidad de carga local: F.S ≥ 1.3 .

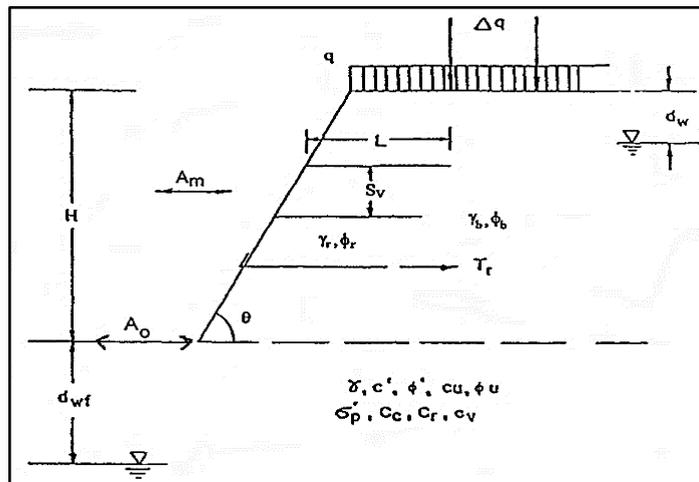
Diseño Pseudo estático: F.S. ≥ 1.1 .

Asentamiento post – construcción, efecto de licuación.

Estabilidad compuesta: F.S. ≥ 1.3 .

Estabilidad interna: F.S. ≥ 1.3 .

Figura 28: SEQ Figura * ARABIC 28 Requisitos necesarios para el diseño de sistema de suelo reforzado.



Fuente: FHWA - Design of Reinforced Soil Slope - 2001

Donde:

H = Altura del talud

θ = Ángulo de inclinación

T_r = Fuerza de resistencia del refuerzo

L = Longitud del refuerzo

S_v = Espaciamiento vertical del refuerzo

q = Sobrecarga (S/C)

Δq = Carga viva temporal

A_m = Diseño de aceleración sísmica

d_w = Profundidad de la capa freática en el muro

d_{wf} = Profundidad de la capa freática en el suelo de fundación

C y ϕ = Parámetros de resistencia para cada capa de suelo

γ_{wet} y γ_{dry} = Peso específico húmedo y seco, para cada capa de suelo

A_0 = Coeficiente de aceleración del terreno.

Paso 2: Determinar las propiedades mecánicas del suelo de fundación.

Determinar los parámetros geotécnicos del suelo de fundación y del material retenido (suelo).

Suelo de fundación

Propiedades de ingeniería (γ_f, ϕ_f, C_f)

Condiciones de la capa freática.

Material retenido

Propiedades de ingeniería (γ_c, ϕ_c, C_c)

Paso 3: Determinar las propiedades del material de relleno en el refuerzo.

Índice de plasticidad y gradación.

Proctor modificado al 95% de compactación, con $\pm 2\%$ de humedad óptima. AASHTO T -180.

Propiedades de ingeniería (γ_r, ϕ_r, C_r).

Composición química del suelo (Ph)

Paso 4: Evaluar los parámetros de diseño del refuerzo

Para los refuerzos geosintéticos, la vida útil del diseño se logra desarrollando una carga de diseño admisible que considera todas las pérdidas de resistencia dependientes del tiempo, durante el periodo de vida del proyecto (*FHWA-NHI-09-087,2009*).

$$T_a = \frac{T_{ULT}}{RF \cdot FS} = \frac{T_{al}}{FS}$$

(Ec. 9)

Donde T_a es el diseño a tensión a largo plazo para el estado límite. T_{ULT} es la resistencia última a la tracción del geosintético y RF es el producto de todos los factores de reducción aplicables, FS es el factor de seguridad global. T_{al} es la fuerza del material a largo plazo o más específicamente:

$$T_{al} = \frac{T_{ULT}}{RF_{CR} \cdot RF_D \cdot RF_{ID}}$$

(Ec. 10)

Donde:

T_{al} = Resistencia a la tracción a largo plazo de una carga por unidad de ancho de base de refuerzo.

T_{ULT} = Resistencia última del refuerzo, proporcionada por el fabricante del refuerzo. (ASTM D 4595)

RF_{CR} = Factor de reducción por fluencia para Sistema Terramesh (1).

RF_{ID} = Factor de reducción por daño a la instalación (1.1-2)

RF_D = Factor de reducción por degradación química y biológica (1-1.5)

Para muros de suelo reforzados con una inclinación de 70° o menor el $FS = 1$, esto hace que $T_a = T_{al}$

T_{al} , a menudo se obtiene de la empresa fabricante. Por lo general, incluyen factores de reducción, pero no incluyen el diseño o el factor de seguridad del material. En la tabla 9 se muestran factores de reducción para distintos tipos de refuerzo.

Tabla 9: SEQ Tabla * ARABIC 9 Tabla de factores de reducción

FACTORES DE REDUCCIÓN					
ITEMS	RF_{CR}		RF_D		RF_{ID}
	Tipo de polímero				
Polyester	2.50	1.60	$3 \leq pH \leq 5$ $5 \leq pH \leq 8$ $8 \leq pH \leq 9$		Relleno: Tamaño máximo 20 mm, D50 superior a 0.7 mm.
Polipropileno	5.00	4.00			
Polietileno Alta Densidad	5.00	2.60			
Geotextiles			1.60	2.00	
Geomallas			1.15	1.30	
HDPE geomalla uniaxial					
PP geomalla biaxial					
Geomalla cubierta PVC					
Geomalla cubierta Acrílica					
Geotextil tejido PP y PPT					
Geotextil no tejido PP y PPT					

Fuente: FHWA, Publication N.º FHWA –NHI – 00-043 (2001)

Para relleno granulares que cumplan con la gradación recomendada y las propiedades electroquímicas, se puede emplear el valor de $RF = 7$, es un valor bastante conservador con el cual se puede hacer un diseño preliminar. Para estructuras más críticas se deben hacer cálculos más precisos.

Es importante recalcar que se obtiene un costo menor en el proyecto si se obtiene un RF más bajo a partir de los datos suministrados por el fabricante y/o agencia de evaluación.

Resistencia contra la extracción:

F.S.= 1.5 para suelo granulares.

F.S.= 2.0 para suelos cohesivos.

Longitud mínima de anclaje, $L_e = 1m$ (3ft).

Paso 5: Comprobar la estabilidad del talud sin refuerzo

Evaluar la estabilidad del talud sin reforzar para determinar: si se requiere refuerzo, la naturaleza crítica del diseño ($FS_u \leq 1$ o ≥ 1), problemas de potenciales fallas de asentamiento profundo, y la extensión de la zona reforzada.

Existen programas informáticos que hacen una evaluación rápida de la estabilidad, como GEO 5, SLIDE, etc. Es necesario hacer una verificación manual para verificar que el software da resultados verídicos.

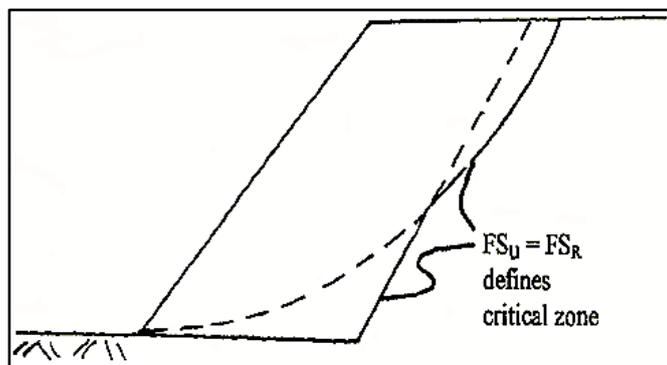
Determinar el tamaño de la zona crítica a reforzar

Examinar la gama completa de superficies de falla posibles encontradas, donde se cumpla que el factor de seguridad para el talud no reforzado $FS_U \leq$ Factor de seguridad requerido FS_R .

Trazar todas estas superficies en la sección transversal de la pendiente.

Las superficies que acaban de cumplir con el factor de seguridad aproximadamente sobre los límites de la zona crítica se refuerzan como se muestra en la figura 29.

Figura 29: SEQ Figura * ARABIC 29 Zona crítica definida por superficie de volteo y deslizamiento, que cumple el factor de seguridad requerido



Fuente: FHWA - Design of Reinforced Soil Slope – 2009

Las superficies de falla que se extienden más allá del pie del talud, son indicios de falla en la cimentación profunda, por lo que se debe hacer ensayos más minuciosos para determinar las causas.

Paso 6: Diseño del refuerzo para proporcionar un talud estable.

Calcule la tensión del refuerzo total por unidad de ancho de la pendiente T_S necesaria para obtener el factor de seguridad FS_R requerido para cada superficie de falla potencial dentro de la zona crítica descrita en el paso 5, que se extiende a través o por debajo del pie del talud.

$$T_S = (FS_R - FS_U) \frac{M_D}{D} \quad (Ec. 11)$$

Donde:

T_S = La suma de la fuerza de tracción requerida por unidad de ancho del refuerzo (considerando la fuerza de extracción o pullout) en todas las capas de refuerzo que se intersecan la superficie de falla.

M_D = Momento que induce el volteo sobre el centro de círculo de falla.

D = Brazo de palanca de la fuerza T_S .

= Radio del círculo R, para capa de refuerzo extensible continuo.

= Radio del círculo R, para capa de refuerzo inextensible continuo.

= Distancia vertical Y, al centroide de T_S para elementos de refuerzo discontinuos tipo tira.

= Asumir una distancia H/3 sobre la base de la pendiente para cálculos preliminares (es decir, se asume que actúan en un plano horizontal que intersecan la superficie de falla en H/3 por encima de la base del talud).

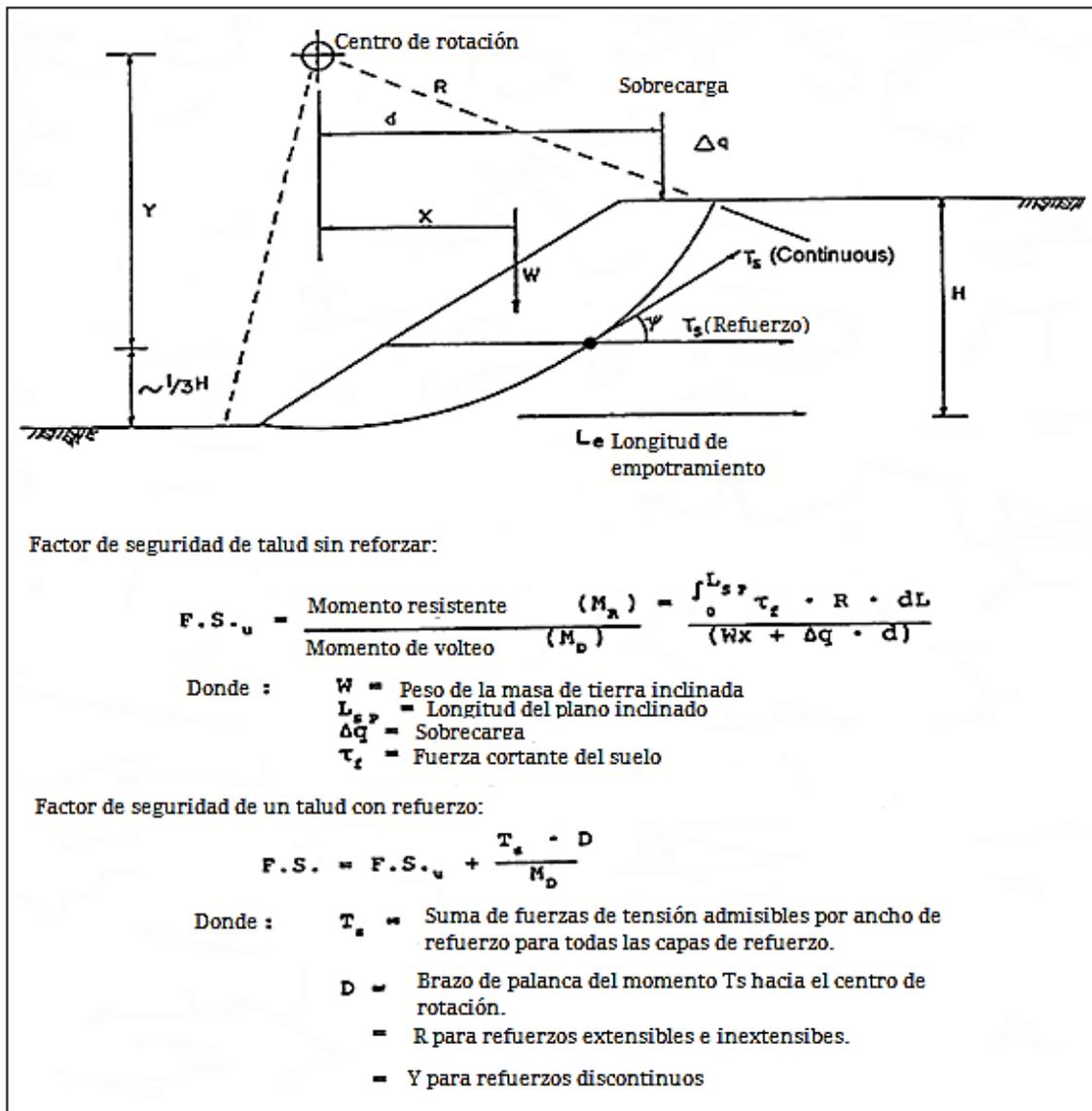
FS_U = Factor de seguridad para talud no reforzado.

FS_R = Mínimo factor de seguridad para talud que se aplica tanto al refuerzo como al suelo.

$T_{S-MÁX}$ es el mayor T_S calculado y establece la fuerza de tensión total de diseño.

El factor de seguridad mínimo generalmente no controla la ubicación de $T_{S-MÁX}$; la superficie más crítica es la que requiere mayor magnitud de refuerzo.

Figura 30: SEQ Figura * ARABIC 30 Diagrama de cuerpo libre para determinar la fuerza requerida por el refuerzo.

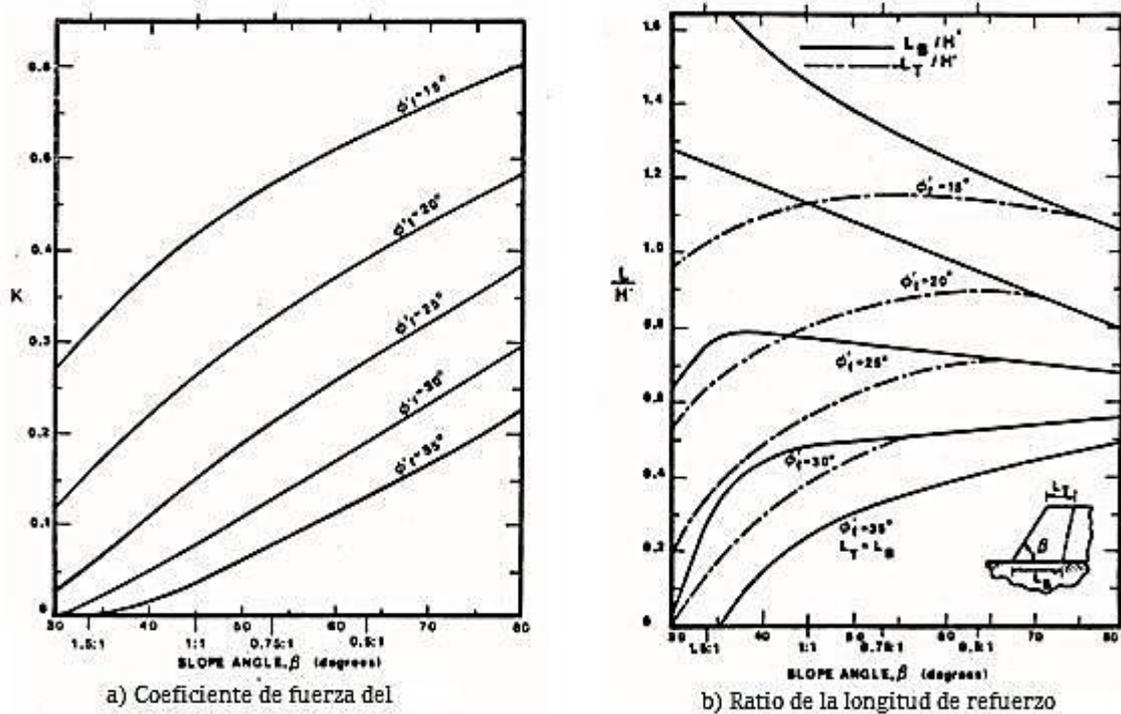


Calcular la tensión del refuerzo total por unidad de ancho de la pendiente T_{S-MAX} , usando el diagrama de la figura 30 y compararlo con el T_{S-MAX} obtenido en el paso 6a. Si los resultados difieren significativamente varía la magnitud de los parámetros expuestos en el paso 5, hasta obtener valores similares.

Se debe mencionar que el diagrama de la figura 31 no es la única herramienta para calcular la máxima tensión de un refuerzo, existen diferentes programas para analizar un talud

con refuerzo, los cuales se pueden utilizar para comprobar nuestros diseños. De ser necesario investigar otros métodos apropiados para el diseño, que nos den resultados más conservadores y contar con experiencia de profesionales.

Figura 31: SEQ Figura * ARABIC 31 Solución gráfica para determinar los requisitos de resistencia de refuerzo (Schmertmann 1987)



Fuente: FHWA-Publication No. FHWA – NHI-00-043

Procedimiento Gráfico:

- a. Determine el coeficiente K a partir de la figura, donde ϕ = ángulo de fricción del relleno reforzado, y β = ángulo de inclinación del relleno.

$$\phi_f = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \phi_r}{FS_R} \right) \quad (Ec. 12)$$

Donde:

ϕ_r = ángulo de fricción del relleno reforzado

- b. Determine

$$T_{S-MAX} = \frac{1}{2} K \gamma_r (H')^2 \quad (Ec. 13)$$

Donde:

$$H' = H + q/\gamma_r$$

q = carga uniforme

- c. Determina la longitud de refuerzo requerida en la parte superior LT (Lenght Top) y en la parte inferior LB (Lenght Bottom) de acuerdo a la figura anterior.

Supuesto limitantes:

- Refuerzos extensibles.
- Pendientes con suelo uniforme, suelos no cohesivos, $c=0$.
- No hay presión de poros dentro del talud.
- Suelos nivelados y cimientos bien hechos.
- No hay fuerzas sísmicas.
- Carga uniforme no mayor que $0.2 \gamma_r H$.
- Ángulo de fricción relativamente alto de la superficie de suelo/refuerzo $\phi_{sg} = 0.9 \phi_r$

Determinar la distribución del refuerzo

Para taludes de $H < 6m$, asuma una distribución de los refuerzos uniforme y use T_{S-MAX} para determinar el espaciamiento o los requisitos de tensión T_{MAX} para cada refuerzo de la capa.

Para alturas de $H > 6m$, divida el talud en dos zonas (superior o inferior) o en tres zonas (arriba, medio o inferior) de igual espaciamiento, para ello, emplear T_{S-MAX} factorizándolo para cada zona o los requisitos de tensión para cada refuerzo de la capa, ver la figura 32a.

Para dos zonas:

$$T_{inferior} = \frac{3}{4} T_{S-MAX}$$

$$T_{superior} = \frac{1}{4} T_{S-MAX}$$

Para tres zonas:

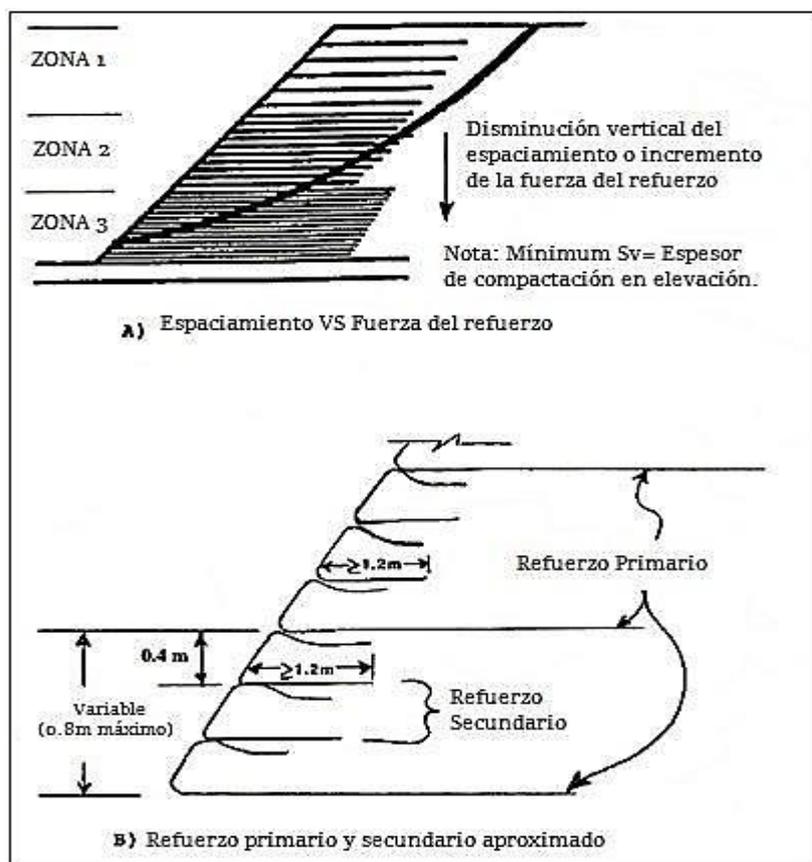
$$T_{inferior} = \frac{1}{2} T_{S-MAX}$$

$$T_{medio} = \frac{1}{3} T_{S-MAX}$$

$$T_{inferior} = \frac{1}{6} T_{S-MAX}$$

Se asume que la fuerza se distribuye uniformemente en cada zona.

Figura 32: SEQ Figura * ARABIC 32 Consideraciones del espaciado de los refuerzos para taludes de gran altura.



Fuente: U.S. Department of Transportation – Federal Highway Administration Publication No. FHWA-NHI-00-043.

Determinar el espaciamento vertical del refuerzo S_v o la tensión máxima de diseño $T_{m\acute{a}x}$ para cada capa de refuerzo.

En cada zona, calcular $T_{m\acute{a}x}$ para cada refuerzo en esa zona suponiendo un S_v o si se conoce la fuerza del refuerzo admisible, calcular el espaciado vertical mínimo y el número de capas de refuerzo N necesarios para cada zona.

$$T_{m\acute{a}x} = \frac{T_{zone} S_v}{H_{zone}} = \frac{T_{zone}}{N} \leq T_a R_c \quad (Ec. 14)$$

Donde:

R_c = Radio de cobertura del refuerzo, el cual, equivale al ancho del refuerzo b dividido por el espaciamiento horizontal S_h . Para geomallas $R_c = 1$

$$R_c = \frac{b}{S_h}$$

S_v = Espaciamiento vertical del refuerzo en metros; el espaciamiento debe de ser múltiplos del espesor de la capa para facilitar la construcción. El espaciamiento mínimo entre capas es de $S_v = 0.60m$ para geomallas.

T_{zone} = Tensión máxima del refuerzo para cada zona.

= T_{S-MAX} para taludes menores de $H < 6m$.

T_a = T_{al} , resistencia a la tracción del geosintético.

H_{zone} = Altura de la zona.

= $T_{superior}, T_{medio}, T_{inferior}$ para taludes mayor de $H > 6m$.

N = Número de capas de refuerzo.

Es recomendable emplear longitudes cortas (1.2 a 2m) de refuerzo intermedio para mantener un espaciado vertical máximo de 0.40m o menos para la estabilidad del paramento y tener un compactado de calidad, ver la figura 32b.

Para taludes con pendientes 1H:1V, que tengan refuerzos con un espaciado vertical menor a los 0.40m, pueden emplear como material de relleno (gravas arenosas, arenas finas y arcillas). Se debe mencionar que para taludes con pendientes pronunciadas un menor espaciamiento vertical entre refuerzos es muy beneficioso porque ayuda a estabilizar al macizo; los

suelos bien graduados evitan que la cara (paramento) se desmorone.

Se pueden emplear espaciamientos verticales alternativos para evitar que la cara (paramento) se desmorone, para estos casos se debe analizar la estabilidad de la cara con cualquier método que existe o con el que se presenta a continuación:

$$F.S. = \frac{c'H + (\gamma_g - \gamma_w)Hz \cos^2 \beta \tan \phi' + F_g(\cos \beta \sin \beta + \sin^2 \beta \tan \phi')}{\gamma_g H z \cos \beta \sin \beta} \quad (Ec. 15)$$

Donde:

c' = Cohesión efectiva

ϕ' = Ángulo de fricción efectivo

Ambos obtenidos de ensayos de corte directo o triaxial en los que se asegura el drenaje.

γ_g = Peso específico saturado del suelo.

γ_w = Peso específico del agua.

z = Profundidad vertical al plano de falla definido por la profundidad de saturación.

H = Altura vertical del talud.

β = Ángulo de inclinación del talud.

F_g = Sumatoria de las fuerzas resistentes del geosintético.

El refuerzo intermedio debe de colocarse en capas continuas, y no debe de ser tan fuerte como el refuerzo primario, pero debe de ser lo suficientemente fuerte para resistir el proceso constructivo.

Para asegurarse que la distribución de la fuerza del refuerzo es la adecuada para estructuras críticas o complejas, se debe de recalculan T_s (Paso 6) para determinar la falla potencial por encima de cada capa de refuerzo primario.

Determinar la longitud del refuerzo requerida:

La longitud de empotramiento L_e de cada capa de refuerzo más allá de la superficie de deslizamiento más crítica (es decir el círculo encontrado para T_{S-MAX}) . Debe ser lo suficientemente largo para resistir la fuerza de extracción (pullout). La longitud L_e se calcula como:

$$L_e = \frac{T_{m\acute{a}x} FS}{F^* . \alpha . \sigma'_v . 2 . R_c . C}$$

(Ec. 16)

Donde F^* , α , σ'_v , R_c y C han sido definidos anteriormente.

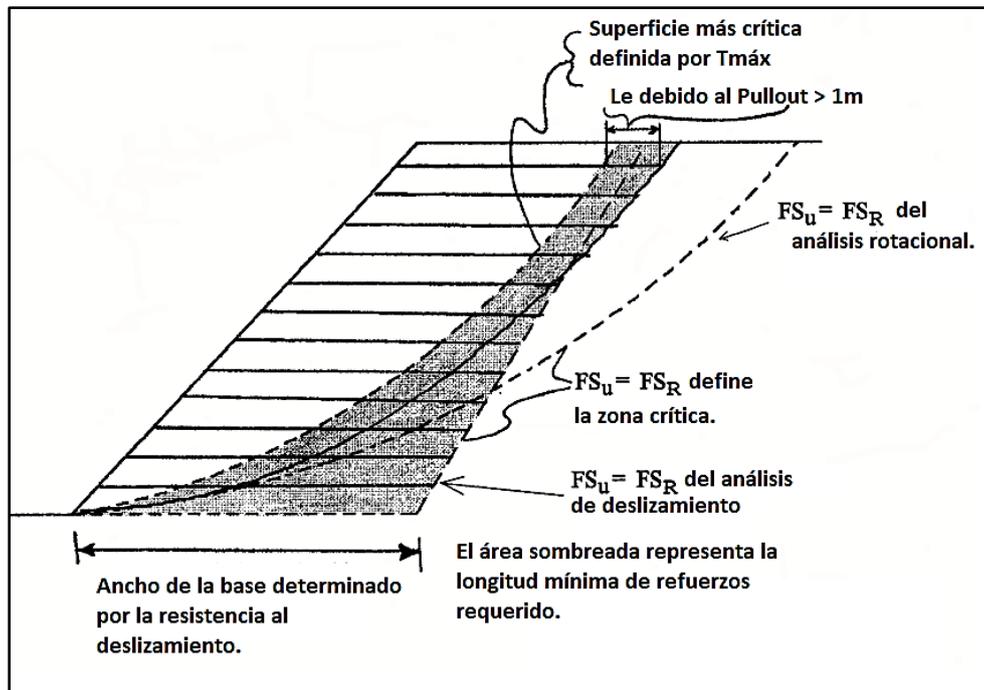
El mínimo valor para L_e es 1m. Para suelos cohesivos, verificar L_e para condiciones a corto y largo plazo para condiciones de pullout. Cuando se utilice la ecuación empírica expuesta en el capítulo "Capacity Pullout" para obtener F^* .

Para diseño a largo plazo, usar ϕ_r con $c_r = 0$.

Para diseño a corto plazo, usar de forma conservadora ϕ_r con $c_r = 0$ a partir de ensayos de corte directo o triaxial para condiciones no drenadas.

Graficar las longitudes de refuerzo obtenidas de la Ec.16 en una sección transversal que contenga los límites aproximados de la zona crítica determinada en el paso 5, ver figura 33.

Figura 33: SEQ Figura * ARABIC 33 Longitud de desarrollo de refuerzos, en un talud con suelo reforzado.



Fuente: U.S. Department of Transportation – Federal Highway Administration Publication No. FHWA-NHI-00-043.

La longitud requerida para la estabilidad de deslizamiento en la base, generalmente controlará la longitud de los refuerzos en los niveles más bajos.

Las longitudes de las capas inferiores por lo menos deben de extenderse a los niveles de la zona crítica, como se muestra en la figura 33. Es posible que se requiera refuerzos más largos para resolver problemas profundos de deformaciones.

En los niveles superiores, los refuerzos podrían no extenderse hasta la zona crítica, siempre que exista suficiente refuerzo en los niveles inferiores que provean el FS_R para todos los círculos dentro de la zona crítica como se muestra en la figura 34.

Verificar que las fuerzas del refuerzo que pasan a través de la superficie de falla sea mayor que T_S requerido para esa superficie.

Sólo se tienen en cuenta los refuerzos que se extiende 1m más allá de la superficie para tener en cuenta la resistencia a la extracción.

Si la fuerza del refuerzo disponible no es suficiente, incremente la longitud del refuerzo que no pasan a través de la superficie de falla o incremente la resistencia de los refuerzos en los niveles inferiores.

Las capas de refuerzo generalmente no necesitan extenderse a los límites de la zona crítica, a excepción de los niveles más bajos de cada sección de refuerzo.

Verificar la longitud L_e obtenida usando el gráfico b de la figura 32 Nota L_e ya está incluida en la longitud total, L_t y L_B en el gráfico b.

Verificar las longitudes de refuerzo de los diseños complejos

Cuando se verifica un diseño que tiene zonas de diferentes longitudes de refuerzo, las zonas bajas pueden estar reforzadas para proporcionar longitudes reducidas en los niveles de refuerzo superiores.

Paso 7: Verificar la estabilidad externa

- **Resistencia al deslizamiento**

Se evalúa la resistencia al deslizamiento que posee una masa de suelo reforzado a cualquier nivel del talud. Este tipo de análisis se puede hacer empleando un método computarizado que tome en cuenta todos los estratos del suelo y los valores de fricción de la interfaz. Para el análisis se toma en consideración una superficie de falla tipo cuña definida por los límites del refuerzo, la parte posterior de la cuña debe tener un ángulo de inclinación a $45 + \phi/2$ con respecto a la horizontal. Un análisis simple se puede hacer empleando el método del bloque deslizante. En este método, se asume una cuña activa (presión activa) en la parte posterior de la masa reforzada del suelo con la parte posterior de la cuña que se extiende hacia

arriba e un ángulo de $45 + \phi/2$. Usando esta suposición, la fuerza impulsora que origina el deslizamiento, es la presión activa del terreno y la fuerza resistente es la fuerza de fricción más débil, ya sea, el suelo reforzado, el suelo de fundación o la relación suelo-refuerzo. A continuación, se utilizan las siguientes relaciones, ver la figura 34.

Fuerza Resistente= F.S. x Fuerza de deslizamiento

$$(W + P_a \sin \phi_c) \tan \phi_{min} = FS P_a \cos \phi_c$$

(Ec. 17)

Con: $W = \frac{1}{2} L^2 \gamma_r \tan \phi_r$ para $L < H$

$$W = \left[LH - \frac{H^2}{2 \tan \beta} \right] \gamma_r \text{ para } L > H$$

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma_c H^2 K_a$$

Donde:

L = Longitud de la capa de refuerzo inferior en cada nivel donde haya un cambio en la longitud del refuerzo.

H = Altura del talud

$F.S.$ = Factor de seguridad contra el deslizamiento (<1.3)

P_a = Presión activa del terreno

ϕ_{min} = Mínimo ángulo de fricción por corte, ya sea entre el suelo reforzado y el refuerzo o el ángulo de fricción de suelo de fundación.

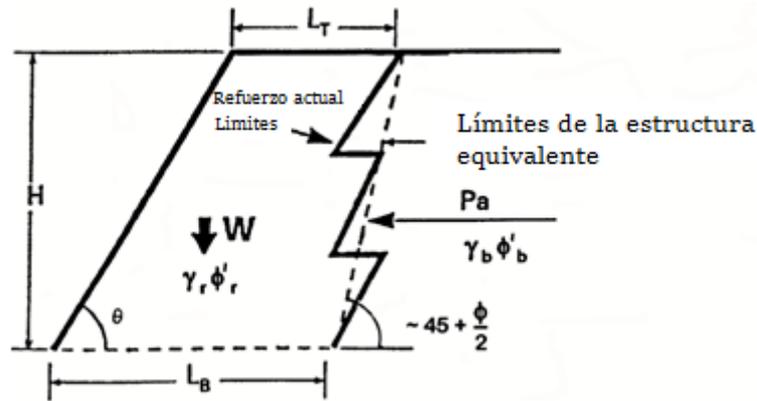
β = Ángulo de inclinación del talud

γ_r y γ_c = Peso específico del relleno reforzado y retenido respectivamente.

ϕ_c = Ángulo de fricción del relleno retenido.

Si los drenajes y/o filtros se colocan en la parte de atrás del talud, entonces ϕ_c es igual al ángulo de fricción entre el geosintético y el material retenido.

Figura 34: SEQ Figura * ARABIC 34 Análisis de estabilidad contra el deslizamiento en un talud reforzado.



Fuente: FHWA-NHI-Publication No. FHWA-NHI-00-043.

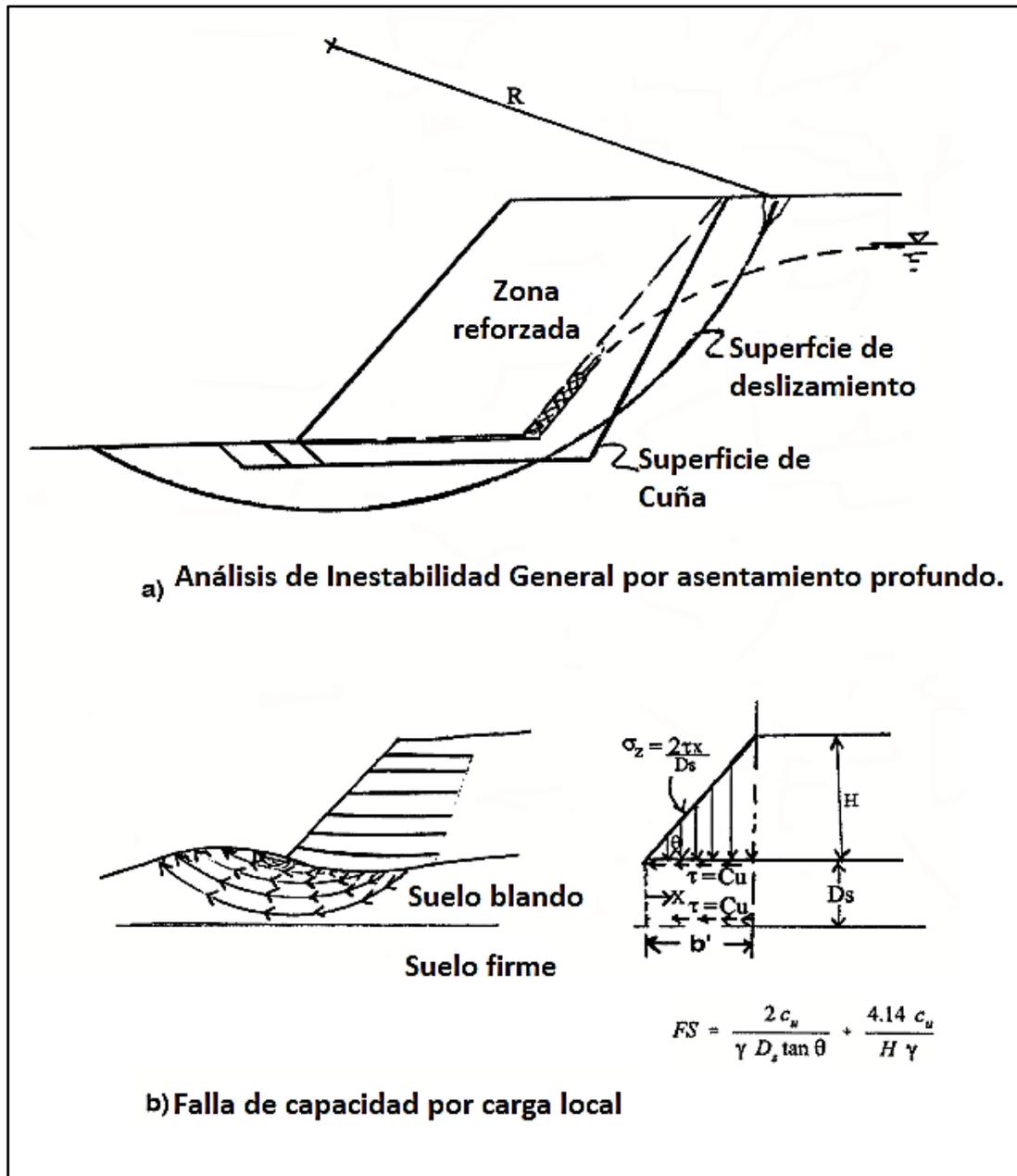
- Inestabilidad general por asentamiento (Ver figura 35a)

Evaluar las potenciales superficies de fallas profundamente asentadas detrás de la masa de suelo reforzada para proporcionar:

$$F.S. = \frac{M_D}{M_R} \geq 1.3 \quad Ec. 18)$$

El análisis realizado en el Paso 5 debe proporcionar esta información. Sin embargo, como verificación se pueden usar métodos clásicos como Bishop simplificado, Morgenstern y Price, Spencer u otros métodos simplificados. También se puede usar softwares informáticos.

Figura 35: SEQ Figura * ARABIC 35 Fallas en el suelo de fundación, en a) se muestra el análisis de inestabilidad general por asentamiento y en b) falla de capacidad por carga local.



Fuente: U.S. Department of Transportation – Federal Highway Administration Publication No. FHWA-NHI-00-043.

- Falla de capacidad de carga local en el pie del talud (Ver figura 35b)

Si existe una capa de suelo débil debajo del terraplén a una profundidad limitada D_s el cual es menos ancho que la

pendiente b ; el factor de seguridad contra fallas por compresión puede calcularse como:

$$FS_{Squeezing} = \frac{2 C_u}{\gamma D_s \tan \beta} + \frac{4.14 C_u}{H \gamma} \geq 1.3 \quad \text{Ec. 19)}$$

Donde:

β = Ángulo de inclinación del talud

γ = Peso específico del suelo del talud.

D_s = Profundidad del suelo blando bajo la base del talud.

H = Altura del talud.

C_u = Resistencia al corte no drenado del suelo blando bajo el talud.

Si el ancho D_s es mayor que b , la estabilidad general del talud regirá el diseño.

- Asentamiento en la fundación

Determinar la magnitud y la tasa de los asentamientos de la cimentación total y diferencial, empleando cualquier método clásico de ingeniería geotécnica o software.

Paso 8: Estabilidad Sísmica.

- Estabilidad Dinámica

Realizar un análisis pseudo-estático empleando un coeficiente sísmico del suelo A , obtenido de los ensayos sísmicos de la zona y una aceleración sísmica de diseño A_m igual a $A_m = \frac{A}{2}$.

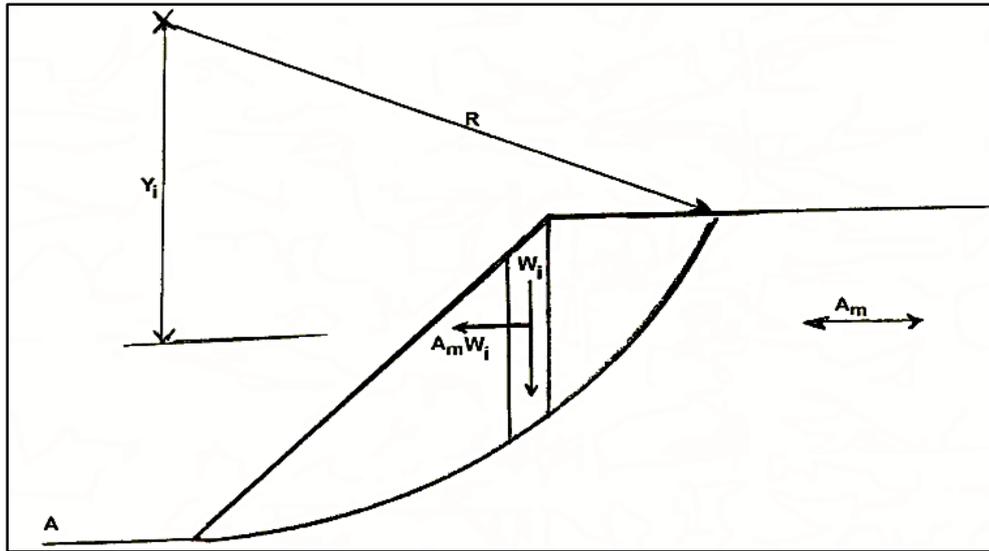
El talud es una estructura más flexible que un muro, por lo que A_m puede ser tomado como $\frac{A}{2}$ según la AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges (Division 1-A – Seismic Design, 6.4.3. Abutments.)

$$FS_{dynamic} \geq 1.1 \quad \text{(Ec. 20)}$$

En el análisis pseudo-estático, la estabilidad sísmica se determina añadiendo una fuerza horizontal y/o vertical en el

centroide de la rebanada, a la ecuación de equilibrio de momento, ver la figura 36.

Figura 36: SEQ Figura * ARABIC 36 Análisis de estabilidad sísmico, por el método del equilibrio límite



Fuente: U.S. Department of Transportation – Federal Highway Administration Publication No. FHWA-NHI-00-043.

La fuerza adicional es igual al coeficiente sísmico multiplicado por el peso total de la masa deslizante. Se asume que esta fuerza no influye en la fuerza normal y al momento resistente, por lo que solo el momento de volteo se ve afectado. Se debe evaluar el efecto de licuefacción en el suelo de fundación del talud.

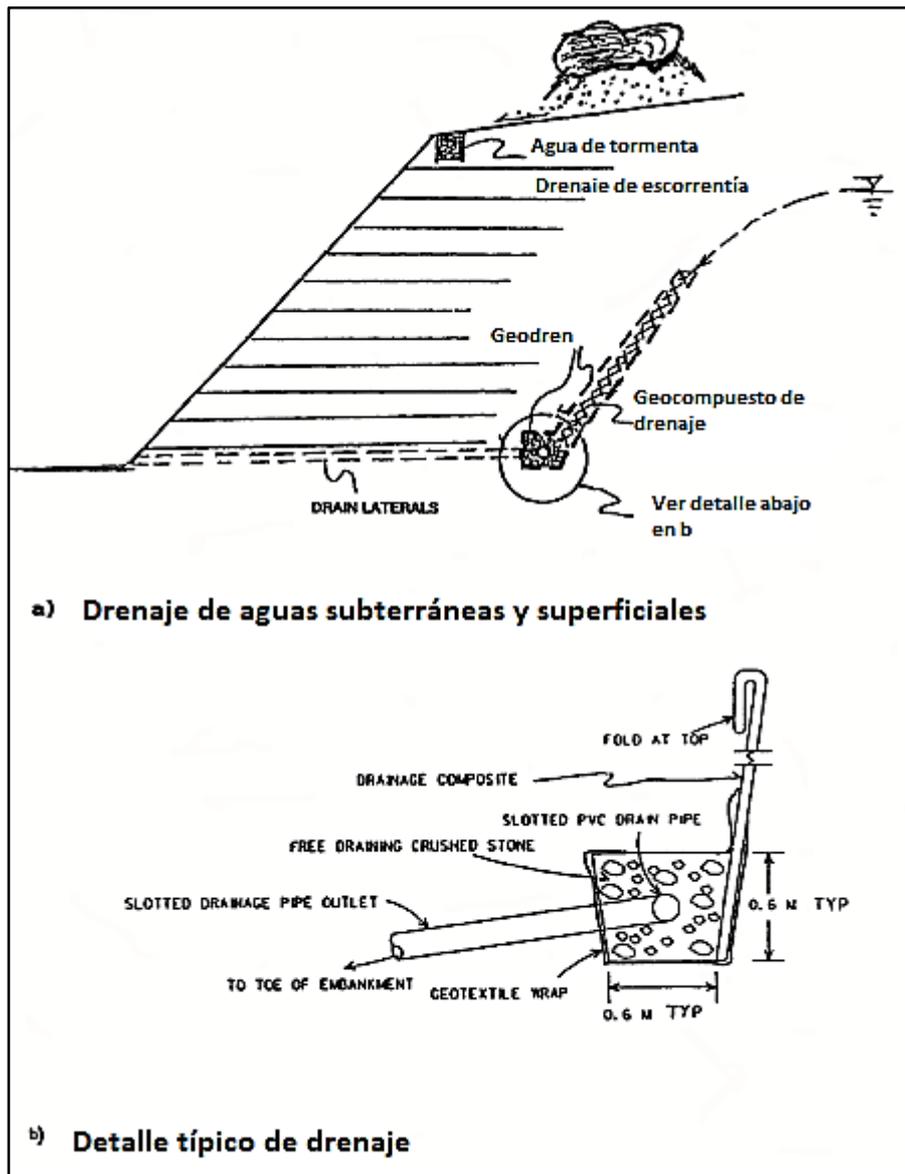
Paso 9: Evaluación de requisitos para el control de aguas superficiales y subterráneas en el talud.

Control de aguas superficiales

Los diseños de los sistemas de drenaje deben de contemplar aspectos como el desalojo de aguas superficiales y de infiltración, así también la zona de ubicación de estas y los detalles de salidas.

Los drenajes, por lo general se colocan en la parte de atrás del suelo reforzado como se observa en la figura 37. También es posible emplear geocompuestos de drenaje y desagües de trincheras.

Figura 37: SEQ Figura * ARABIC 37 Consideraciones de drenaje de aguas superficiales y subterráneas en un talud reforzado.



Fuente: U.S. Department of Transportation – Federal Highway Administration Publication No. FHWA-NHI-00-043.

2.2.8. NORMAS

Para la caracterización de los materiales y el diseño de muros de suelo reforzado, se emplearon normas técnicas que marcaron las pautas, para alcanzar el objetivo deseado.

Diferentes instituciones y empresas relacionadas a la construcción de muros de suelo reforzados, han desarrollado sus propias normativas tanto para el diseño como para los materiales empleados.

En esta investigación se empleó las siguientes normas:

a. AASHTO Standards

T 88 – Análisis Granulométrica de Suelos por Tamizado.

T 90 – Determinación del Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos.

T 180 – Compactación con Proctor Modificado.

b. American Society for Testing and Materils (ASTM)

D 4995 – D Ensayo Estándar para las propiedades de Tracción de Geotextiles por el método de banda de ancho grande.

c. Geosynthetic Research Institute

GRI – GT6: Geotextile Pullout.

GRI – GT7: Determinación de la resistencia de diseño a largo plazo del geotextil.

GRI – GG4(b): Determinación de la resistencia de diseño a largo plazo de geomallas flexibles.

d. Federal Highway Administration (FHWA)

FHWA NHI – 00 – 044 Sept. 2009 – Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design and Construction Guidelines.

FHWA NHI – 00 – 044 Sept. 2009 – Corrosion/Degradation of Soil Reinforcements for Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes.

e. Norma Técnica Peruana

CE.020 Estabilización de suelos y taludes

2.2.9. CARGAS

Las que se consideran en un proyecto se clasifican en:

a. **Cargas Permanentes:**

Son aquellas que actúan en todo momento sobre la estructura, considerándose constantes todo el tiempo, en posición y en magnitud.

b. **Cargas Variables:**

Son aquellas cargas cuya posición y magnitud varían en el tiempo.

c. **Cargas Accidentales:**

Son aquellos que ocurren de manera fortuita o de magnitud excepcional, y que se producen ocasionalmente.

2.2.9.1. Cargas permanentes

Las cargas debidas al peso propio de los elementos, pueden ser correspondidos a:

- Peso propio del macizo de suelo reforzado.
- Peso de terraplenes o rellenos adicionales.
- Peso de equipos o estructuras de cualquier tipo, de posición y magnitud fijas.
- Otras cargas, tales como el pavimento de la carretera.
- Peso debido a la carga permanente de tableros de puente, elementos de reparto, etc.

Es evidente que el peso propio del material de relleno no está bien definido pues, puede variar en el transcurso del tiempo (terreno seco, húmedo o saturado). A pesar de esto se considera como una carga permanente, considerándose dos valores característicos (mínimo y máximo) siguientes:

Tabla 10: SEQ Tabla * ARABIC 10 Peso propio del material de relleno

	$\gamma_{\text{máx}}$ (KN/m ³)	$\gamma_{\text{mín}}$ (KN/m ³)
γ	20	18
γ' (sumergido)	12	10

Fuente: Guía de Procedimientos y Lineamientos para la Construcción de Muros Mecánicamente Estabilizados 2014

Comúnmente, las fuerzas debidas al empuje del terreno tienen carácter desfavorable, por lo que solo se define el valor característico máximo. Por esta razón también se incluyen dentro de las cargas permanentes a los empujes del suelo.

El cálculo del empuje del suelo sobre muros de suelo reforzados, se calcula de la misma manera que para muros convencionales, a partir del peso específico del relleno o terreno natural y de las cargas permanentes situadas sobre dicho relleno o terreno natural.

La deformación de un muro reforzado es menor que uno sin reforzar, pero es mucho mayor que un muro convencional.

De esta manera, se puede considerar continuidad entre el relleno y el terreno natural, por lo que el ángulo de fricción entre ambos puede tomarse igual al ángulo de fricción interna dentro del relleno o terreno natural. Esto equivale a emplear el método de Rankine para calcular el empuje. (Guía de procedimiento y Lineamientos para la construcción de muros mecánicamente estabilizados, 2014).

2.2.9.2. Cargas Variables

2.2.9.2.1. Cargas de uso

En este tipo de obras, las cargas de explotación son comunes debido a la circulación de los vehículos. Estas mismas pueden considerar un empuje de tierra adicional.

Por lo general, se considera una carga uniforme sobre el terreno de $10 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$.

En el caso de que se trate de una vía de circulación, se considerará independientemente de lo anterior, la acción local de un vehículo pesado de 60 ton, situado en la posición más desfavorable (**Secretaría de Comunicaciones y Transportes, guía de procedimientos y lineamientos para la construcción de muros mecánicamente estabilizados, 2014**).

2.2.9.2.2. Cargas producidas por el agua

Las cargas generadas por el agua, se pueden transmitir por múltiples efectos en los muros de suelo reforzado, como se describe a continuación:

- La presión Hidrostática
- Las presiones de filtración
- La modificación geomecánica de los parámetros del suelo reforzado.

2.2.9.3. Cargas accidentales

Las cargas accidentales que pueden afectar a los muros de suelo reforzado son:

- Los efectos sísmicos
- Los choques de vehículos
- Los efectos de hundimientos mineros o kársticos.

2.3. SOFTWARE

Hoy en día existen muchos softwares que analizan la estabilidad de taludes reforzados y sin reforzar en el mercado. El empleo de estos softwares facilita enormemente el cálculo

de estabilidad, contando con diversas teorías de análisis como los métodos numéricos, de elementos finitos y el método del equilibrio límite con superficies de falla circulares y no circulares.

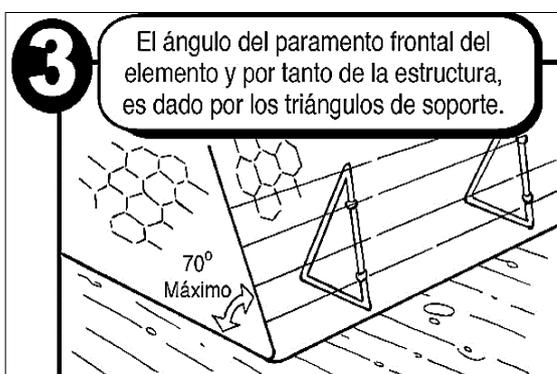
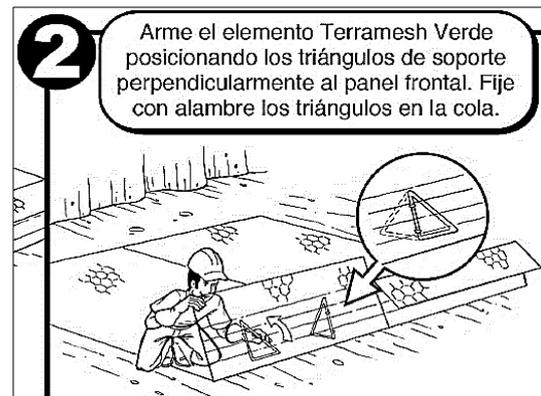
Para el análisis de los taludes reforzados en esta tesis, se emplearán el programa SLIDE y MacStars W.

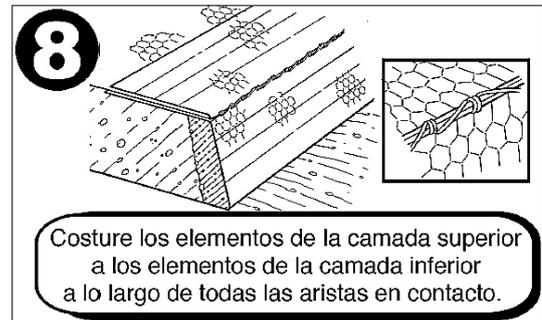
Ambos programas de ordenador se emplearán para el análisis de los taludes reforzados, y finalmente se contrastarán los resultados obtenidos con cálculos manuales.

2.4. PROCESO CONSTRUCTIVO

El proceso constructivo de este tipo de muros de suelo reforzado empleando el Terramesh® Green se muestra a continuación (**Maccaferri, Como colocar el Terramesh Verde, 2011**).

PROCESO CONSTRUCTIVO DEL TERRAMESH GREEN EN ETAPAS





2.5. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Suelo reforzado

Es un sistema de estabilización de suelos, el cual hace uso de refuerzos metálicos o no metálicos para dotar de estabilidad a la masa de suelo.

Muro de suelo reforzado

Es un sistema de contención empleado para estabilizar taludes, está conformado por tres elementos principales que forman toda su estructura y son: el paramento, que viene a ser la cara frontal del muro, su principal función es la de proteger al muro de agentes externos y evitar la fuga de los finos; el material de relleno, que viene a ser el elemento que conforma a la estructura, debe de cumplir ciertas características para ser empleada en el muro; y finalmente tenemos al refuerzo, que pueden ser sintéticos o de acero y que tiene por finalidad conferir resistencia a la tensión al suelo.

Sistema Terramesh

Es un sistema versátil utilizado en aplicaciones de refuerzo de suelo tales como muros de suelo mecánicamente estabilizados, refuerzo de suelo y refuerzo de taludes. Se emplea con fines industriales y comerciales para obras de control de erosión, para obras de

caminos y estabilización del margen de cauces. Tiene dos presentaciones Terramesh Green y Terramesh System.

Factores de seguridad(FS)

El factor de seguridad es la relación que existe entre la capacidad máxima del sistema y el valor de requerimiento real al que se verá sometido, por ende, su valor siempre es mayor que uno, con esto se asegura que el sistema va a funcionar correctamente y que no va a colapsar.

Empuje del suelo

Es la presión lateral que el suelo ejerce sobre el plano horizontal, producto de las características inherentes de este de querer desplazarse horizontalmente. Existen dos tipos de empuje de suelo activo, pasivo y de reposo.

Método del equilibrio límite

Es un método de análisis empleado para analizar la estabilidad de los taludes, emplea una metodología fácil de entender y emplear, se emplea para hacer análisis estáticos de los taludes.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. MÉTODO, Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo de la tesis se ha tomado en consideración el empleo del método científico para llegar a la solución al problema planteado.

3.1.1. NIVEL

De acuerdo a **(Velásquez, y otros, 2007)** en su libro Métodos de investigación científica, define que la investigación básica descriptiva tiene como objetivo principal “el de recopilar datos e informaciones sobre las características, propiedades, aspectos o dimensiones, clasificación de objetos, personas agentes e instituciones o de los procesos naturales o sociales”.

Por ende, la presente tesis se define como descriptiva, pues comprende la colección de datos para probar hipótesis o responder a preguntas concernientes a la situación corriente de los sujetos de estudio.

3.1.2. TIPO

Según **(Ñaupas , y otros, 2013)** en su libro “Metodología de la investigación Cuantitativa – Cualitativa y Redacción de la Tesis”, define que la investigación aplicada o tecnológica es “aquella que está orientada a resolver objetivamente los problemas de los procesos de producción, distribución, circulación y consumo de bienes y servicios, de cualquier actividad humana, principalmente de tipo industrial, infraestructural, comercial, etc.”

La tesis es aplicada o tecnológica porque se basa en los conocimientos obtenidos en investigaciones básicas para resolver los problemas planteados y comprobar las hipótesis. Se llama también tecnológica pues el producto obtenido no es conocimiento puro más bien tecnológico.

3.1.3. INVESTIGACIÓN TRANSVERSAL

De acuerdo a **Elías Mejía (2008)**, las investigaciones transversales son aquellas en la cual los datos se recopilan una sola vez en todo el tiempo que dure el proyecto.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo con **(Ñaupas, y otros, 2013)** en su libro Metodología de la investigación Cuantitativa – Cualitativa y Redacción de la Tesis, define como diseño de investigación a un plan o modelo que permite evaluar la viabilidad o factibilidad de las hipótesis y problemas planteados, además determina que variables van a ser estudiadas.

$$[RI] + [EMS] + [DI] \rightarrow [DM]$$

Donde:

[RI] = Recopilación de información.

[EMS] = Estudio de mecánica de suelos.

[DI] = Método del diseño de muros de suelo reforzado

[DM] = Diseño finalizado de los muros de suelo reforzado

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. POBLACIÓN

La población en estudio será la zona llamada Quebrada Honda, comprendida entre los distritos de El tambo, Cajas y distritos aledaños.

3.3.2. MUESTRA

Terraplén ubicado en la zona Quebrada Honda – Huancayo.

3.3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

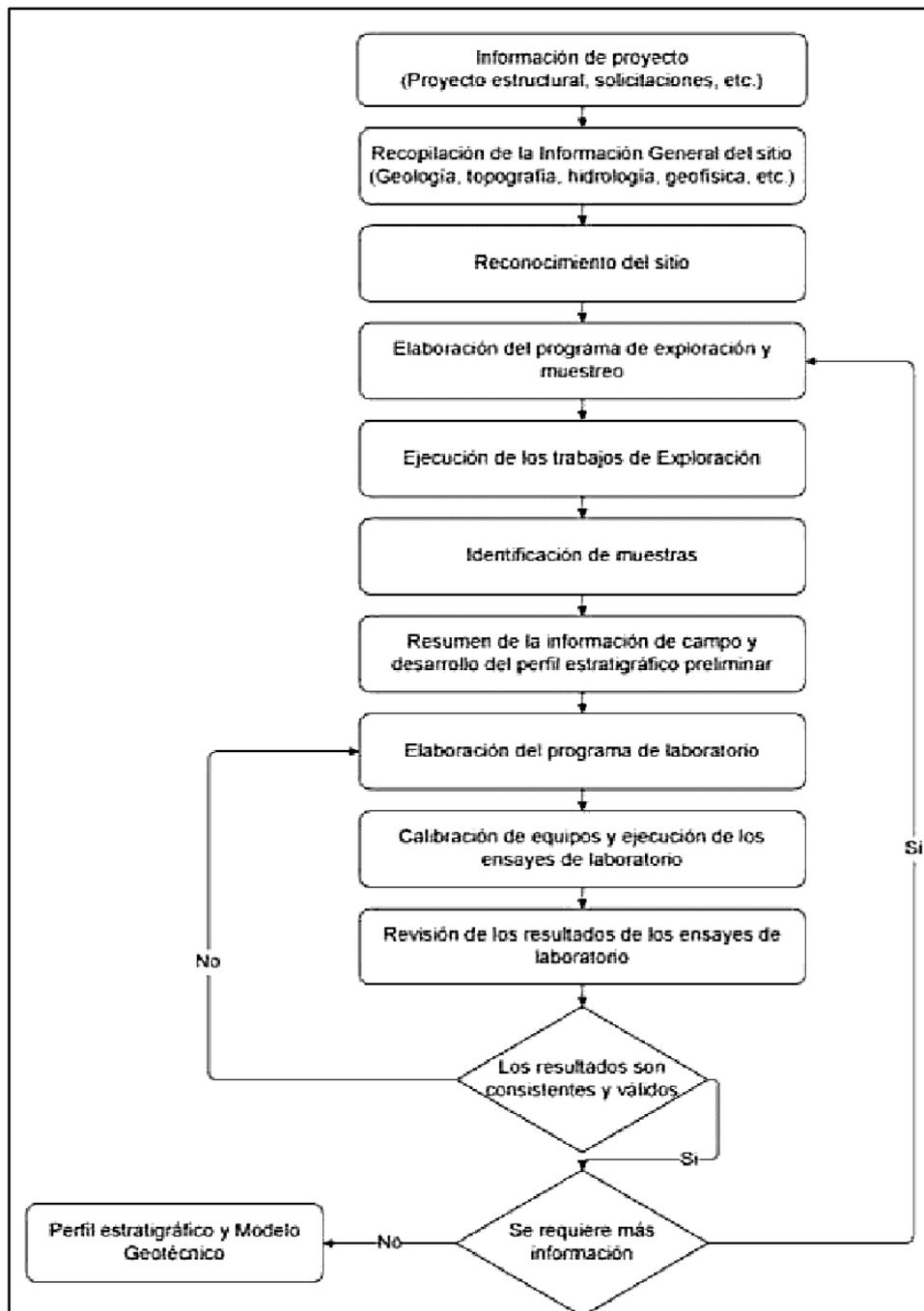
El consorcio Vial Junín, fue la encargada de ejecutar el proyecto “Corredor vial transporte masivo norte”, donde me brindaron información geotécnica del expediente técnico e información general de la zona.

También me contacté con la empresa Maccaferri, para que me oriente en cuanto al uso del software MacStars 2000 para poder realizar el diseño y calcular los factores de seguridad.

Los certificados de los ensayos realizados por el consorcio fueron emitidos por entidades de prestigio, que garantizan la fiabilidad de los datos obtenidos.

En la figura 38, se muestra el planeamiento, diseño y ejecución general de un muro de suelo reforzado, propuesta por la administración federal de autopistas de los estados unidos.

Figura 38: SEQ Figura * ARABIC 38 Planificación, diseño y ejecución de un muro de suelo reforzado.



Fuente: U.S Department of Transportation – Federal Highway Administration Publication No. FHWA-NHI-00-043

CAPÍTULO IV EL PROYECTO

4.1. ASPECTOS GENERALES

A continuación, se describen las características generales del proyecto a diseñar:

4.1.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

El ámbito territorial de la zona de estudio se encuentra localizado en:

Tabla 11: SEQ Tabla * ARABIC 11 Ubicación Geográfica del Proyecto

Departamento	Junín
Provincia	Huancayo
Distrito	San Agustín de Cajas
Ubicación	Quebrada Honda

Fuente: Propia

En la figura 39 se muestra la zona del proyecto.

Figura 39: SEQ Figura * ARABIC 39 Ubicación del proyecto-Quebrada Honda



Fuente: Google Maps

4.1.2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA

La zona se ubica en una pequeña loma planicie entre altitudes de 3240 msnm y 3270 msnm, cuya delimitación engloba el área de drenaje de la cuenca, el cual se ha tomado en consideración en los puntos donde existe variación de altura y de las aguas superficiales, los cuales, no afecten a las tres alcantarillas existentes y de existir filtración de éstas deben ser evacuadas de la forma más adecuada.

De acuerdo a los estudios se han identificado depósitos cuaternarios conformados por bancos de conglomerados sueltos, formados por cantos bien rodados de 15 cm. de diámetro máximo y por bancos de arena que localmente puede invadir gran parte de la secuencia; asimismo, se observan areniscas arcillosas y arcillas, de coloración gris rosácea. Aguas abajo se observan taludes verticales cuya conformación litológica correspondiente a una intercalación sedimentaria de arcillas y arenas en estratos delgados de color gris a pardo rojizo, estas laderas generalmente se encuentran encañonadas, cuyos flancos son estables debido a la presencia de vegetación arbustiva de la zona. Sin embargo, podría tornarse inestable debido a la socavación que pudiera producirse en crecidas temporales del torrente efímero, pudiendo ocasionalmente producir represamientos locales.

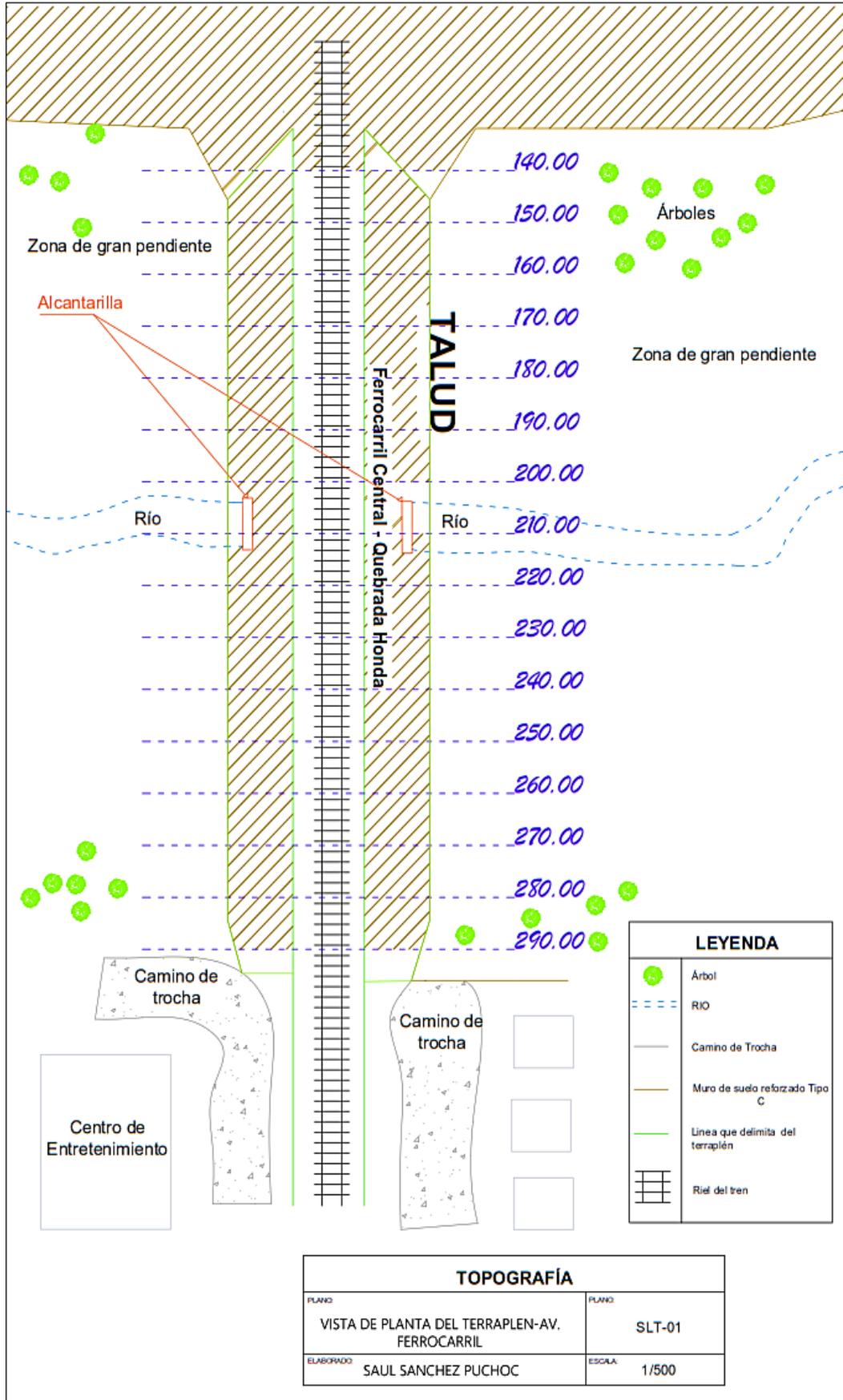
Asímismo, aguas arriba del terraplén se ha observado la presencia de surcos paralelos e irregulares (Cárcavas) en proceso de formación, evidenciando su susceptibilidad de las arcillas frente a estos procesos.

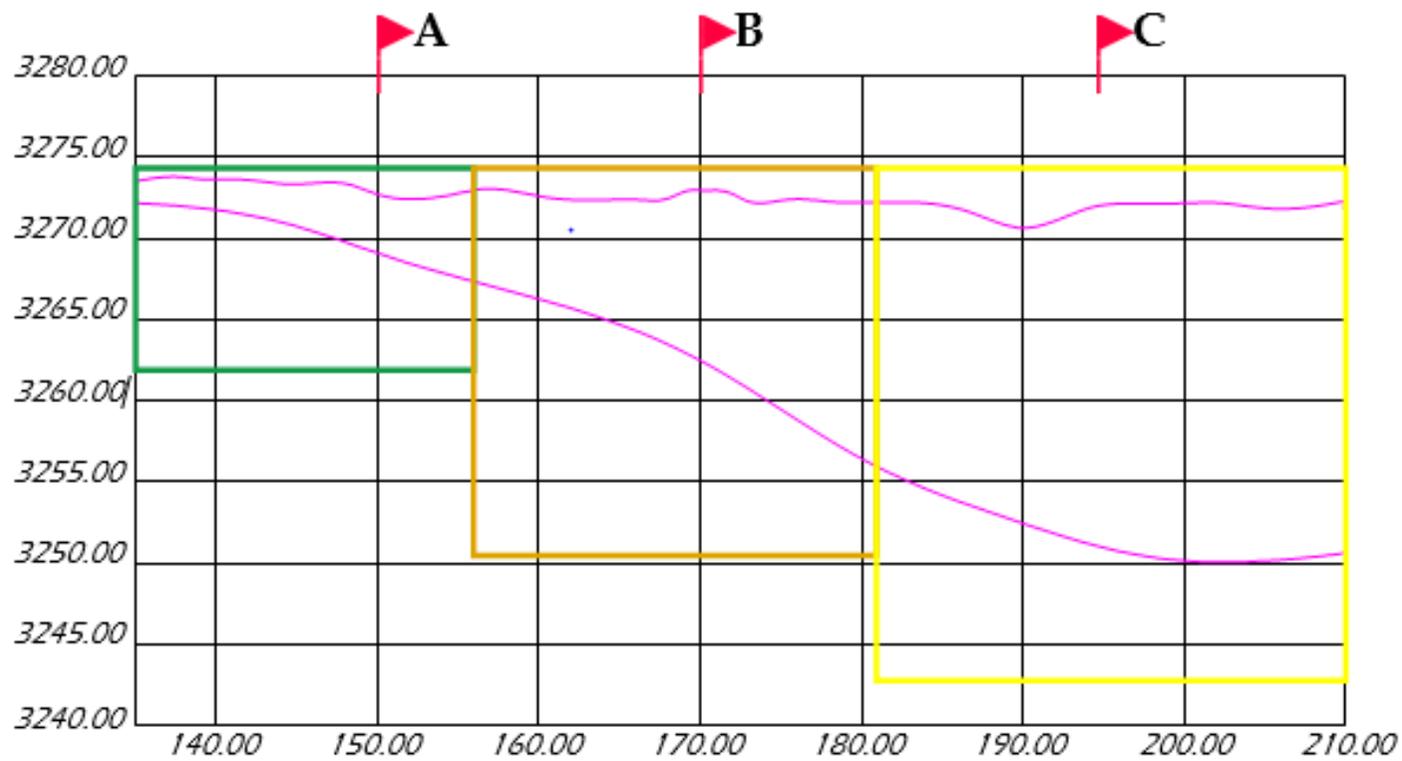
4.1.3. PLANOS

Para un mejor entendimiento del proyecto se presentan planos que describen las características generales del proyecto. Para el diseño de los muros, es necesario conocer la topografía de la zona, pues a partir de éstos se puede pre-dimensionar la geometría de los muros.

El terraplén existente cuenta con una longitud aproximada de unos 150 m, en el cual, el relieve del terreno es uniforme en la parte de la corona; tiene una profundidad máxima de unos 30 metros en la parte central y que va disminuyendo a medida que nos acercamos a los extremos.

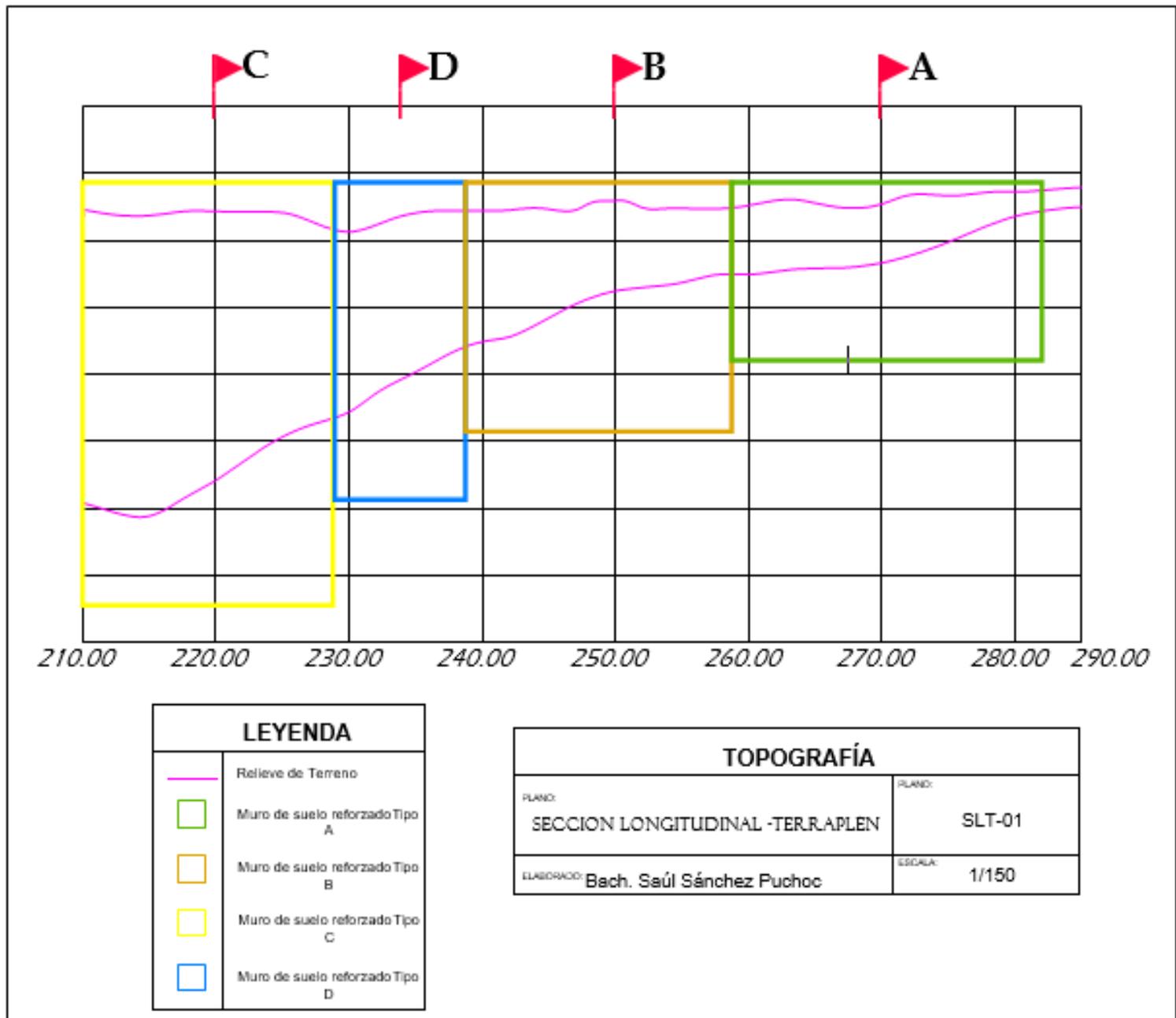
Para una mejor comprensión de los diferentes muros empleados en el diseño, se ha remarcado con cuadros de colores, las longitudes horizontales que abarcan los muros en el terraplén y se le ha identificado con una letra para una mejor observación.





LEYENDA	
	Relieve de Terreno
	Muro de suelo reforzado Tipo A
	Muro de suelo reforzado Tipo B
	Muro de suelo reforzado Tipo C

TOPOGRAFÍA	
PLANO:	PLANO:
SECCIÓN LONGITUDINAL -TERRAPLÉN	SLT-01
ELABORADO:	ESCALA:
Bach. Saúl Sánchez Puchoc	1/150



4.2. INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS

Para la elaboración de la presente tesis, el Consorcio Vial Junín (CVJ) me proporcionó información de los estudios geotécnicos efectuados en dicha zona, del cual se extrajo la siguiente información:

- Calicatas ejecutadas.
- Ensayos de densidad in situ.
- Exploraciones geofísicas.
- Ensayos de laboratorio.

4.2.1. CALICATAS

El consorcio Vial Junín (CVJ) realizó la ejecución de 10 calicatas entre la zona aguas arriba y aguas abajo del terraplén hasta una profundidad de 3.5 m debido a la interferencia de la napa freática y zonas gravosas, de acuerdo a la norma ASTM D – 2488, describiendo el perfil estratigráfico y los tipos de suelos encontrados. El plano con la ubicación de las calicatas se ubica en el Anexo A.

4.2.2. ENSAYOS DE DENSIDAD NATURAL

Con la finalidad de determinar la densidad natural del suelo de fundación el CVJ ejecutó 7 ensayos de densidad de campo por el método del cono de arena y mediante la determinación de la densidad en muestra inalterada.

Tabla 12: Resumen de los ensayos de densidad in situ

Ítem	Ensayo	Profundidad (m)	Densidad Húmeda (g/cm ³)	Densidad Seca (g/cm ³)
1	D-01	1.80	2.103	1.856
2	D-02	3.10	2.098	1.980
3	D-03	0.30	2.074	1.849
4	D-04	0.30	1.853	1.759
5	D-05	0.30	2.004	1.859
6	D-06	0.30	2.104	1.973
7	D-07	0.35	1.897	1.743

4.2.3. EXPLORACIONES GEOFÍSICAS

Para determinar los tipos de suelos que componen el terraplén se empleó el Ensayo MASW, que es un método que estudia la velocidad de ondas provocadas por una fuente para determinar el tipo de suelo.

Tabla 13: Resumen de los ensayos geofísicos MASW-WGS-84

Ensayo	Profundidad (m)	Coordenadas (WGS-84- Zona 17S)		Vs30 (m/s)	T0 (s)	AASHTO 2012	Norma E-030	Descripción
		ESTE	NORTE					
MASW-1	30	473924	8671378	261	0.46	D	S2	Suelo Intermedio
MASW-2	30	473959	8671308	294	0.41	D	S2	Suelo Intermedio
MASW-3	30	473940	8671315	276	0.43	D	S2	Suelo Intermedio
MASW-4	30	473903	8671343	265	0.45	D	S2	Suelo Intermedio
MASW-5	30	473957	8671370	370	0.32	C	S2	Suelo Intermedio

Los reportes de cada ensayo se muestran en el Anexo C.

4.2.4. ENSAYOS DE LABORATORIO

El CVJ realizó los siguientes estudios de mecánica de suelos:

- Análisis granulométrico por tamizado, NTP 339.128 / ASTM D-422
- Límite líquido y límite plástico, NTP 339.129 / ASTM D-4318
- Contenido de humedad, NTP 339. 127 / ASTM D-2216
- Corte directo, ASTM D-3080
- Ensayo triaxial CU, ASTM D-4767

Los ensayos de clasificación muestran que el material que conforman el terraplén, está constituido principalmente por suelos de tipo arenas limo arcillosas con grava (SM-SC), los cuales presentan contenido de finos variables entre 30% a 35%. El contenido de finos se reduce a 20% en la zona cerca de la corona. La plasticidad del material que conforma el terraplén varía entre 5% a 8%. Los suelos ubicados en el lecho del río son predominantemente arenas limosas (SM) y gravas limosas (GW-GM).

Tabla 14: Resumen de los ensayos estándar de clasificación de suelos

Sondeo	Muestra	Prof. (m)	Granulometría (%)			Límites (%)		C.H. (%)	SUCS
			Grava	Arena	Finos	L.L.	I.P.		
C-01	M-1	2.50-2.80	55.20	37.50	7.20	-	NP	8.70	GW-GM
C-03	M-1	0.50-1.50	21.50	42.50	35.90	24	7.00	15.40	SM-SC
C-03	M-2	0.00-0.50	26.60	39.30	34.10	25	8.00	13.10	SC
C-05	M-1	0.00-1.00	28.00	56.00	16.00	-	NP	24.50	SM
C-06	M-1	2.10-2.30	22.00	58.80	19.10	-	NP	24.50	SM
C-06	M-2	2.30-2.50	31.30	55.70	13.00	-	NP	13.50	SM
MT-04	M-2	0.00-0.30	53.30	27.80	19.90	22	6.00	4.70	GM-GC
MT-05	M-1	0.00-0.30	32.30	34.10	33.50	21	5.00	7.80	SM-SC
MT-07	M-1	0.00-0.35	19.80	45.00	35.20	22	4.00	11.10	SM-SC

Tabla 15: Resumen de los ensayos estándar de Clasificación de Suelos

Registro	Material	Lado	Granulometría (%)			Límites (%)		C.H. (%)	SUCS
			Grava	Arena	Finos	L.L.	I.P.		
CVJ-LAB-001	TERRAPLEN	MARGEN DERECHO-LADO SUPERIOR	45.1	38.1	18	19.8	3.0	-	GM
CVJ-LAB-005	TERRAPLEN	MARGEN DERECHO-LADO INFERIOR	44.6	50.2	5.2	18.6	2.1	-	SP-SM
CVJ-LAB-001	TERRAPLEN	MARGEN IZQUIERDO-LADO SUPERIOR	42.2	38.1	19.7	19.3	3.9	2.60	GM
CVJ-LAB-002	TERRAPLEN	MARGEN IZQUIERDO-LADO CENTRO	50.6	33.5	15.9	22.4	4.0	-	GM
CVJ-LAB-003	TERRAPLEN	MARGEN IZQUIERDO-LADO INFERIOR	36.8	39.4	23.8	20.3	7.5	-	SC

Los ensayos de corte directo realizados muestran que el material de terraplén presenta un ángulo de fricción efectivo entre 30° a 32°. Resultados que son consistentes con el tipo de material identificado en campo.

Tabla 16: Resumen de los ensayos de corte directo

Calicata	Muestra	Prof. (m)	Clasificación	Densidad Seca	Cohesión	Ángulo de Fricción (°)
			SUCS	(g/cm ³)	c(kPa)	
C-03	M-2	0.00-1.50	SM-SC	1.849	0	31.9
MT-05	M-1	0.00-0.30	SM-SC	1.985	9.2	29.9
MT-07	M-2	0.00-0.35	SM-SC	1.995	1.7	31.8
MT-04	M-3	0.00-0.30	GM-GC	1.864	4.3	27.4

El CVJ realizó los ensayos químicos en el laboratorio de la Universidad Agraria La Molina, los resultados se muestran a continuación.

Tabla 17: Resumen de los ensayos químicos

Sondeo	Muestra	SO4 (ppm)	Cl (ppm)	SST (ppm)
MT-4	M-1	1.80	48.79	210.60
MT-7	M-1	77.43	51.66	459.30

Los resultados muestran niveles de contenidos de sales totales, cloruros y sulfatos que no resultan agresivos para el concreto.

El CVJ realizó también ensayos de proctor modificado y ensayos de pesos específicos y absorción sobre muestras obtenidas en distintos puntos del terraplén, los resultados se presentan en las tablas siguientes:

Tabla 18: Resumen de los ensayos de proctor modificado

Registro	Material	Lado	Clasificación SUCS	Densidad Húmeda (g/cm ³)	Densidad Seca (g/cm ³)	Óptimo contenido de humedad (%)
CVJ-LAB-001	Terraplén	Margen derecho-lado superior	GM	2.037	1.875	6.6
CVJ-LAB-005	Terraplén	Margen derecho-lado inferior	SP-SM	2.124	1.976	6.8
CVJ-LAB-001	Terraplén	Margen izquierdo-lado superior	GM	2.063	1.867	6.1
CVJ-LAB-002	Terraplén	Margen izquierdo-lado centro	GM	1.992	1.798	6.2
CVJ-LAB-003	Terraplén	Margen izquierdo-lado inferior	SC	2.313	2.128	8.7

Tabla 19: Resumen de los ensayos de gravedad específica y absorción

Registro	Material	Lado	Clasificación SUCS	Agregado	P.E	% De Absorción
CVJ-LAB-001	Terraplén	Margen derecho-lado superior	GM	Fino	2.623	1.03
				Grueso	2.606	0.765
CVJ-LAB-005	Terraplén	Margen derecho-lado inferior	SP-SM	Fino	2.598	1.61
				Grueso	2.581	1.58
CVJ-LAB-001	Terraplén	Margen izquierdo-lado superior	GM	Fino	2.620	0.99
				Grueso	2.607	0.75
CVJ-LAB-002	Terraplén	Margen derecho-lado centro	GM	Fino	2.631	1.21
				Grueso	2.620	1.07
CVJ-LAB-003	Terraplén	Margen izquierdo-lado inferior	SC	Fino	2.620	1.39
				Grueso	2.611	1.07

Los reportes de cada uno de estos ensayos se ubican en el Anexo D.

4.3. DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA

En este capítulo se describe las características de los suelos sobre los cuales se construirán las estructuras proyectadas.

4.3.1. DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA

El terraplén existente tiene una longitud aproximada de 150 m, y una altura de 30 m aproximadamente (en la parte central), está conformado por rellenos procedentes de las terrazas laterales.

El relleno está conformado predominantemente con suelos SM-SC (Arenas limosas y arcillosas) y GM-GC según el sistema de clasificación SUCS, con finos entre variables 30 a 35%, con índice de plasticidad entre 4 a 8%. Sobre los 10 m. superiores los finos disminuyen a un 20%. Los ensayos de corte directo indican un ángulo de fricción de 32° para este tipo de material. El terreno natural fue investigado mediante ensayos geofísicos hasta una profundidad de 15 m. obteniéndose velocidades de ondas de corte Vs que varían entre 280 a 330m/s, correspondiendo a suelos rígidos (según ASCE 2010). Debido a la presencia de nivel freático superficial no fue posible realizar investigaciones directas en el terreno natural. El tipo de suelo predominante corresponde a gravas limosas (GW-GM) y arenas limosas (SM). Para este material se estima un ángulo de fricción de 33°.

4.3.2. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

El siguiente cuadro muestra los parámetros geotécnicos de resistencia la corte y módulo elástico utilizado en el análisis de deformación, los certificados se encuentran en la sección anexos.

Tabla 20: Resumen de parámetros de resistencia y deformación

Estación	SUCS	Prof. (m)	γ (kN/m ³)	Cohesión c (kN/m ²)	Ángulo de Fricción (°)	Módulo de Elasticidad Es (kg/cm ²)	ν
Terraplén Corona	GM-GC	0.00-10.00	19.890	9.70	32.00	150.00	0.30
Terraplén Cuerpo	SM-SC	10.00-30.00	19.750	4.20	32.00	250.00	0.30
Terreno Natural	GW-SM/SM	0.00-15.00	20.040	1.30	33.00	250.00	0.30

4.3.3. SISMICIDAD

A continuación, se presenta un resumen de los parámetros sísmicos del terreno de acuerdo a la norma **E- 030**.

Tabla 21: Resumen de parámetros sísmicos

Ítems	Valores	
Factor de zona	Z =	0.35 g
Perfil de suelo	Tipo =	S2
Períodos	TPs=0.6	TLs=0,2
Factor de amplificación del	S =	1.2

4.4. ANÁLISIS Y DISEÑO DEL MURO DE SUELO REFORZADO TIPO C

Debido a las características del proyecto, a la geometría que presenta y lo más importante, a la similitud de sus propiedades geo-mecánicas en ambos lados del terraplén, sólo se diseñará uno de los muros, pues se asumirá uno de similares características para su contraparte.

Para el diseño y análisis, se tomará como referencia al muro de suelo reforzado Tipo C (ver plano), pues, es el muro con mayor altura y por ende el más crítico. El talud a diseñar tiene una longitud aproximada de unos 46m, una altura de 27.84m y se ubica en la parte central del terraplén.

Paso 1: Establecer la geometría, cargas y factores de seguridad para el diseño.

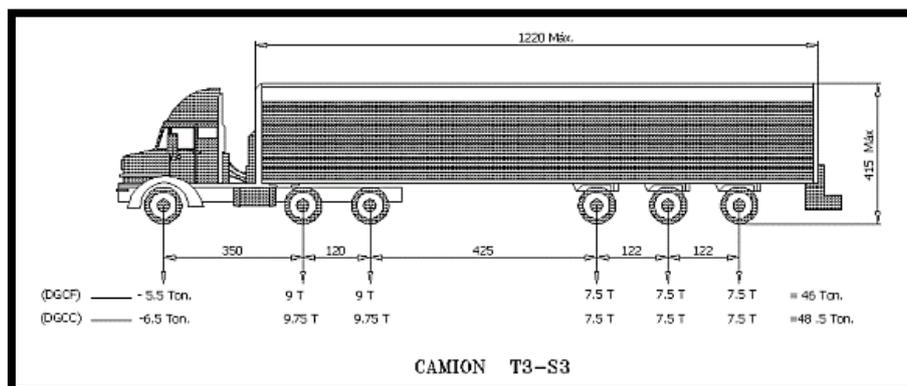
Descripción del Talud:

- Altura del Talud, $H = 27.84m$
- Ángulo de inclinación del talud, $\theta = 70^\circ$
- Sobrecarga en la cresta del talud, $q = 15kN/m^2$
- Carga puntual, $P = 150 kN/m^2$

CÁLCULO DE LA SOBRECARGA

Para la estimación de la carga distribuida en la corona del terraplén se ha empleado el camión de diseño T3 - S3 que poseen un peso de 48.0 ton (Reglamento Nacional de Vehículos) ver figura 40.

Figura 40: Modelos de carga T3-S3 utilizados en el proyecto de puentes



- Cálculo del área de influencia del camión T3 - S3

Según el artículo 3.6.1.2.6. AASHTO LRFD – Área de influencia de la rueda, ver figura 41.

Área de influencia longitudinal

$$L_L = L_T + \beta \cdot H_r$$

L_T : Longitud del neumático

β : Factor para distribución de carga, $\beta = 1.15$

H_r : Profundidad de relleno

$$L_L = 0.65 + 1.15 \cdot 0.85 \approx 1.63 \text{ m}$$

Área de influencia transversal

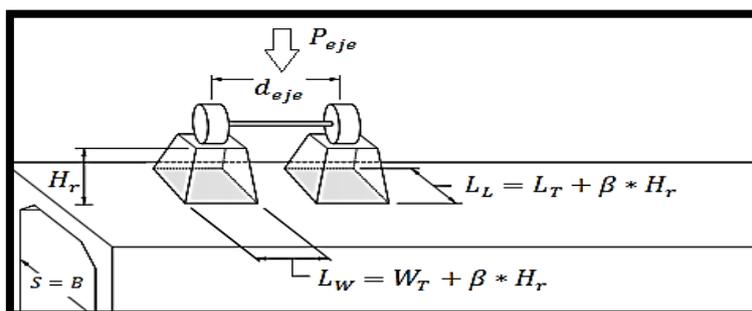
$$L_W = W_T + \beta \cdot H_r$$

W_T : Ancho de neumático

$$L_W = W_T + \beta \cdot H_r$$

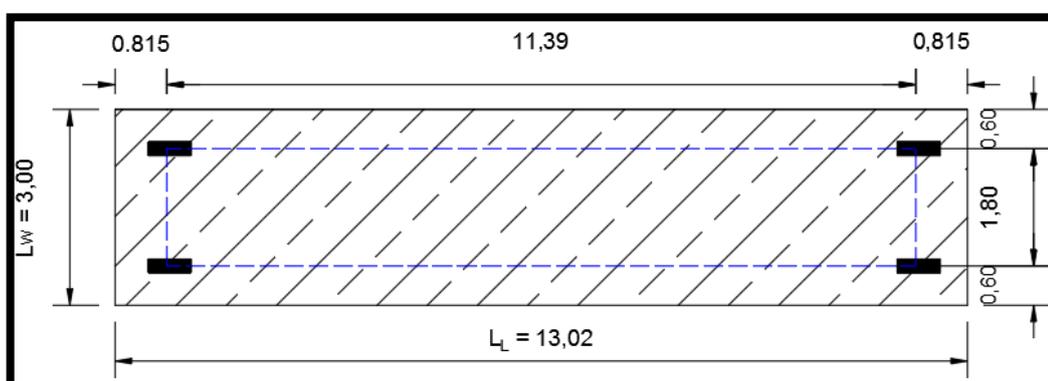
$$L_W = 0.215 + 1.15 \cdot 0.85 \approx 1.20 \text{ m}$$

Figura 41: Área de influencia de la rueda



Fuente: AASHTO LRFD artículo 3.6.1.2.6

Figura 42 Diagrama del área de influencia del camión



Fuente: Propia

- Cálculo de la sobrecarga en la cresta del talud:

$$\text{Sobrecarga} = \frac{\text{Peso del camión de diseño}}{\text{Área de influencia}}$$

$$\text{Sobrecarga} = \frac{48 \text{ ton}}{13,02 \text{ m} * 3 \text{ m}} = 1,23 \text{ ton/m}^2$$

Factor de amplificación por carga dinámica:

Se considera un incremento del 25% en la sobrecarga, si los esfuerzos son originados por más de tres ejes (Fuente: Ignacio Enrique Hernández, 2010).

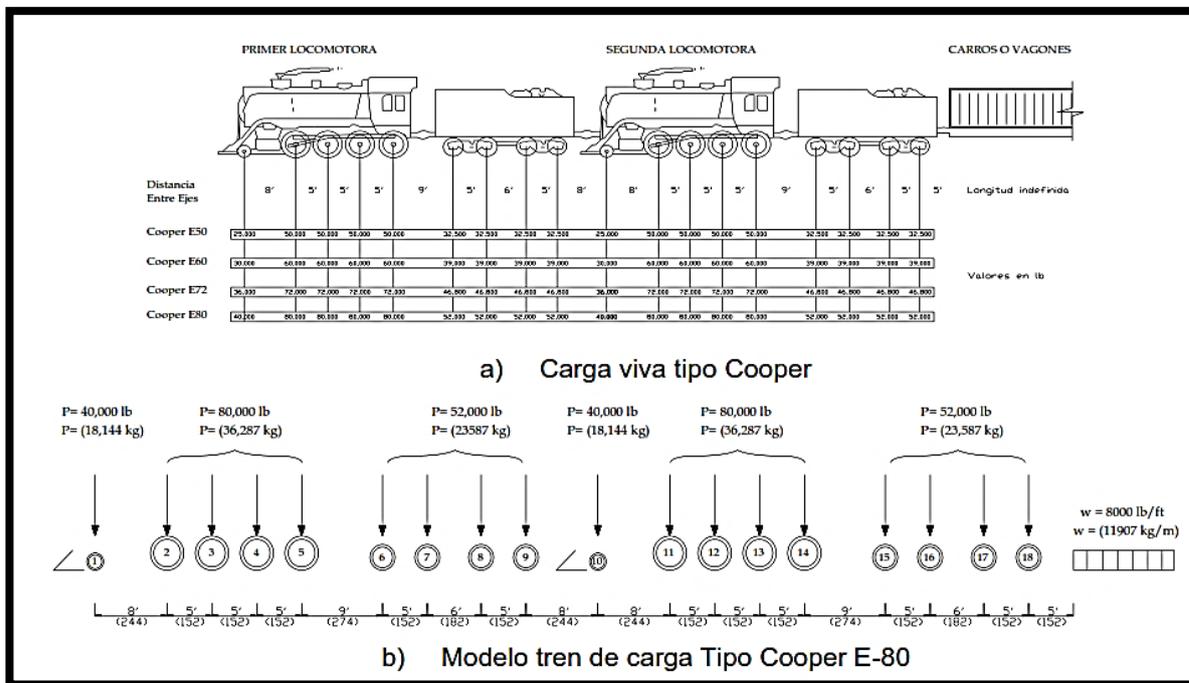
Sobrecarga de diseño = sobrecarga * factor de amplificación

$$\text{Sobrecarga de diseño} = 1,23 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} * 1,25 = 1,53 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \approx \frac{15 \text{KN}}{\text{m}^2}$$

CÁLCULO DE LA CARGA PUNTUAL (RIEL)

Para calcular la carga puntual se ha empleado el modelo de carga Tipo Cooper E-80 de la norma AREMA, ver figura 43.

Figura 43 Modelo de carga viva según la norma AREMA



Fuente: AREMA

El tren de carga Cooper E – 80 origina una carga de $W = 8000 \frac{lb}{ft} = 116.75 \frac{kN}{m}$

Para tomar en cuenta los efectos dinámicos inherentes a las cargas móviles la normativa AREMA propone un factor de impacto, que básicamente es un factor de amplificación que incrementa los efectos de las cargas estáticas, la carga de impacto es considerada como un porcentaje de la carga viva.

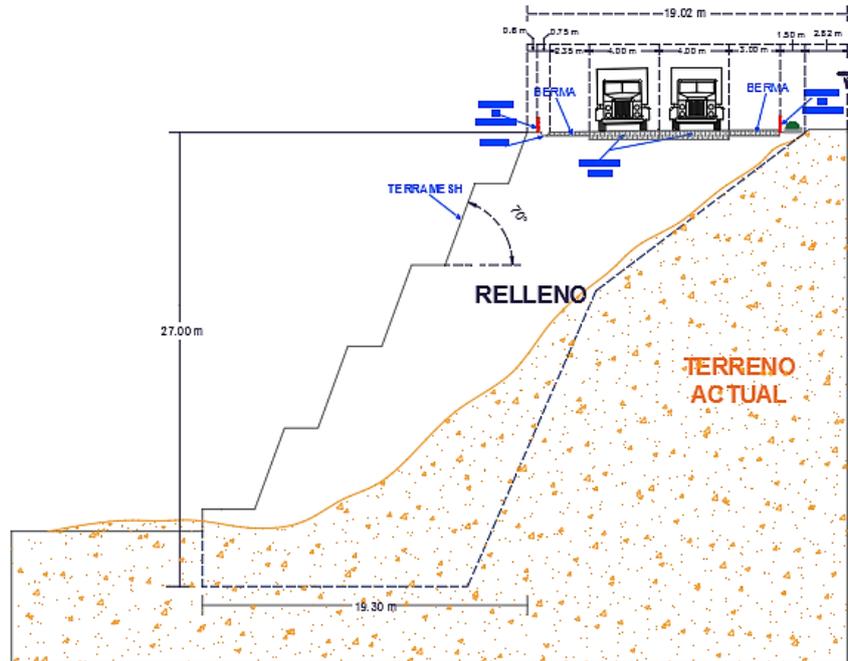
Para un diseño conservador se utiliza un factor de impacto (I) igual al 30% de la carga viva, el cual es el valor máximo indicado por la normativa AREMA.

- Cálculo de la carga puntual (P)

$$P = W + I = W + 30\%W$$

$$P = 116.75 \frac{kN}{m} + 30\% * 116.75 \frac{kN}{m} \approx 150 \frac{kN}{m}$$

Figura 44: Muro de suelo reforzado Tipo C, sin reforzar.

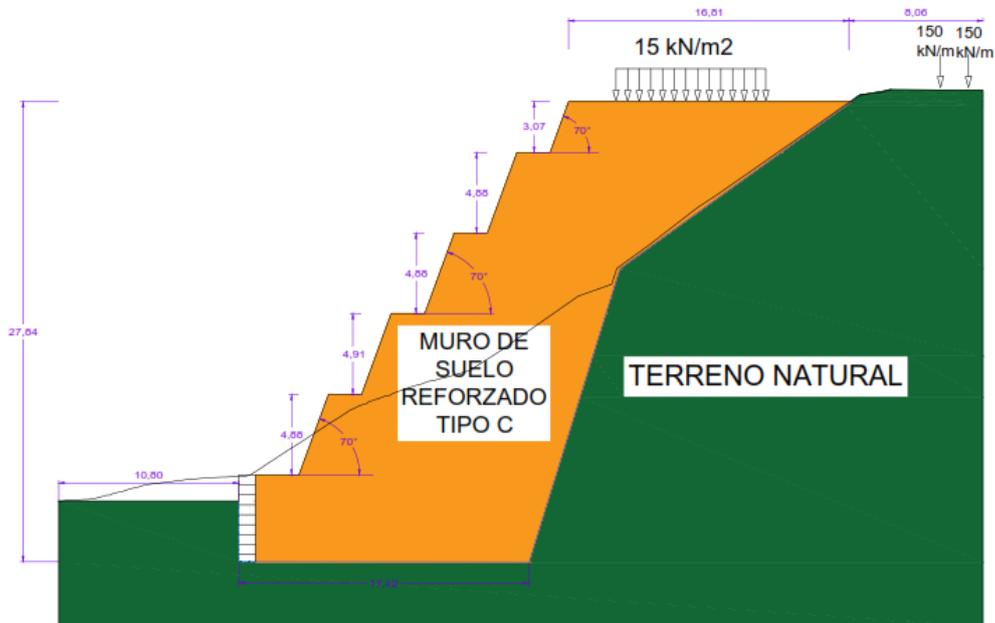


Fuente: Propia

En la figura 44 se muestra el muro de suelo reforzado tipo C a ambos lados del terraplén, además se observa las pendientes de cada muro que son de 70°, la altura de las mismas que son de 27.00 m y el ancho de la corona del terramesh que es de 19.00 m medido desde el eje del riel hasta el borde del acantilado del terramesh.

En la figura 45, se muestra la idealización de las principales cargas en el diseño del muro de suelo reforzado, la sobrecarga vehicular y la carga del tren.

Figura 45: Idealización de las cargas de diseño.



Factores de seguridad

La norma peruana CE.020 “Estabilización de suelos y taludes”, recomienda que el factor de seguridad externa para taludes debe de ser de $FS_{EXTERNA} \geq 2.00$, para el deslizamiento de $FS_{DESLIZAMIENTO} \geq 1.5$, y para el análisis dinámico de $FS_{SISMO} \geq 1.2$ para taludes sin refuerzo (**Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Estabilización de Suelos y Taludes CE.020, 2012**).

Para el diseño se ha tomado como factor de seguridad externa $FS_{EXTERNA} \geq 1.50$, esto debido a que los taludes con refuerzos geosintéticos tienen mayor estabilidad, la estructura se comporta como un macizo de suelo análogo a un muro de concreto. Para el análisis dinámico se ha tomado un $FS_{SISMO} \geq 1.1$ basándonos en el mismo principio.

Se debe aclarar que estos criterios de diseño son recomendados por la Administración Federal de Autopistas del Departamento de Transportes de EE.UU. en su Publicación No. FHWA-NHI-00-043.

Estabilidad Externa

- Deslizamiento: $FS \geq 1.5$
- Estabilidad General: $FS \geq 1.5$
- Sismo: $FS \geq 1.1$

Estabilidad Interna

$$FS \geq 1.5$$

Paso 2: Determinar las propiedades mecánicas del suelo de fundación, del suelo retenido y similares.

Del Estudio de Mecánica de Suelos.

Terreno Natural

Propiedades de ingeniería

$$\text{Cohesión (c) [kN/m}^2\text{]} : 10.00$$

$$\text{Ángulo de fricción } (\phi)\text{[}^\circ\text{]} : 33.00$$

$$\text{Peso unitario – natural } (\gamma_d) \text{ [kN/m}^3\text{]} : 18.00$$

$$\text{Peso unitario – saturado } (\gamma_w)\text{[kN/m}^3\text{]} : 20.00$$

De la empresa fabricante:

Gavión -TM

- Propiedades de Ingeniería

$$\text{Cohesión (c) [kN/m}^2\text{]} : 30.00$$

$$\text{Ángulo de Fricción } (\phi) \text{ [}^\circ\text{]} : 34.00$$

$$\text{Peso unitario – Natural } (\gamma_d) \text{ [kN/m}^3\text{]} : 20.00$$

$$\text{Peso unitario – Saturado } (\gamma_w)\text{[kN/m}^3\text{]} : 22.00$$

Paso 3: Determinar las propiedades del material de relleno en el refuerzo.

Relleno Estructural

- Propiedades de ingeniería

$$\text{Cohesión (c) [kN/m}^2\text{]} : 10.00$$

$$\text{Ángulo de fricción } (\phi)\text{[}^\circ\text{]} : 32.00$$

$$\text{Peso unitario – natural } (\gamma_d) \text{ [kN/m}^3\text{]} : 18.00$$

$$\text{Peso unitario – saturado } (\gamma_w)\text{[kN/m}^3\text{]} : 18.00$$

Índice de Plasticidad

- Propiedades de ingeniería

Límite Líquido (L.L) [%] : 20.00

Índice de plasticidad (I.P) [%] : 04.00

Composición Química

- Propiedades Químicas

Sulfatos [ppm] : 77.43

Cloruros [ppm] : 51.66

Sales [ppm] : 459.30

Alcalinidad o acidez H₂O [pH] : 03.00

Paso 4: Evaluación de los parámetros de diseño del refuerzo.

Terramesh® Green

Para calcular la resistencia a la tracción a largo plazo para el estado límite del Terramesh® Green se empleó la siguiente fórmula:

$$T_a = \frac{T_{ULT}}{RF \cdot FS}$$

Donde:

T_a = Resistencia a la tracción del refuerzo a largo plazo para el estado límite, considerando todas las pérdidas de resistencia dependientes del tiempo durante el periodo de vida del diseño.

T_{ULT} = Resistencia última a la tracción del refuerzo, generalmente este valor es otorgado por la empresa fabricante.

FS = Para muros de suelo reforzado con una inclinación menor a 70°, $FS = 1$.

RF = Representa el producto de los factores de reducción RF_{CR} , RF_{ID} y RF_D .

- Propiedades del Terramesh® Green

$T_{ULT} = 43.00 \text{ kN/m}$

$RF_{CR} = 01.00$ (Factor de reducción por el fenómeno de la fluencia o creep)

$RF_{ID} = 01.30$ (Factor de reducción por daños en la instalación)

$RF_D = 01.00$ (Factor de reducción por degradación química y biológica)

Entonces el diseño a largo plazo para el refuerzo para el estado límite es:

$$T_a = \frac{43.00}{1 \times 1.3 \times 1} = 33.1 \text{ kN/m}$$

Para una mejor compactación del relleno del suelo y como una forma de adicionar resistencia a la tracción en las zonas internas del muro, se empleará un geo-sintético llamado Paragrid®, un geo-sintético compuesto de núcleos de poliéster de alta tenacidad con revestimiento de polietileno que la hace resistente a las condiciones físicas, químicas y biológicas que se encuentren en la estructura reforzada.

Paragrid® - 80

$$T_{ULT} = 80.00 \text{ kN/m}$$

$$RF_{CR} = 01.67$$

$$RF_{ID} = 01.54$$

$$RF_D = 01.00$$

Entonces, el diseño a largo plazo para el refuerzo para el estado límite es:

$$T_a = \frac{80.00}{1.67 \times 1.54 \times 1} = 31.13 \text{ kN/m}$$

En la figura 46 se muestra el Paragrid® - 80, un geotextil compuesto por tiras entrelazadas entre sí. Son las geomallas más conocidas y probadas en el mundo ofreciendo 120 años de vida de diseño y alto rendimiento.

Figura 46: Paragrid® - 80



Fuente: Case History - Maccaferri

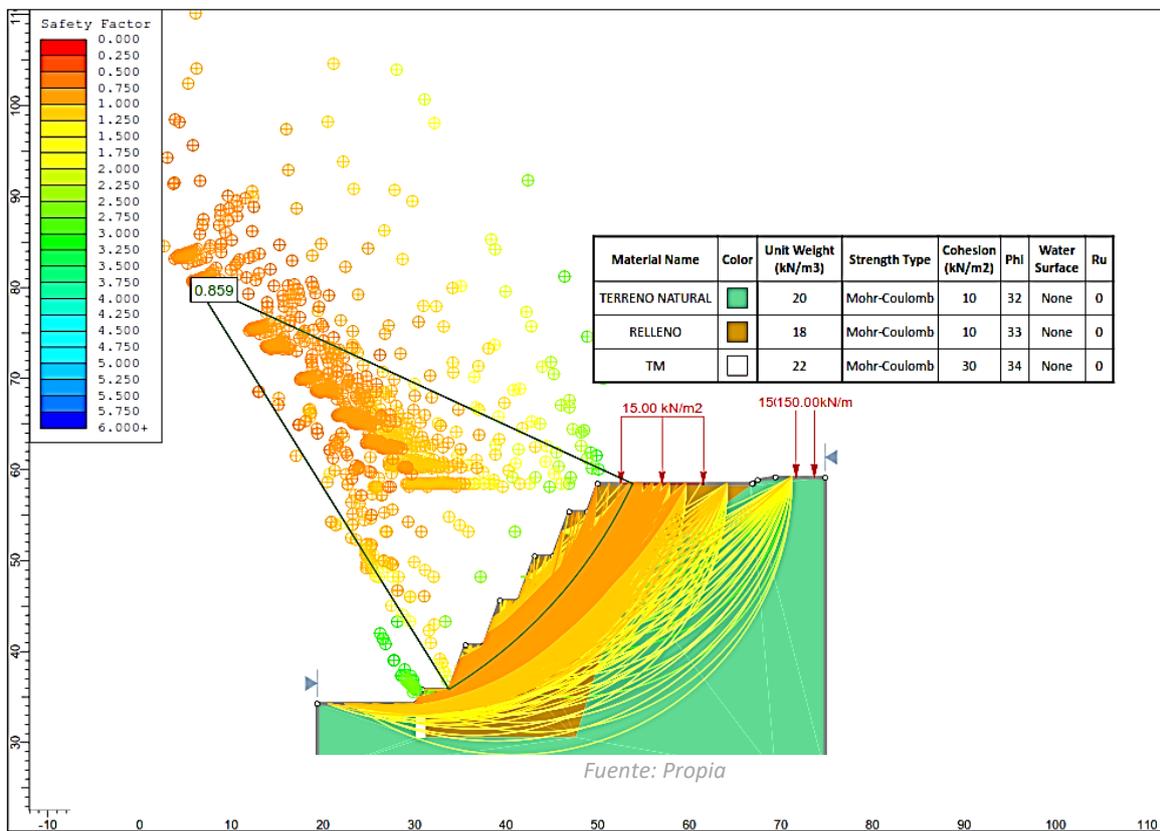
Se debe aclarar que el Terramesh® Green es el sistema que proporciona resistencia a la tracción en la parte frontal del muro, y el ParaGrid® será el refuerzo que otorgue resistencia a la tracción en la parte interior del muro como se verá más adelante en los planos.

Paso 5: Comprobar la estabilidad del talud sin refuerzo.

Analizar la estabilidad del talud

Para el análisis de la estabilidad del talud propuesto sin reforzar se hizo uso del software SLIDE V.6 – ROCSCIENCE.

Figura 47: Análisis de estabilidad del muro de suelo reforzado Tipo C, por medio de SLIDE V.6.



En la figura 47, se observa el análisis de estabilidad del muro sin reforzar por el software SLIDE V.6, el cual da un factor de seguridad de $F.S = 0.859$, lo cual nos dice que es un talud inestable, pues el momento resistente es bastante menor que el momento que inducen la falla, por ende, es proclive a fallar estructuralmente como cualquiera de los tipos

de fallas mostrados anteriormente. Por ende, es necesario reforzarlo, para que adquiere la estabilidad necesaria y no falle.

A continuación, se muestra la hoja de cálculo, por el método de Bishop simplificado empleado por el programa SLIDE.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 0.859185

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	2.00456	74.42	RELLENO	10	33	26.6166	22.8686	19.816	0	19.816
2	2.00456	104.184	RELLENO	10	33	33.0108	28.3624	28.2757	0	28.2757
3	2.00456	166.897	RELLENO	10	33	46.6313	40.0649	46.2959	0	46.2959
4	2.00456	169.744	RELLENO	10	33	45.4964	39.0898	44.7942	0	44.7942
5	2.00456	230.855	RELLENO	10	33	56.8724	48.8639	59.845	0	59.845
6	2.00456	211.239	RELLENO	10	33	50.1563	43.0935	50.9596	0	50.9596
7	2.00456	263.13	RELLENO	10	33	57.6705	49.5496	60.9009	0	60.9009
8	2.00456	219.342	RELLENO	10	33	46.0243	39.5434	45.4929	0	45.4929
9	2.00456	197.869	RELLENO	10	33	38.8795	33.4047	36.04	0	36.04
10	2.00456	70.0137	RELLENO	10	33	18.465	15.8649	9.0311	0	9.0311

Method: bishop simplified

FS: 0.859185

Center: 5.997, 80.680

Radius: 52.781

Left Slip Surface Endpoint: 33.809, 35.820

Right Slip Surface Endpoint: 53.854, 58.418

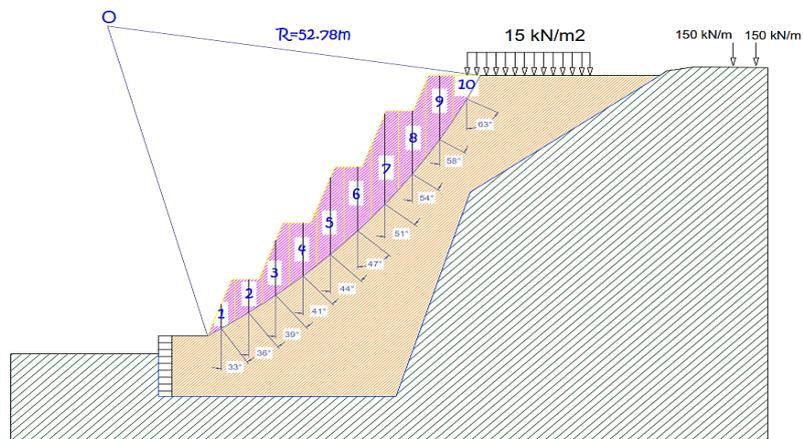
Resisting Moment=57286.2 kN-m

Driving Moment=66675.1 kN-m

Verificación manual del factor de seguridad mínimo.

Es necesario hacer una verificación manual, para estar seguros de que el programa proporciona valores reales, para ello, nos valemos del programa AutoCAD 2018, para facilitarnos el cálculo de áreas y de un programa con hoja de cálculo.

Figura 48: Análisis de estabilidad del muro tipo C, por el método de las dovelas de Bishop simplificado



Fuente: Propia

En la figura 48 se muestra el análisis manual empleando el método de Bishop Simplificado para el análisis de estabilidad, se han tomado 10 dovelas de 2m de ancho al igual que en el programa para verificar la estabilidad del talud.

1	2	3	4	5	6=4*5	7	8=SEN(7)	9=COS(7)	10=6*8	11=9+TAN ϕ * 8/FS	12	13
Dovela	Ancho	bn	Área	Peso Espec.	W (dovela)	α	SEN α	COS α	W sen α	m α	$(cb + (w - ub)tan\phi)$	$(cb + (w - ub)tan\phi) \frac{1}{m_\alpha}$
1	1	2.00	4.1299	18	74.3382	33	0.54	0.84	40.49	1.25	68.28	54.69
2	1	2.00	5.7965	18	104.337	36	0.59	0.81	61.33	1.25	87.76	70.14
3	1	2.00	9.2222	18	165.9996	39	0.63	0.78	104.47	1.25	127.80	102.20
4	1	2.00	9.4155	18	169.479	41	0.66	0.75	111.19	1.25	130.06	104.20
5	1	2.00	12.7441	18	229.3938	44	0.69	0.72	159.35	1.24	168.97	136.06
6	1	2.00	11.6941	18	210.4938	47	0.73	0.68	153.95	1.23	156.70	127.17
7	1	2.00	14.5419	18	261.7542	51	0.78	0.63	203.42	1.21	189.99	156.51
8	1	2.00	12.1218	18	218.1924	54	0.81	0.59	176.52	1.20	161.70	135.16
9	1	2.00	11.0329	18	198.5922	58	0.85	0.53	168.42	1.17	148.97	127.56
10	1	2.00	4.0103	18	72.1854	63	0.89	0.45	64.32	1.12	66.88	59.49
									$\sum_{1}^{10} W \text{sen } \alpha = 1243.44$		$\sum_{1}^{10} (cb + (w - ub)tan\phi) \frac{1}{m_\alpha} = 1073.16$	

F.S.asum=	0.863
c=	10 kN/m2
ϕ =	33°
Tan ϕ =	0.65
Radio =	52.78m

F. S. =	0.863	(13/10)
Momento resistente=	56641.55	kN-m
Momento de volteo=	65628.88	kN-m

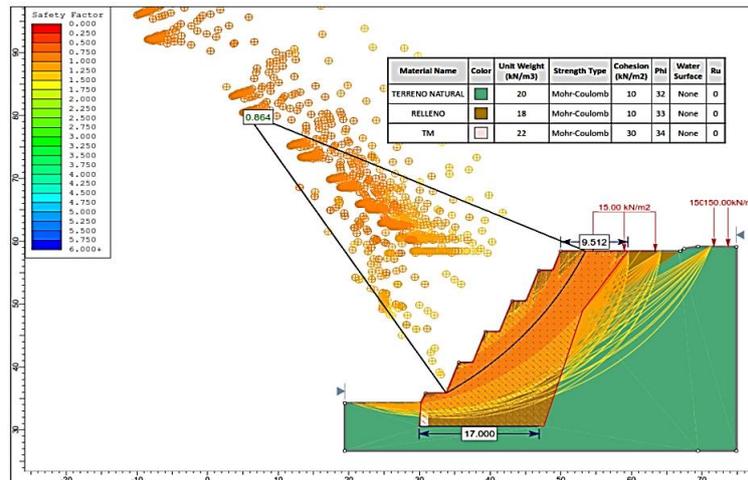
Del análisis realizado:

El análisis de estabilidad realizado por el software SLIDE V.6 se obtuvo un factor de seguridad F.S.=0.859 y del análisis manual se obtuvo F.S.= 0.863, por lo que se puede decir que el programa realiza cálculos bastante coherentes.

Determinar el tamaño de la zona crítica a reforzar: $FS_u \leq FS_R$

Dibujar todas las superficies de falla donde se cumpla que, el factor de seguridad para el suelo sin reforzar FS_u sea menor o igual al factor de seguridad requerido FS_R . Para nuestro diseño se asume que $FS_R = 1.5$.

Figura 49: Zona crítica a reforzar en el muro, delimitada por el polígono con líneas punteadas.



Fuente: Propia

En la figura 49, la zona de color representa a todas las superficies de falla que tienen un factor de seguridad menor a 1.5 que necesitan ser reforzadas, las zonas de color a todas las superficies de falla con factores de seguridad mayor a 1.5 y que no necesitan refuerzo.

Del análisis se observa, la influencia que tiene el gavión –TM ubicado al pie del muro en la estabilidad de los niveles inferiores, pues evita el deslizamiento que puede producirse por el peso del muro.

Paso 6: Diseño del refuerzo para proporcionar un talud estable.

Calcule la tensión del refuerzo total por unidad de ancho del talud T_s necesario para obtener el factor de seguridad FS_R requerido para cada superficie de falla potencial dentro de la zona crítica descrita en el paso 5, que se extiende a través o por debajo del pie del talud.

Datos:

$FS_R = 1.5$ (Es el factor de seguridad que se quiere para el muro de suelo reforzado).

$FS_u = 0.863$ (Es el factor de seguridad obtenido del muro sin refuerzo).

$M_D = 66675.1$ kN-m (Momento que induce la falla en el muro).

$D = 52.78$ m (El radio de la superficie crítica de falla).

T_{S-MAX} = Representa la fuerza de tracción necesaria que deben de aportar los refuerzos para obtener un factor de seguridad de 1.5.

Los refuerzos que intersectan a las superficies de falla incrementan la resistencia a la tracción en esa zona.

$$T_{S-MAX} = (FS_R - FS_u) \frac{M_D}{D} = (1.5 - 0.864) \frac{66675.1 \text{ kN-m}}{52.78 \text{ m}}$$

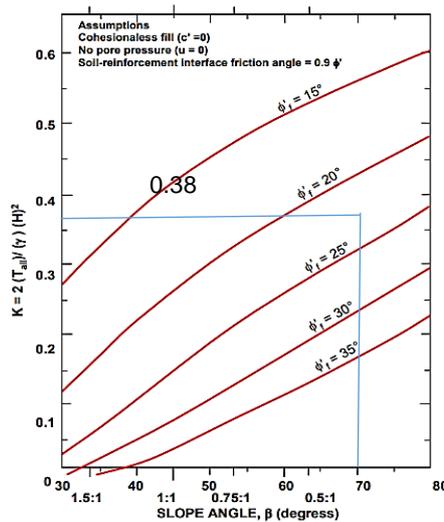
$$T_{S-MAX} = 804.7 \text{ kN}$$

Calcular la máxima tensión T_{S-MAX} de la Figura 49, y compararlo con el T_{S-MAX} obtenido en el paso "a".

En este paso se calcula el T_{S-MAX} a partir de los cuadros que se muestran líneas abajo. El valor resultante se compara con el valor obtenido en el paso a. Y se elige el valor mayor para emplearlo en el diseño.

Obtener K

$$\varphi_f = \tan^{-1} \left(\frac{\tan 33}{1.5} \right) = 23.41$$



$K = 0.38$

$$\text{Determinar: } T_{S-MAX} = \frac{1}{2} K \gamma_r (H')^2$$

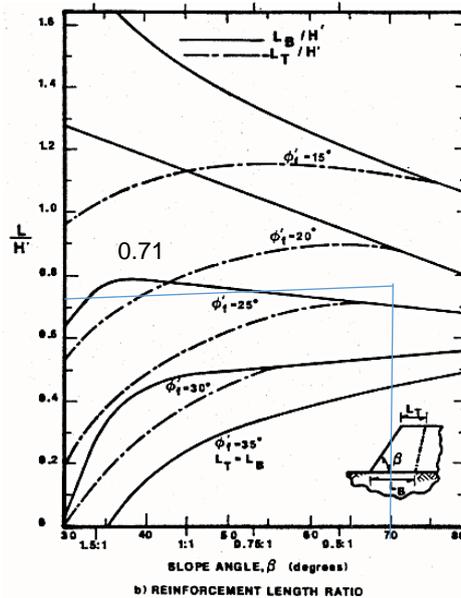
$$H' = H + q/\gamma_r$$

$$H' = 27.84m + \frac{15 \text{ kN/m}^2}{18 \text{ kN/m}^3} = 28.67m$$

$$T_{S-MAX} = \frac{1}{2} * 0.38 * 18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} * (28.67m)^2 * 1m = 821.97 \text{ kN}$$

Los T_{S-MAX} , se compara y se infiere que el obtenido por el cuadro es mayor al, calculado por medio del análisis por lo tanto se usará el T_{S-MAX} calculado del cuadro para diseñar el refuerzo del muro.

Determinar la longitud de refuerzo en la parte superior L_T y en la parte inferior L_B .



Del cuadro se obtiene que la relación L/H es igual a 0.71 tanto para el refuerzo superior como inferior, esto es debido a la inclinación del talud (70°) que según el cuadro, lo interpreta como si se tratase de un muro con la cara a 90° con respecto a la horizontal. Por lo que, las longitudes de refuerzo tanto superior como inferior obtenidos por medio de este cuadro se deben de contrastar con las longitudes de refuerzo delimitadas en el paso b.

Según el cuadro:

$$L_B = 0.71 * 28.67m = 20.35 \approx 20m.$$

$$L_T = 0.71 * 28.67m = 20.35m \approx 20m.$$

Las longitudes de los refuerzos obtenidos mediante el cuadro anterior, son bastante conservadores, pues como se muestra en el paso b, cuando se delimitó la zona a reforzar, se calculó que la longitud del refuerzo en la parte superior es alrededor de unos 9.5m y en la parte inferior de 17.00m sin contar la longitud de empotramiento L_e .

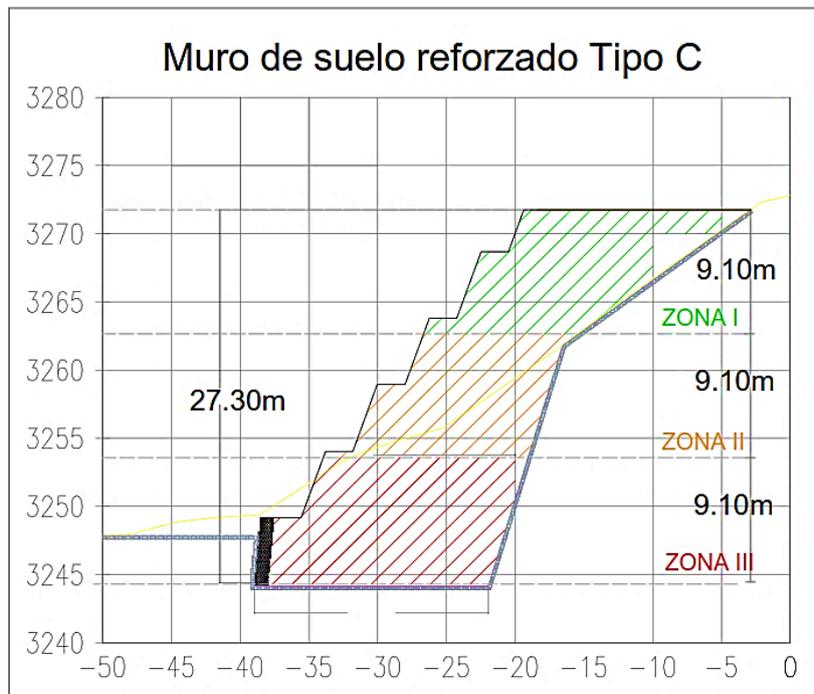
En consecuencia, los valores obtenidos para L_B y L_T en este proyecto, se deben tomar como una referencia, de la longitud de los refuerzos en la parte inferior y superior respectivamente para hacer un análisis preliminar.

Determinar la distribución del refuerzo

Para determinar la distribución vertical del refuerzo S_V , es conveniente que en la parte inferior del muro, los refuerzos tengan un menor espaciamiento que en la parte superior, esto debido a que en la parte inferior la presión que ejerce el suelo sobre los refuerzos es mayor que en niveles superiores.

De acuerdo a la National Highway Institute – Department of Transportation (2001), para taludes con una altura mayor a los 6m, es conveniente espaciar los refuerzos en dos o tres zonas de igual altura, esto se logra dividiendo el T_{S-MAX} proporcionalmente para cada zona. Para el muro en análisis se divide en tres zonas según la figura 50.

Figura 50: División del muro de suelo reforzado en Zonas



$$T_{INFERIOR} = \frac{1}{2} * 821.97 \text{ kN} = 410.98 \text{ kN}$$

$$T_{MEDIO} = \frac{1}{3} * 821.97 \text{ kN} = 273.99 \text{ kN}$$

$$T_{SUPERIOR} = \frac{1}{6} * 821.97 \text{ kN} = 137.00 \text{ kN}$$

Determinar el espaciamiento vertical S_v

De acuerdo al fabricante el Terramesh® Green, se fabrica con una altura de 0.50 m a 0.60 m de altura y con un largo de 4.00 m como mínimo (ver Figura 12), por lo que esa distribución se mantendrá desde la parte inferior a la superior de la estructura.

- **Espaciamiento para el Terramesh.**

$$N_{CAPAS} = \frac{27.87}{0.60} = 46.45 \approx 47.00$$

Por lo tanto, el Terramesh® Green contará con 47.00 capas espaciadas cada 0.60 m aproximadamente.

- **Espaciamiento vertical del Paragrid® - 80.**

$$\text{Mínimo número de capas, } N = \frac{T_{S-MAX}}{T_a} = \frac{821.97 \text{ kN}}{31.13 \text{ kN}} = 26.40 \approx 27.00$$

Distribución en la parte inferior del muro (Bottom):

$$N_B = \frac{410.98 \text{ kN}}{31.13 \text{ kN}} = 13.20 \approx 14$$

Distribución en la parte media del muro (Middle):

$$N_M = \frac{273.99 \text{ kN}}{31.13 \text{ kN}} = 8.80 \approx 9$$

Distribución en la parte superior del muro (Top):

$$N_T = \frac{137.00 \text{ kN}}{31.13 \text{ kN}} = 4.40 \approx 5$$

Total de capas $28 > 27$

- **Espaciamiento vertical**

Distribución de la altura para cada zona, asumimos una altura aproximada de:

$$H_{SUPERIOR} = 9.10m$$

$$H_{MEDIO} = 9.10m$$

$$H_{INFERIOR} = 9.10m$$

- **Espacio requerido para cada zona de refuerzo:**

Inferior (Bottom)

$$S_{required} = \frac{9.10 m}{14 capas} = 0.65 \approx 0.70m$$

Medio (Middle)

$$S_{required} = \frac{9.10m}{9capas} = 1.03 \approx 1.10m$$

Superior (Top)

$$S_{requerido} = \frac{9.10m}{5capas} = 1.86 \approx 1.85m$$

Determinar la longitud de refuerzo más allá de la superficie de falla crítica para el muro.

$$L_e = \frac{T_{m\acute{a}x} FS}{F^* \cdot \alpha \cdot \sigma'_v \cdot 2 \cdot R_c \cdot C}$$

Para nuestro proyecto

$$T_{m\acute{a}x} = 31.13 \text{ Kn}$$

$$FS_{Pullout} = 1.5$$

$$F^* = 2/3 \cdot \tan 33^\circ = 0.65$$

$$\alpha = 0.6 \text{ (Ver Tabla 7)}$$

$$R_c = 1$$

$$C = 2$$

$$\sigma'_v = \gamma \cdot Z$$

Determinar la longitud de empotramiento L_e , variando el factor Z , que es la profundidad medida desde la cresta del talud.

$$L_e = \frac{31.13 * 1.5}{0.65 * 0.6 * (18 * Z) * 2 * 1 * 2} = \frac{1.67}{Z}$$

$$Z = 0.6 \text{ m}, L_e = 2.78\text{m} \approx 3.00 \text{ m.}$$

$$Z = 1.2 \text{ m}, L_e = 1.39 \text{ m.}$$

$$Z = 1.8 \text{ m}, L_e = 0.93 \text{ m.}$$

Para profundidades mayores es innecesario. El L_e mínimo es de 1 m.

Entonces la longitud de empotramiento L_e más allá de la superficie de falla es de 3 m en todos los refuerzos que intersectan a la superficie de falla crítica.

A continuación, se muestra el resumen de los cálculos obtenidos en el diseño del MURO DE SUELO REFORZADO TIPO C.

ParaGrid® - 80				
ZONA		Espaciamiento	# Capas	Longitud del Refuerzo
I - SUPERIOR	H=9.1m	$S_V = 1.85\text{m}$	$N = 5$	$L_{\text{Ref}} = 12.50\text{m}$
II - MEDIO	H=9.1m	$S_V = 1.10\text{m}$	$N = 9$	$L_{\text{Ref}} = \text{variable}$
III - INFERIOR	H=9.1m	$S_V = 0.70\text{m}$	$N = 14$	$L_{\text{Ref}} = 17.00\text{m}$
			$\sum N = 28$	

Según Koerner (2005), cuando una estructura de estas características, va a estar sometida a los efectos del sismo que, si bien son esporádicos, son bastante significativos, pues pueden hacer que la estructura esté sometida a fuerzas horizontales que la hagan colapsar, por lo que se recomienda un espaciamiento vertical entre refuerzos de $S_V = 0.50 \text{ m}$. como máximo y además está el proceso constructivo en el cual se quiere evitar el abombado de las caras y las capas.

Por lo que el espaciamiento se modificará como sigue:

En la ZONA III-INFERIOR

$$N_{\text{capas}} = \frac{9.10\text{m}}{0.50\text{m}} = 18.2 \approx 18 \text{ capas}$$

En la ZONA II-MEDIO

$$N_{\text{capas}} = \frac{9.10\text{m}}{1.15\text{m}} = 7.9 \approx 8 \text{ capas}$$

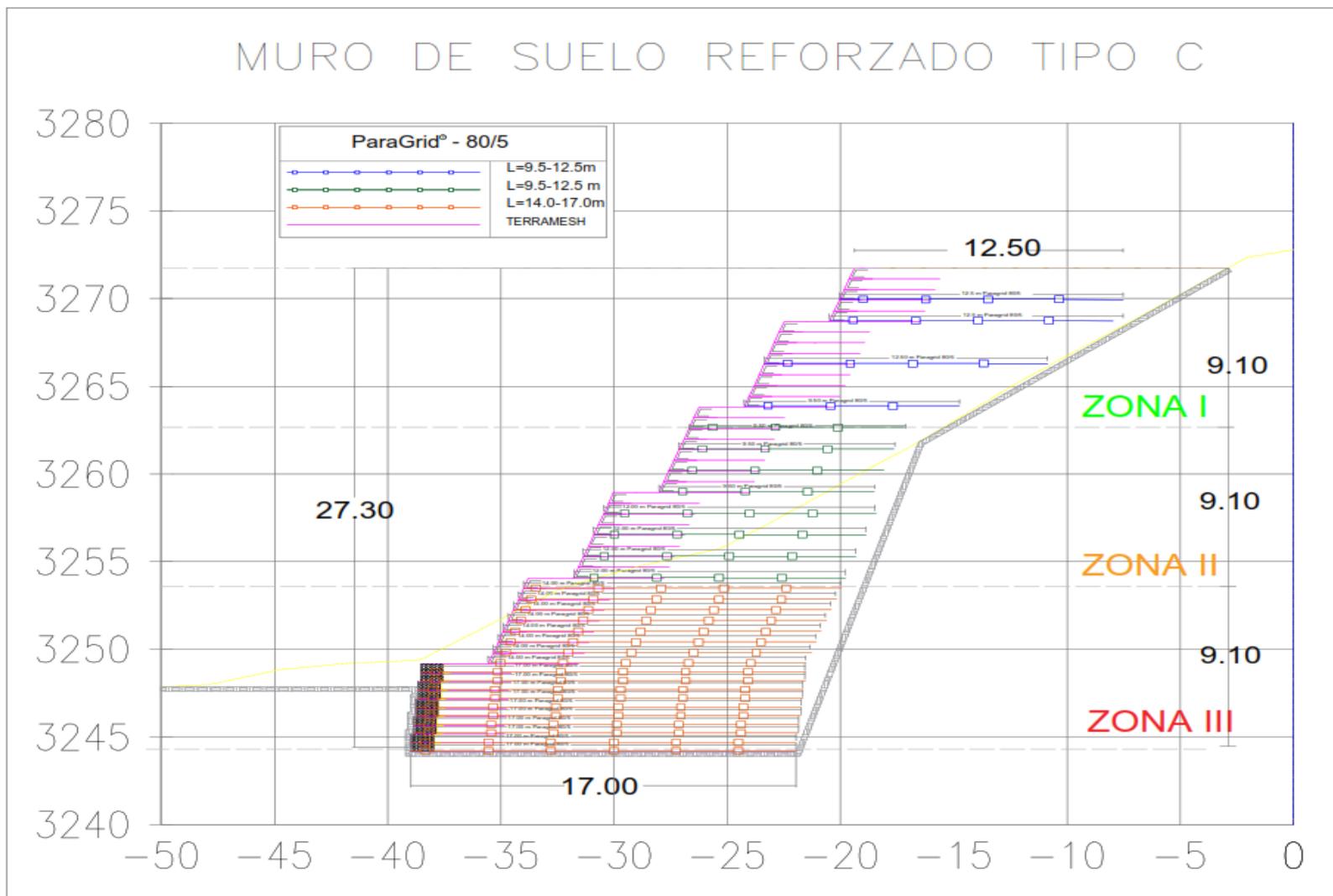
En la ZONA I-SUPERIOR

$$N_{\text{capas}} = \frac{9.10\text{m}}{2.30\text{m}} = 3.95 \approx 4 \text{ capas}$$

ZONA		Espaciamiento	# Capas	Longitud del Refuerzo
I SUPERIOR	H=9.1m	$S_V = 2.30\text{m}$	$N = 4$	$L_{\text{Ref}} = 12.50\text{m}$
II - MEDIO	H=9.1m	$S_V = 1.25\text{m}$	$N = 8$	$L_{\text{Ref}} = \text{variable}$
III INFERIOR	H=9.1m	$S_V = 0.50\text{m}$	$N = 18$	$L_{\text{Ref}} = 17.00\text{m}$
			$\sum N = 30$	

Lo que se hizo fue una distribución de los refuerzos en todo el muro, variando el espaciamento entre los refuerzos, esto con la finalidad de no variar el $T_{S-MÁX}$ en lo posible.

Figura 51: Distribución de los refuerzos por cada zona, para el muro de suelo reforzado tipo C



Para la Zona I y Zona II, el espaciamiento entre los refuerzos son $S_{V-ZI} = 2.30 \text{ m}$. y $S_{V-ZII} = 1.50 \text{ m}$. respectivamente , pero como se muestra en la Figura 51 los espaciamientos no coinciden con el espaciamiento calculado en el paso anterior, esto es debido a que se ubicó intencionalmente a los geosintéticos ParaGrid® los más cercano al Terramesh Green® para que la resistencia a la atracción en esa zona se incremente considerablemente y además por proceso constructivo necesita engancharse o adherirse a un objeto para mantener su posición.

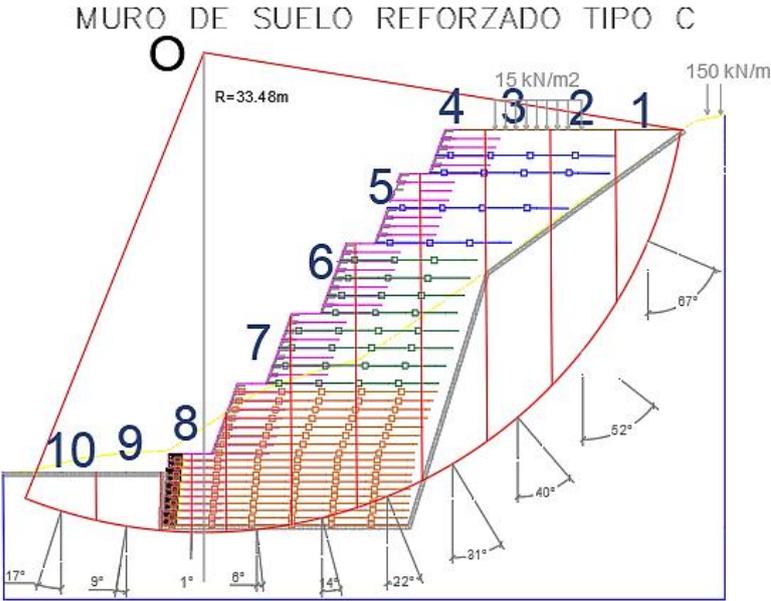
Paso 7: Verificar la estabilidad externa e interna del muro de suelo reforzado tipo C.

Para el cálculo del factor de seguridad FS_R , primero se presentan los cálculos manuales realizados por el método de Bishop simplificado y después se muestran los resultados calculados por el software MacStars W.

- **ESTABILIDAD EXTERNA $FS_R \geq 1.5$**

Es aquella superficie de falla que envuelve a la estructura, la superficie de falla por detrás y debajo de los refuerzos. Como se ve en la Figura 52 se empleó el método de Bishop simplificado para el análisis de estabilidad, se ha dividido al muro en 10 dovelas para facilitar el cálculo.

Figura 52: Análisis de estabilidad externa por el método de Bishop simplificado, para el muro de suelo reforzado tipo C.



Cálculo manual del factor de estabilidad global o externa.

1	2	3	4	5	6=4*5	7	8=SEN(7)	9=COS(7)	10=6*8	11=9*TAN ϕ^* 8/FS	12	13	14	15	
Dovela	Ancho	bn	Área	Peso Espec.	W (dovela)	α	SEN α	COS α	W sen α	m_α	$(cb + (w - ub) \tan \phi)$	$(cb + (w - ub) \tan \phi) \frac{1}{m_\alpha}$	ParaGrid 80-5	Terramesh	
1	1	4.52	12.20	20.00	244.00	-17.00	-0.29	0.96	-71.34	0.84	209.78	250.34			
2	1	4.52	16.85	20.00	337.00	-9.00	-0.16	0.99	-52.72	0.92	272.51	294.80			
3	1	4.52	25.32	20.00	506.40	-1.00	-0.02	1.00	-8.84	0.99	386.77	389.58			
4	1	4.52	48.95	20.00	979.00	6.00	0.10	0.99	102.33	1.04	705.54	680.48			
5	1	4.52	71.59	20.00	1431.80	14.00	0.24	0.97	346.38	1.07	1010.96	946.41	2.00	0.00	
6	1	4.52	90.70	20.00	1814.00	22.00	0.37	0.93	679.54	1.08	1268.76	1176.09	3.00	0	
7	1	4.52	101.17	20.00	2023.40	31.00	0.52	0.86	1042.13	1.07	1410.00	1323.18			
8	1	4.52	89.78	20.00	1795.60	40.00	0.64	0.77	1154.19	1.03	1256.35	1224.28			
9	1	4.52	68.30	20.00	1366.00	52.00	0.79	0.62	1076.42	0.93	966.58	1034.23			
10	1	4.52	32.28	20.00	645.60	67.00	0.92	0.39	594.28	0.76	480.66	629.73			
$\sum_1^{10} W \text{sen } \alpha =$										4862.38	$\sum_1^{10} (cb + (w - ub) \tan \phi) \frac{1}{m_\alpha} =$		7949.13	5	0

F.S asum=	1.667
c=	10 kN/m2
$\phi =$	34°
Tan $\phi =$	0.67
Radio =	33.48 m

N: Número de capas que intersectan con la superficie de falla.
 T: Resistencia a la tracción del geosintético.
 D: Radio del círculo de falla.

$$FS_R = FS_u + \frac{\sum T_i x D_i}{M_D}$$

Resistencia aportada por el Refuerzo en la estabilidad				
	N	T	D	T x D
ParaGrid	5.00	31.13	33.48	5211.16
Terramesh	0.00	33.10	33.48	0.00
				5211.16

$FS_R =$	1.667
Momento resistente=	266137.02 kN-m
Momento de desliz.=	162792.37 kN-m

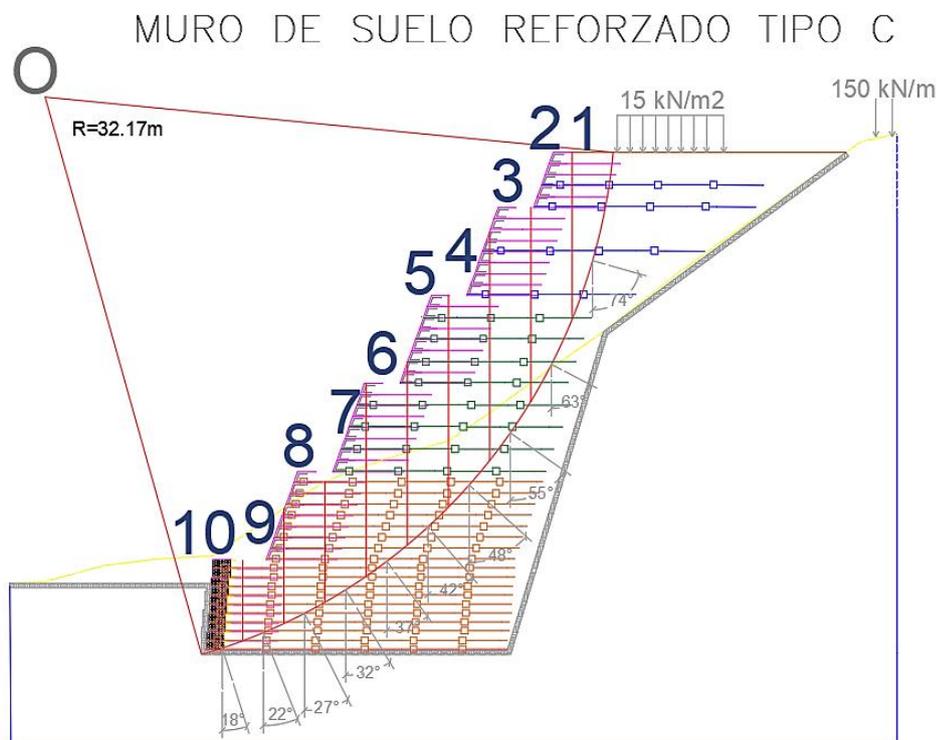
El factor de seguridad $FS_R = 1.667$, el cual es un valor mayor al mínimo establecido

- **ESTABILIDAD INTERNA $FS_R \geq 1.5$**

Es la superficie de falla que pasa a través del refuerzo y el relleno de la estructura.

Como se ve en la Figura 53 se empleó el método de Bishop simplificado para el análisis de estabilidad, se ha dividido al muro en 10 dovelas para facilitar el cálculo.

Figura 53: Análisis de estabilidad Interna por el método de Bishop simplificado, para el muro de suelo reforzado tipo C.



1	2	3	4	5	6=4*5	7	8=SEN(7)	9=COS(7)	10=6*8	11=9+TAN φ* 8/FS	12	13	14	15
	m	m	m ²	kN/m ³	kN.	°					$(cb + (w - ub) \tan \phi)$	$(cb + (w - ub) \tan \phi) \frac{1}{m_\alpha}$	N	N
Dovela	Ancho	bn	Área	Peso Espec.	W (dovela)	α	SEN α	COS α	W sen α	m _α			ParaGrid 80-5	Terramesh
1	1	2.32	13.01	20.00	260.20	74.00	0.96	0.28	250.12	0.95	198.71	208.55	4.00	4.00
2	1	2.32	24.95	20.00	499.00	63.00	0.89	0.45	444.61	1.08	359.78	332.62	4.00	2.00
3	1	2.32	28.57	20.00	571.40	55.00	0.82	0.57	468.06	1.15	408.61	355.12	3.00	2.00
4	1	2.32	26.62	20.00	532.40	48.00	0.74	0.67	395.65	1.19	382.31	320.56	4.00	1.00
5	1	2.32	27.22	20.00	544.40	42.00	0.67	0.74	364.27	1.21	390.40	321.45	3.00	2.00
6	1	2.32	23.11	20.00	462.20	37.00	0.60	0.80	278.16	1.22	334.96	273.98	3.00	2.00
7	1	2.32	20.04	20.00	400.80	32.00	0.53	0.85	212.39	1.22	293.54	240.34	3.00	2.00
8	1	2.32	17.39	20.00	347.80	27.00	0.45	0.89	157.90	1.21	257.79	212.91	3.00	3.00
9	1	2.32	10.87	20.00	217.40	22.00	0.37	0.93	81.44	1.19	169.84	142.59	2.00	2.00
10	1	2.32	4.40	22.00	96.80	18.00	0.31	0.95	29.91	1.17	134.89	115.42	1.00	2.00
10	1	2.32	5.02	20.00	100.40	18.00	0.31	0.95	31.03	1.17	90.92	77.79	0.00	2.00

TM
Cohesión : 30 Kn/m²

$$\sum_1^{10} W \text{sen } \alpha = 2713.55$$

$$\sum_1^{10} (cb + (w - ub) \tan \phi) \frac{1}{m_\alpha} = 2601.33$$

F.S asum=	0.958
c=	10 kN/m ²
φ =	34°
Tan φ =	0.67
Radio =	32.17 m

N: Número de capas que incrementan la resistencia en la dovela
T: Resistencia a la tracción del geosintético.
D: Radio del círculo de falla.

	Resistencia aportada por el refuerzo en la estabilidad			
	N	T	D	T x D
ParaGrid	30.00	31.13	32.17	30043.56
Terramesh	24.00	33.10	32.17	25555.85
				$\sum T \times D = 55599.41$

FS _u =	0.959
Momento resistente (Mr)	83684.76 kN-m
Momento de deslíz. (Md)	87294.81 kN-m

$$FS_R = FS_u + \frac{\sum T_i \times D_i}{M_D}$$

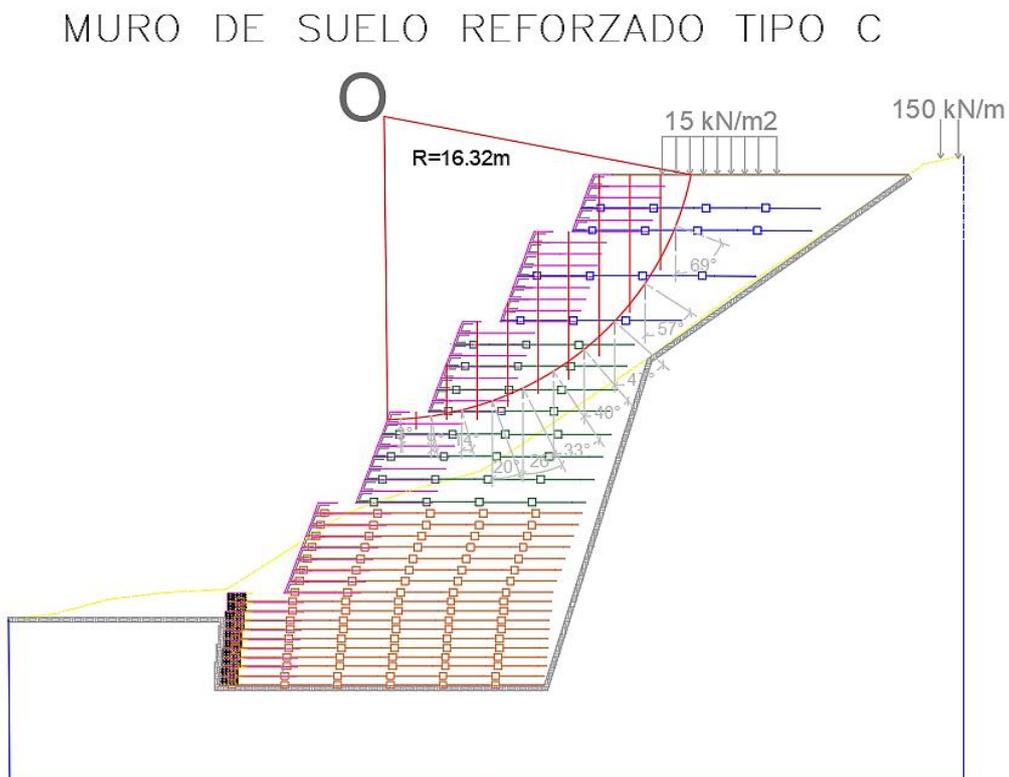
$$FS_R = 1.5956$$

El factor de seguridad $FS_R = 1.5956$

- **ESTABILIDAD INTERNA ENTRE LA ZONA II Y I** $FS_R \geq 1.5$

Para estar seguros de que la estructura no va a fallar en la parte superior de la estructura, es necesario hacer un análisis de estabilidad interna entre las Zonas I y II del muro. Esto nos garantiza que en el proceso constructivo de los niveles superiores no va a haber problemas de desprendimiento y deslizamiento, ver la Figura 54.

Figura 54: Análisis de estabilidad interna entre las zonas I y II, para el muro de suelo reforzado tipo C



1	2	3	4	5	6=4*5	7	8=SEN(7)	9=COS(7)	10=6*8	11=9*TAN ϕ 8/FS	12	13	14	15
Dovela	Ancho	bn	Área	Peso Espec.	W (dovela)	α	SEN α	COS α	W sen α	$\frac{\alpha}{m}$	$(cb + (w - ub)\tan\phi)$	$(cb + (w - ub)\tan\phi)\frac{1}{m_\alpha}$	ParaGrid 80-5	Terramesh
1	1	1.60	4.17	20.00	83.40	69.00	0.93	0.36	77.86	0.81	72.25	89.33	2.00	0.00
2	1	1.60	9.32	20.00	186.40	57.00	0.84	0.54	156.33	0.95	141.73	149.29	1.00	0.00
3	1	1.60	12.64	20.00	252.80	47.00	0.73	0.68	184.89	1.03	186.52	180.22	1.00	0.00
4	1	1.60	12.81	20.00	256.20	40.00	0.64	0.77	164.68	1.08	188.81	175.44	1.00	0.00
5	1	1.60	12.06	20.00	241.20	33.00	0.54	0.84	131.37	1.10	178.69	162.23	1.00	0.00
6	1	1.60	10.83	20.00	216.60	26.00	0.44	0.90	94.95	1.11	162.10	145.99	1.00	0.00
7	1	1.60	7.12	20.00	142.40	20.00	0.34	0.94	48.70	1.10	112.05	101.43	0.00	1.00
8	1	1.60	6.67	20.00	133.40	14.00	0.24	0.97	32.27	1.09	105.98	97.49	1.00	1.00
9	1	1.60	10.87	20.00	217.40	9.00	0.16	0.99	34.01	1.06	162.64	152.97	0.00	0.00
10	1	1.60	2.10	20.00	42.00	3.00	0.05	1.00	2.20	1.02	44.33	43.30	0.00	0.00

TM
Cohesión : 30 Kn/m2

$$\sum_1^{10} W \text{sen } \alpha =$$

927.26

$$\sum_1^{10} (cb + (w - ub)\tan\phi)\frac{1}{m_\alpha} =$$

1297.69

F.S asum=	1.398
c=	10 kN/m2
ϕ =	34°
Tan ϕ =	0.67
Radio =	16.32 m

N: Número de capas que incrementan la resistencia en la dovela
T: Resistencia a la tracción del geosintético.
D: Radio del círculo de falla.

Resistencia aportada por el refuerzo en la estabilidad				
	N	T	D	T x D
ParaGrid	8.00	31.13	16.32	4064.33
Terramesh	2.00	33.10	16.32	1080.38

$$\sum T x D = 5144.72$$

$FS_u =$	1.399
Momento resistente (Mr)	21178.28 kN-m
Momento de desliz. (Md)	15132.86 kN-m

$$FS_R = FS_u + \frac{\sum T_i x D_i}{M_D}$$

$FS_R = 1.7395$

El factor de seguridad $FS_R = 1.7395$

A continuación, se muestra el análisis de estabilidad del muro de suelo reforzado tipo C, empleado el software.

MacStARS W – Rel. 4.0

Maccaferri Stability Analysis of Reinforced Slopes and Walls

Maccaferri

Proyecto_____ : Muro de suelo reforzado Tipo C

Sección Transversal_ : C

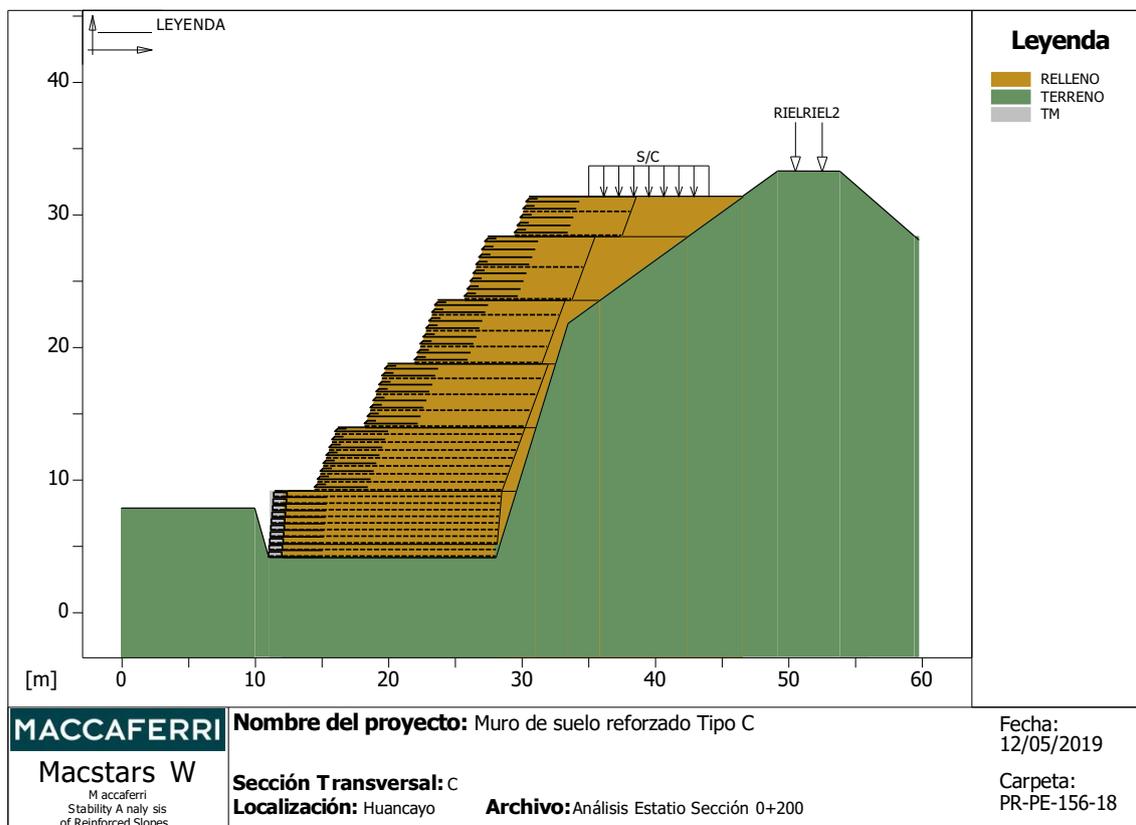
Localización_ : Huancayo

Carpeta_____ : PR-PE-156-18

Archivo_____ : ANALISIS ESTATICO SECCION 0+200

Fecha_____ : 12/05/2019

PROPIEDADES DEL SUELO



Suelo: RELLENO	Descripción: Relleno Estructural	
Cohesión _____	[kN/m ²]:	10.00
Ángulo de Fricción _____	[°] _____:	32.00
Peso unitario – Natural _____	[kN/m ³]:	18.00
Peso unitario – Saturado _____	[kN/m ³]:	18.00

Suelo: TERRENO	Descripción: TERRENO DE FUNDACIÓN	
Cohesión _____	[kN/m ²]:	10.00
Ángulo de Fricción _____	[°] _____:	33.00
Peso unitario – Natural _____	[kN/m ³]:	20.00
Peso unitario – Saturado _____	[kN/m ³]:	20.00

Suelo: TM	Descripción: Terramesh System	
Cohesión _____	[kN/m ²]:	30.00
Ángulo de Fricción _____	[°] _____:	34.00
Peso unitario – Natural _____	[kN/m ³]:	22.00
Peso unitario – Saturado _____	[kN/m ³]:	22.00

BLOQUES REFORZADOS

Bloque: TM01

Dimensiones del bloque [m]: Ancho de la Base = 17.00 Altura = 1.00
 Origen del Bloque [m]: Abscisa = 11.04 Ordenada = 4.16
 Berma Inclinación Paramento [°]: 5.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Terramesh System - 10/2.7P - 0.5x1.0

Largo [m] = 4.00
 Gavión [m]: Altura = 0.50 Ancho = 1.00

Linear Composites - ParaGrid - 80

Largo [m] = 17.00
 Espaciamiento Vertical [m] = 0.50
 Offset [m] = 0.00

Bloque: TM02

Dimensiones del bloque [m]: Ancho de la Base = 17.00 Altura = 4.00
 [m] = 0.00 por TM01
 Inclinación Paramento [°]: 5.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Terramesh System - 10/2.7P - 0.5x1.0

Largo [m] = 4.00
 Gavión [m]: Altura = 0.50 Ancho = 1.00

Linear Composites - ParaGrid - 80

Largo [m] = 17.00
 Espaciamiento Vertical [m] = 0.50
 Offset [m] = 0.00

Bloque: TV01

Dimensiones del bloque [m]: Ancho de la Base = 14.00 Altura = 4.80
 [m] = 3.00 por TM02
 Inclinación Paramento [°]: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60

Largo [m] = 4.00
 Espaciamiento Vertical [m] = 0.60
 Largo del anclaje de la Cara [m] = 0.65

Linear Composites - ParaGrid - 80

Largo [m] = 14.00
 Espaciamiento Vertical [m] = 0.60
 Offset [m] = 0.00

Bloque: TV02

Dimensiones del bloque [m]: Ancho de la Base = 12.00 Altura = 4.80
[m] = 2.00 por TV01
Inclinación Paramento [°]: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60
Largo [m] = 4.00
Espaciamiento Vertical [m] = 0.60
Largo del anclaje de la Cara [m] = 0.65

Linear Composites - ParaGrid - 80

Largo [m] = 12.00
Espaciamiento Vertical [m] = 1.20
Offset [m] = 0.00

Bloque: TV03

Dimensiones del bloque [m]: Ancho de la Base = 9.50 Altura = 4.80
[m] = 2.00 por TV02
Inclinación Paramento [°]: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60
Largo [m] = 4.00
Espaciamiento Vertical [m] = 0.60
Largo del anclaje de la Cara [m] = 0.65

Linear Composites - ParaGrid - 80

Largo [m] = 9.50
Espaciamiento Vertical [m] = 1.20
Offset [m] = 0.00

Bloque: TV04

Dimensiones del bloque [m]: Ancho de la Base = 8.00 Altura = 4.80
[m] = 2.00 por TV03
Inclinación Paramento [°]: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60
Largo [m] = 4.00
Espaciamiento Vertical [m] = 0.60
Largo del anclaje de la Cara [m] = 0.65

Linear Composites - ParaGrid - 80

Largo [m] = 12.50
Espaciamiento Vertical [m] = 2.40
Offset [m] = 0.00

Bloque: TV05

Dimensiones del bloque [m]: Ancho de la Base = 8.00 Altura = 3.00
[m] = 2.00 por TV04
Inclinación Paramento [°]: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60

Largo [m] = 4.00
Espaciamiento Vertical [m] = 0.60
Largo del anclaje de la Cara [m] = 0.65

Linear Composites - ParaGrid - 80

Largo [m] = 12.50
Espaciamiento Vertical [m] = 1.80
Offset [m] = 0.00

SOBRECARGAS**Cargas Concentradas: RIEL 1**

Descripción:

Intensidad [kN/m] = 150.00 Inclinación [°] = 0.00
Abscisa [m] = 50.50

Cargas Concentradas: RIEL2 Descripción:

Intensidad [kN/m] = 150.00 Inclinación [°] = 0.00
Abscisa [m] = 52.50

Cargas Distribuidas: S/C Descripción :

Intensidad [kN/m²] = 15.00 Inclinación [°] = 0.00
Abscisa [m]: de = 35.00 hasta = 44.00

PROPIEDADES DE LOS REFUERZOS UTILIZADOS

Linear Composites - ParaGrid - 80

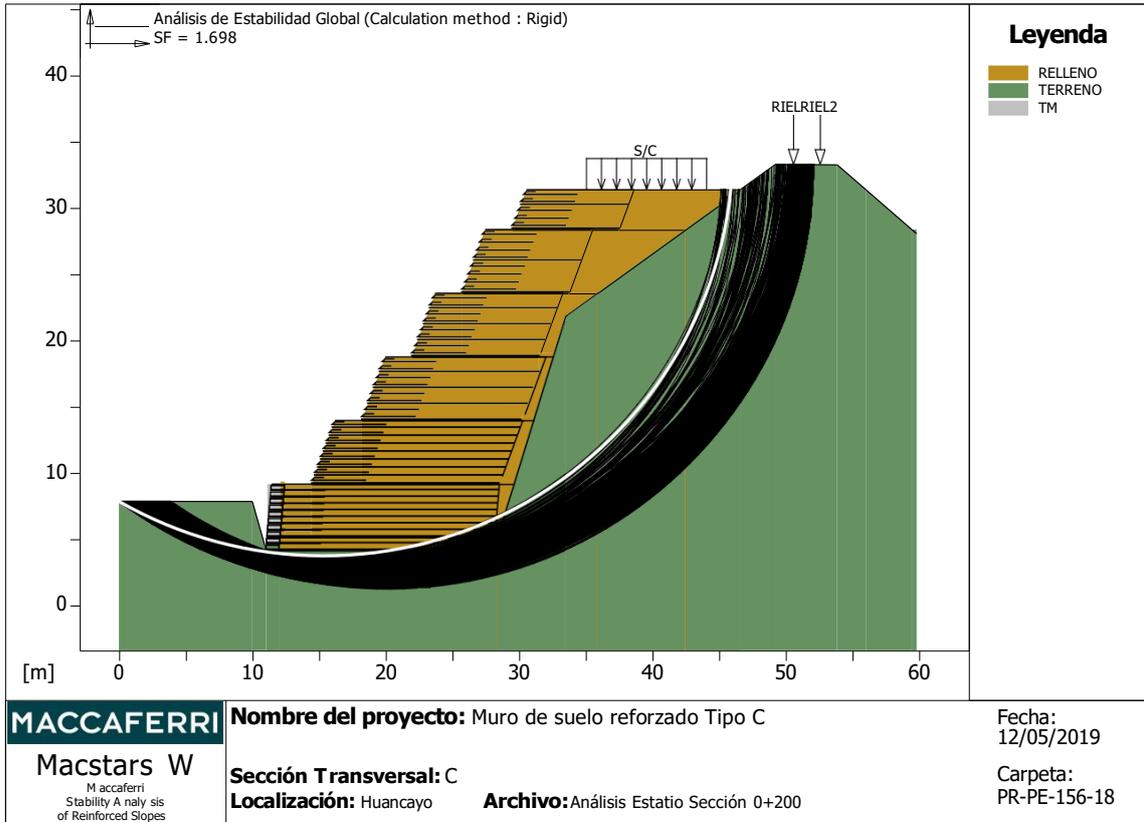
Resistencia a la Tracción_____ [kN/m]_____ :	80.00
Tasa de deformación plástica_____ :	0.00
Coefficiente de deformación elástica_____ [m ³ /kN]_____ :	1.10e-04
Rigidez del refuerzo_____ [kN/m]_____ :	665.00
Largo de anclaje Mínimo_____ [m]_____ :	0.15
Factor de seg. contra la rotura (grava)_____ :	1.67
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____ :	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena)_____ :	1.54
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____ :	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena limosa)_____ :	1.54
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____ :	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arcilla arenosa)_____ :	1.54
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____ :	1.00
Factor de interacción refuerzo/refuerzo_____ :	0.16
Coefficiente de interacción refuerzo-grava_____ :	0.90
Coefficiente de interacción refuerzo-arena_____ :	0.90
Coefficiente de interacción refuerzo-limo_____ :	0.70
Coefficiente de interacción refuerzo-arcilla_____ :	0.40

Resistencia a la Tracción_____ [kN/m]_____ :	41.30
Tasa de deformación plástica_____ :	2.00
Coefficiente de deformación elástica_____ [m ³ /kN]_____ :	1.10e-04
Rigidez del refuerzo_____ [kN/m]_____ :	420.00
Largo de anclaje Mínimo_____ [m]_____ :	0.15
Factor de seg. contra la rotura (grava)_____ :	1.44
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____ :	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena)_____ :	1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____ :	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena limosa)_____ :	1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____ :	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arcilla arenosa)_____ :	1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____ :	1.00
Factor de interacción refuerzo/refuerzo_____ :	0.30
Coefficiente de interacción refuerzo-grava_____ :	0.90
Coefficiente de interacción refuerzo-arena_____ :	0.65
Coefficiente de interacción refuerzo-limo_____ :	0.50
Coefficiente de interacción refuerzo-arcilla_____ :	0.30

Maccaferri - Terramesh System - 10/2.7P - 0.5x1.0

Resistencia a la Tracción_____ [kN/m]_____ :	41.30
Tasa de deformación plástica_____ :	2.00
Coefficiente de deformación elástica_____ [m ³ /kN]_____ :	1.10e-04
Rigidez del refuerzo_____ [kN/m]_____ :	420.00
Largo de anclaje Mínimo_____ [m]_____ :	0.15
Factor de seg. contra la rotura (grava)_____ :	1.44
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____ :	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena)_____ :	1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____ :	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena limosa)_____ :	1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____ :	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arcilla arenosa)_____ :	1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____ :	1.00
Factor de interacción refuerzo/refuerzo_____ :	0.30
Coefficiente de interacción refuerzo-grava_____ :	0.90
Coefficiente de interacción refuerzo-arena_____ :	0.65
Coefficiente de interacción refuerzo-limo_____ :	0.50
Coefficiente de interacción refuerzo-arcilla_____ :	0.30

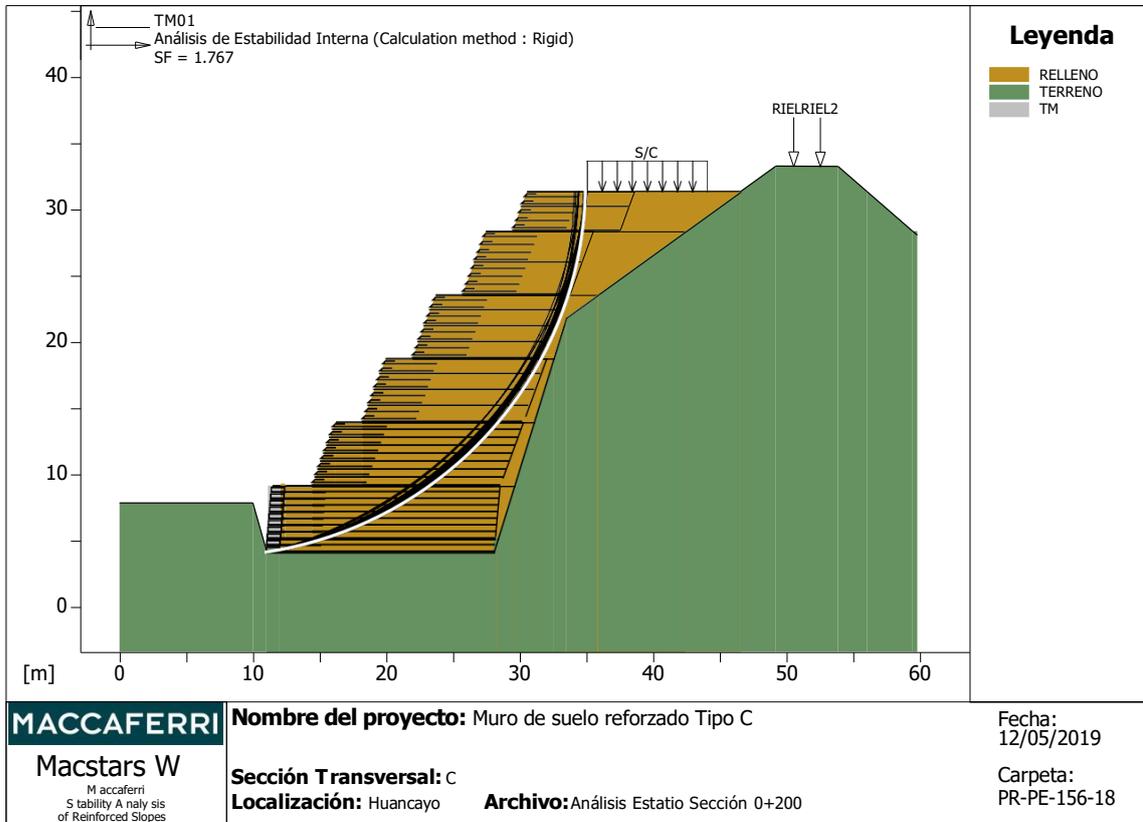
ESTABILIDAD EXTERNA



Verificación de la estabilidad Global:

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido
 Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop
 Factor de Seguridad Calculado _____ : 1.698

ESTABILIDAD INTERNA



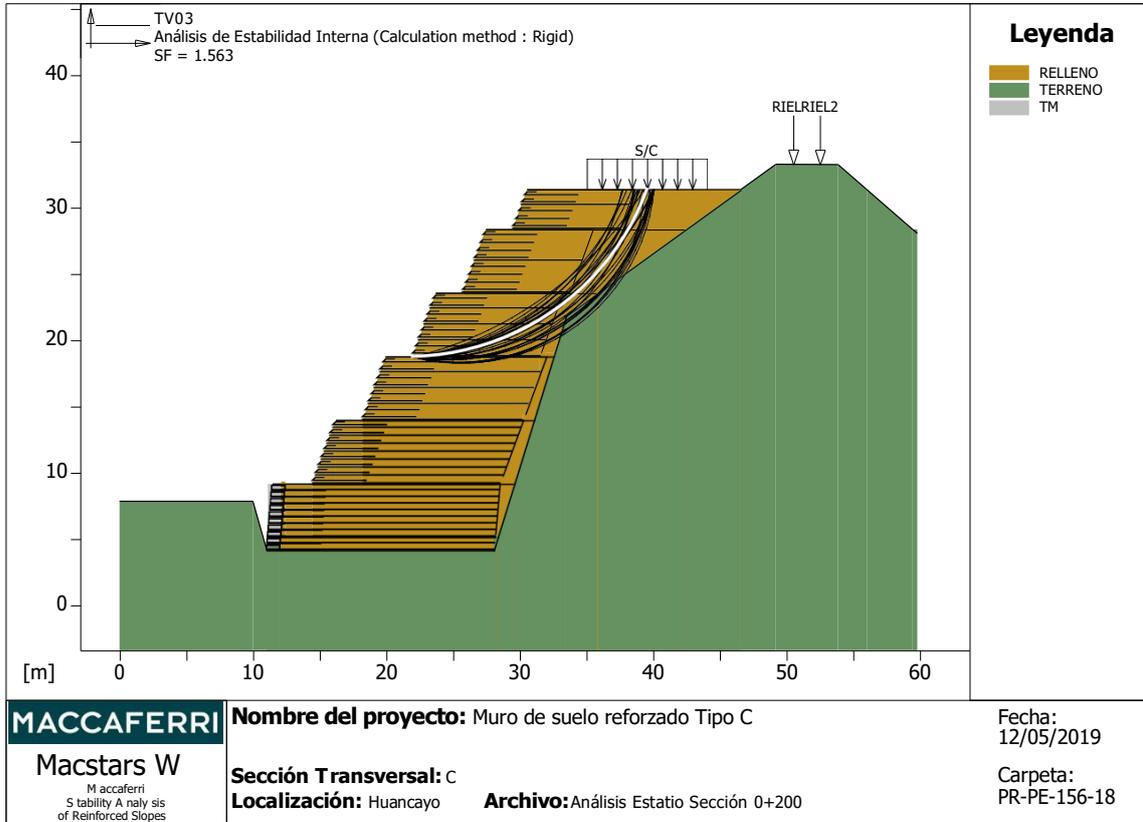
Estabilidad Interna: TM01

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido

Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop

Factor de Seguridad Calculado _____ : 1.767

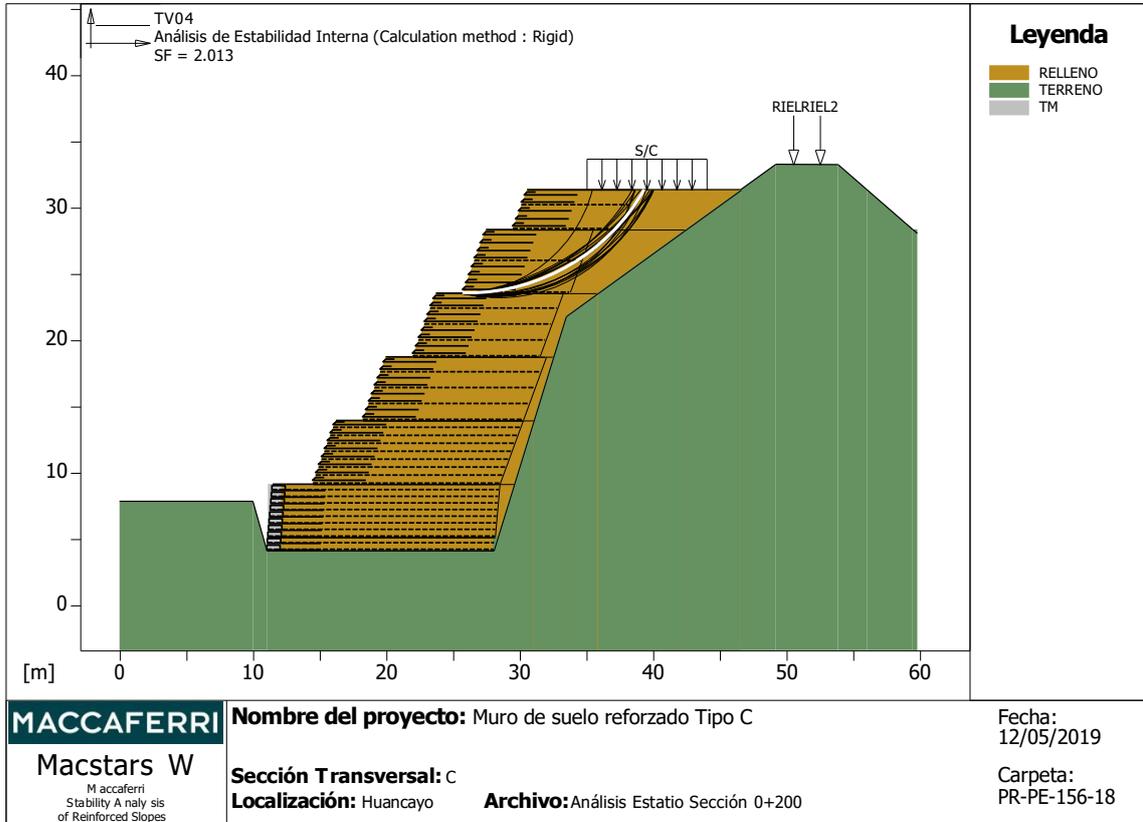
ESTABILIDAD INTERNA ENTRE LA ZONA I Y ZONA II



Estabilidad Interna: TV03

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido
 Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop
 Factor de Seguridad Calculado _____ : 1.563

ESTABILIDAD INTERNA EN LA ZONA I



Estabilidad Interna: TV04

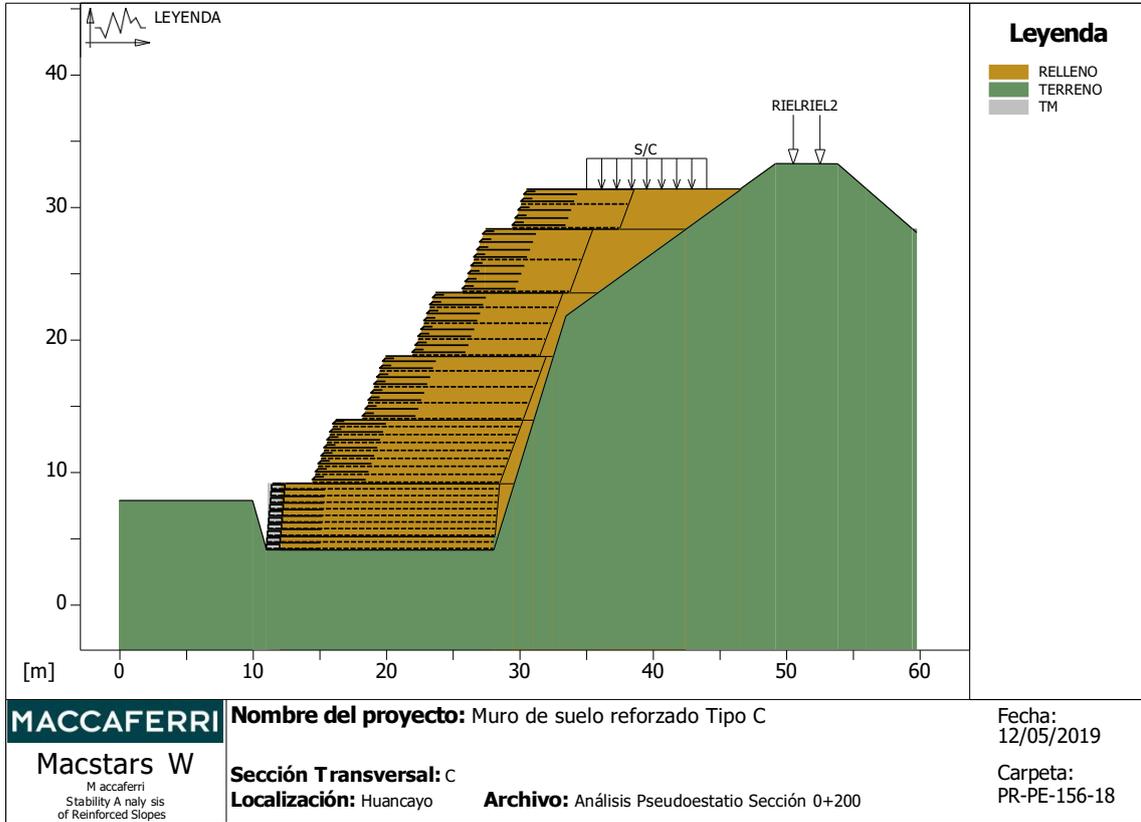
Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido

Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop

Factor de Seguridad Calculado _____ : 2.013

Paso 8: Análisis sísmico del muro de suelo reforzado tipo C

PROPIEDADES DEL SUELO



Suelo: RELLENO Descripción: Relleno Estructural

Cohesión _____ [kN/m²]: 10.00
 Ángulo de Fricción _____ [°]: 32.00
 Peso unitario – Natural _____ [kN/m³]: 18.00
 Peso unitario – Saturado _____ [kN/m³]: 18.00

Suelo: TERRENO Descripción: TERRENO DE FUNDACIÓN

Cohesión _____ [kN/m²]: 10.00
 Ángulo de Fricción _____ [°]: 33.00
 Peso unitario – Natural _____ [kN/m³]: 20.00
 Peso unitario – Saturado _____ [kN/m³]: 20.00

Suelo: TM Descripción: Terramesh System

Cohesión _____ [kN/m²]: 30.00
 Ángulo de Fricción _____ [°]: 34.00
 Peso unitario – Natural _____ [kN/m³]: 22.00
 Peso unitario – Saturado _____ [kN/m³]: 22.00

BLOQUES REFORZADOS

Bloque: TM01

Dimensiones del bloque [m]: Ancho de la Base = 17.00 Altura = 1.00
 Origen del Bloque [m]: Abscisa = 11.04 Ordenada = 4.16
 Berma Inclinación Paramento [°]: 5.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Terramesh System - 10/2.7P - 0.5x1.0

Largo [m] = 4.00
 Gavión [m]: Altura = 0.50 Ancho = 1.00

Linear Composites - ParaGrid - 80

Largo [m] = 17.00
 Espaciamiento Vertical [m] = 0.50
 Offset [m] = 0.00

Bloque: TM02

Dimensiones del bloque [m]: Ancho de la Base = 17.00 Altura = 4.00
 [m] = 0.00 por TM01
 Inclinación Paramento [°]: 5.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Terramesh System - 10/2.7P - 0.5x1.0

Largo [m] = 4.00
 Gavión [m]: Altura = 0.50 Ancho = 1.00

Linear Composites - ParaGrid - 80

Largo [m] = 17.00
 Espaciamiento Vertical [m] = 0.50
 Offset [m] = 0.00

Bloque: TV01

Dimensiones del bloque [m]: Ancho de la Base = 14.00 Altura = 4.80
 [m] = 3.00 por TM02
 Inclinación Paramento [°]: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60

Largo [m] = 4.00
 Espaciamiento Vertical [m] = 0.60
 Largo del anclaje de la Cara [m] = 0.65

Linear Composites - ParaGrid - 80

Largo [m] = 14.00
 Espaciamiento Vertical [m] = 0.60
 Offset [m] = 0.00

Bloque: TV02

Dimensiones del bloque [m]: Ancho de la Base = 12.00 Altura = 4.80
[m] = 2.00 por TV01
Inclinación Paramento [°]: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60
Largo [m] = 4.00
Espaciamiento Vertical [m] = 0.60
Largo del anclaje de la Cara [m] = 0.65

Linear Composites - ParaGrid - 80

Largo [m] = 12.00
Espaciamiento Vertical [m] = 1.20
Offset [m] = 0.00

Bloque: TV03

Dimensiones del bloque [m]: Ancho de la Base = 9.50 Altura = 4.80
[m] = 2.00 por TV02
Inclinación Paramento [°]: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60
Largo [m] = 4.00
Espaciamiento Vertical [m] = 0.60
Largo del anclaje de la Cara [m] = 0.65

Linear Composites - ParaGrid - 80

Largo [m] = 9.50
Espaciamiento Vertical [m] = 1.20
Offset [m] = 0.00

Bloque: TV04

Dimensiones del bloque [m]: Ancho de la Base = 8.00 Altura = 4.80
[m] = 2.00 por TV03
Inclinación Paramento [°]: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60
Largo [m] = 4.00
Espaciamiento Vertical [m] = 0.60
Largo del anclaje de la Cara [m] = 0.65

Linear Composites - ParaGrid - 80

Largo [m] = 12.50
Espaciamiento Vertical [m] = 2.40
Offset [m] = 0.00

Bloque: TV05

Dimensiones del bloque [m]: Ancho de la Base = 8.00 Altura = 3.00
[m] = 2.00 por TV04
Inclinación Paramento [°]: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60

Largo [m] = 4.00
Espaciamiento Vertical [m] = 0.60
Largo del anclaje de la Cara [m] = 0.65

Linear Composites - ParaGrid - 80

Largo [m] = 12.50
Espaciamiento Vertical [m] = 1.80
Offset [m] = 0.00

SOBRECARGAS

Cargas Concentradas: RIEL 1

Descripción:

Intensidad [kN/m] = 150.00 Inclinación [°] = 0.00
Abscisa [m] = 50.50

Cargas Concentradas: RIEL2

Descripción:

Intensidad [kN/m] = 150.00 Inclinación [°] = 0.00
Abscisa [m] = 52.50

Cargas Distribuidas: S/C

Descripción :

Intensidad [kN/m²] = 15.00 Inclinación [°] = 0.00
Abscisa [m]: de = 35.00 hasta = 44.00

Efectos Sísmicos:

Aceleración [m/s²]: Horizontal = 1.72 Vertical = 0.00

El talud es una estructura más flexible que un muro, por lo que, la aceleración sísmica A_m puede ser tomado como $A/2$, siendo A la aceleración del suelo obtenida mediante ensayos geofísicos, de acuerdo con la AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges (Division 1-A – Seismic Design, 6.4.3. Abutments).

De acuerdo a los estudios geotécnicos.

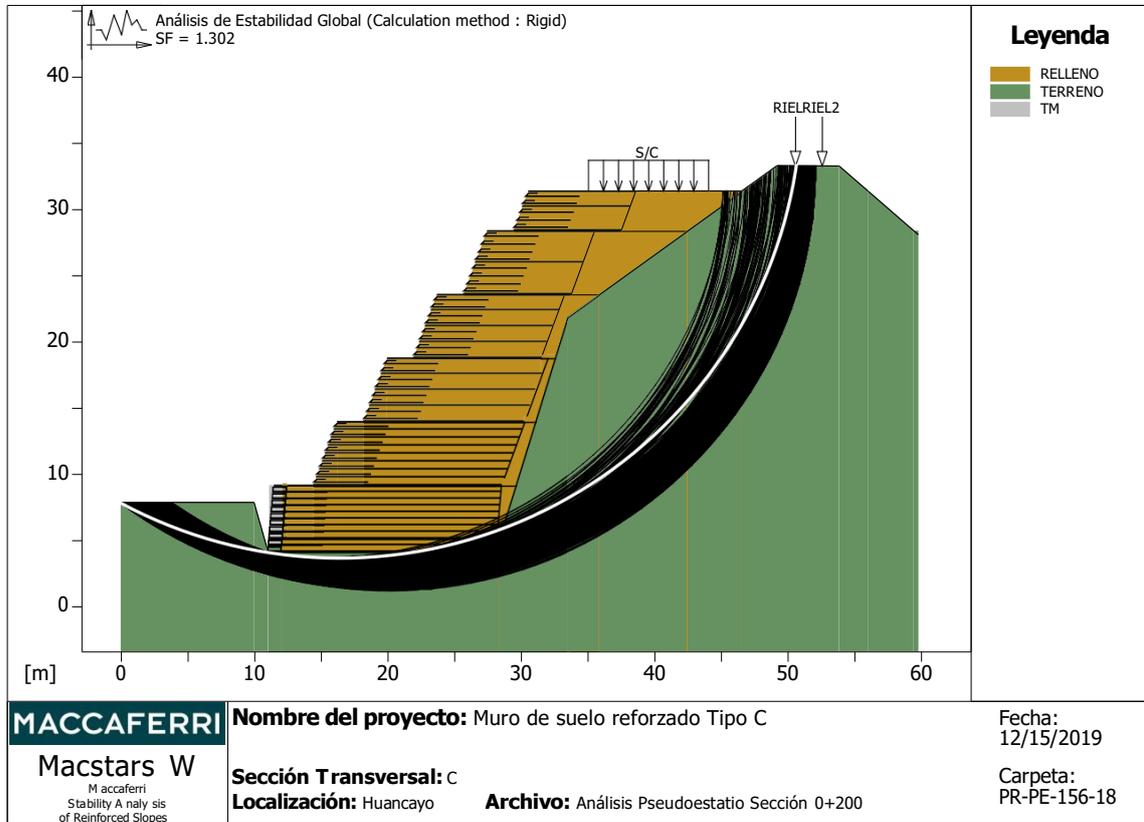
$$A = 0.35 \cdot g = 0.35 * 9.81 \frac{m}{s^2} = 3.43 \frac{m}{s^2}$$

$$A_m = A/2 = 3.43/2 \frac{m}{s^2} = 1.72 \frac{m}{s^2}$$

PROPIEDADES DE LOS REFUERZOS UTILIZADOS

Linear Composites - ParaGrid - 80		
Resistencia a la Tracción_____	[kN/m]_____:	80.00
Tasa de deformación plástica_____	_____:	0.00
Coefficiente de deformación elástica_____	[m ³ /kN]_____:	1.10e-04
Rigidez del refuerzo_____	[kN/m]_____:	665.00
Largo de anclaje Míximo_____	[m]_____:	0.15
Factor de seg. contra la rotura (grava)_____	_____:	1.67
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____	_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena)_____	_____:	1.54
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____	_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena limosa)_____	_____:	1.54
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____	_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arcilla arenosa)_____	_____:	1.54
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____	_____:	1.00
Factor de interacción refuerzo/refuerzo_____	_____:	0.16
Coeficiente de interacción refuerzo-grava_____	_____:	0.90
Coeficiente de interacción refuerzo-arena_____	_____:	0.90
Coeficiente de interacción refuerzo-limo_____	_____:	0.70
Coeficiente de interacción refuerzo-arcilla_____	_____:	0.40
Resistencia a la Tracción_____	[kN/m]_____:	41.30
Tasa de deformación plástica_____	_____:	2.00
Coefficiente de deformación elástica_____	[m ³ /kN]_____:	1.10e-04
Rigidez del refuerzo_____	[kN/m]_____:	420.00
Largo de anclaje Míximo_____	[m]_____:	0.15
Factor de seg. contra la rotura (grava)_____	_____:	1.44
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____	_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena)_____	_____:	1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____	_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena limosa)_____	_____:	1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____	_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arcilla arenosa)_____	_____:	1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____	_____:	1.00
Factor de interacción refuerzo/refuerzo_____	_____:	0.30
Coeficiente de interacción refuerzo-grava_____	_____:	0.90
Coeficiente de interacción refuerzo-arena_____	_____:	0.65
Coeficiente de interacción refuerzo-limo_____	_____:	0.50
Coeficiente de interacción refuerzo-arcilla_____	_____:	0.30
Maccaferri - Terramesh System - 10/2.7P - 0.5x1.0		
Resistencia a la Tracción_____	[kN/m]_____:	41.30
Tasa de deformación plástica_____	_____:	2.00
Coefficiente de deformación elástica_____	[m ³ /kN]_____:	1.10e-04
Rigidez del refuerzo_____	[kN/m]_____:	420.00
Largo de anclaje Míximo_____	[m]_____:	0.15
Factor de seg. contra la rotura (grava)_____	_____:	1.44
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____	_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena)_____	_____:	1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____	_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena limosa)_____	_____:	1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____	_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arcilla arenosa)_____	_____:	1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____	_____:	1.00
Factor de interacción refuerzo/refuerzo_____	_____:	0.30
Coeficiente de interacción refuerzo-grava_____	_____:	0.90
Coeficiente de interacción refuerzo-arena_____	_____:	0.65
Coeficiente de interacción refuerzo-limo_____	_____:	0.50
Coeficiente de interacción refuerzo-arcilla_____	_____:	0.30

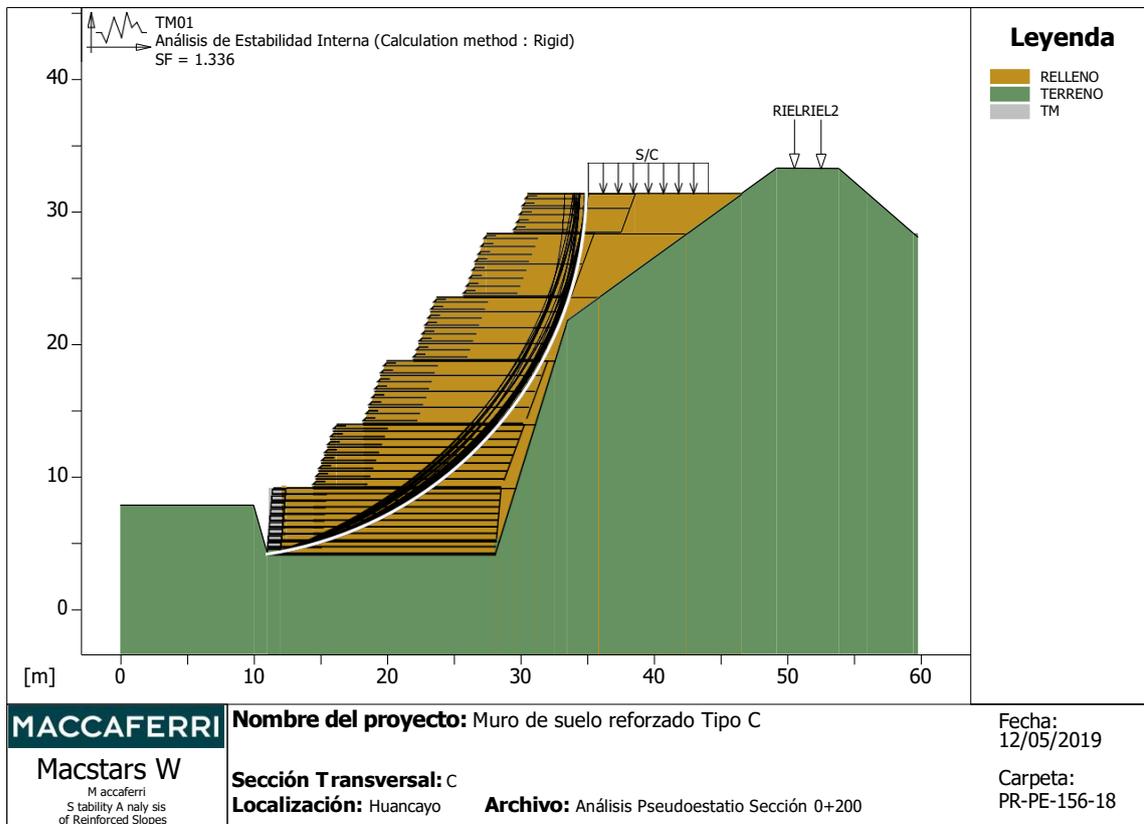
ESTABILIDAD EXTERNA



Verificación de la estabilidad Global:

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido
 Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop
 Factor de Seguridad Calculado _____ : 1.302

ESTABILIDAD INTERNA



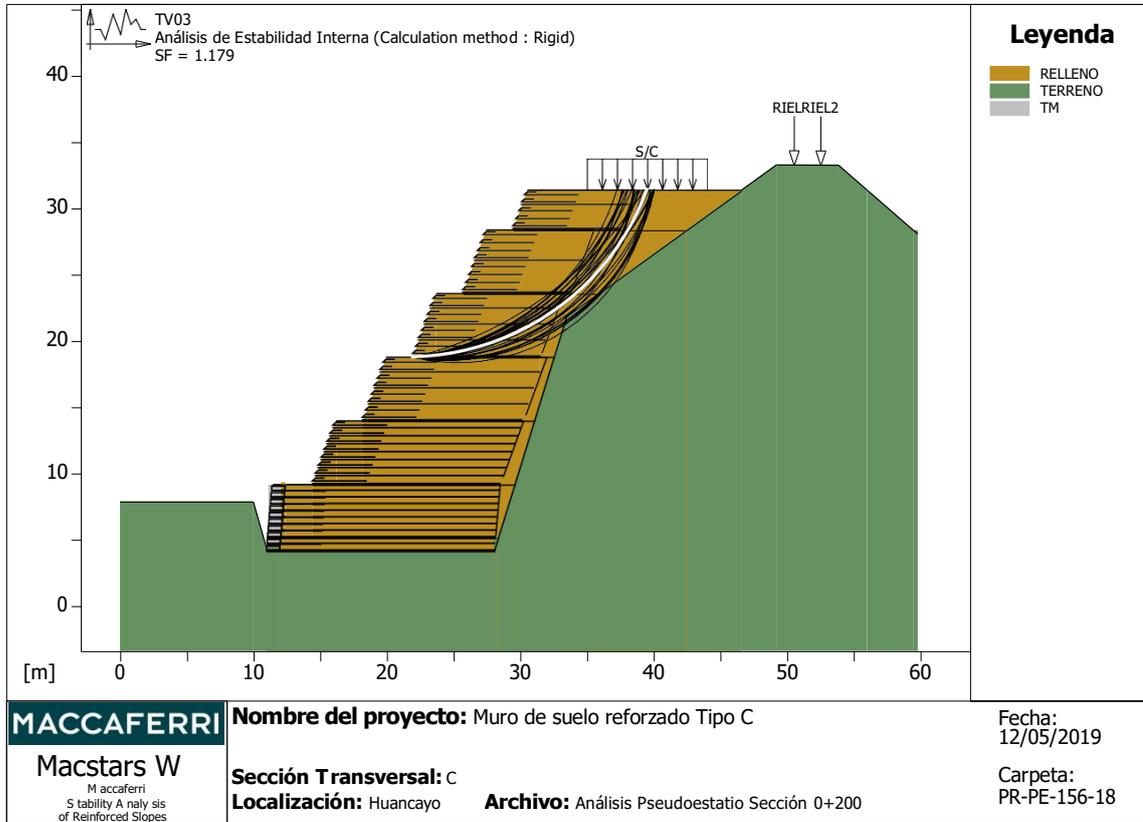
Estabilidad Interna: TM01

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido

Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop

Factor de Seguridad Calculado _____ : 1.336

ESTABILIDAD INTERNA ENTRE LA ZONA I Y ZONA II



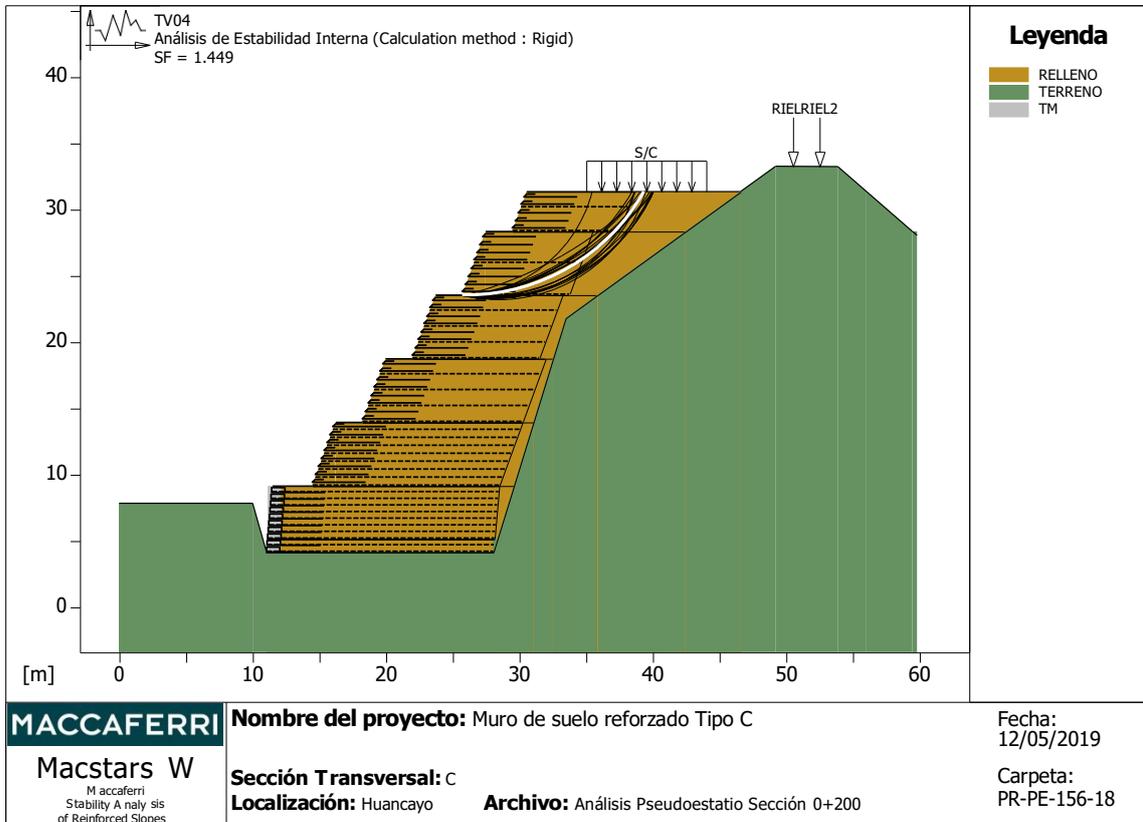
Estabilidad Interna: TV03

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido

Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop

Factor de Seguridad Calculado _____ : 1.179

ESTABILIDAD INTERNA EN LA ZONA



Estabilidad Interna: TV04

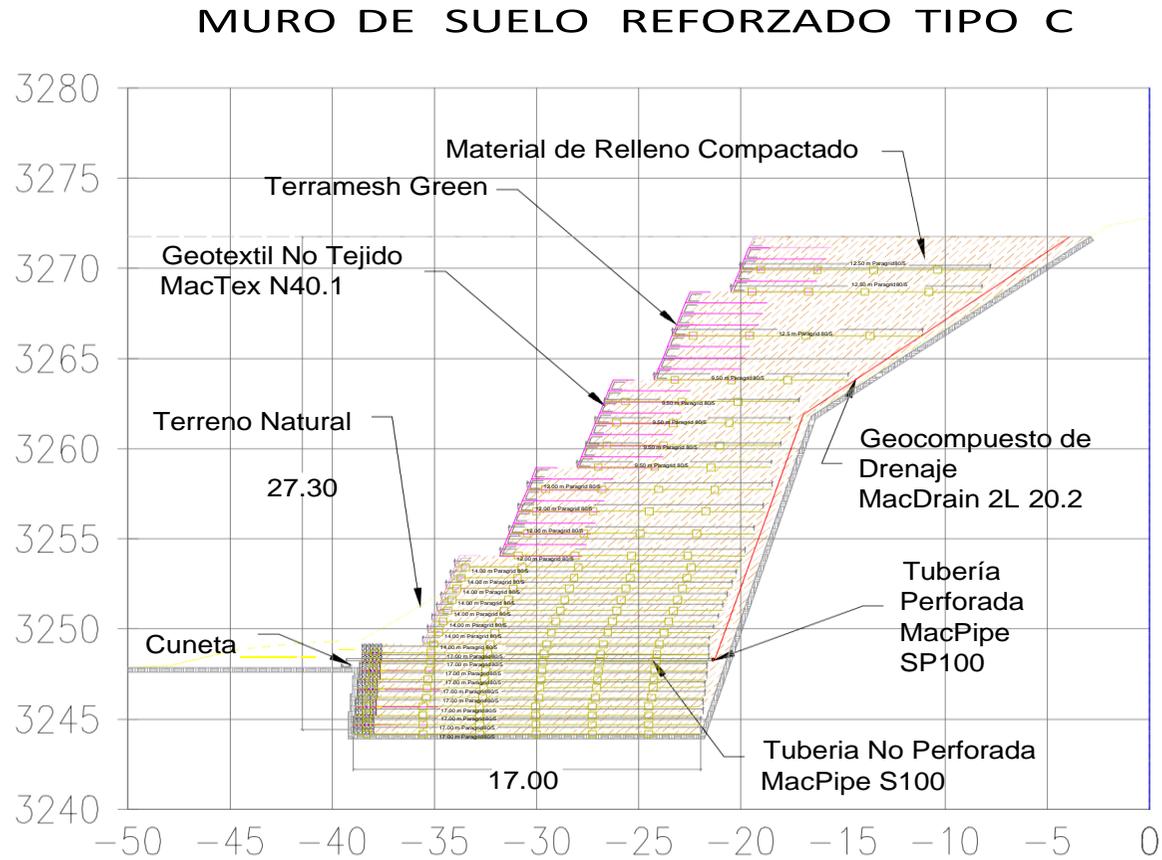
Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido

Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop

Factor de Seguridad Calculado _____ : 1.449

Paso 9: Evaluación de requisitos para el control de aguas superficiales y subterráneas en el talud.

Figura 55: Sistema de drenaje de aguas superficiales empleando geosintéticos y tuberías de drenaje.



4.5. ANÁLISIS Y DISEÑO DE LOS MUROS DE SUELO REFORZADO TIPO A, B Y D

Para el diseño de estos muros se empleó directamente el programa MacStars W, siguiendo los pasos de diseño mostrados en esta tesis.

ANÁLISIS ESTÁTICO DEL MURO DE SUELO REFORZADO TIPO A

MacStARS W – Rel. 4.0

Maccaferri Stability Analysis of Reinforced Slopes and Walls

Maccaferri de Peru

Proyecto_____ : Muro de suelo reforzado Tipo A

Sección Transversal_: A

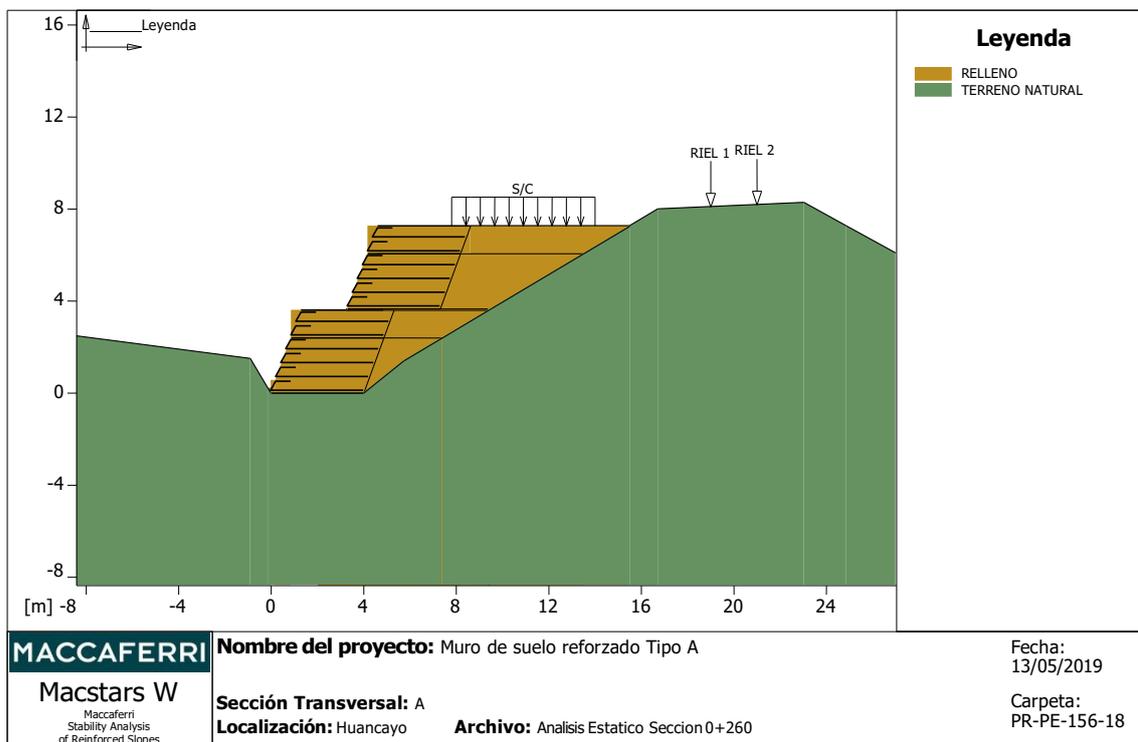
Localización_: Huancayo

Carpeta_____ : PR-PE-156-18

Archivo_____ : Análisis Estático Sección 0+260

Fecha_____ : 13/05/2019

PROPIEDADES DEL SUELO



Suelo: RELLENO

Descripción:

Cohesión _____ [kN/m²]: 10.00
 Ángulo de Fricción _____ [°]: 32.00
 Peso unitario – Natural _____ [kN/m³]: 18.00
 Peso unitario – Saturado _____ [kN/m³]: 18.00

Suelo: TERRENO NATURAL Descripción:

Cohesión _____ [kN/m²]: 10.00
 Ángulo de Fricción _____ [°]: 33.00
 Peso unitario – Natural _____ [kN/m³]: 20.00
 Peso unitario – Saturado _____ [kN/m³]: 20.00

BLOQUES REFORZADOS

Bloque: TV01

Dimensiones del bloque__[m]___: Ancho de la Base_= 4.00 Altura___= 2.40
Origen del Bloque__[m]___: Abscisa___= 0.00 Ordenada_= 0.00
BermaInclinación Paramento__[°]___: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60
Largo__[m]___= 4.00
Espaciamiento Vertical__[m]___= 0.60
Largo del anclaje de la Cara__[m]___= 0.65

Bloque: TV2

Dimensiones del bloque__[m]___: Ancho de la Base_= 4.00 Altura___= 1.20
__[m]___= 0.00 por TV01
Inclinación Paramento__[°]___: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60
Largo__[m]___= 4.00
Espaciamiento Vertical__[m]___= 0.60
Largo del anclaje de la Cara__[m]___= 0.65

Bloque: TV3

Dimensiones del bloque__[m]___: Ancho de la Base_= 4.00 Altura___= 2.40
Origen del Bloque__[m]___: Abscisa___= 3.31 Ordenada_= 3.66
BermaInclinación Paramento__[°]___: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60
Largo__[m]___= 4.00
Espaciamiento Vertical__[m]___= 0.60
Largo del anclaje de la Cara__[m]___= 0.65

Bloque: TV4

Dimensiones del bloque__[m]___: Ancho de la Base_= 4.00 Altura___= 1.20
__[m]___= 0.00 por TV3
Inclinación Paramento__[°]___: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60
Largo__[m]___= 4.00
Espaciamiento Vertical__[m]___= 0.60
Largo del anclaje de la Cara__[m]___= 0.65

SOBRECARGAS

Cargas Concentradas: RIEL 1

Intensidad_____ [kN/m] = 150.00

Cargas Concentradas: RIEL 2

Intensidad_____ [kN/m] = 150.00

Cargas Distribuidas: S/C

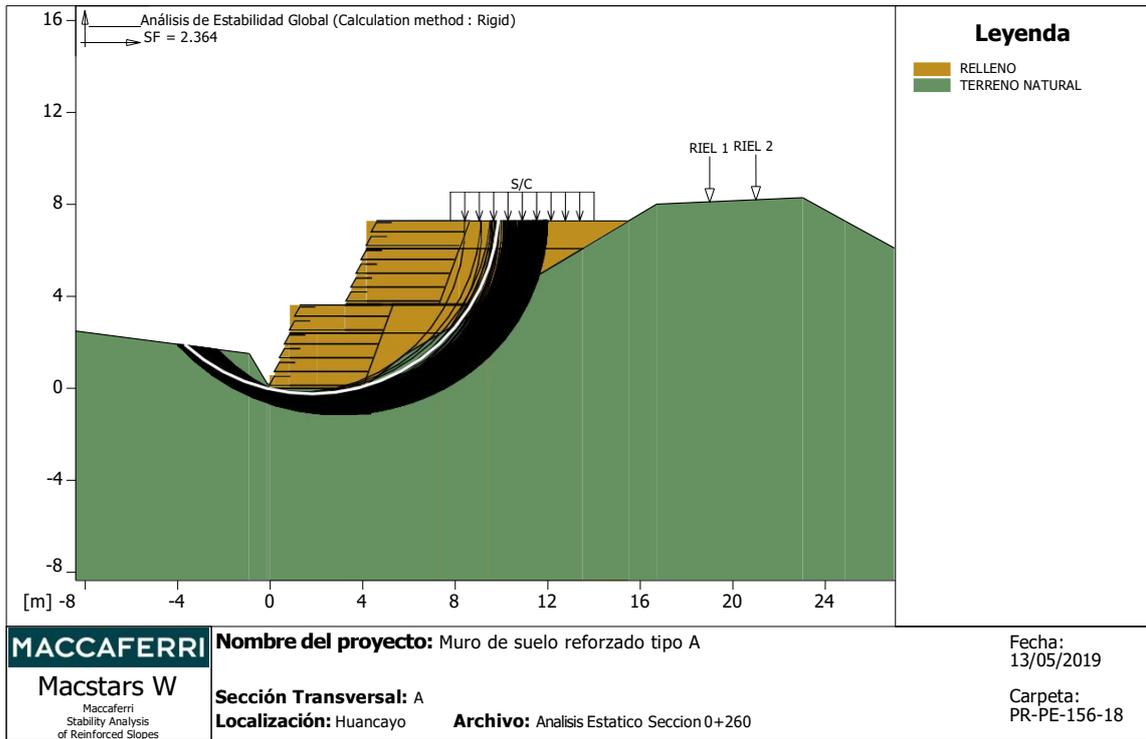
Intensidad_____ [kN/m²] = 15.00

PROPIEDADES DE LOS REFUERZOS UTILIZADOS

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60

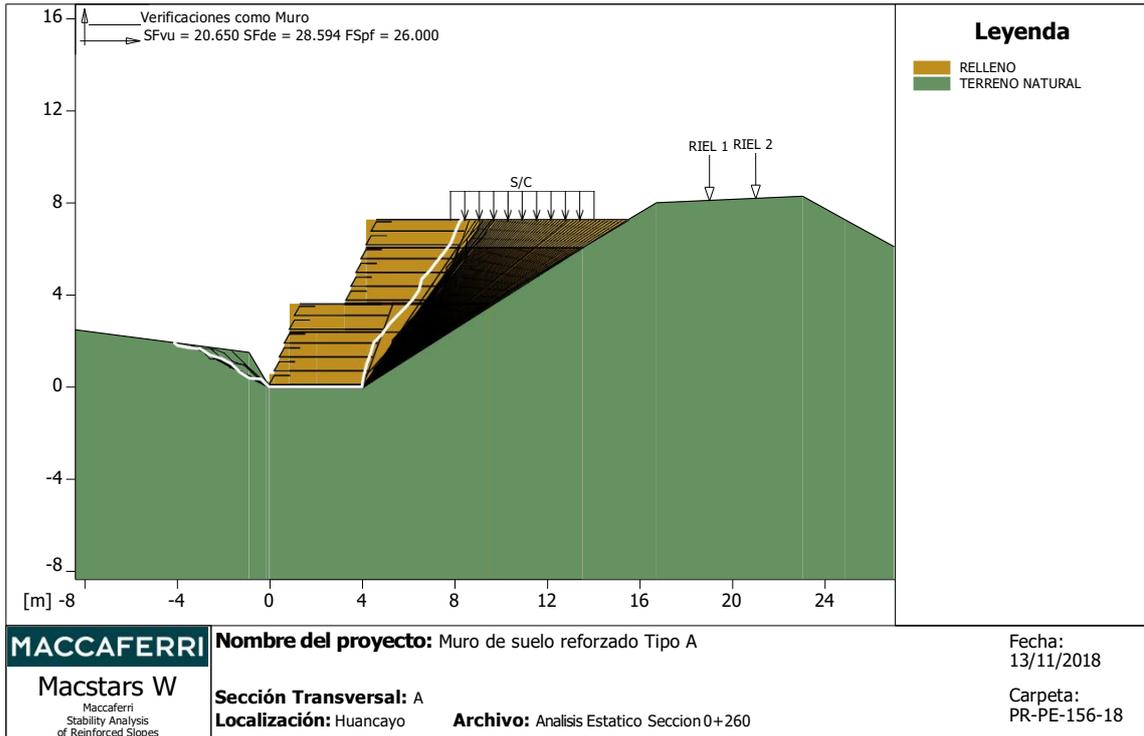
Resistencia a la Tracción_____ [kN/m]_____:	41.30
Tasa de deformación plástica_____:	2.00
Coefficiente de deformación elástica_____ [m ³ /kN]_____:	1.10e-04
Rigidez del refuerzo_____ [kN/m]_____:	420.00
Largo de anclaje M�nimo_____ [m]_____:	0.15
Factor de seg. contra la rotura (grava)_____:	1.44
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena)_____:	1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena limosa)_____:	1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arcilla arenosa)_____:	1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de interacción refuerzo/refuerzo_____:	0.30
Coefficiente de interacción refuerzo-grava_____:	0.90
Coefficiente de interacción refuerzo-arena_____:	0.65
Coefficiente de interacción refuerzo-limo_____:	0.50
Coefficiente de interacción refuerzo-arcilla_____:	0.30

VERIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS



Verificación de la estabilidad Global:

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido
 Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop
 Factor de Seguridad Calculado _____ : 2.364



Verificación como muro a gravedad:

Bloque Considerado: TV01

Fuerza Estabilizante _____ [kN/m] : 266.38

Fuerza Solicitante _____ [kN/m] : 12.90

Factor de Seguridad contra el Deslizamiento _____ : 20.650

Momento Estabilizante _____ [kN*m/m] : 1094.80

Momento Solicitante _____ [kN*m/m] : 38.29

Factor de Seguridad contra el Vuelco _____ : 28.594

Capacidad portante de acuerdo con el método del Equilibrio Limite.

Capacidad portante _____ [kN/m²] : 2267.40

Presión media _____ [kN/m²] : 87.21

Factor de seguridad de la capacidad portante del suelo de apoyo: 26.000

Fundación equivalente _____ [m] : 4.00

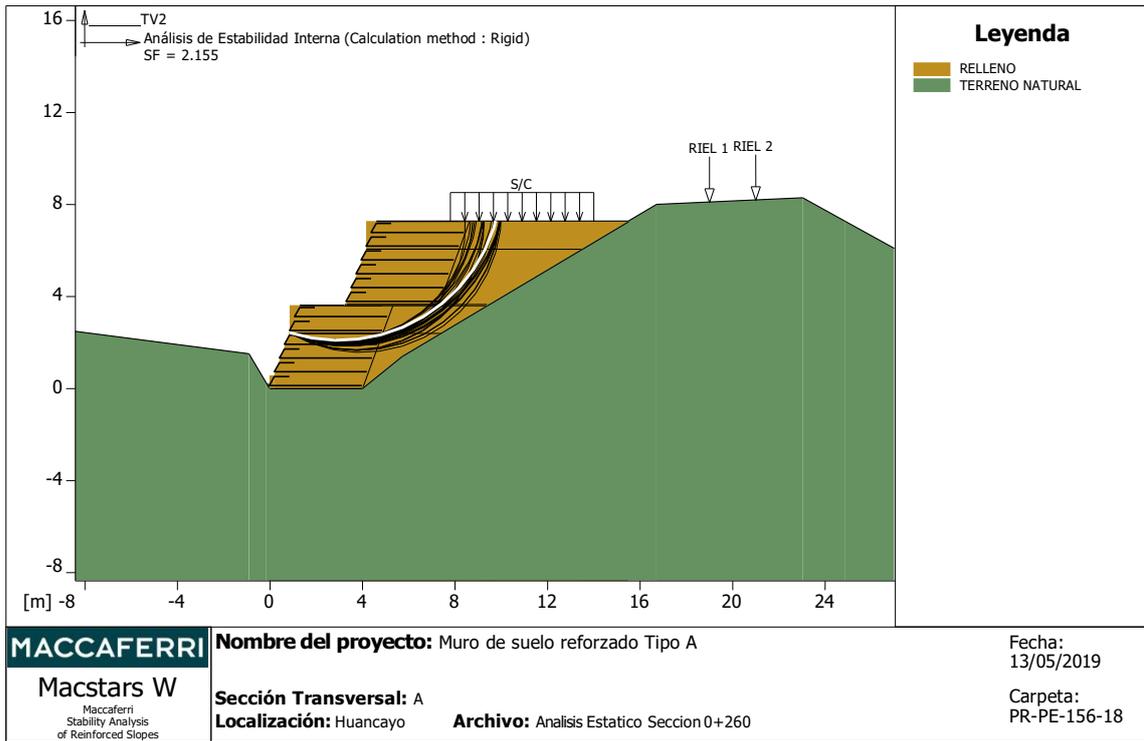
Excentricidad fuerza normal _____ [m] : -1.03

Brazo del momento _____ [m] : 2.97

Fuerza normal _____ [kN] : 348.59

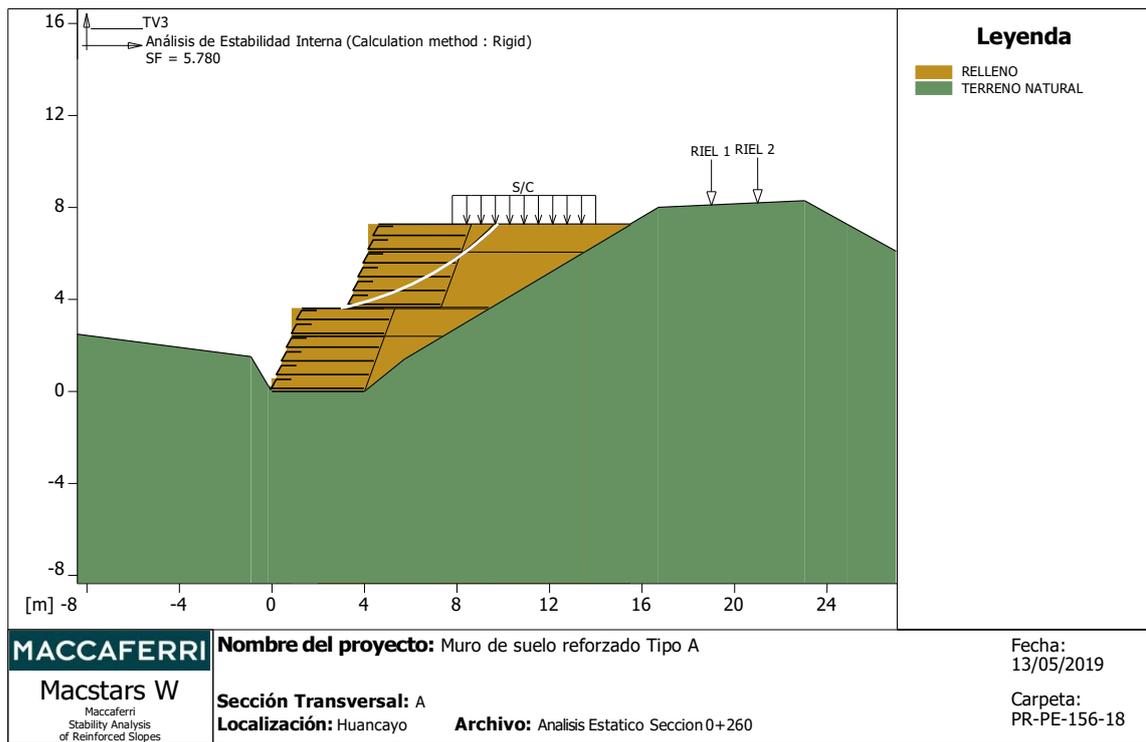
Tensión normal (Máxima) en el borde externo _____ [kN/m²] : -394.11

Tensión normal (Mínima) en el borde interno _____ [kN/m²] : 753.82



Estabilidad Interna: TV2

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido
 Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop
 Factor de Seguridad Calculado _____ : 2.155



Estabilidad Interna: TV3

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido
 Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop
 Factor de Seguridad Calculado _____ : 5.780

ANÁLISIS SÍSMICO DEL MURO DE SUELO REFORZADO TIPO A

MacStARS W – Rel. 4.0

Maccaferri Stability Analysis of Reinforced Slopes and Walls

Maccaferri de Perú

Proyecto _____: Muro de suelo reforzado Tipo A

Sección Transversal_: A

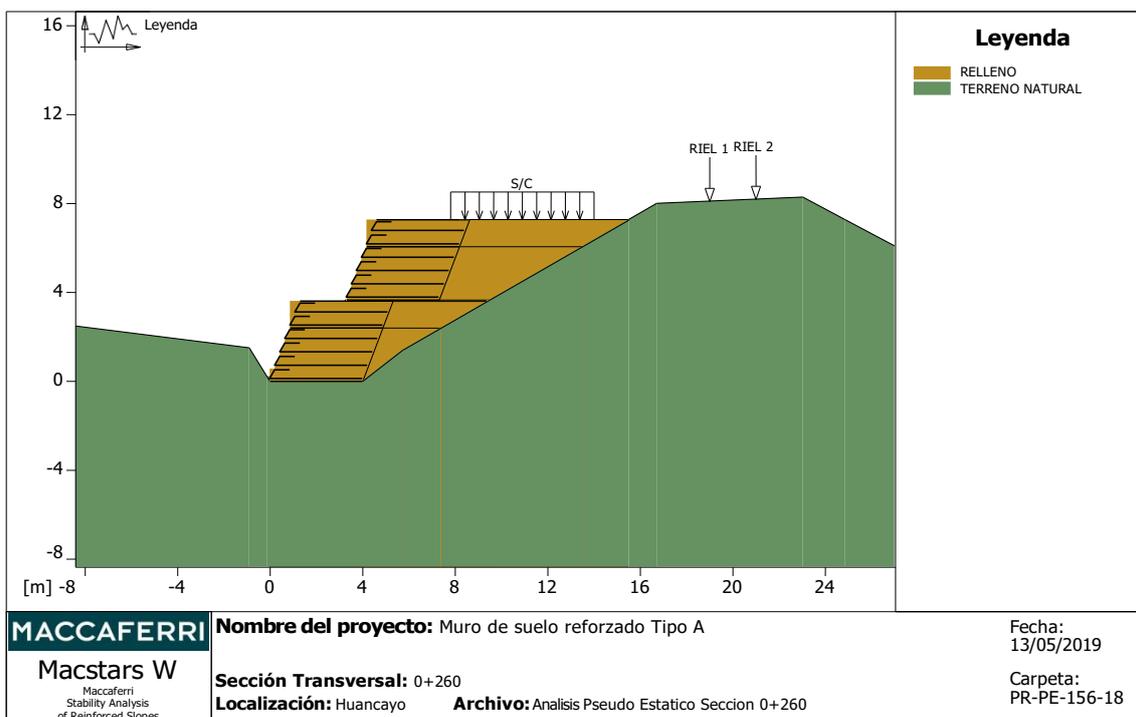
Localización_: Huancayo

Carpeta _____: PR-PE-156-18

Archivo _____: Análisis Pseudoestatico Sección 0+260

Fecha _____: 13/05/2019

PROPIEDADES DEL SUELO



Suelo: RELLENO	Descripción:	
Cohesión _____	[kN/m ²]:	10.00
Ángulo de Fricción _____	[°]:	32.00
Peso unitario – Natural _____	[kN/m ³]:	18.00
Peso unitario – Saturado _____	[kN/m ³]:	18.00

Suelo: TERRENO NATURAL	Descripción:	
Cohesión _____	[kN/m ²]:	10.00
Ángulo de Fricción _____	[°]:	33.00
Peso unitario – Natural _____	[kN/m ³]:	20.00
Peso unitario – Saturado _____	[kN/m ³]:	20.00

BLOQUES REFORZADOS

Bloque: TV01

Dimensiones del bloque [m]: Ancho de la Base = 4.00 Altura = 2.40
Origen del Bloque [m]: Abscisa = 0.00 Ordenada = 0.00
Berma Inclinación Paramento [°]: 20.00

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60

Largo [m] = 4.00
Espaciamiento Vertical [m] = 0.60
Largo del anclaje de la Cara [m] = 0.65

Bloque: TV2

Dimensiones del bloque [m]: Ancho de la Base = 4.00 Altura = 1.20
[m] = 0.00 por TV01
Inclinación Paramento [°]: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60

Largo [m] = 4.00
Espaciamiento Vertical [m] = 0.60
Largo del anclaje de la Cara [m] = 0.65

Bloque: TV3

Dimensiones del bloque [m]: Ancho de la Base = 4.00 Altura = 2.40
Origen del Bloque [m]: Abscisa = 3.31 Ordenada = 3.66
Berma Inclinación Paramento [°]: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60

Largo [m] = 4.00
Espaciamiento Vertical [m] = 0.60
Largo del anclaje de la Cara [m] = 0.65

Bloque: TV4

Dimensiones del bloque [m]: Ancho de la Base = 4.00 Altura = 1.20
[m] = 0.00 por TV3
Inclinación Paramento [°]: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60

Largo [m] = 4.00
Espaciamiento Vertical [m] = 0.60
Largo del anclaje de la Cara [m] = 0.65

SOBRECARGAS

Cargas Concentradas: RIEL 1

Intensidad_____ [kN/m] = 150.00

Cargas Concentradas: RIEL 2

Intensidad_____ [kN/m] = 150.00

Cargas Distribuidas: S/C

Intensidad_____ [kN/m²] = 15.00

Efectos Sísmicos:

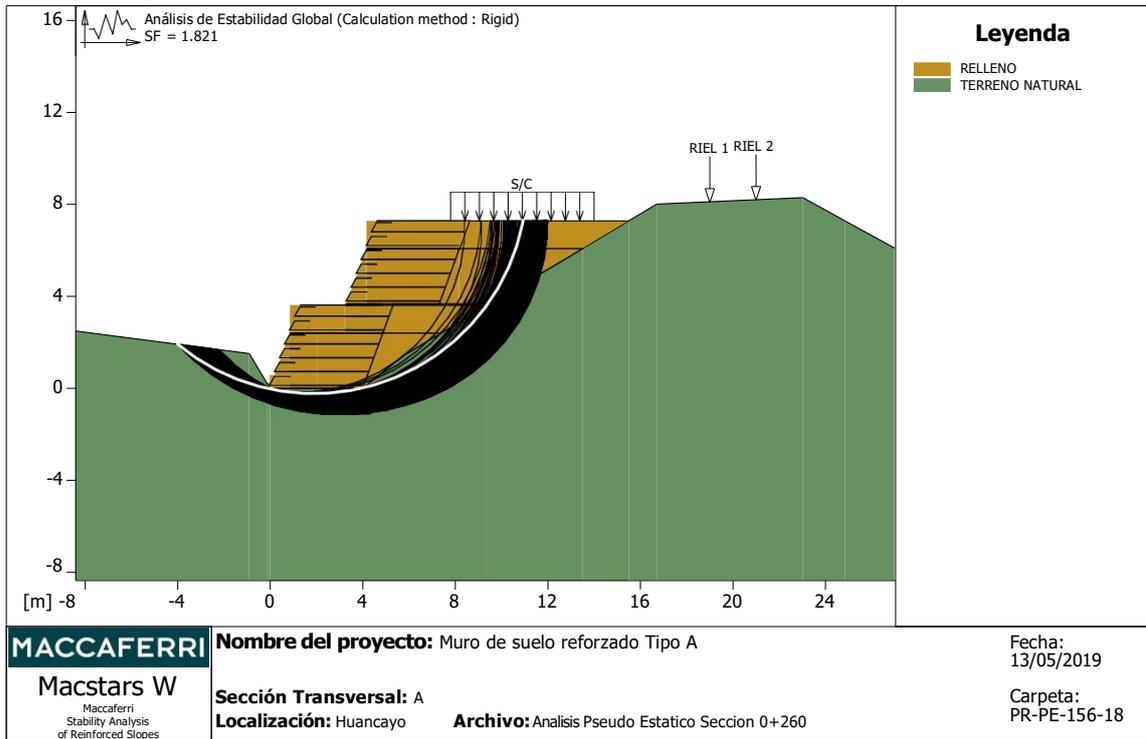
Aceleración_____ [m/s²]: Horizontal____ = 1.72 Vertical____ = 0.00

PROPIEDADES DE LOS REFUERZOS UTILIZADOS

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60

Resistencia a la Tracción_____ [kN/m]_____:	41.30
Tasa de deformación plástica_____:	2.00
Coefficiente de deformación elástica_____ [m ³ /kN]_____:	1.10e-04
Rigidez del refuerzo_____ [kN/m]_____:	420.00
Largo de anclaje Mínimo_____ [m]_____:	0.15
Factor de seg. contra la rotura (grava)_____:	1.44
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena)_____:	1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena limosa)_____:	1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arcilla arenosa)_____:	1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de interacción refuerzo/refuerzo_____:	0.30
Coefficiente de interacción refuerzo-grava_____:	0.90
Coefficiente de interacción refuerzo-arena_____:	0.65
Coefficiente de interacción refuerzo-limo_____:	0.50
Coefficiente de interacción refuerzo-arcilla_____:	0.30

VERIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS

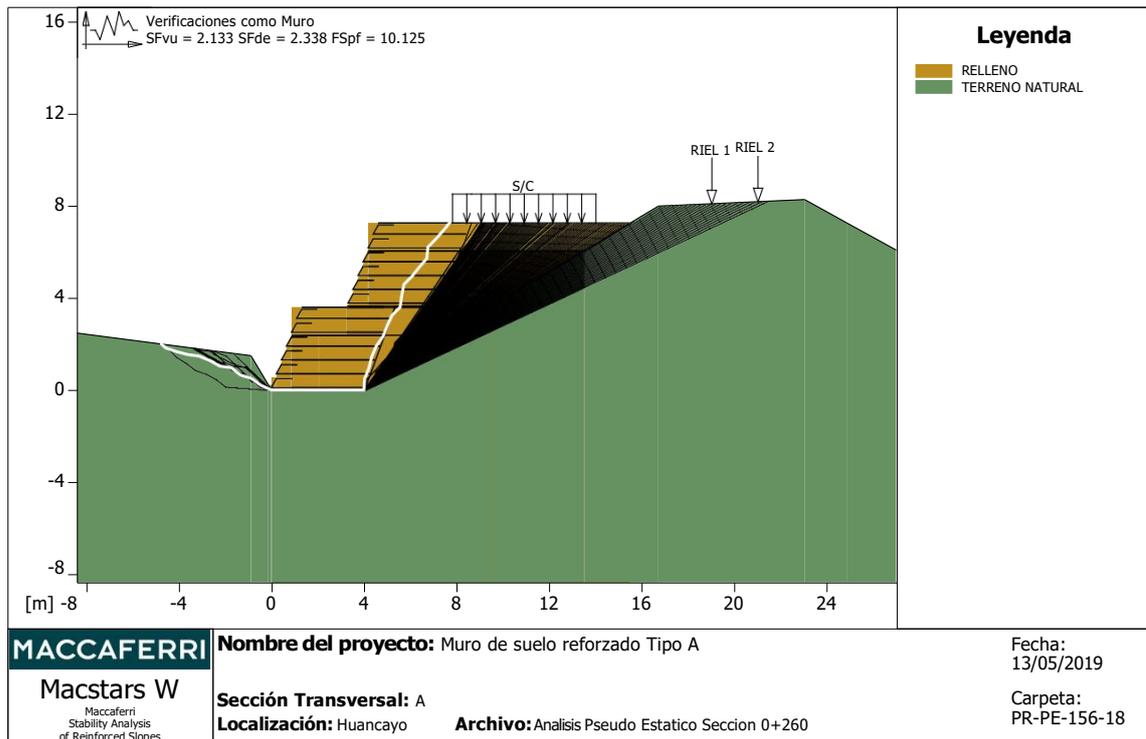


Verificación de la estabilidad Global:

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido

Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop

Factor de Seguridad Calculado _____ : 1.821



Verificación como muro a gravedad:

Bloque Considerado: TV01

Fuerza Estabilizante _____ [kN/m] : 266.38

Fuerza Solicitante _____ [kN/m] : 124.89

Factor de Seguridad contra el Deslizamiento _____ : 2.133

Momento Estabilizante _____ [kN*m/m] : 1094.80

Momento Solicitante _____ [kN*m/m] : 468.20

Factor de Seguridad contra el Vuelco _____ : 2.338

Capacidad portante de acuerdo con el método del Equilibrio Limite.

Capacidad portante _____ [kN/m²] : 1042.80

Presión media _____ [kN/m²] : 102.99

Factor de seguridad de la capacidad portante del suelo de apoyo: 10.125

Fundación equivalente _____ [m] : 3.60

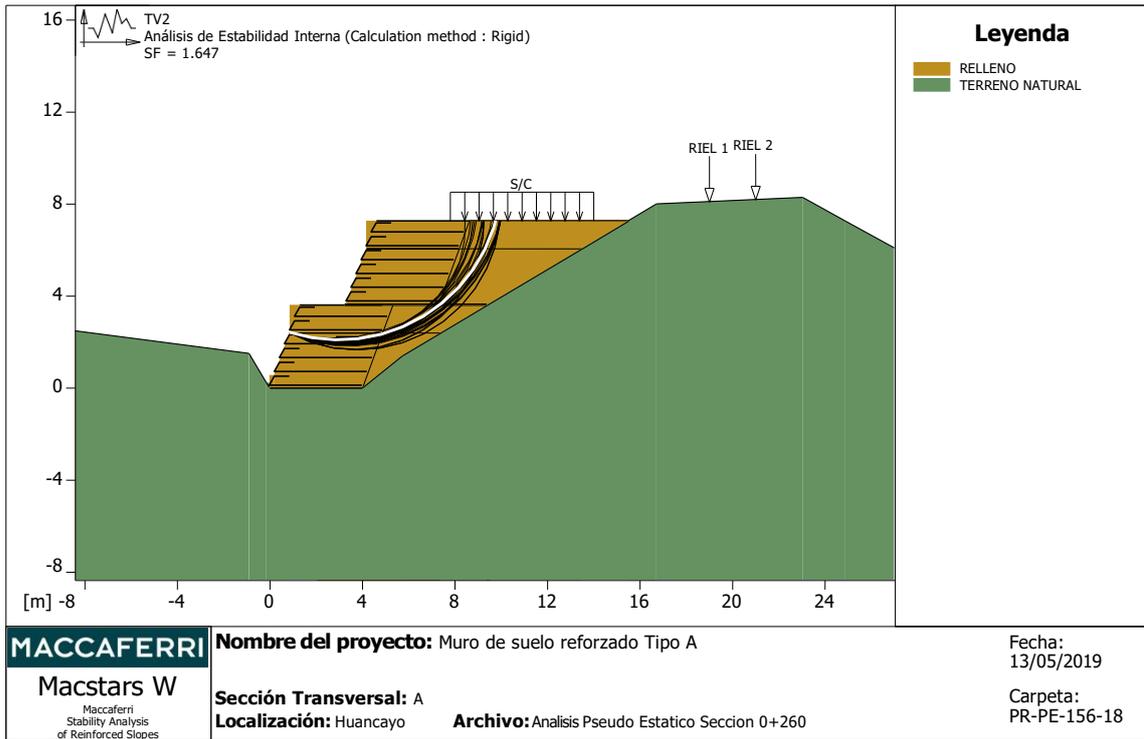
Excentricidad fuerza normal _____ [m] : 0.20

Brazo del momento _____ [m] : 3.75

Fuerza normal _____ [kN] : 348.59

Tensión normal (Máxima) en el borde externo _____ [kN/m²] : 113.60

Tensión normal (Mínima) en el borde interno _____ [kN/m²] : 60.69

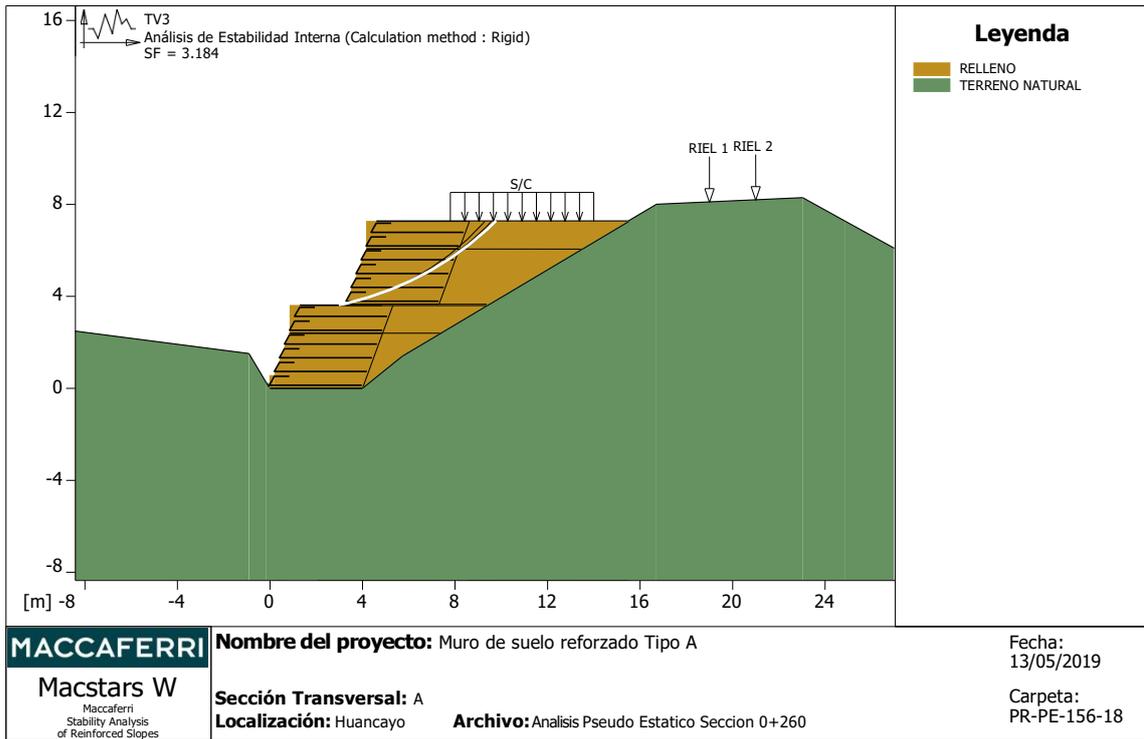


Estabilidad Interna: TV2

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido

Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop

Factor de Seguridad Calculado _____: 1.647



Estabilidad Interna: TV3

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido

Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop

Factor de Seguridad Calculado _____ : 3.184

ANÁLISIS ESTÁTICO DEL MURO DE SUELO REFORZADO TIPO B

MacStARS W – Rel. 4.0

Maccaferri Stability Analysis of Reinforced Slopes and Walls

Maccaferri

Proyecto _____: Muro de suelo reforzado Tipo B

Sección Transversal_: B

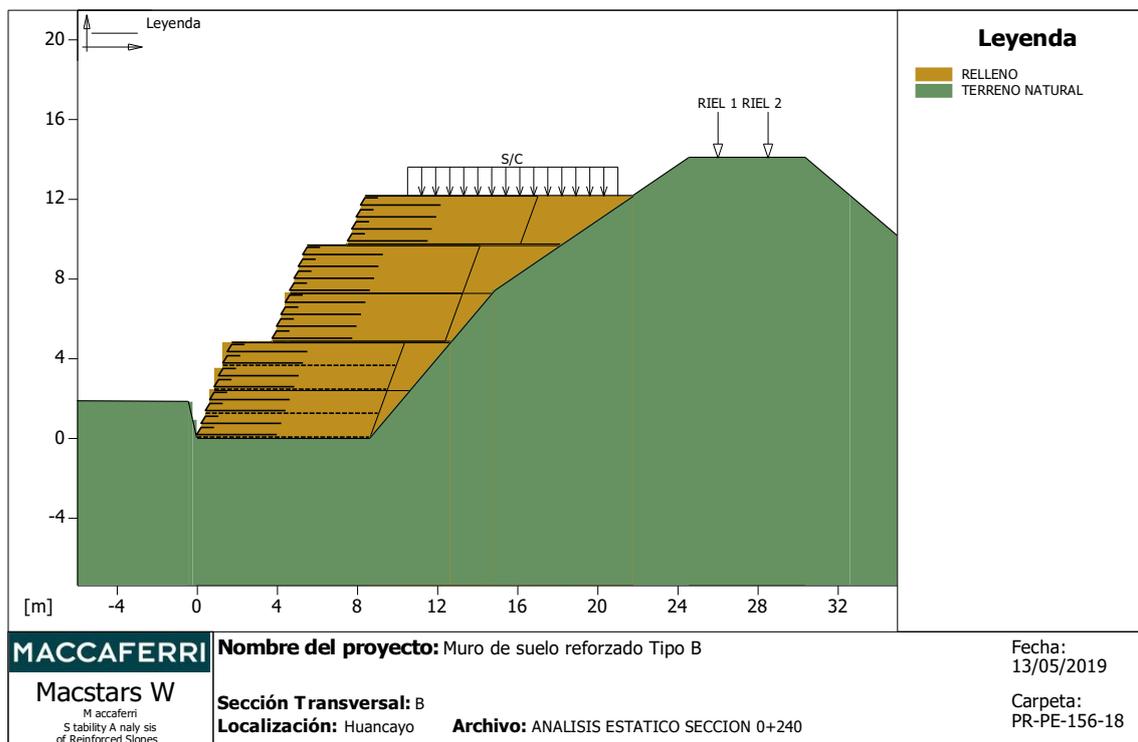
Localización_: Huancayo

Carpeta _____: PR-PE-156-18

Archivo _____: ANALISIS ESTATICO SECCION 0+240

Fecha _____: 13/05/2019

PROPIEDADES DEL SUELO



Suelo: RELLENO Descripción:

Cohesión _____	[kN/m ²]:	10.00
Ángulo de Fricción _____	[°]:	32.00
Peso unitario – Natural _____	[kN/m ³]:	18.00
Peso unitario – Saturado _____	[kN/m ³]:	18.00

Suelo: TERRENO NATURAL Descripción:

Cohesión _____	[kN/m ²]:	10.00
Ángulo de Fricción _____	[°]:	33.00
Peso unitario – Natural _____	[kN/m ³]:	20.00
Peso unitario – Saturado _____	[kN/m ³]:	20.00

BLOQUES REFORZADOS

Bloque: TV01

Dimensiones del bloque__[m]___: Ancho de la Base_= 8.60 Altura___= 2.40
Origen del Bloque__[m]___: Abscisa___= 0.00 Ordenada_= 0.00
BermaInclinación Paramento__[°]___: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60

Largo__[m]___= 4.00
Espaciamiento Vertical__[m]___= 0.60
Largo del anclaje de la Cara__[m]___= 0.65

Linear Composites - ParaGrid - 80

Largo__[m]___= 8.60
Espaciamiento Vertical__[m]___= 1.20
Offset__[m]___= 0.00

Bloque: TV02

Dimensiones del bloque__[m]___: Ancho de la Base_= 8.60 Altura___= 2.40
__[m]___= 0.00 por TV01
Inclinación Paramento__[°]___: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60

Largo__[m]___= 4.00
Espaciamiento Vertical__[m]___= 0.60
Largo del anclaje de la Cara__[m]___= 0.65

Linear Composites - ParaGrid - 80

Largo__[m]___= 8.60
Espaciamiento Vertical__[m]___= 1.20
Offset__[m]___= 0.00

Bloque: TV03

Dimensiones del bloque__[m]___: Ancho de la Base_= 8.60 Altura___= 2.40
Origen del Bloque__[m]___: Abscisa___= 3.77 Ordenada_= 4.88
BermaInclinación Paramento__[°]___: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60

Largo__[m]___= 4.00
Espaciamiento Vertical__[m]___= 0.60
Largo del anclaje de la Cara__[m]___= 0.65

Bloque: TV04

Dimensiones del bloque__[m]___: Ancho de la Base_= 8.60 Altura___= 2.40
__[m]___= 0.00 por TV03
Inclinación Paramento__[°]___: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60

Largo_____ [m]_____ = 4.00

Espaciamiento Vertical_____ [m]_____ = 0.60

Largo del anclaje de la Cara_____ [m]_____ = 0.65

Bloque: TV05

Dimensiones del bloque_ [m]_____: Ancho de la Base_ = 8.60 Altura_____ = 2.40

Origen del Bloque_____ [m]_____: Abscisa_____ = 7.53 Ordenada_ = 9.76

BermaInclinación Paramento_____ [°]_____: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60

Largo_____ [m]_____ = 4.00

Espaciamiento Vertical_____ [m]_____ = 0.60

Largo del anclaje de la Cara_____ [m]_____ = 0.65

SOBRECARGAS

Cargas Concentradas: RIEL 1

Intensidad [kN/m] = 150.00 Descripción:
 Inclinação [°] = 0.00
 Abscisa [m] = 26.00

Cargas Concentradas: RIEL 2

Intensidad [kN/m] = 150.00 Descripción:
 Inclinação [°] = 0.00
 Abscisa [m] = 28.50

Cargas Distribuidas: S/C

Intensidad [kN/m²] = 15.00 Descripción :
 Inclinação [°] = 0.00
 Abscisa [m] : de = 10.50 hasta = 21.00

PROPIEDADES DE LOS REFUERZOS UTILIZADOS

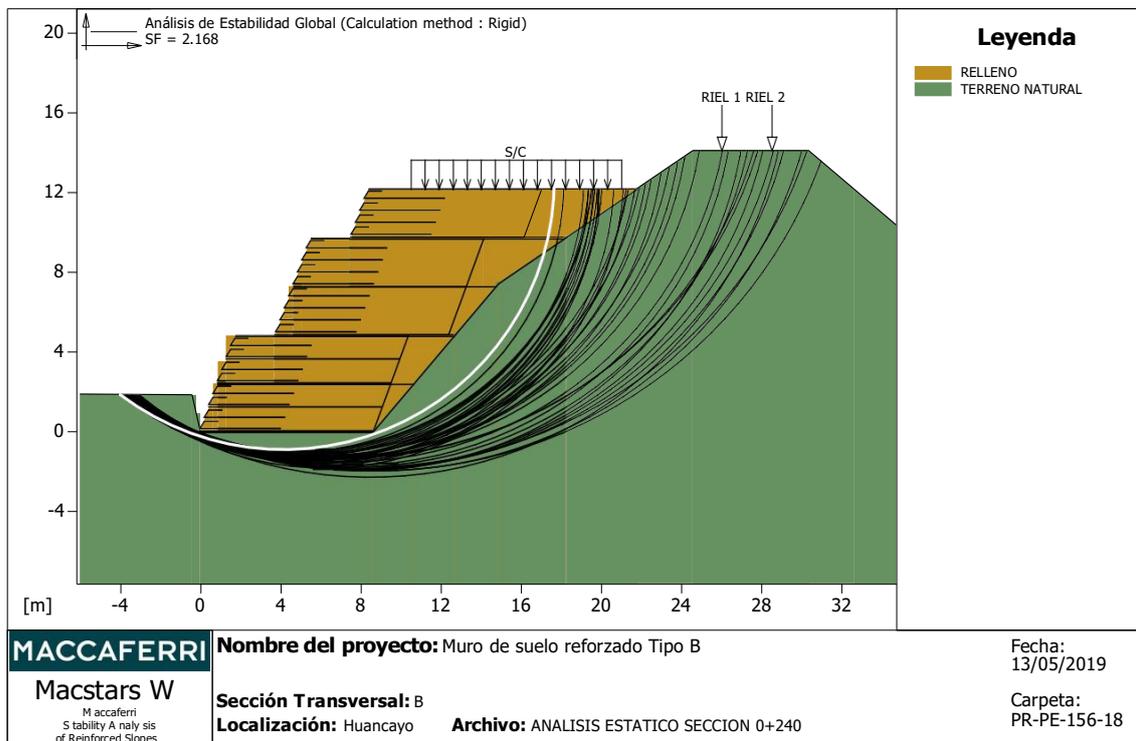
Linear Composites - ParaGrid - 80

Resistencia a la Tracción [kN/m] :	80.00
Tasa de deformación plástica :	0.00
Coefficiente de deformación elástica [m ³ /kN] :	1.10e-04
Rigidez del refuerzo [kN/m] :	665.00
Largo de anclaje Mínimo [m] :	0.15
Factor de seg. contra la rotura (grava) :	1.67
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out) :	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena) :	1.54
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out) :	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena limosa) :	1.54
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out) :	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arcilla arenosa) :	1.54
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out) :	1.00
Factor de interacción refuerzo/refuerzo :	0.16
Coefficiente de interacción refuerzo-grava :	0.90
Coefficiente de interacción refuerzo-arena :	0.90
Coefficiente de interacción refuerzo-limo :	0.70
Coefficiente de interacción refuerzo-arcilla :	0.40

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60

Resistencia a la Tracción [kN/m] :	41.30
Tasa de deformación plástica :	2.00
Coefficiente de deformación elástica [m ³ /kN] :	1.10e-04
Rigidez del refuerzo [kN/m] :	420.00
Largo de anclaje Mínimo [m] :	0.15
Factor de seg. contra la rotura (grava) :	1.44
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out) :	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena) :	1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out) :	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena limosa) :	1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out) :	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arcilla arenosa) :	1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out) :	1.00
Factor de interacción refuerzo/refuerzo :	0.30
Coefficiente de interacción refuerzo-grava :	0.90
Coefficiente de interacción refuerzo-arena :	0.65
Coefficiente de interacción refuerzo-limo :	0.50
Coefficiente de interacción refuerzo-arcilla :	0.30

VERIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS

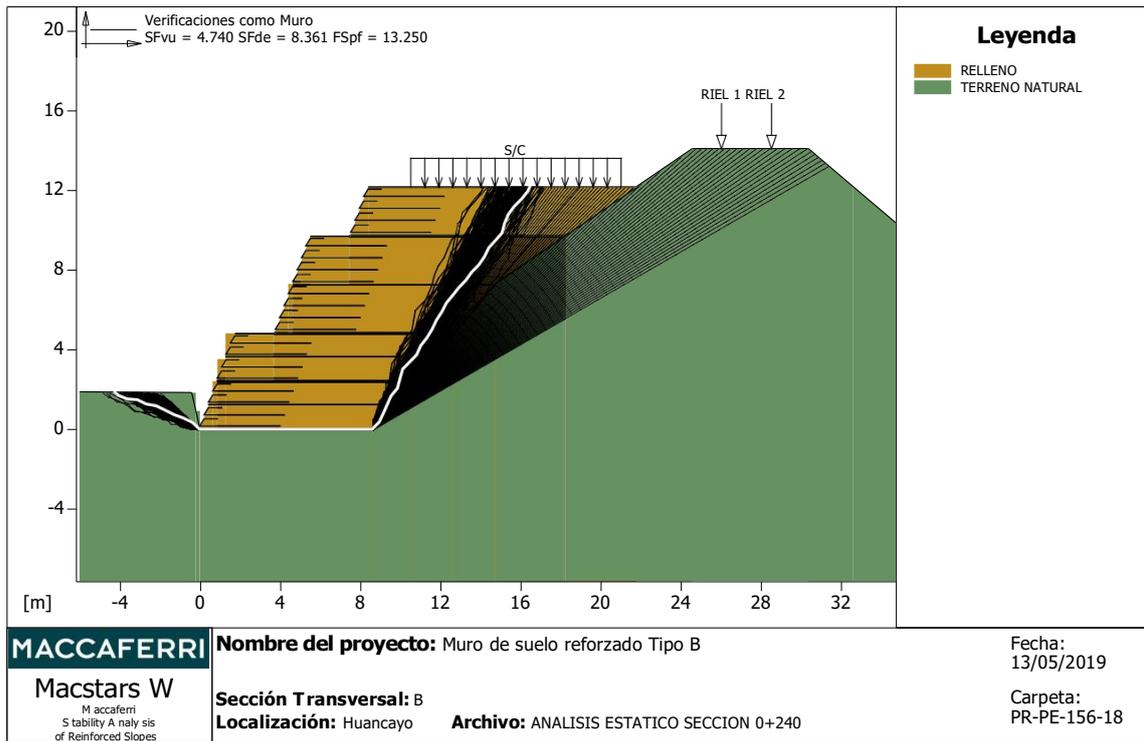


Verificación de la estabilidad Global:

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido

Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop

Factor de Seguridad Calculado _____ : 2.168



Verificación como muro a gravedad:

Bloque Considerado: TV01

Fuerza Estabilizante _____ [kN/m]_: 926.67

Fuerza Solicitante _____ [kN/m]_: 195.49

Factor de Seguridad contra el Deslizamiento _____: 4.740

Momento Estabilizante _____ [kN*m/m]_: 7997.30

Momento Solicitante _____ [kN*m/m]_: 956.47

Factor de Seguridad contra el Vuelco _____: 8.361

Capacidad portante de acuerdo con el método del Equilibrio Limite.

Capacidad portante _____ [kN/m²]_: 2017.10

Presión media _____ [kN/m²]_: 152.23

Factor de seguridad de la capacidad portante del suelo de apoyo: 13.250

Fundación equivalente _____ [m]_: 8.60

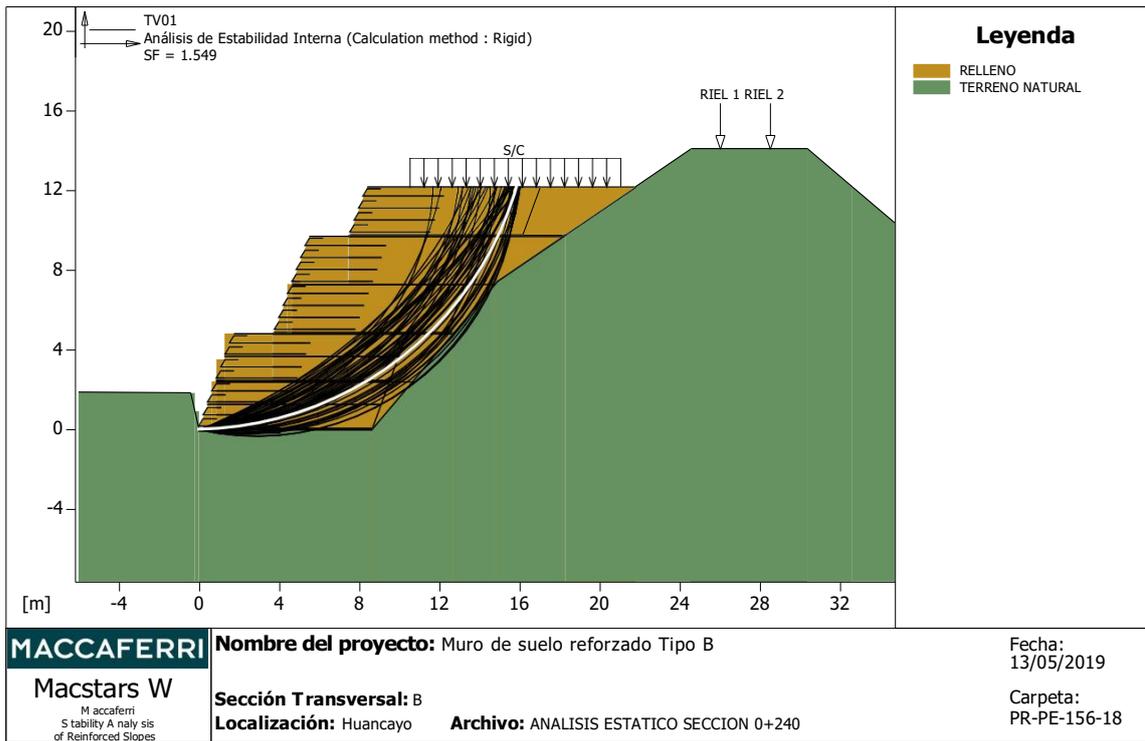
Excentricidad fuerza normal _____ [m]_: -1.14

Brazo del momento _____ [m]_: 4.89

Fuerza normal _____ [kN]_: 1294.50

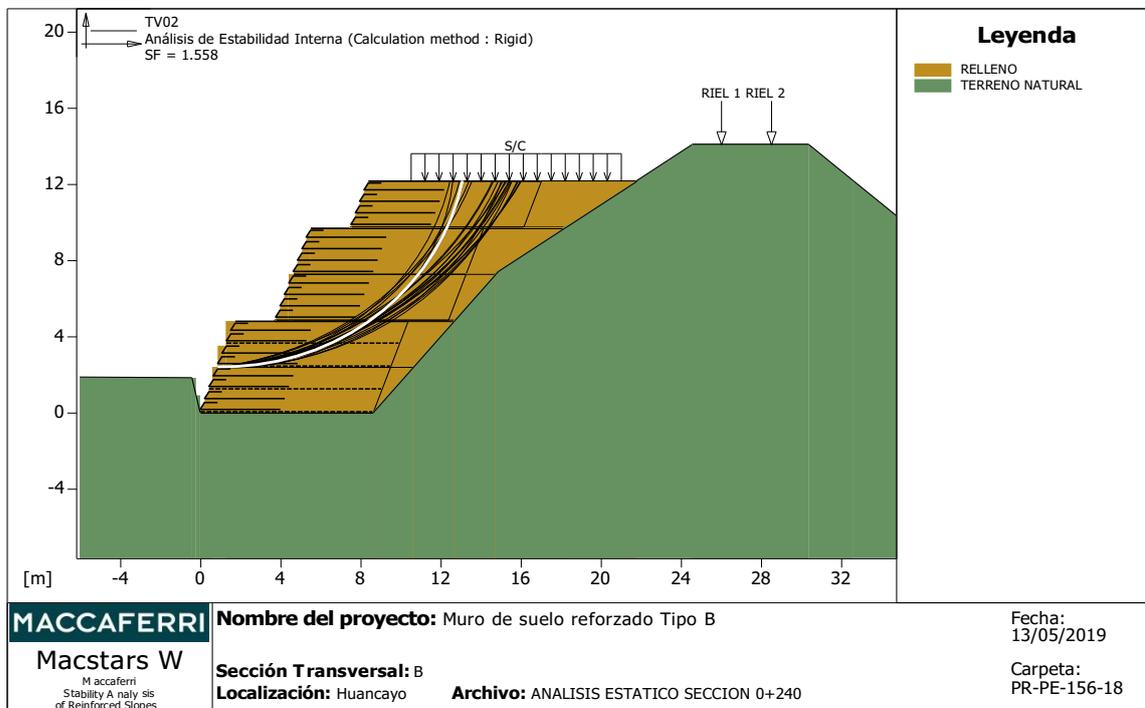
Tensión normal (Máxima) en el borde externo _____ [kN/m²]_: -16.56

Tensión normal (Mínima) en el borde interno _____ [kN/m²]_: 426.07



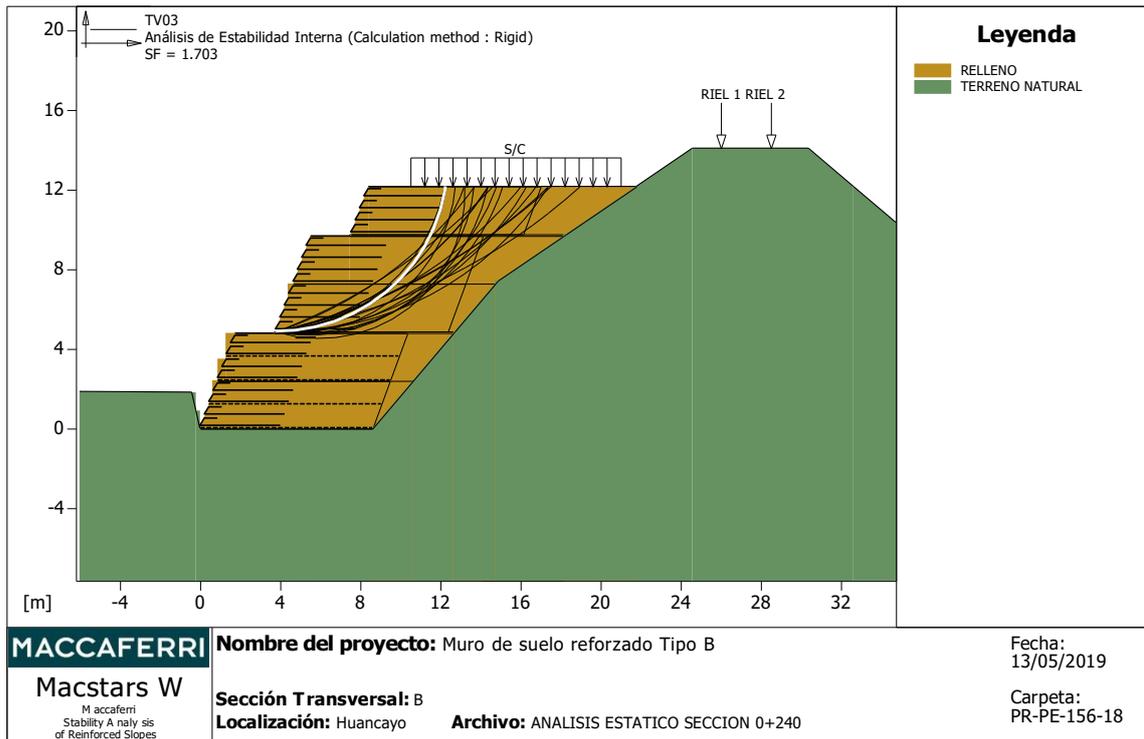
Estabilidad Interna: TV01

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido
 Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop
 Factor de Seguridad Calculado _____ : 1.549



Estabilidad Interna: TV02

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido
 Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop
 Factor de Seguridad Calculado _____ : 1.558

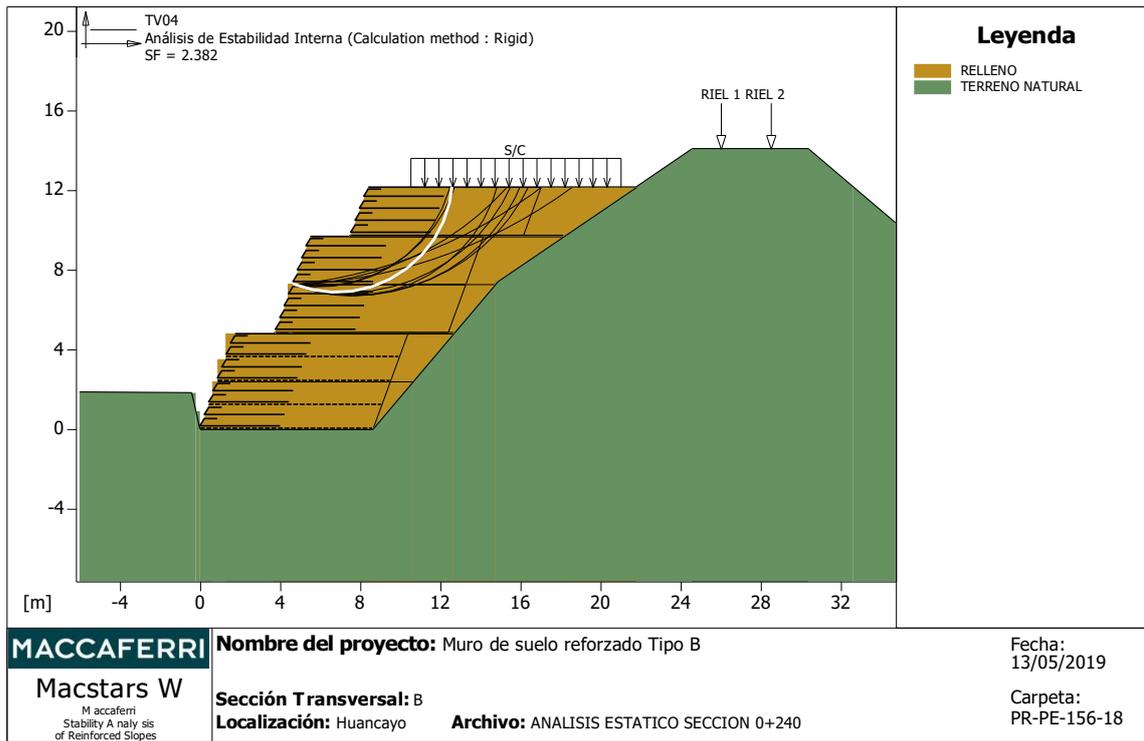


Estabilidad Interna: TV03

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido

Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop

Factor de Seguridad Calculado _____ : 1.703

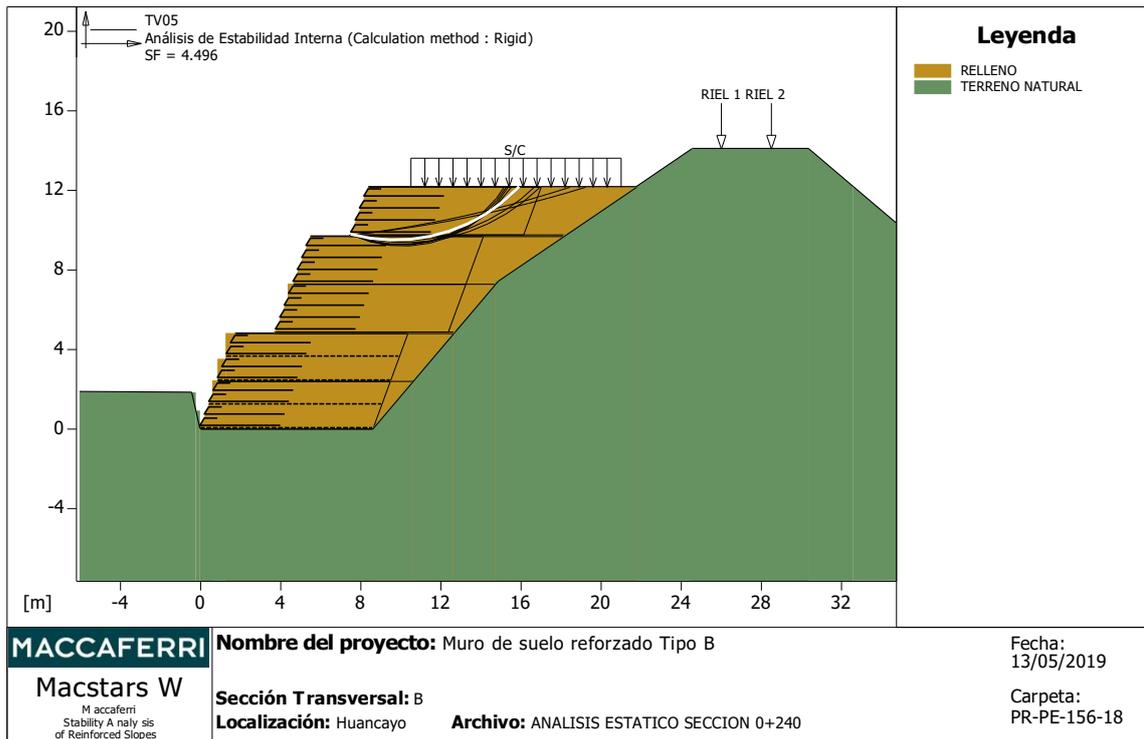


Estabilidad Interna: TV04

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido

Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop

Factor de Seguridad Calculado _____ : 2.382



Estabilidad Interna: TV05

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido
 Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop
 Factor de Seguridad Calculado _____ : 4.496

ANÁLISIS SÍSMICO DEL MURO DE SUELO REFORZADO TIPO B

MacStARS W – Rel. 4.0

Maccaferri Stability Analysis of Reinforced Slopes and Walls

Maccaferri

Proyecto _____: Muro de suelo reforzado Tipo B

Sección Transversal_: B

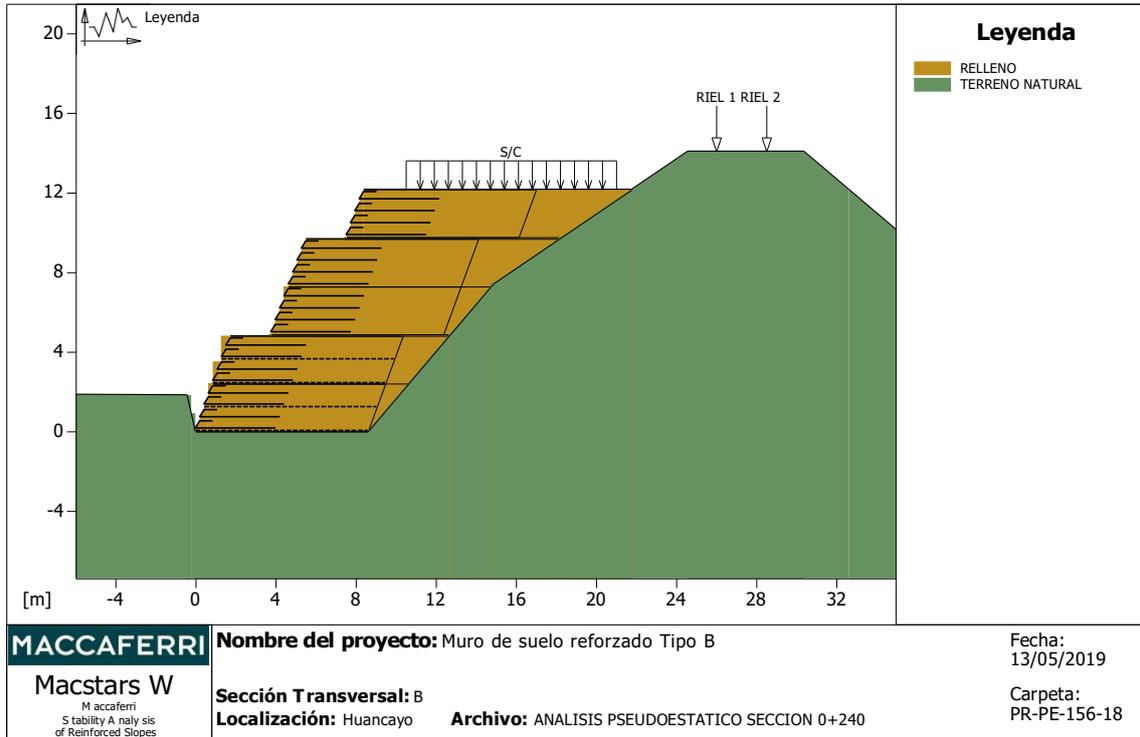
Localización_: Huancayo

Carpeta _____: PR-PE-156-18

Archivo _____: ANALISIS PSEUDOESTATICO SECCION 0+240

Fecha _____: 13/05/2019

PROPIEDADES DEL SUELO



Suelo: RELLENO Descripción:

Cohesión _____	[kN/m ²]:	10.00
Ángulo de Fricción _____	[°]:	32.00
Peso unitario – Natural _____	[kN/m ³]:	18.00
Peso unitario – Saturado _____	[kN/m ³]:	18.00

Suelo: TERRENO NATURAL Descripción:

Cohesión _____	[kN/m ²]:	10.00
Ángulo de Fricción _____	[°]:	33.00
Peso unitario – Natural _____	[kN/m ³]:	20.00
Peso unitario – Saturado _____	[kN/m ³]:	20.00

BLOQUES REFORZADOS

Bloque: TV01

Dimensiones del bloque [m]: Ancho de la Base = 8.60 Altura = 2.40
Origen del Bloque [m]: Abscisa = 0.00 Ordenada = 0.00
BermaInclinación Paramento [°]: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60

Largo [m] = 4.00
Espaciamiento Vertical [m] = 0.60
Largo del anclaje de la Cara [m] = 0.65

Linear Composites - ParaGrid - 80

Largo [m] = 8.60
Espaciamiento Vertical [m] = 1.20
Offset [m] = 0.00

Bloque: TV02

Dimensiones del bloque [m]: Ancho de la Base = 8.60 Altura = 2.40
[m] = 0.00 por TV01
Inclinación Paramento [°]: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60

Largo [m] = 4.00
Espaciamiento Vertical [m] = 0.60
Largo del anclaje de la Cara [m] = 0.65

Linear Composites - ParaGrid - 80

Largo [m] = 8.60
Espaciamiento Vertical [m] = 1.20
Offset [m] = 0.00

Bloque: TV03

Dimensiones del bloque [m]: Ancho de la Base = 8.60 Altura = 2.40
Origen del Bloque [m]: Abscisa = 3.77 Ordenada = 4.88
BermaInclinación Paramento [°]: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60

Largo [m] = 4.00
Espaciamiento Vertical [m] = 0.60
Largo del anclaje de la Cara [m] = 0.65

Bloque: TV04

Dimensiones del bloque [m]: Ancho de la Base = 8.60 Altura = 2.40
 [m] = 0.00 por TV03
 Inclinación Paramento [°]: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60

Largo [m] = 4.00
 Espaciamiento Vertical [m] = 0.60
 Largo del anclaje de la Cara [m] = 0.65

Bloque: TV05

Dimensiones del bloque [m]: Ancho de la Base = 8.60 Altura = 2.40
 Origen del Bloque [m]: Abscisa = 7.53 Ordenada = 9.76
 Berma Inclinación Paramento [°]: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60

Largo [m] = 4.00
 Espaciamiento Vertical [m] = 0.60
 Largo del anclaje de la Cara [m] = 0.65

SOBRECARGAS**Cargas Concentradas: RIEL 1**

Intensidad [kN/m] = 150.00 Descripción:
 Inclinación [°] = 0.00
 Abscisa [m] = 26.00

Cargas Concentradas: RIEL 2

Intensidad [kN/m] = 150.00 Descripción:
 Inclinación [°] = 0.00
 Abscisa [m] = 28.50

Cargas Distribuidas: S/C

Intensidad [kN/m²] = 15.00 Descripción :
 Inclinación [°] = 0.00
 Abscisa [m]: de = 10.50 hasta = 21.00

Efectos Sísmicos:

Aceleración [m/s²]: Horizontal = 1.72 Vertical = 0.00

PROPIEDADES DE LOS REFUERZOS UTILIZADOS

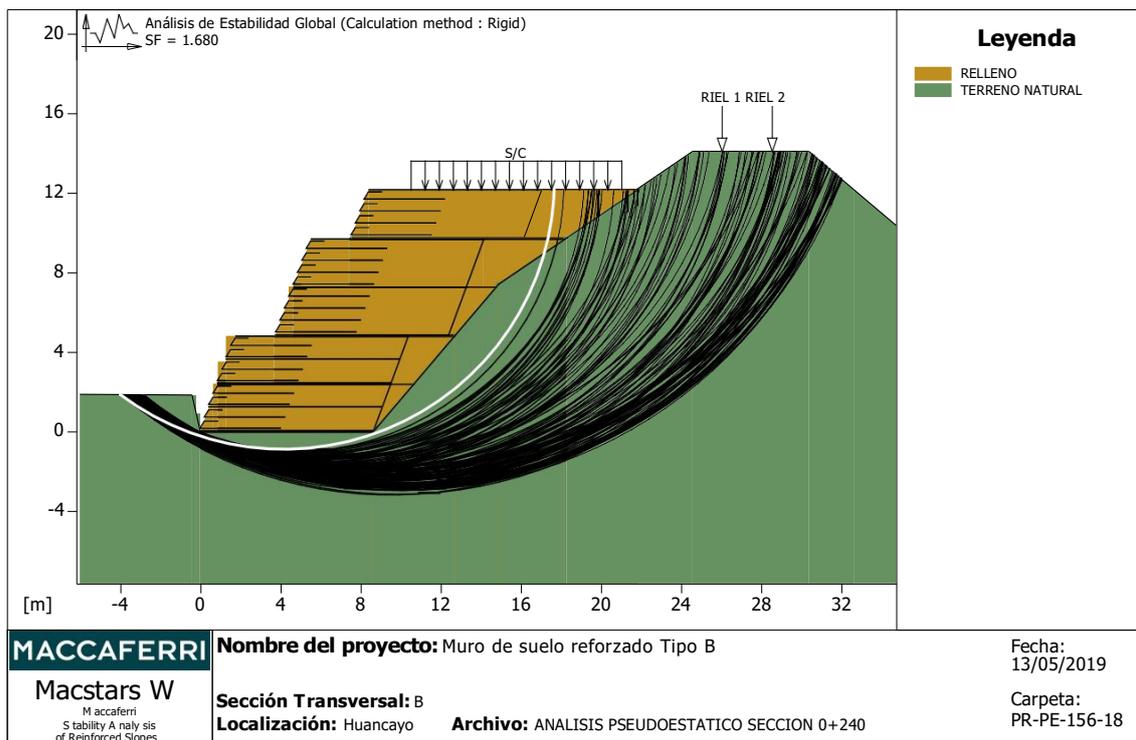
Linear Composites - ParaGrid - 80

Resistencia a la Tracción_____ [kN/m]_____:	80.00
Tasa de deformación plástica_____:	0.00
Coefficiente de deformación elástica_____ [m ³ /kN]_____:	1.10e-04
Rigidez del refuerzo_____ [kN/m]_____:	665.00
Largo de anclaje Míximo_____ [m]_____:	0.15
Factor de seg. contra la rotura (grava)_____:	1.67
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena)_____:	1.54
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena limosa)_____:	1.54
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arcilla arenosa)_____:	1.54
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de interacción refuerzo/refuerzo_____:	0.16
Coefficiente de interacción refuerzo-grava_____:	0.90
Coefficiente de interacción refuerzo-arena_____:	0.90
Coefficiente de interacción refuerzo-limo_____:	0.70
Coefficiente de interacción refuerzo-arcilla_____:	0.40

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60

Resistencia a la Tracción_____ [kN/m]_____:	41.30
Tasa de deformación plástica_____:	2.00
Coefficiente de deformación elástica_____ [m ³ /kN]_____:	1.10e-04
Rigidez del refuerzo_____ [kN/m]_____:	420.00
Largo de anclaje Míximo_____ [m]_____:	0.15
Factor de seg. contra la rotura (grava)_____:	1.44
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena)_____:	1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena limosa)_____:	1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arcilla arenosa)_____:	1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de interacción refuerzo/refuerzo_____:	0.30
Coefficiente de interacción refuerzo-grava_____:	0.90
Coefficiente de interacción refuerzo-arena_____:	0.65
Coefficiente de interacción refuerzo-limo_____:	0.50
Coefficiente de interacción refuerzo-arcilla_____:	0.30

VERIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS

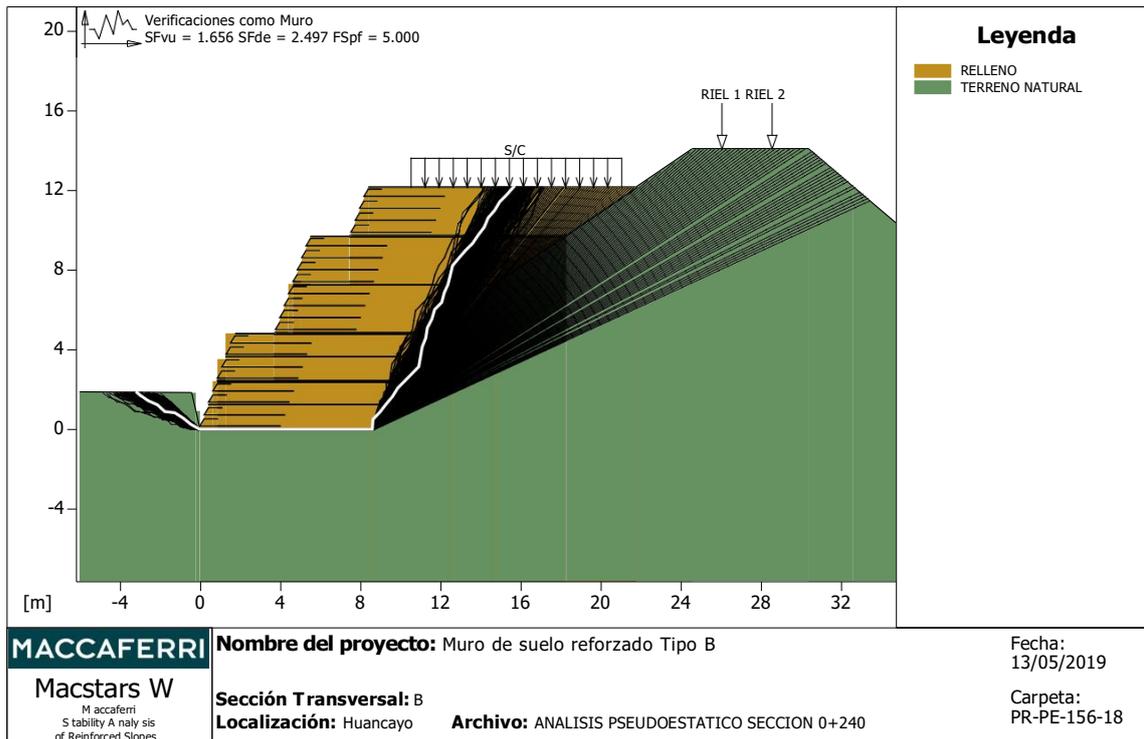


Verificación de la estabilidad Global:

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido

Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop

Factor de Seguridad Calculado _____ : 1.680



Verificación como muro a gravedad:

Bloque Considerado: TV01

Fuerza Estabilizante _____ [kN/m] : 926.67

Fuerza Solicitante _____ [kN/m] : 559.45

Factor de Seguridad contra el Deslizamiento _____ : 1.656

Momento Estabilizante _____ [kN*m/m] : 7997.30

Momento Solicitante _____ [kN*m/m] : 3202.90

Factor de Seguridad contra el Vuelco _____ : 2.497

Capacidad portante de acuerdo con el método del Equilibrio Limite.

Capacidad portante _____ [kN/m²] : 951.95

Presión media _____ [kN/m²] : 190.39

Factor de seguridad de la capacidad portante del suelo de apoyo: 5.000

Fundación equivalente _____ [m] : 7.41

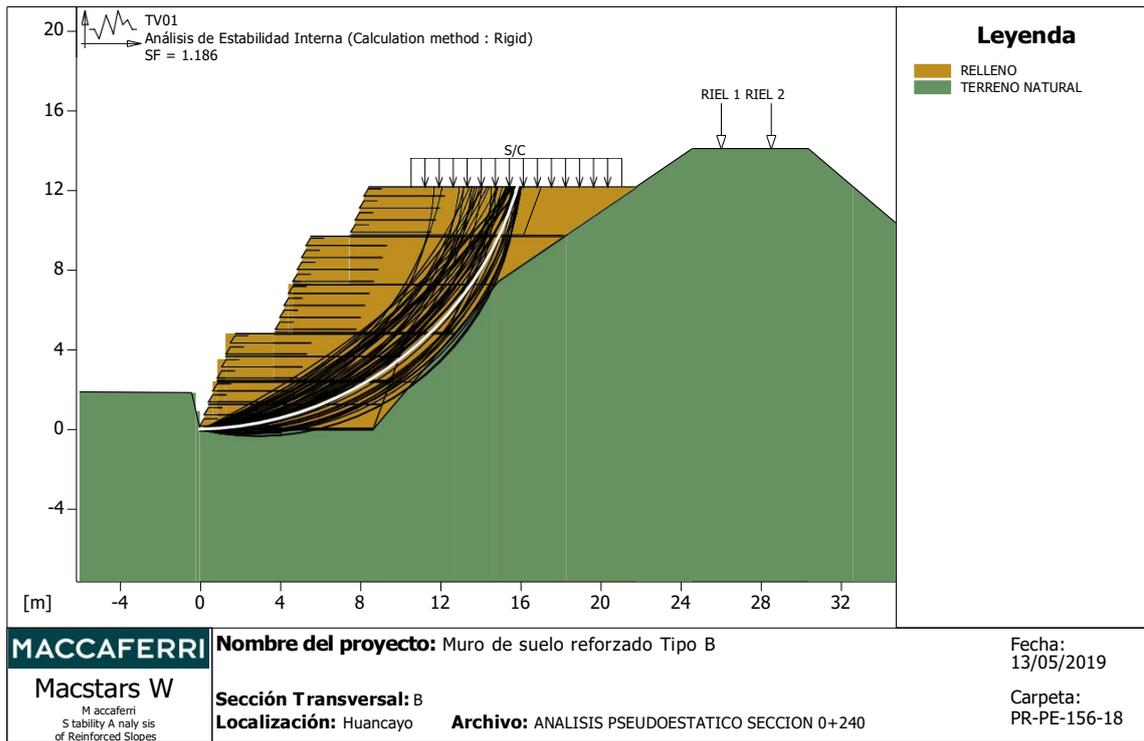
Excentricidad fuerza normal _____ [m] : 0.60

Brazo del momento _____ [m] : 5.73

Fuerza normal _____ [kN] : 1294.50

Tensión normal (Máxima) en el borde externo _____ [kN/m²] : 213.16

Tensión normal (Mínima) en el borde interno _____ [kN/m²] : 87.89

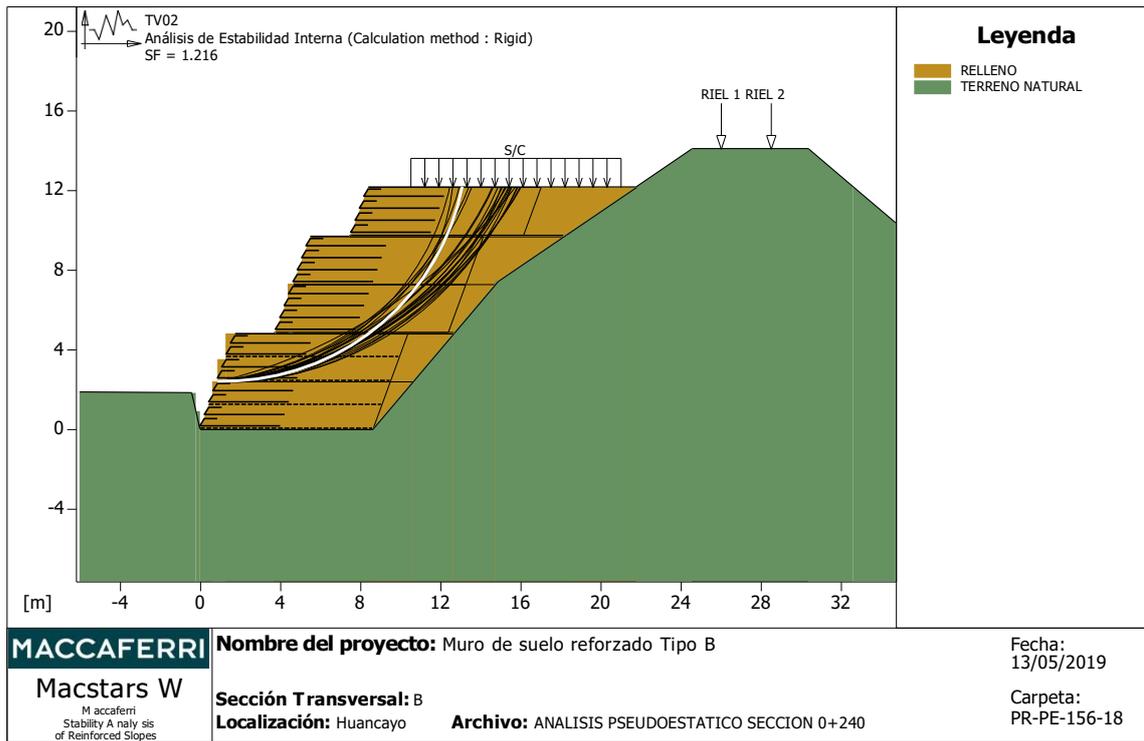


Estabilidad Interna: TV01

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido

Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop

Factor de Seguridad Calculado _____ : 1.186

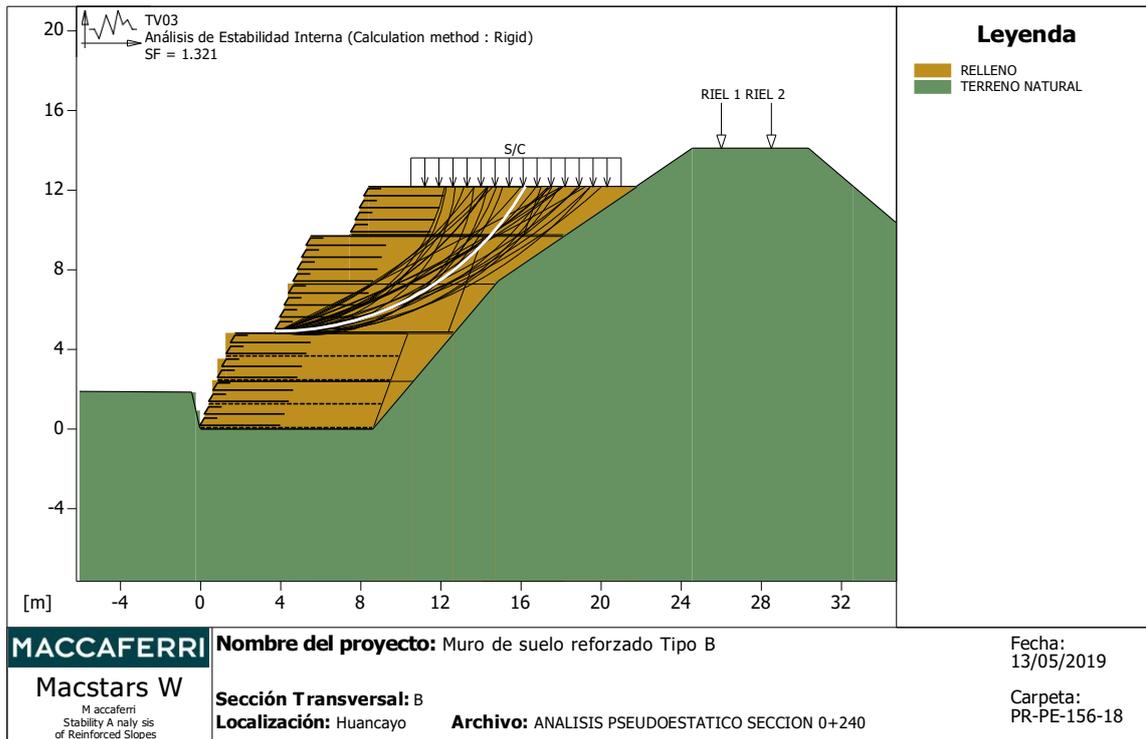


Estabilidad Interna: TV02

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido

Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop

Factor de Seguridad Calculado _____ : 1.216

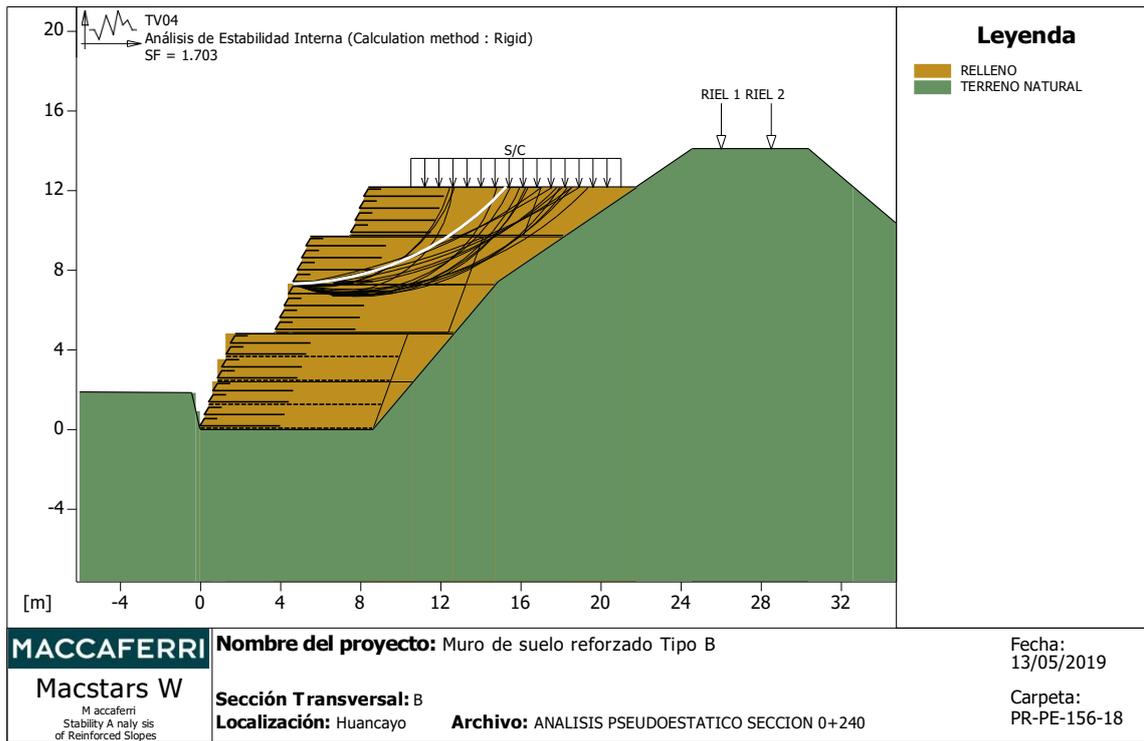


Estabilidad Interna: TV03

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido

Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop

Factor de Seguridad Calculado _____ : 1.321

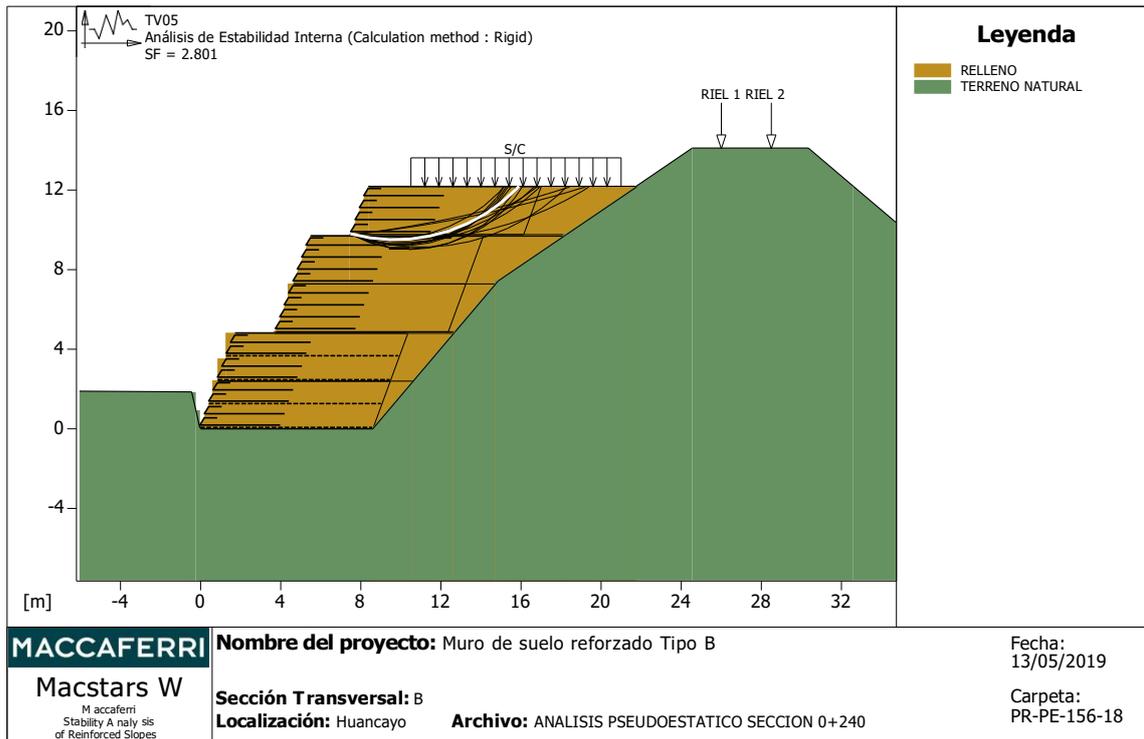


Estabilidad Interna: TV04

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido

Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop

Factor de Seguridad Calculado _____ : 1.703



Estabilidad Interna: TV05

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido

Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop

Factor de Seguridad Calculado _____ : 2.801

ANÁLISIS ESTÁTICO DEL MURO DE SUELO REFORZADO TIPO D

MacStARS W – Rel. 4.0

Maccaferri Stability Analysis of Reinforced Slopes and Walls

Maccaferri

Proyecto_____ : Muro de suelo reforzado Tipo D

Sección Transversal_: D

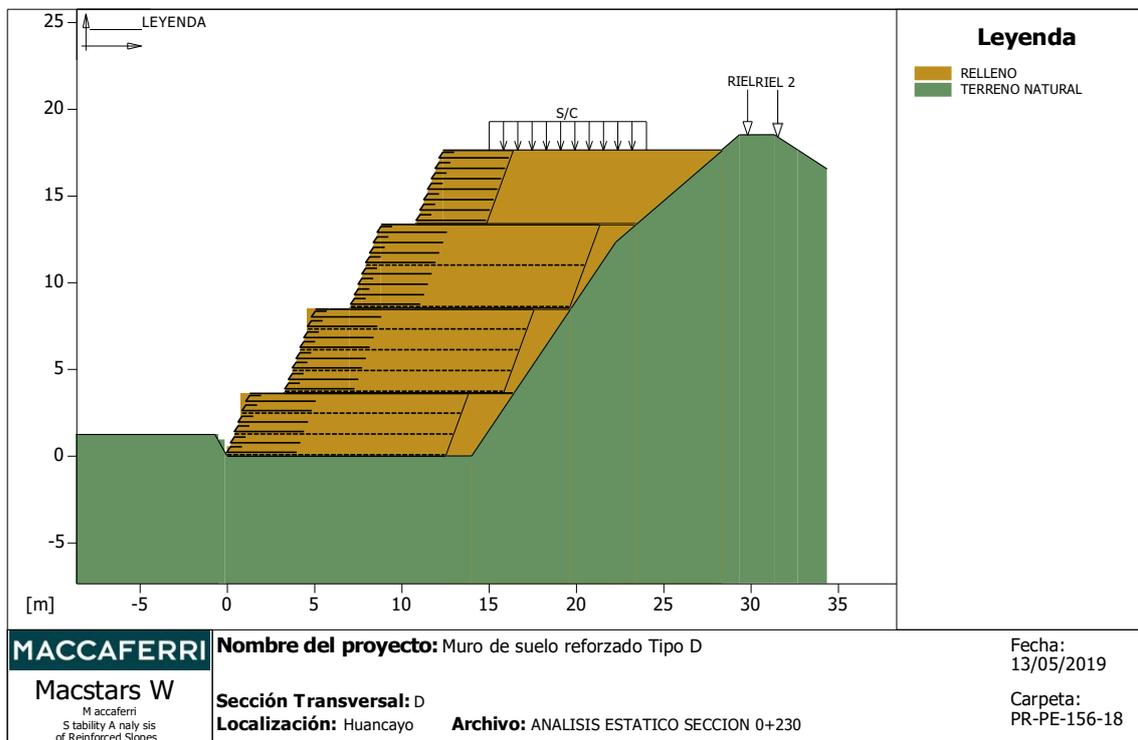
Localización_: Huancayo

Carpeta_____ : PR-PE-156-18

Archivo_____ : ANALISIS ESTATICO SECCION 0+230

Fecha_____ : 13/05/2019

PROPIEDADES DEL SUELO



MACCAFERRI
Macstars W
M accaferrri
 S tability A nalysis
 of R einforced S lopes

Nombre del proyecto: Muro de suelo reforzado Tipo D
Sección Transversal: D
Localización: Huancayo **Archivo:** ANALISIS ESTATICO SECCION 0+230

Fecha:
 13/05/2019
Carpeta:
 PR-PE-156-18

Suelo: RELLENO	Descripción:		
Cohesión		[kN/m ²]:	10.00
Ángulo de Fricción		[°]	32.00
Peso unitario – Natural		[kN/m ³]:	18.00
Peso unitario – Saturado		[kN/m ³]:	18.00

Suelo: TERRENO NATURAL	Descripción:		
Cohesión		[kN/m ²]:	10.00
Ángulo de Fricción		[°]	33.00
Peso unitario – Natural		[kN/m ³]:	20.00
Peso unitario – Saturado		[kN/m ³]:	20.00

BLOQUES REFORZADOS

Bloque: TV01

Dimensiones del bloque [m]: Ancho de la Base = 12.50 Altura = 3.60
Origen del Bloque [m]: Abscisa = 0.00 Ordenada = 0.00
BermaInclinación Paramento [°]: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60

Largo [m] = 4.00
Espaciamiento Vertical [m] = 0.60
Largo del anclaje de la Cara [m] = 0.65

Linear Composites - ParaGrid - 80

Largo [m] = 12.50
Espaciamiento Vertical [m] = 1.20
Offset [m] = 0.00

Bloque: TV03

Dimensiones del bloque [m]: Ancho de la Base = 12.50 Altura = 4.80
Origen del Bloque [m]: Abscisa = 3.32 Ordenada = 3.66
BermaInclinación Paramento [°]: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60

Largo [m] = 4.00
Espaciamiento Vertical [m] = 0.60
Largo del anclaje de la Cara [m] = 0.65

Linear Composites - ParaGrid - 80

Largo [m] = 12.50
Espaciamiento Vertical [m] = 1.20
Offset [m] = 0.00

Bloque: TV05

Dimensiones del bloque [m]: Ancho de la Base = 12.50 Altura = 4.80
Origen del Bloque [m]: Abscisa = 7.09 Ordenada = 8.54
BermaInclinación Paramento [°]: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60

Largo [m] = 4.00
Espaciamiento Vertical [m] = 0.60
Largo del anclaje de la Cara [m] = 0.65

Linear Composites - ParaGrid - 80

Largo [m] = 12.50
Espaciamiento Vertical [m] = 2.40
Offset [m] = 0.00

Bloque: TV07

Dimensiones del bloque [m]: Ancho de la Base = 4.00 Altura = 4.20
 Origen del Bloque [m]: Abscisa = 10.85 Ordenada = 13.42
 Berma Inclinación Paramento [°]: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60
 Largo [m] = 4.00
 Espaciamiento Vertical [m] = 0.60
 Largo del anclaje de la Cara [m] = 0.65

SOBRECARGAS**Cargas Concentradas: RIEL 1**

Intensidad [kN/m] = 150.00 Descripción:
 Inclinación [°] = 0.00
 Abscisa [m] = 29.80

Cargas Concentradas: RIEL 2

Intensidad [kN/m] = 150.00 Descripción:
 Inclinación [°] = 0.00
 Abscisa [m] = 31.50

Cargas Distribuidas: S/C

Intensidad [kN/m²] = 15.00 Descripción :
 Inclinación [°] = 0.00
 Abscisa [m]: de = 15.00 hasta = 24.00

PROPIEDADES DE LOS REFUERZOS UTILIZADOS

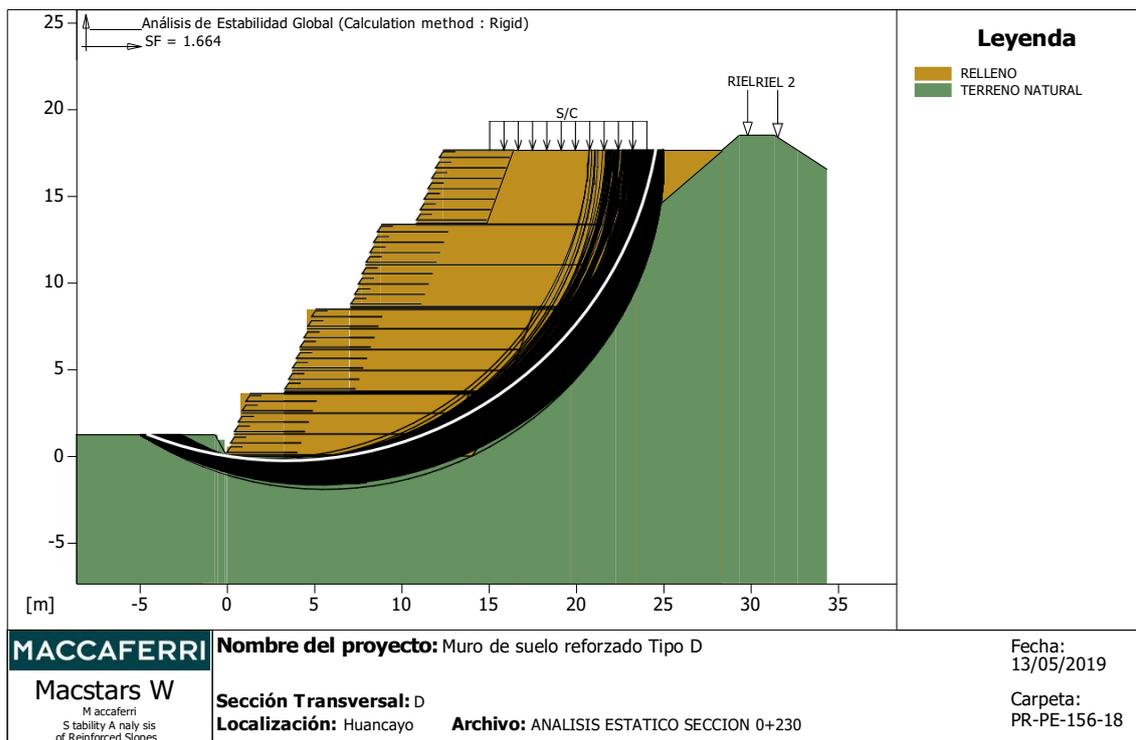
Linear Composites - ParaGrid - 80

Resistencia a la Tracción_____ [kN/m]_____:	80.00
Tasa de deformación plástica_____:	0.00
Coefficiente de deformación elástica_____ [m ³ /kN]_____:	1.10e-04
Rigidez del refuerzo_____ [kN/m]_____:	665.00
Largo de anclaje Mnimo_____ [m]_____:	0.15
Factor de seg. contra la rotura (grava)_____:	1.67
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena)_____:	1.54
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena limosa)_____:	1.54
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arcilla arenosa)_____:	1.54
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de interacción refuerzo/refuerzo_____:	0.16
Coefficiente de interacción refuerzo-grava_____:	0.90
Coefficiente de interacción refuerzo-arena_____:	0.90
Coefficiente de interacción refuerzo-limo_____:	0.70
Coefficiente de interacción refuerzo-arcilla_____:	0.40

Maccaferri - Green Terramesh - 70 - 10/2.7P - 0.60

Resistencia a la Traccin_____ [kN/m]_____:	41.30
Tasa de deformación plstica_____:	2.00
Coefficiente de deformación elstica_____ [m ³ /kN]_____:	1.10e-04
Rigidez del refuerzo_____ [kN/m]_____:	420.00
Largo de anclaje Mnimo_____ [m]_____:	0.15
Factor de seg. contra la rotura (grava)_____:	1.44
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena)_____:	1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena limosa)_____:	1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arcilla arenosa)_____:	1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de interacción refuerzo/refuerzo_____:	0.30
Coefficiente de interacción refuerzo-grava_____:	0.90
Coefficiente de interacción refuerzo-arena_____:	0.65
Coefficiente de interacción refuerzo-limo_____:	0.50
Coefficiente de interacción refuerzo-arcilla_____:	0.30

VERIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS

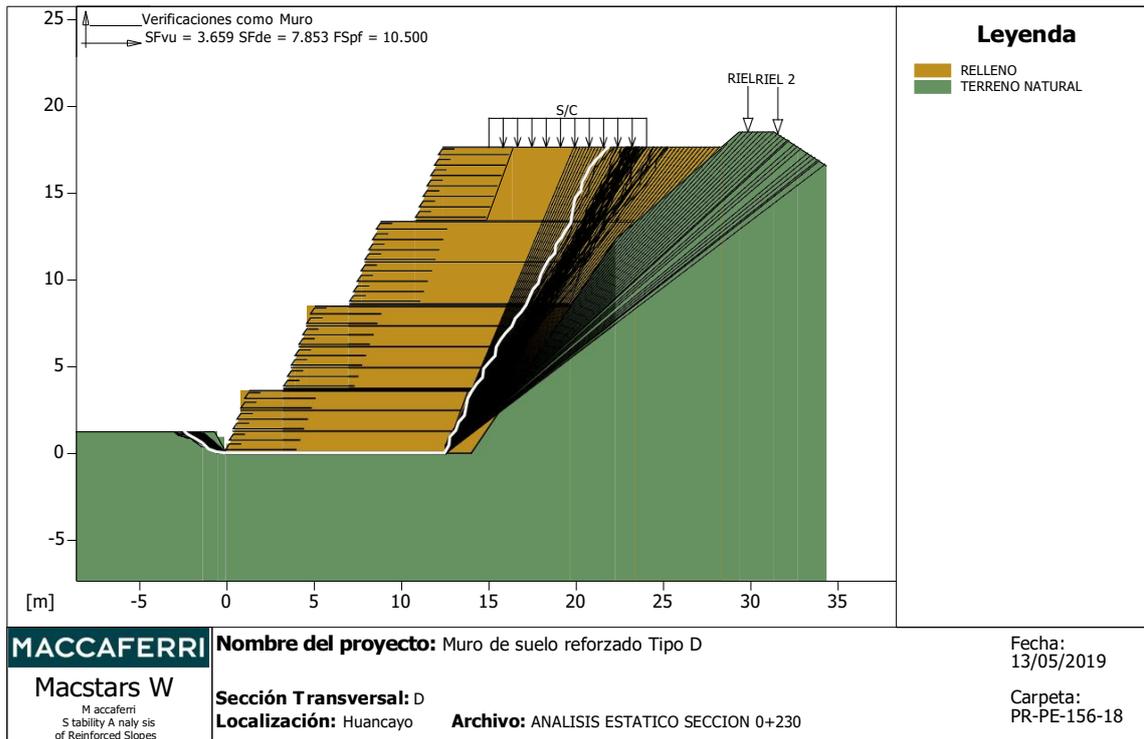


Verificación de la estabilidad Global:

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido

Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop

Factor de Seguridad Calculado _____ : 1.664



Verificación como muro a gravedad:

Bloque Considerado: TV01

Fuerza Estabilizante [kN/m]: 1643.10

Fuerza Solicitante [kN/m]: 449.07

Factor de Seguridad contra el Deslizamiento: 3.659

Momento Estabilizante [kN*m/m]: 20891.00

Momento Solicitante [kN*m/m]: 2660.20

Factor de Seguridad contra el Vuelco: 7.853

Capacidad portante de acuerdo con el método del Equilibrio Limite.

Capacidad portante [kN/m²]: 1999.50

Presión media [kN/m²]: 190.43

Factor de seguridad de la capacidad portante del suelo de apoyo: 10.500

Fundación equivalente [m]: 12.50

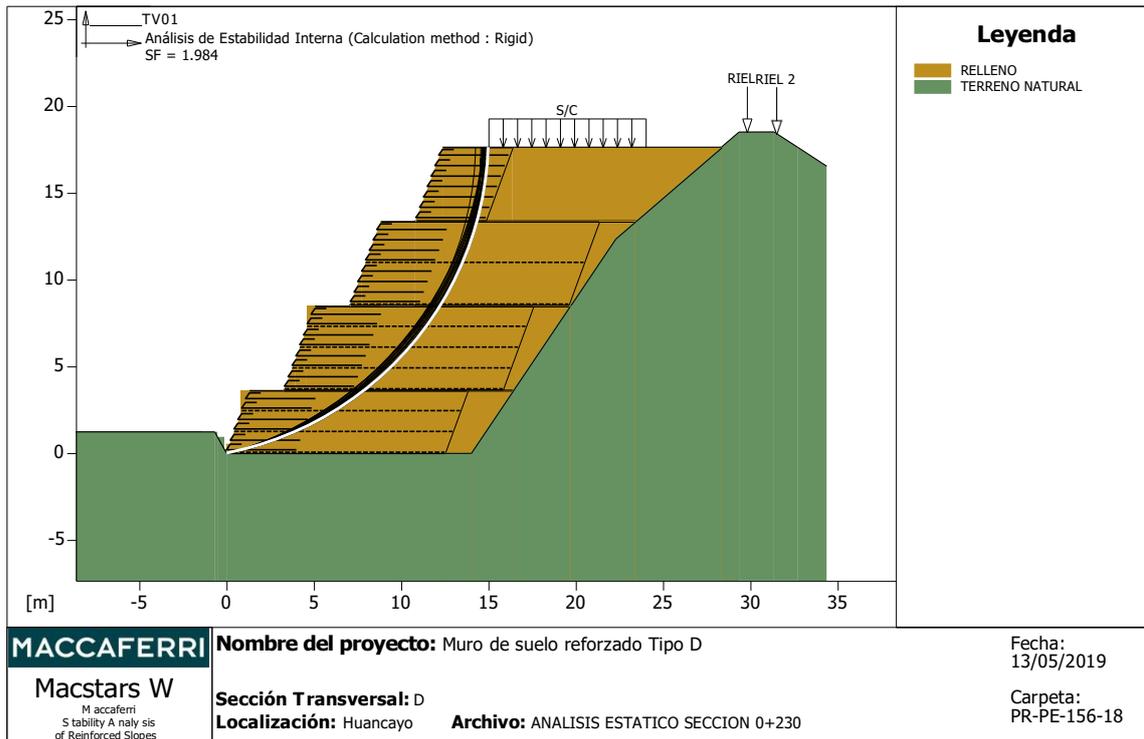
Excentricidad fuerza normal [m]: -1.55

Brazo del momento [m]: 5.92

Fuerza normal [kN]: 2337.60

Tensión normal (Máxima) en el borde externo [kN/m²]: 2.88

Tensión normal (Mínima) en el borde interno [kN/m²]: 494.37

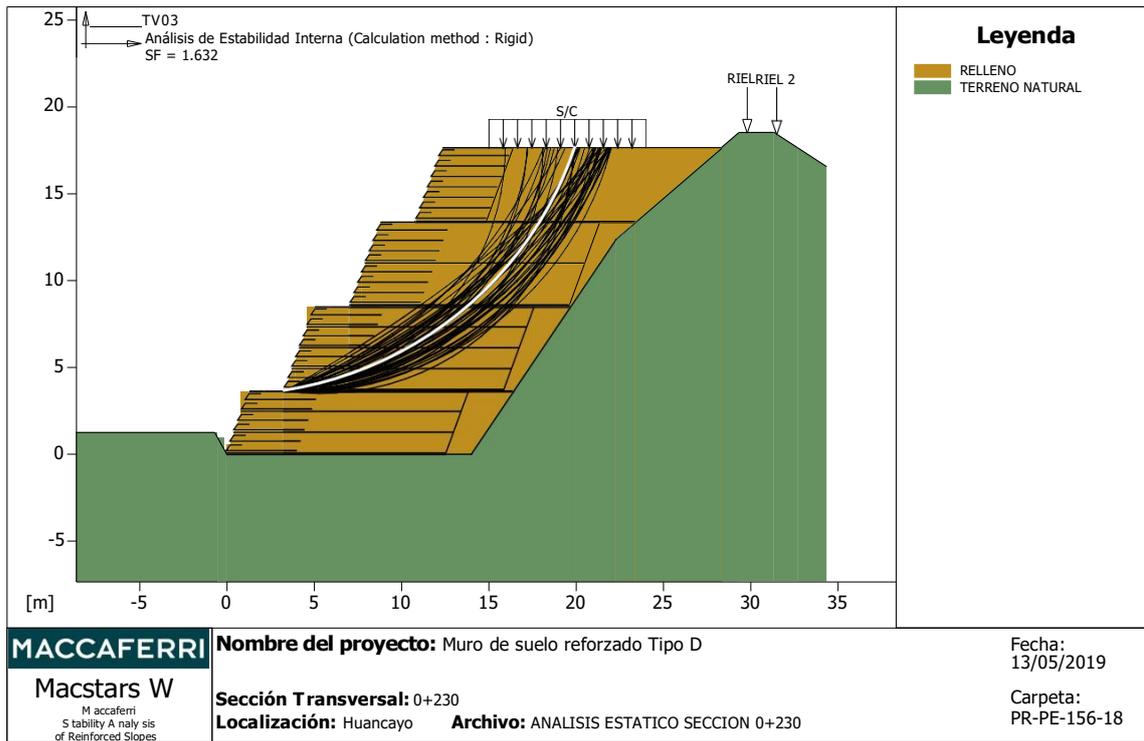


Estabilidad Interna: TV01

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido

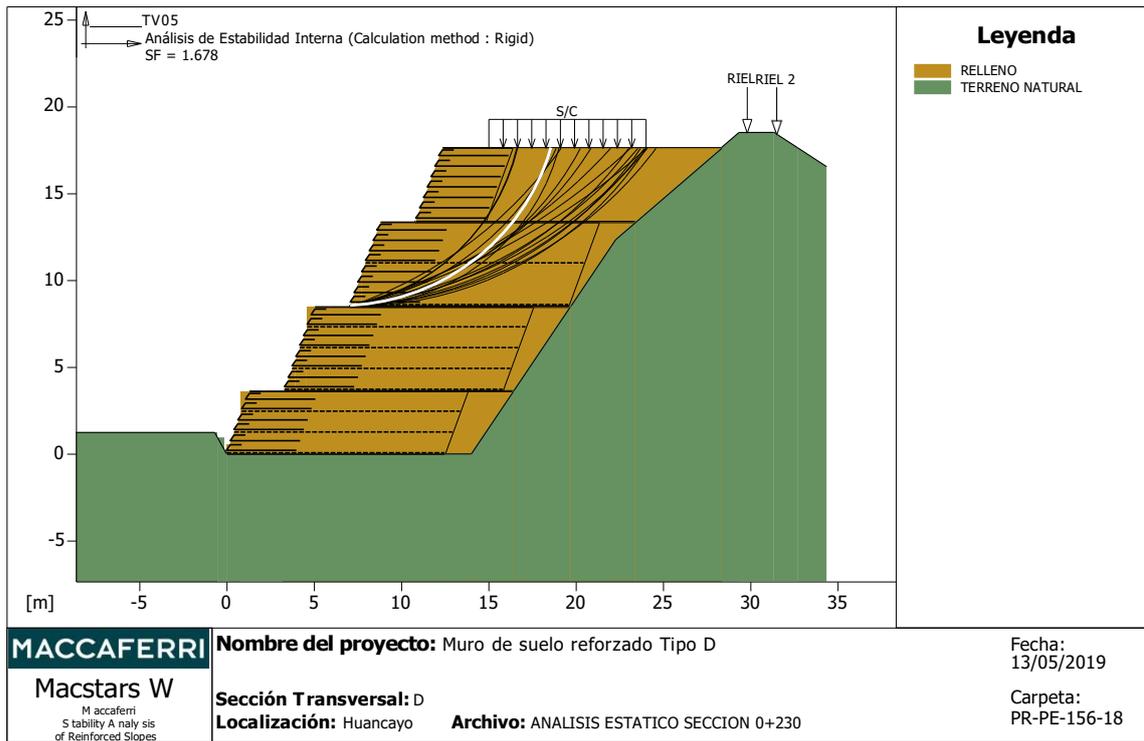
Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop

Factor de Seguridad Calculado _____ : 1.984



Estabilidad Interna: TV03

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido
 Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop
 Factor de Seguridad Calculado _____ : 1.632

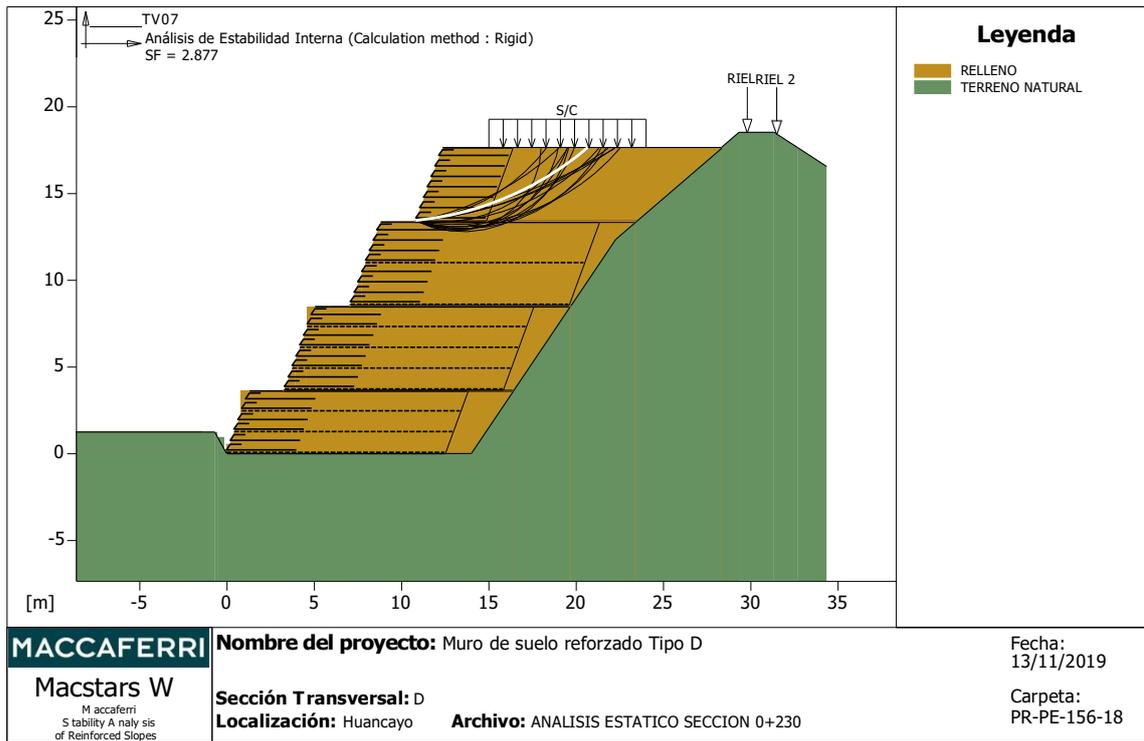


Estabilidad Interna: TV05

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido

Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop

Factor de Seguridad Calculado _____ : 1.678



Estabilidad Interna: TV07

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido

Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop

Factor de Seguridad Calculado _____ : 2.877

ANÁLISIS SÍSMICO DEL MURO DE SUELO REFORZADO TIPO D

MacStARS W – Rel. 4.0

Maccaferri Stability Analysis of Reinforced Slopes and Walls

Maccaferri

Proyecto_____ : Muro de suelo reforzado Tipo D

Sección Transversal_: D

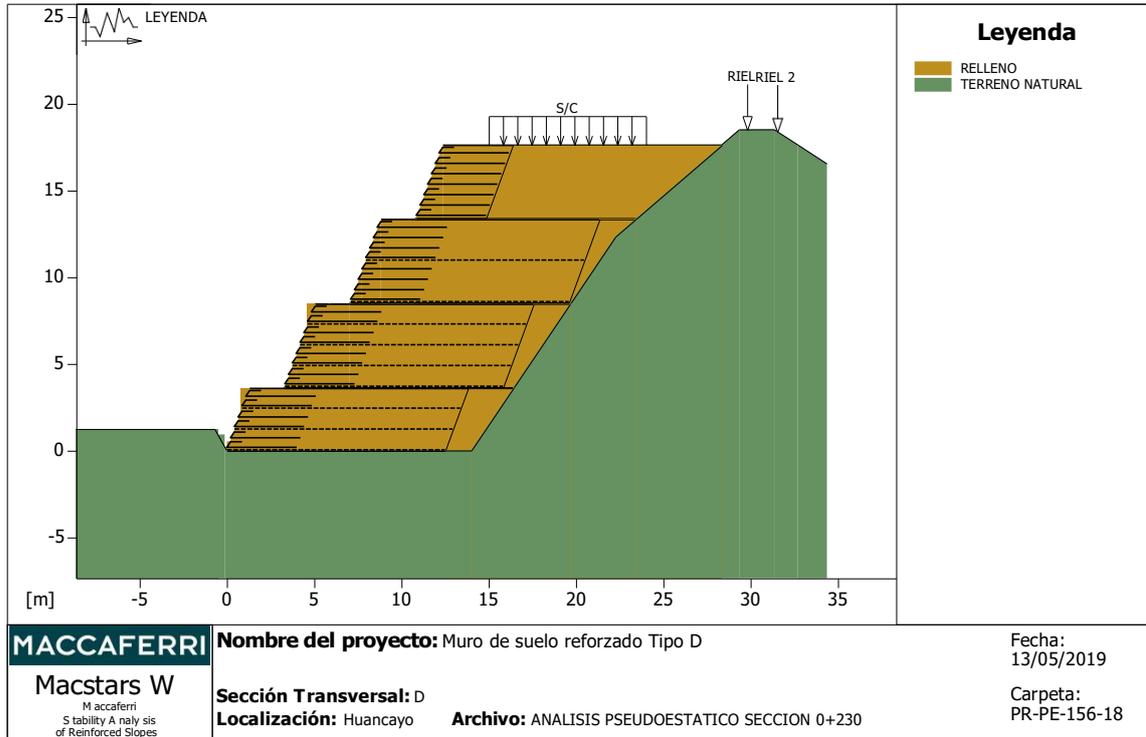
Localización_: Huancayo

Carpeta_____ : PR-PE-156-18

Archivo_____ : ANALISIS PSEUDOESTATICO SECCION 0+230

Fecha_____ : 13/05/2019

PROPIEDADES DEL SUELO



MACCAFERRI
Macstars W
M. Maccaferri
 Stability Analysis
 of Reinforced Slopes

Nombre del proyecto: Muro de suelo reforzado Tipo D
Sección Transversal: D
Localización: Huancayo **Archivo:** ANALISIS PSEUDOESTATICO SECCION 0+230

Fecha:
 13/05/2019
Carpeta:
 PR-PE-156-18

Suelo: RELLENO Descripción:

Cohesión	[kN/m ²]:	10.00
Ángulo de Fricción	[°]:	32.00
Peso unitario – Natural	[kN/m ³]:	18.00
Peso unitario – Saturado	[kN/m ³]:	18.00

Suelo: TERRENO NATURAL Descripción:

Cohesión	[kN/m ²]:	10.00
Ángulo de Fricción	[°]:	33.00
Peso unitario – Natural	[kN/m ³]:	20.00
Peso unitario – Saturado	[kN/m ³]:	20.00

BLOQUES REFORZADOS

Bloque: TV01

Dimensiones del bloque [m]: Ancho de la Base = 12.50 Altura = 3.60
Origen del Bloque [m]: Abscisa = 0.00 Ordenada = 0.00
BermaInclinación Paramento [°]: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60

Largo [m] = 4.00
Espaciamiento Vertical [m] = 0.60
Largo del anclaje de la Cara [m] = 0.65

Linear Composites - ParaGrid - 80

Largo [m] = 12.50
Espaciamiento Vertical [m] = 1.20
Offset [m] = 0.00

Bloque: TV03

Dimensiones del bloque [m]: Ancho de la Base = 12.50 Altura = 4.80
Origen del Bloque [m]: Abscisa = 3.32 Ordenada = 3.66
BermaInclinación Paramento [°]: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60

Largo [m] = 4.00
Espaciamiento Vertical [m] = 0.60
Largo del anclaje de la Cara [m] = 0.65

Linear Composites - ParaGrid - 80

Largo [m] = 12.50
Espaciamiento Vertical [m] = 1.20
Offset [m] = 0.00

Bloque: TV05

Dimensiones del bloque [m]: Ancho de la Base = 12.50 Altura = 4.80
Origen del Bloque [m]: Abscisa = 7.09 Ordenada = 8.54
BermaInclinación Paramento [°]: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60

Largo [m] = 4.00
Espaciamiento Vertical [m] = 0.60
Largo del anclaje de la Cara [m] = 0.65

Linear Composites - ParaGrid - 80

Largo [m] = 12.50
Espaciamiento Vertical [m] = 2.40
Offset [m] = 0.00

Bloque: TV07

Dimensiones del bloque [m]: Ancho de la Base = 4.00 Altura = 4.20
Origen del Bloque [m]: Abscisa = 10.85 Ordenada = 13.42
BermaInclinación Paramento [°]: 20.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60

Largo [m] = 4.00
Espaciamiento Vertical [m] = 0.60
Largo del anclaje de la Cara [m] = 0.65

SOBRECARGAS**Cargas Concentradas: RIEL 1**

Intensidad [kN/m] = 150.00

Descripción:

Inclinación [°] = 0.00

Abscisa [m] = 29.80

Cargas Concentradas: RIEL 2

Intensidad [kN/m] = 150.00

Descripción:

Inclinación [°] = 0.00

Abscisa [m] = 31.50

Cargas Distribuidas: S/C

Intensidad [kN/m²] = 15.00

Descripción :

Inclinación [°] = 0.00

Abscisa [m]: de = 15.00 hasta = 24.00

Efectos Sísmicos:

Aceleración [m/s²]: Horizontal = 1.72 Vertical = 0.00

PROPIEDADES DE LOS REFUERZOS UTILIZADOS

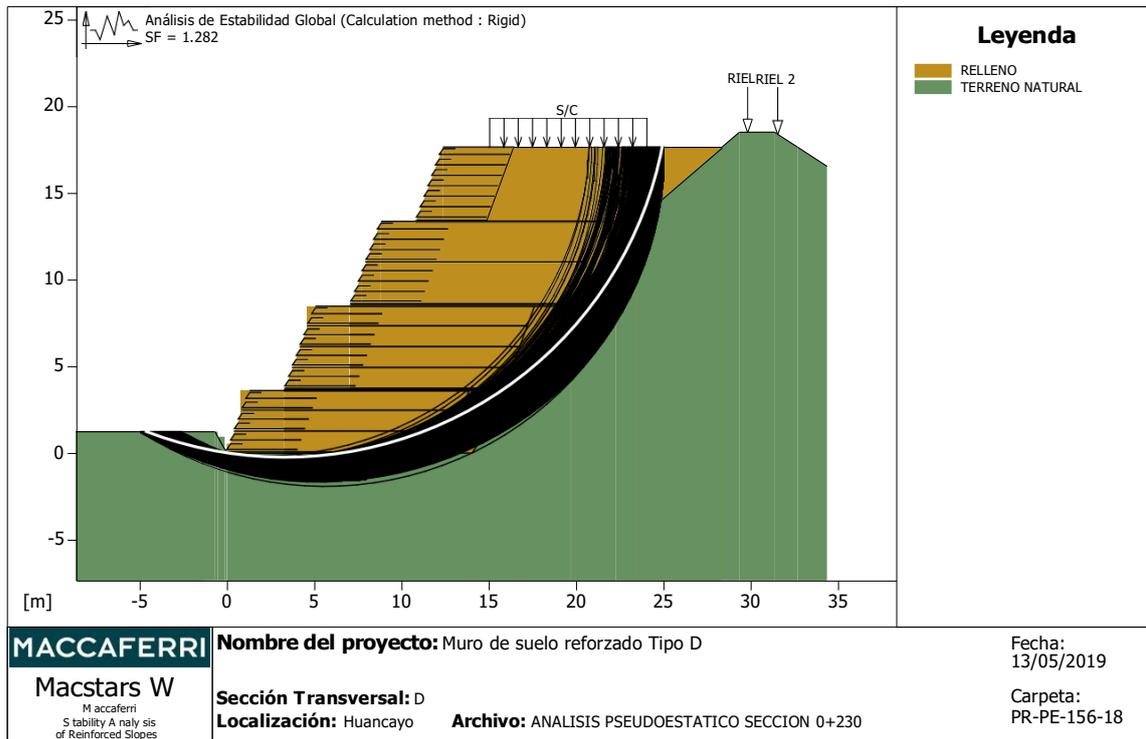
Linear Composites - ParaGrid - 80

Resistencia a la Tracción_____ [kN/m]_____:	80.00
Tasa de deformación plástica_____:	0.00
Coefficiente de deformación elástica_____ [m ³ /kN]_____:	1.10e-04
Rigidez del refuerzo_____ [kN/m]_____:	665.00
Largo de anclaje Míximo_____ [m]_____:	0.15
Factor de seg. contra la rotura (grava)_____:	1.67
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena)_____:	1.54
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena limosa)_____:	1.54
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arcilla arenosa)_____:	1.54
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de interacción refuerzo/refuerzo_____:	0.16
Coefficiente de interacción refuerzo-grava_____:	0.90
Coefficiente de interacción refuerzo-arena_____:	0.90
Coefficiente de interacción refuerzo-limo_____:	0.70
Coefficiente de interacción refuerzo-arcilla_____:	0.40

Maccaferri - Green Terramesh - 70° - 10/2.7P - 0.60

Resistencia a la Tracción_____ [kN/m]_____:	41.30
Tasa de deformación plástica_____:	2.00
Coefficiente de deformación elástica_____ [m ³ /kN]_____:	1.10e-04
Rigidez del refuerzo_____ [kN/m]_____:	420.00
Largo de anclaje Míximo_____ [m]_____:	0.15
Factor de seg. contra la rotura (grava)_____:	1.44
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena)_____:	1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena limosa)_____:	1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de seg. contra la rotura (arcilla arenosa)_____:	1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out)_____:	1.00
Factor de interacción refuerzo/refuerzo_____:	0.30
Coefficiente de interacción refuerzo-grava_____:	0.90
Coefficiente de interacción refuerzo-arena_____:	0.65
Coefficiente de interacción refuerzo-limo_____:	0.50
Coefficiente de interacción refuerzo-arcilla_____:	0.30

VERIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS

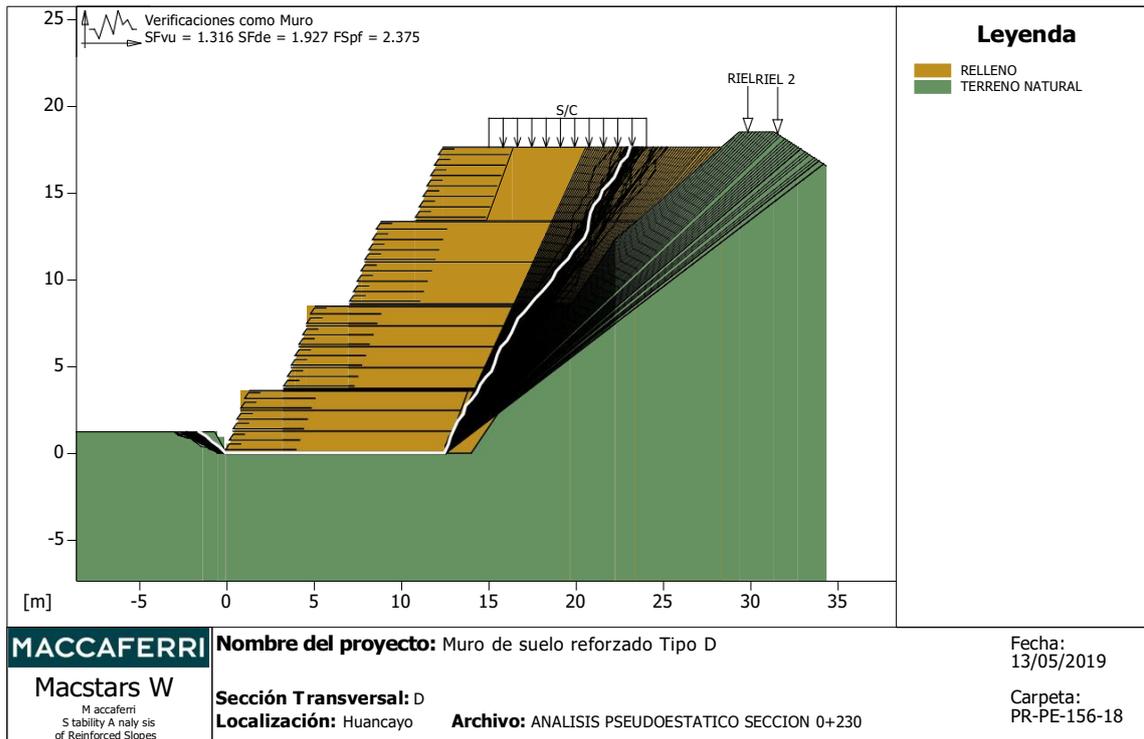


Verificación de la estabilidad Global:

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido

Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop

Factor de Seguridad Calculado _____ : 1.282



Verificación como muro a gravedad:

Bloque Considerado: TV01

Fuerza Estabilizante _____ [kN/m] : 1643.10

Fuerza Solicitante _____ [kN/m] : 1248.80

Factor de Seguridad contra el Deslizamiento _____ : 1.316

Momento Estabilizante _____ [kN*m/m] : 20891.00

Momento Solicitante _____ [kN*m/m] : 10839.00

Factor de Seguridad contra el Vuelco _____ : 1.927

Capacidad portante de acuerdo con el método del Equilibrio Limite.

Capacidad portante _____ [kN/m²] : 731.91

Presión media _____ [kN/m²] : 308.17

Factor de seguridad de la capacidad portante del suelo de apoyo: 2.375

Fundación equivalente _____ [m] : 8.60

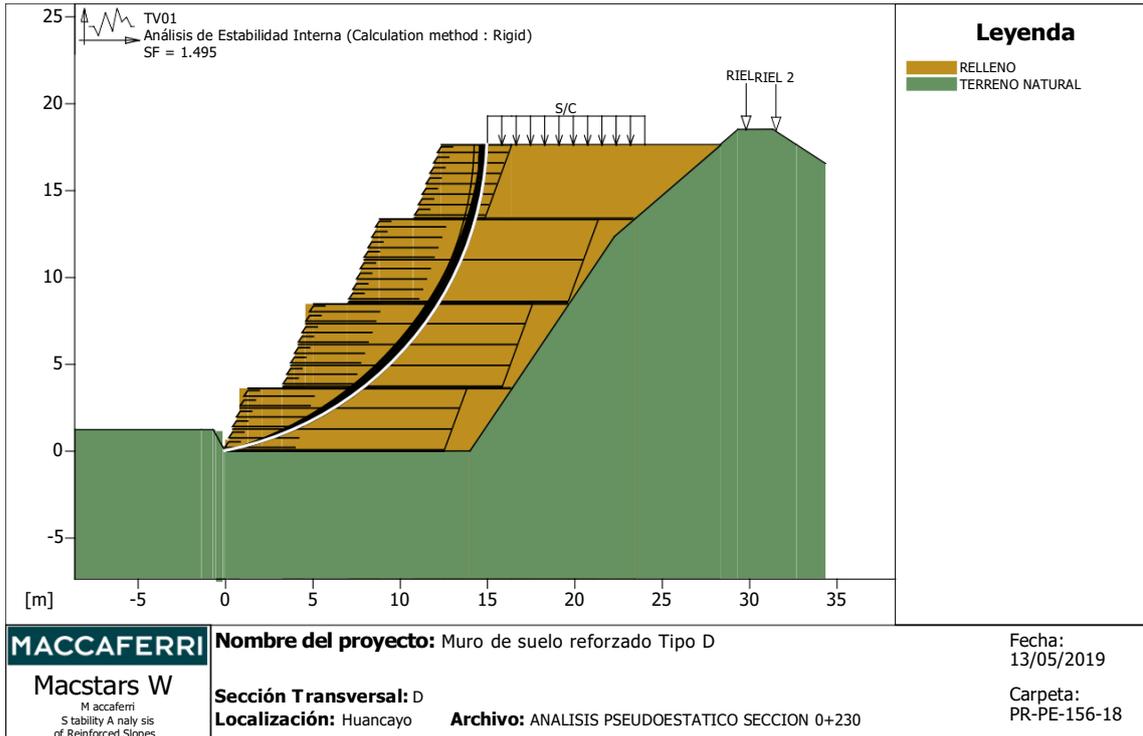
Excentricidad fuerza normal _____ [m] : 1.95

Brazo del momento _____ [m] : 8.68

Fuerza normal _____ [kN] : 2337.60

Tensión normal (Máxima) en el borde externo _____ [kN/m²] : 362.05

Tensión normal (Mínima) en el borde interno _____ [kN/m²] : 11.96

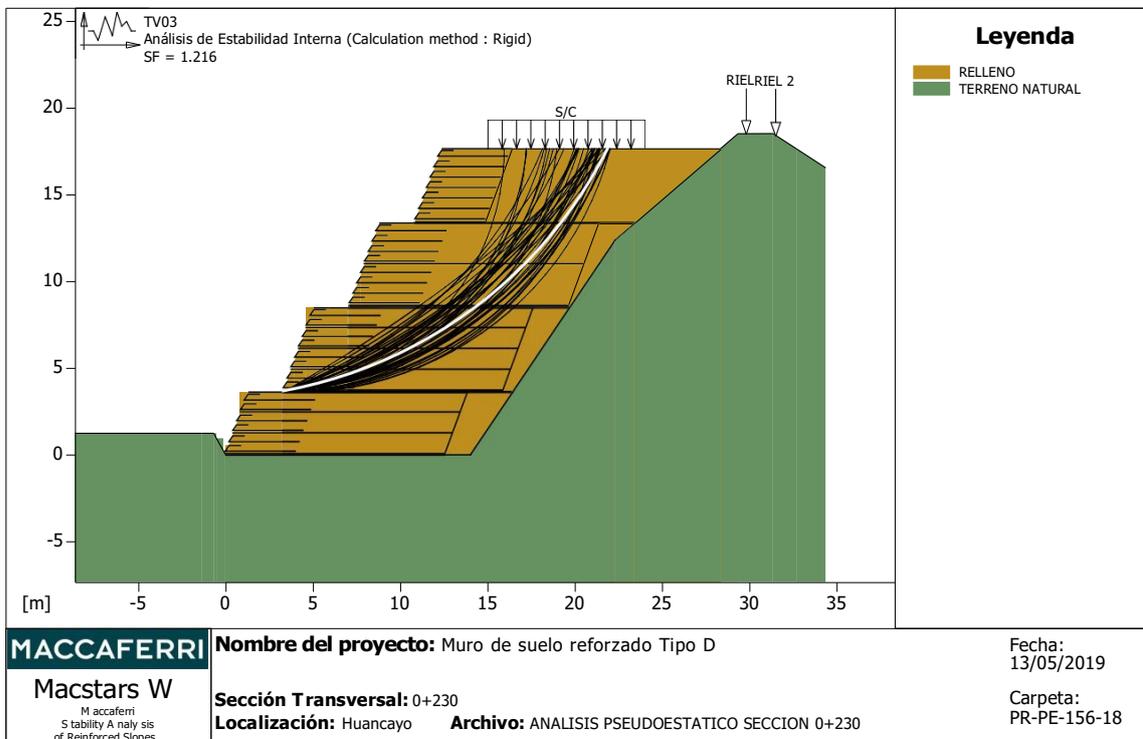


Estabilidad Interna: TV01

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido

Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop

Factor de Seguridad Calculado _____ : 1.495

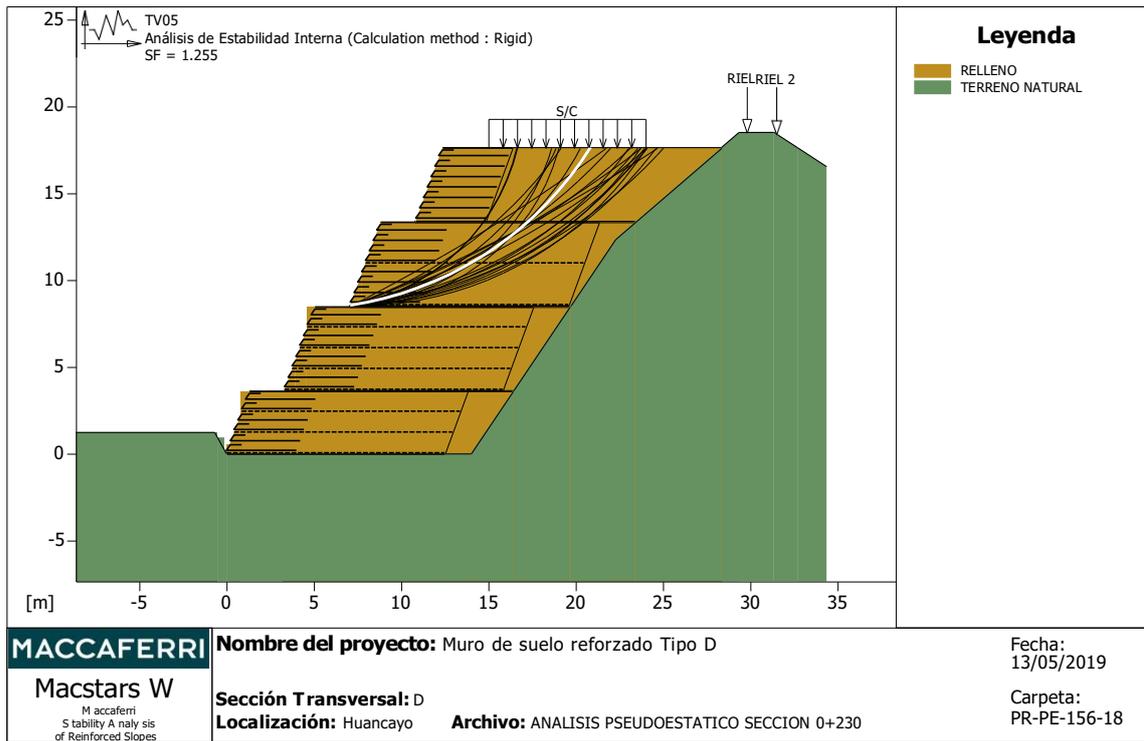


Estabilidad Interna: TV03

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido

Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop

Factor de Seguridad Calculado _____ : 1.216

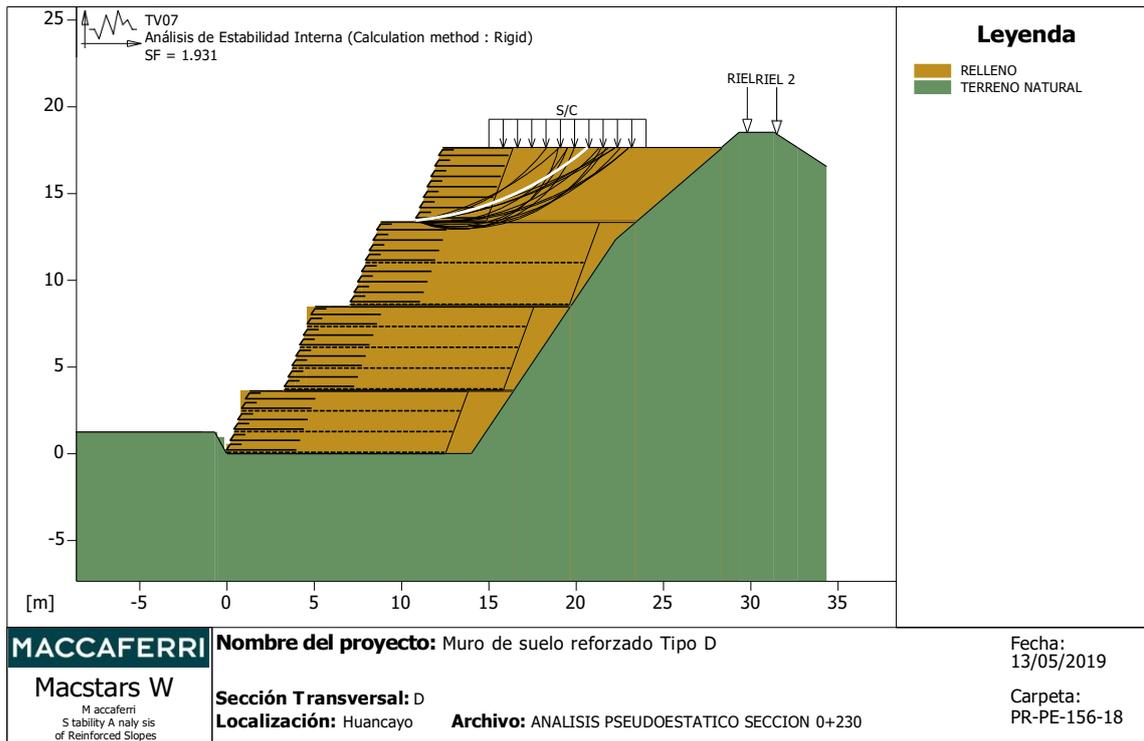


Estabilidad Interna: TV05

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido

Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop

Factor de Seguridad Calculado _____ : 1.255



Estabilidad Interna: TV07

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido
 Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop
 Factor de Seguridad Calculado _____ : 1.931

4.6. PRESUPUESTO

A continuación, se presenta el presupuesto de la construcción del muro de suelo reforzado con sistema Terramesh y se compara con otra propuesta, empleando muros de concreto armado en voladizo.

CON EL SISTEMA TERRAMESH

PRESUPUESTO REFERENCIAL

Obra: Muro de suelo reforzado con Sistema Terramesh - Quebrada Honda
Ubicación: Huancayo

Ítem	Descripción	Unid	Metrado	Precio Unitario	Parcial (S./)	Subtotal (S./)	Total (S./)
1.00	Obras Preliminares					S/9,565.89	
1.01	Limpieza de terreno y nivelación	m2	3075.00	2.95	9071.25		
1.02	Recolección y acopio de piedra	m3	72.00	6.87	494.64		
2.00	Movimiento de tierras					S/4,494,056.96	
2.01	Excavación	m3	28294.00	4.00	113176.00		
2.02	Transporte de materiales excedente para distancia mayor a 1000	m3-km/d	28294.00	1.87	52909.78		
2.03	Relleno masivo con plancha vibradora	m3	62934.00	61.13	3847155.42		
2.04	Transporte de materiales granulares entre 120 y 1000 m	m3-km/d	62934.00	7.64	480815.76		
3.00	Terramesh Verde					S/556,756.67	
3.01	Terramesh Verde 70x0.60x4 10/P27	und	1546.00	225.76	349022.49		
3.02	Geotextil MACTEX N 40.1	m2	4914.00	2.35	11557.73		
3.03	ParaGrid 80 .05 (3.9 x 80)	m2	18720.00	6.72	125798.40		
3.04	MACDRAIN 2L 20.2 (2X30)	m2	3300.00	20.23	66749.76		
3.05	Tubo MACPIPE S 4" 5.85m	m	184.00	10.52	1935.09		
3.06	Tubo MACPIPE S 4" SP 4"5.95	m	161.00	10.52	1693.20		
4.00	Control de Calidad					S/2,386.00	
4.01	Ensayos de laboratorio	glb	1.00	2386.00	2386.00		
Costo Directo							S/5,062,765.52

MURO DE CONCRETO ARMADO EN VOLADIZO

PRESUPUESTO REFERENCIAL

Obra: Muro de suelo reforzado de concreto armado - Quebrada Honda
Ubicación: Huancayo

Ítem	Descripción	Unid	Metrado	Precio Unitario	Parcial (S./)	Subtotal (S./)	Total (S./)
1.00	Obras Preliminares					S/9,565.89	
1.01	Limpieza de terreno y nivelación	m2	3,075.00	2.95	9,071.25		
1.02	Recolección y acopio de piedra	m3	72.00	6.87	494.64		
2.00	Movimiento de tierras					S/4,182,212.52	
2.01	Excavación	m3	28,294.00	4.00	113,176.00		
2.02	Transporte de materiales excedente para distancia mayor a 1000	m3-km/d	28,294.00	1.87	52,909.78		
2.03	Relleno masivo con plancha vibradora	m3	58,399.40	61.13	3,569,955.32		
2.04	Transporte de materiales granulares entre 120 y 1000 m	m3-km/d	58,399.40	7.64	446,171.42		
3.00	Concreto f'c=210 kg/cm2 para muros de concreto reforzado					S/7,908,615.56	
3.01	Concreto en pantalla de muro f'c=210 kg/cm2	m3	17,136.00	350.00	5,997,600.00		
3.02	Encofrado y desencofrado cara vista en pantalla	m2	21,000.00	52.68	1,106,280.00		
3.03	Acero en pantalla fy=4200 kg/cm2 5#	kg	186,281.38	4.32	804,735.56		
4.00	Control de Calidad					S/6,000.00	
4.01	Ensayos de laboratorio	glb	1.00	6000.00	6000.00		
Costo Directo							S/12,106,393.97

Al comparar los costos directos de las dos propuestas, se evidencia que los costos directos que se obtienen a partir del empleo de muros de suelo reforzado con el sistema Terramesh es mucho más barato, pues, el empleo del relleno granular en gran parte de la estructura y la estructura metálica que conforma el Sistema Terramesh hacen más económica su construcción en comparación con su contraparte de concreto armado, pues, el empleo de muros de contención en voladizo encarecen la construcción, debido al costo del concreto por m³ y a la gran cantidad de acero que se emplea en su construcción, todo esto, hace que los costos directos se incrementen de manera significativa, tal como lo afirma Braja M. Das (2012) en su libro, "Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones". Por lo que en la presente tesis se empleará

Los planos y metrados de los muros en voladizo de concreto armado, se encuentran en el Anexo E.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los factores de seguridad requeridos (FS_R) para estabilizar los muros de suelo reforzado cumplen con el factor de seguridad mínimo ($FS_{R-MIN} = 1.5$) establecido al inicio del problema para un análisis estático, pero se debe de aclarar que el factor de seguridad mínimo para este tipo de muros es de $FS_R = 1.3$ de acuerdo a la Federal Highway Administration, por ende, los resultados obtenidos son bastante satisfactorios y garantizan la fiabilidad del proyecto.

Con respecto al análisis sísmico, se han obtenido resultados bastante buenos cumpliendo con el mínimo factor de seguridad propuesto $FS_{SISMICO} = 1.1$, para una aceleración sísmica de $A_{SISMICA} = 1.72 \text{ m/s}^2$.

Se debe considerar la importancia del espaciamiento vertical S_V en los refuerzos, pues depende de su distribución que una zona de análisis aumente o disminuya su momento resistente y por ende el factor de seguridad requerido para estabilizar el talud.

Para muros de suelo reforzados ubicados en zonas sísmicas se recomienda que la distribución de los refuerzos disminuya a medida que nos acerquemos a la base del talud, y por el contrario los espaciamientos de los refuerzos en los niveles superiores pueden tener mayor espaciamiento, esto debido a que la presión del suelo disminuye en magnitud.

Es importante aclarar que si bien los resultados obtenidos son satisfactorios cuando se analizó las estructuras por el método de Bishop simplificado, éstos se deben analizar por otros métodos. Sin embargo, se debe de mencionar, que la práctica ha demostrado que este método es bastante confiable.

CONCLUSIONES

1. El uso de muros de suelo reforzado con el sistema Terramesh permitió estabilizar el terraplén del proyecto Quebrada Honda - Ferrocarril central – Huancayo, mediante el empleo de geosintéticos como refuerzos, que incrementaron la fuerza de tensión en la estructura haciéndolo estable y disminuyendo su deformación. El terramesh aporta suficiente resistencia a la cara del muro evitando que se desgaje y dando estabilidad a la cara del muro para permitir su construcción. El ParaGrid® otorga resistencia a la estructura y también ayuda en la compactación del suelo, pues hace que la estructura actúe como un bloque. La fricción que existe entre el suelo y el refuerzo es la principal fuente de tracción en los muros. Los refuerzos que están más incrustados en el muro actúan como si fuesen pilotes, generando mayor fuerza de fricción para evitar el fenómeno del Pullout.
2. La metodología propuesta por la administración federal de autopistas del departamento de transportes de los EE. UU, para el diseño de los refuerzos en este tipo de estructuras, es óptima, pues nos permite calcular la fuerza de tensión necesaria que deben aportar los refuerzos para estabilizar un muro, de acuerdo al factor de seguridad que se quiera para éste. Se debe mencionar que no existe ninguna norma peruana de diseño para este tipo de sistemas de contención en la actualidad.
3. Los factores de seguridad tanto para el análisis estático y dinámico propuestas por la administración federal de autopistas del departamento de transportes de los EE. UU son $FS_{ESTATICO} = 1.5$ y $FS_{DINAMICO} = 1.1$, respectivamente, éstos son los valores mínimos que debe tener un muro de suelo reforzado, un incremento en la cantidad de los refuerzos genera mayor factor de seguridad para el terraplén.
4. La correcta evacuación de las aguas superficiales e internas deben de ser canalizadas por medio de sistemas de drenaje a un lugar seguro, de tal forma que la estructura no se vea afectada, pues el agua puede erosionar las capas profundas de la estructura y en el peor de los casos colapsarla.
5. El método de Bishop simplificado es un buen método para estimar el factor de seguridad de la estructura, pues éste permite introducir la fuerza de tensión que aportan los refuerzos en su análisis, es necesario corroborar los resultados con otros métodos de análisis como el método numérico o de elementos finitos para tener resultados más exactos.

FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

1. Plantear la estabilidad del terraplén empleando el Terramesh System y comparar los factores de seguridad.
2. Investigar la estabilidad del terraplén haciendo uso de un muro de suelo reforzado con la cara a 90° con respecto a la horizontal.
3. Comparar la metodología de la U.S Department of Transportation Federal Highway Administration con la norma European Reinforced Soil Design – The codes, en cuanto al diseño del refuerzo para este tipo de estructuras de contención.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Altamirano G. y Rivas. J. (2015). Propuesta de remediación geotécnica de un talud Incorporando un muro de suelo reforzado con el sistema terramesh para el proyecto de la carretera Matarani – El arenal (Tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.
2. AMERICAN RAILWAY ENGINEERING AND MAINTENANCE OF WAY ASSOCIATION 2003
3. Braja M. Das (2001). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Sacramento-California. United States.
4. Braja M. Das (2012). Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones. Sacramento-California. United States.
5. Castellanos J. (2007). Muros de contención con suelo reforzado proceso constructivo (Tesis para obtener el grado de Ingeniero Civil).Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
6. Constramaestre H. y Gonzales O. (2007). Análisis Comparativo de sistemas de estabilización de talud bajo el concepto de suelos reforzados, comparando los sistemas de tierra armada y terramesh system para un talud ubicado en granjerías de la trinidad (Tesis de optar el título de Ingeniero Civil). Universidad Católica Andrés Bello, Miranda, Venezuela.
7. Duncan M. Wright S. Brandon T.(2014). Soil Strenght and Slope Stability. New Jersey, Canada: Editorial Wiley.
8. Federal Highway Administration - National Highway Institute (2001) (FHWA-NHI-00-043). Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design and Construction Guidelines. Washington DC. United States.
9. Federal Highway Administration- Natioanal Highway Institute (FHWA-NHI-09-087) (2009). Corrosion/Degradation of Soil Reinforcements for Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes. Washington DC. United States.
10. Koerner R. (2005). Designing with Geosynthetics. New Jersey. United States: Editorial Pearson Prentince Hall.
11. Kim Y.Russell A. Cho B. Wilde J. and Hee You B. (May 16, 2019) Geosynthetics Reinforced Steep Slopes: Current Technology in the United States. Applied Sciences.
12. Maccaferri (2011). Cómo colocar el Terramesh Verde. Brasillia. Brasil.
13. Maccaferri (2010). MIXED RSS FOR THE RRESHEN-KALISMSH HIGHWAY. Case History. Albania.
14. Maccaferri (2014). Terramesh Verde : Estructura de suelo reforzado. Sao Paulo. Brasil.

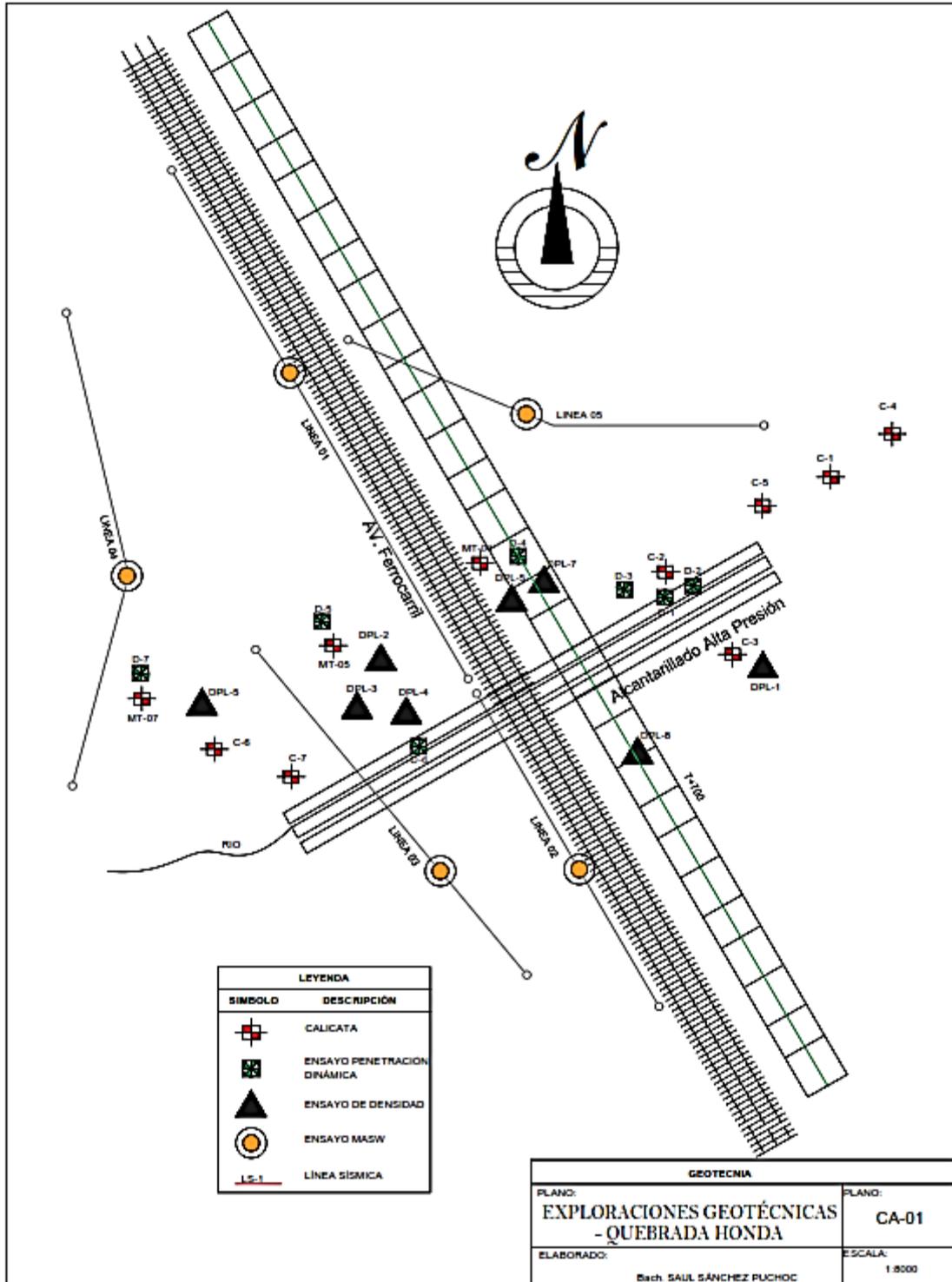
15. Maccaferri (2016). Reparación de falla recurrente mediante talud reforzado. Case History. Chiapas. Mexico.
16. Maccaferri (2011). Manual de refuerzo de suelo. Distrito industrial de FazGran, Brasil: Editorial Maccaferri.
17. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2012). Estabilización de Suelos y Taludes CE.020. Recuperado de http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Normalizacion/normas/NORMACE020.pdf.
18. Morataya L. (2011). Sistema de tierra armada con geomalla (Procedimiento de diseño y evaluación de estructuras existentes (Tesis de optar el título de Ingeniero Civil). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Guatemala.
19. Ñaupas H. Mejía E. Novoa E. Villagomez A. (2014). Metodología de la investigación Cuantitativa – Cualitativa y Redacción de la tesis. Bogotá. Colombia:Editorial Ediciones de la U.
20. Osore V. (2016). Evaluación del nivel de servicio por análisis de tráfico en la intersección semaforizada marical castilla-julio sumar El tambo,2015” (Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil). Universidad Nacional del Centro del Perú.
21. Pinedo M. (2012). Comparación entre muros de suelo reforzado con elementos extensibles y no extensibles (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
22. Rendon E. (2006). Taludes reforzados con geosintéticos utilizados en carreteras (Tesis de optar el título de ingeniero civil). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
23. Reglamento Nacional de Edificaciones E.030 (2018). Diseño Sismorresistente. Lima-Perú.
24. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2014). Guía de Procedimientos y Lineamientos para la construcción de muros mecánicamente estabilizados. Ciudad de México. México.
25. Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural: Normativa Nacional de cargas vivas en puentes, Leon Guanajuato 2010
26. STRATA Global GeoSolutions. (2012). Reinforced Soil Slopes and Embankments. Georgia. United States.
27. Suarez L. (2016). Análisis de Estabilidad de Taludes con aplicaciones en Matlab Medellín. Colombia:Editorial Independiente.
28. Velásquez R. y Rey N. (2010). Metodología de la investigación científica. Lima. Perú: Editorial San Marcos.

29. Vásquez Y. (2014). Evaluación de los muros de contención con concreto armado y suelo reforzado (Terramesh), en la carretera San Marcos – Cajabamba (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.

ANEXOS

ANEXO 1.

PLANO DE EXPLORACIONES GEOTÉCNICAS





SLC Ingenieros SAC
 Consultores en Ingeniería Geotécnica y Pavimentación
 Calle Las Cañazas 137, Urb. El Manzano, Lima 25, Perú
 Tels: (511) 633-7282, (511) 661-8644
 www.slc.com.pe

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

PROYECTO : MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL
 TRAMO AV. CIRCUNVALACION - CRUCE CARRETERA CENTRAL, DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN
 DE CAJAS, HUALLILIAS, SANOS, SAN JERONIMO DE TUNAN
SOLICITANTE : CONSORCIO VIAL JUNIN
UBICACIÓN : Quebrada Honda, UTM (18 L 474017 8571332)
TIPO DE EXPLORACIÓN : Calicata
Nº DE EXPLORACIÓN : C-01
NIVEL FREÁTICO (m) : 3.00
PROF. DE EXPLORACIÓN (m) : 3.00
FECHA DE EXPLORACIÓN : 2008.02.19

PROFUNDIDAD (m)	DESCRIPCIÓN ESTRATIGRAFICA Clasificación técnica; grado de compactación / consistencia; índices de plasticidad / compresibilidad; contenido de humedad y color. Otros: forma del material granular, presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de bloques / cantos, etc.	S U C S	GRANULOMETRÍA (%)					Nº DE MUESTRA
			4.75	6.00	7.5	IP	% humedad	
0.00	Arilla con grava, contaminado con raíces	-	-	-	-	-	-	-
1.00	Grava arenosa, l. máx 2", forma subredondeada, húmeda, poco densa	-	-	-	-	-	-	-
2.00								
3.00	Grava bien graduada con limo, forma subangulosa, húmeda, densidad med	GW-GM	7.2	37.5	55.2	NP	0.7	M-1
4.00								
5.00								
6.00								

OBSERVACIONES:


 MANUEL RICARDO
 MADRID ARGOMEDO
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP Nº 60607



SLC Ingenieros SAC
 Consultoras en Ingeniería Geotécnica y Pavimentos
 Calle Las Cañas 337, Urb. El Mirador, Lima 25, Perú
 Telf: (011) 439 7592, (01) 991-688454
 slc@slc.com.pe
 www.slc.com.pe

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

PROYECTO : MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL TRAMO AV. CIRCUNVALACION - CRUCE CARRETERA CENTRAL, DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS, HUALHUAS, SANOS, SAN JERONIMO DE TUNAN
SOLICITANTE : CONSORCIO VIAL JUNIN
UBICACIÓN : Quebrada Honda, UTM(18 L, 472977 5671365)
TIPO DE EXPLORACIÓN : Celicata
NIVEL FREÁTICO (m) : N.A.
PROF. DE EXPLORACIÓN (m) : 3.10
FECHA DE EXPLORACIÓN : 28/09/2018

PROF(m)	DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA Clasificación téctica: grado de compactación / consistencia; índice de plasticidad / compresibilidad; contenido de humedad y color. Otros: forma del material granular, presencia de coque y material orgánico, porcentaje estimado de bolson / cenizas, etc.	S U C B	GRANULOMETRÍA (%)				N° DE MUESTRA
			< 0.075 mm	0.075 - 0.425 mm	0.425 - 0.850 mm	> 0.850 mm	
3.10	Arilla con grava, con presencia de raíces		-	-	-	-	
3.20	Grava arenosa. Límite 2", sub redondeado, húmedo, poco denso		-	-	-	-	
3.30	Arilla limosa con grava, poco plástica, húmeda		-	-	-	-	288
3.40							310
3.50							430
3.60							550

OBSERVACIONES :


 MANUEL RICARDO MADRID ARGOMEDO
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 60607



SLC Ingenieros SAC
 Consultora en Ingeniería Geotécnica y Pavimentos
 Calle Las Cañitas 337, Urb. El Manzano, Lima 25, Perú
 Tlfax: (011) 639-7323, (011) 991-68494
 slc@ingenieros.com.pe
 www.slc.com.pe

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

PROYECTO : MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL, TRAMO AV. CIRCUNVALACION - CRUCE CARRETERA CENTRAL, DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS, HUALHUAS, BAÑOS, SAN JERONIMO DE TUNAN
SOLICITANTE : CONSORCIO VIAL JUNIN
UBICACIÓN : Quebrada Honda, UTM(18 L, 473977 6671365)
TIPO DE EXPLORACIÓN : Cálculo
NIVEL FREÁTICO (m) : N/A
PROF. DE EXPLORACIÓN (m) : 3.10
FECHA DE EXPLORACIÓN : 28/08/2018

PROFUNDIDAD (m)	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA Clasificación típica; grado de compactación / consistencia; índice de plasticidad / compresibilidad; contenido de humedad y color. Otro: forma del material granular, presencia de coqueles y material orgánico, porcentaje estimado de bloques / cantos, etc.	S U C S	GRANULOMETRÍA (%)					N° DE MUESTRA
				0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	
				mm	mm	mm	mm	mm	
0.30		Arilla con grava, con presencia de raíces		-	-	-	-	-	
0.70		Grava arenosa, Límax 2", sub redondeado, húmeda, poco densa		-	-	-	-	-	
1.30		Arilla fina con grava, poco plástica, húmeda		-	-	-	-	-	
1.90									
2.50									
3.10									

OBSERVACIONES :

Fig. 1 de 1


 MANUEL RICARDO
 MADRID ARGOMEDO
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 60607

ANEXO 2

ENSAYO DE PENETRACION DINÁMICA LIGERA-DPL



SLC Ingenieros SAC
 Consultoría y Supervisión en Ingeniería Geotécnica y Pavimentos
 Calle Las Calceas N° 337 - Urb. El Manzano - Lima 25
 Telf. 639-7592/Rpc 991-886454, slc.ingenieros@slc.com.pe
 www.slc.com.pe

REGISTRO DEL ENSAYO DE PENETRACION DINÁMICA LIGERA - DPL (NTP 339.159)

PROYECTO : MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL TRAMO AV. CIRCUNVALACION - CRUCE CARRETERA CENTRAL, DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS, HUALHUAS, SAÑOS, SAN JERONIMO DE TUNAN
SOLICITANTE : CONSORCIO VIAL JUNIN
UBICACION : Terraplén Quebrada Honda
N° DE EXPLORACION : DPL - 1
COORDENADAS UTM : 8877276, 4709947
NIVEL FREÁTICO (m) : N.A.
PRDF. DE EXPLORACION (m) : 2.20
FECHA DE EXPLORACION : 29/08/16

PROF. (m)	N ₁₀	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	S U C S	CORRELACIONES				Gráfico Prof vs N ₁₀
				N SPT	φ (°)	c (kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	
0.10	3	Descripción visual: Limos inorgánicos elásticos, de color marrón, estado húmedo, semi-compacto	SC	8	26.0	-	66	
0.20	2							
0.30	2							
0.40	3							
0.50	4							
0.60	6							
0.70	6							
0.80	6							
0.90	6							
1.00	9							
1.10	6							
1.20	6							
1.30	14							
1.40	10							
1.50	12							
1.60	24							
1.70	21							
1.80	20							
1.90	30							
2.00	16							
2.10	29							
2.20	30							
2.30								
2.40								
2.50								
2.60								
2.80								
2.70								
2.80								
2.90								
3.00								
3.10								
3.20								
3.30								
3.40								
3.50								
3.60								
3.70								
3.80								
3.90								
4.00								
4.10								
4.20								
4.30								
4.40								
4.50								
4.60								

Observación: Clasificación visual del suelo, Correlación de la cohesión en base a NAVFAC (1971), Módulo E según Denzler (1998)
 Los resultados corresponden al estado de humedad de la arcilla al momento de ejecutar el ensayo

MANUEL RICARDO
 MADRID ARGOMEDO
 INGENIERO CIVIL
 Ren. CIP N° 60607



SLC Ingenieros SAC
 Consultoría y Supervisión en Ingeniería Geotécnica y Pavimentos
 Calle Las Calzas N° 337 - Urb. El Manzano - Lima 25
 Telf. 639-7592/Rpc 991-886454, slc.ingenieros@slc.com.pe
 www.slc.com.pe

REGISTRO DEL ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA - DPL (NTP 339.159)

PROYECTO : MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL TRAMO AV. CIRCUNVALACION - CRUCE CARRETERA CENTRAL, DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS, HUALHUAS, SAÑOS, SAN JERONIMO DE TUNAN
SOLICITANTE : CONSORCIO VIAL JUNIN
UBICACIÓN : Terraplén Quebrada Honda
N° DE EXPLORACIÓN : DPL - 2
COORDENADAS UTM : 8677278, 4709947
NIVEL PREÁTIPO (m) : N/A
PROF. DE EXPLORACIÓN (m) : 1.20
FECHA DE EXPLORACIÓN : 28/08/18

Prof. (m)	N ₁₀	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	S U C S	CORRELACIONES				Gráfico Prof. vs N ₁₀
				N SPT	φ (°)	c (kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	
0.10	2	Descripción visual: Limas inorgánicas elásticas, de color marrón, estado húmedo, semi-conspecto	SM-SC	3	22.7	-	25	
0.20	4							
0.30	3							
0.40	2							
0.50	3							
0.60	4							
0.70	3							
0.80	2							
0.90	3							
1.00	7							
1.10	5	SM-SC	6	26.0	-	55		
1.20	6							
1.30								
1.40								
1.50								
1.60								
1.70								
1.80								
1.90								
2.00								
2.10								
2.20								
2.30								
2.40								
2.50								
2.60								
2.70								
2.80								
2.90								
3.00								
3.10								
3.20								
3.30								
3.40								
3.50								
3.60								
3.70								
3.80								
3.90								
4.00								
4.10								
4.20								
4.30								
4.40								
4.50								
4.60								

Observación: Clasificación visual del suelo, Corrección de la cohesión en base a NAVFAC (1971), Módulo E según Denziger (1998)
 Los resultados corresponden al estado de humedad de la arcilla al momento de efectuar el ensayo. Rebote en la profundidad 1.3 m

MANUEL RICARDO
 MADRIG ARGOMEDO
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 60607

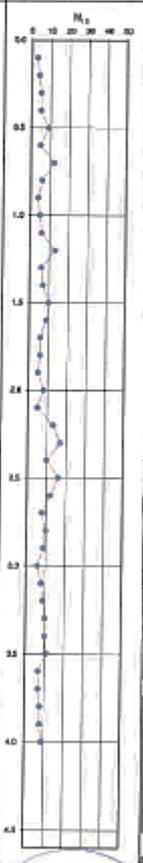


SLC Ingenieros SAC
 Consultoría y Supervisión en Ingeniería Geotécnica y Pavimentos
 Calle Las Cañazas N° 337 - Urb. El Manzano - Lima 25
 Telf. 659-7592/Rpc 991-86454, slc.ingenieros@slc.com.pe
 www.slc.com.pe

REGISTRO DEL ENSAYO DE PENETRACION DINAMICA LIGERA - DPL (NTP 339.159)

PROYECTO : MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL, TRAMO AV. CIRCUNVALACION - CRUCE CARRETERA CENTRAL, DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS, HUALHUAS, SAÑOS, SAN JERONIMO DE TUNAN
SOLICITANTE : CONSORCIO VIAL JUNIN
UBICACIÓN : Tierrasplén Quebrada Honda
N° DE EXPLORACIÓN : DPL - 3
COORDENADAS UTM : 8577278, 4709947
NIVEL FREÁTICO (m) : N.A.
PROF. DE EXPLORACIÓN (m) : 6.20
FECHA DE EXPLORACIÓN : 29/08/18

PROF. (m)	N ₁₀	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	S U C S	CORRELACIONES				Grados Prof. vs H ₂ O
				N SPT	q (MPa)	c (kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	
0.10	3	Descripción visual: Limos inorgánicos elásticos, de color marrón, estado húmedo, semi-compacto	SM-SC	8	27.6	-	73	0.10
0.20	4							
0.30	5							
0.40	5							
0.50	9							
0.60	5							
0.70	12							
0.80	6							
0.90	4							
1.00	5							
1.10	6	SM-SC	8	27.6	-	73	1.10	
1.20	13	SM-SC	8	27.6	-	73	1.20	
1.30	6							
1.40	7							
1.50	10							
1.60	9							
1.70	6							
1.80	6							
1.90	5							
2.00	5							
2.10	5							
2.20	13	SM-SC	8	27.6	-	73	2.20	
2.30	17	SM-SC	12	30.5	-	110	2.30	
2.40	19							
2.50	16							
2.60	12							
2.70	8							
2.80	10							
2.90	9							
3.00	8							
3.10	8							
3.20	9							
3.30	10	SM-SC	8	27.6	-	73	3.30	
3.40	10	SM-SC	8	27.6	-	73	3.40	
3.50	11							
3.60	7							
3.70	7							
3.80	8							
3.90	8							
4.00	9							
4.10								
4.20								
4.30								
4.40								
4.50								
4.60								



Observación: Clasificación visual del suelo, Correlación de la cohesión en base a NAVFAC (1971), Módulo E según Danziger (1988)
 Los resultados corresponden al estado de humedad de la arcilla al momento de ejecutar el ensayo

MANUEL RICARDO MADRID ARGOMEDO
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 60607

ANEXO 3

ESTUDIO GEOFÍSICO DEL TERRAPLÉN



SLC Ingenieros SAC
Consultores en Ingeniería Geotécnica y Pavimentación
Tiro. - (511) 438-7092. (51) 991-6834/4
www.slc.com.pe

ANÁLISIS DE ONDAS SUPERFICIALES EN ARREGLOS MULTICANAL
MASW.01

Proyecto : Estudio Geofísico para el mejoramiento del corredor vial de transporte masivo Norte – Sur Av. Ferrocarril

Modelo de equipo : Geocda - 24

Realizado : N. Mori

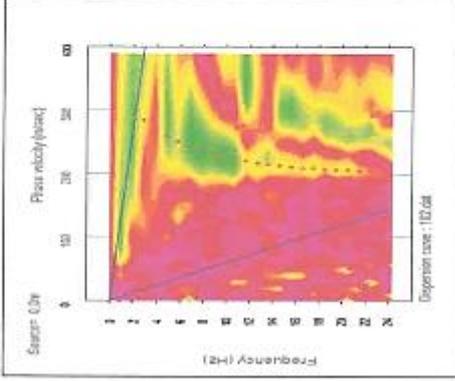
Revisado : T.S.P

ESTE : 473924

NORTE : 8671378

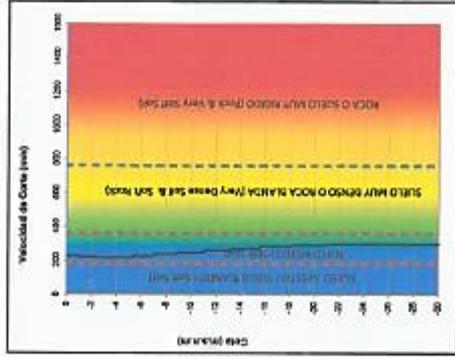
Fecha : Setiembre, 2018

Curva de Dispersión



Dispersión corte: 100.0m

Perfil Unidimensional



Cuadro Resumen

Profundidad (m)	Vs (m/s)	Región
-1.07	228.00	
-2.31	220.00	
-3.71	214.00	
-5.28	215.00	
-7.61	225.00	
-8.80	227.00	
-10.26	248.00	
-12.19	257.00	
-15.09	263.00	
-20.86	269.00	
-23.74	257.00	
-26.79	269.00	
-30.00	267.00	

Clasificación Sísmica ASCE - 2010

Resistencia a la penetración Estándar SPT (blows/ft)	Velocidad de ondas de corte (m/s)	Tipología
A	Vs > 1500	Roca muy dura
B	700 < Vs < 1500	Roca o suelo muy rígido
C	300 < Vs < 700	Suelo muy denso o roca blanda
D	180 < Vs < 300	Suelo rígido
E	Vs < 180	Suelo blando

Clasificación Sísmica NTP E-030 - 2016

Tipología	Tipología	Tipología
S0	Vs > 1000	Roca dura
S1	500 < Vs < 1000	Suelo muy rígido
S2	180 < Vs < 500	Suelo intermedio
S3	Vs < 180	Suelo blando

ASCE - 2010

Velocidad de ondas de corte (m/s)	Tipología
351	D

NTP E-030 - 2016

Velocidad de ondas de corte (m/s)	Tipología
351	Suelo intermedio

MANUEL RICARDO MADRIGAL ARGOMELO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 60687



SLC Ingenieros SAC
 Consultores en Ingeniería Civil, Mecánica y Petrolera
 Calle Los Gálanos 357, Urb. El Mirador, Lima 25, Perú
 Teléfono: (51) 1 841 1818
 slc@ingenieros.com.pe
 www.slc.com.pe

ANÁLISIS DE ONDAS SUPERFICIALES EN ARREGLOS MULTICANAL
 MASW-02

Proyecto :

Estudio Geofísico para el mejoramiento del corredor vial de transporte masivo Norte – Sur Av. Ferrocarril

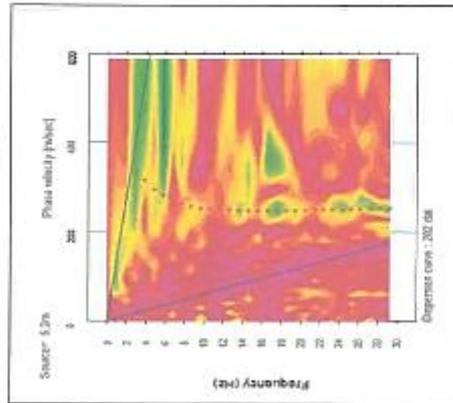
Modelo de equipo : Geode - 24

Realizado : N. Mon
Revisado : T.S.P

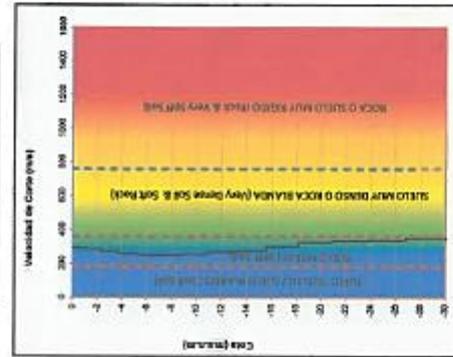
ESTE : 473959
NORTE : 8671308

Fecha : Septiembre 2018

Curva de Dispersión



Perfil Lateral Multicanal



Cuadro Resumen

Profundidad (m)	Velocidad (cm/s)
-1.07	265.00
-2.31	240.00
-3.71	275.00
-5.23	260.00
-7.91	252.00
-10.98	251.00
-15.28	257.50
-20.85	268.00
-28.13	303.50
-37.50	327.50
-50.00	334.00
-67.75	337.50
-90.00	350.00

Símbolo	Tipos de suelo: Ref. en Geotecnia
■	Suelo Suelto / Suelo blando
■	Suelo rígido
■	Suelo muy denso o roca blanda
■	Suelo muy rígido / Roca

MARY EL RICARDO MADRIGAL ARGONILLO
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIR N° 60617

Clasificación Sísmica ASCE - 2010

Tipo de Suelo	Descripción del Suelo	Velocidad de ondas de corte (Vs) [cm/s]	Factor de reducción	Factor de amplificación
A	Roca muy dura	Vs > 1500	1.0	N/A
B	Roca o suelo muy rígido	700 < Vs < 1500	1.0	N/A
C	Suelo muy denso o roca blanda	300 < Vs < 700	1.5	N > 50
D	Suelo rígido	180 < Vs < 300	2.0	15 < N < 50
E	Suelo blando	Vs < 180	2.5	N < 15

Nota: (N) = Número promedio de ondas de corte en los 30 m más superficiales.
 N°, Número de golpes

ASCE - 2010

Vs [cm/s]	234
Tipo de Suelo	D

NTP E-030 - 2016

Vs [cm/s]	234
Tipo de Suelo	Suelo intermedio

Clasificación Sísmica NTP E-030 - 2016

Tipo de Suelo	Velocidad de ondas de corte (Vs) [cm/s]	Factor de reducción
S0	Vs > 1500	Roca dura
S1	900 < Vs < 1500	Suelo muy rígido
S2	180 < Vs < 900	Suelo intermedio
S3	Vs < 180	Suelo blando

Tipo de Suelo	T0 (s)	D
T0 (s)	0.41	



SLC Ingenieros SAC
 Ingeniería y Construcción
 Calle Las Cañas 337, Urb. El Mirador, Lima 25, Perú
 Tels.: (511) 636-7392, (51) 991-884654
 s.l.c.ingenieros@slc.com.pe
 www.slc.com.pe

ANÁLISIS DE ONDAS SUPERFICIALES EN ARREGLOS MULTICANAL
 MASW-04

Proyecto :

Estudio Geofísico para el mejoramiento del corredor vial de transporte masivo Norte – Sur Av. Ferrocarril

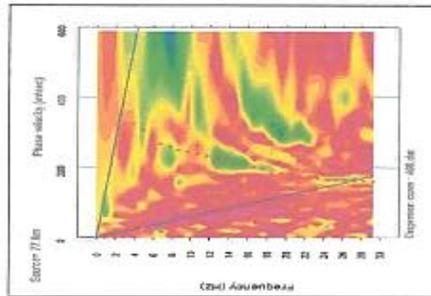
Fecha : Setiembre 2018

Modelo de equipo : Geode - 24

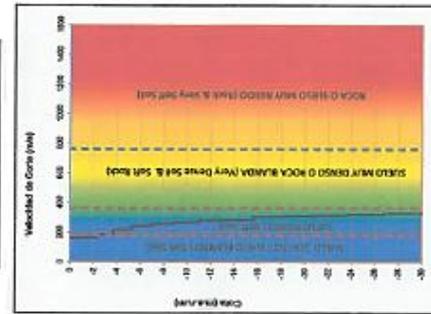
Realizado por : N. Mori
Revisado por : T.S.P

ESTE : 473003
NORTE : 8071343

Curva de Dispersión



Perfil Unidimensional



Categoría Reclamo

Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Reclamo
-1.07	160.00	
-2.31	160.00	
-3.71	165.00	
-4.28	217.00	
-7.01	241.00	
-8.90	248.00	
-10.26	248.00	
-13.19	261.00	
-15.28	262.00	
-16.53	303.00	
-20.85	309.00	
-23.74	318.00	
-26.19	321.00	
-30.00	330.00	

***** MANUEL RICARDO ARGOMEDO SANCHEZ INGENIERO CIVIL Lic. CIP N° 60007

Amplitud	Tipo de suelo	Profundidad (m)
0.00	Suelo muy blando	
0.00	Suelo blando	
0.00	Suelo muy denso o roca blanda	
0.00	Suelo muy rígido / Roca	

Clasificación Sísmica ASCE - 2010

Tipo de Suelo	Descripción del suelo	Velocidad de ondas de corte (m/s)	Resistencia a la penetración (kg/cm²)
A	Roca muy dura	$V_s > 1500$	N/A
B	Roca o suelo muy rígido	$760 < V_s < 1500$	N/A
C	Suelo muy denso o roca blanda	$360 < V_s < 760$	$N > 50$
D	Suelo rígido	$180 < V_s < 360$	$15 < N < 50$
E	Suelo blando	$V_s < 180$	$N < 15$

Velocidad: Velocidad promedio de ondas de corte en las 30 m más superficiales
 N: Número de golpes

ASCE - 2010

V_s (m/s)	Tipo de Suelo	2018
1500	D	

NTP E-030 - 2016

V_s (m/s)	Tipo de Suelo	2016
1500	Suelo Islamado	

Clasificación Sísmica NTP E-030 - 2016

Tipo de Suelo	Velocidad	Resistencia
S0	$V_s > 1500$	Roca dura
S1	$400 < V_s < 1000$	Suelo muy rígido
S2	$180 < V_s < 500$	Suelo Islamado
S3	$V_s < 180$	Suelo blando

Resistencia a la penetración (kg/cm²)	Tipo de Suelo	Resistencia
15	T0-IV	T0-IV
50		0.45

ANEXO 4

ENSAYOS DE MECANICA DE SUELOS DEL TERRAPLÉN



SLC Ingenieros S.A.C.
 Consultoría y Supervisión en Ingeniería Geotécnica y Pavimentos
 Calle Las Calezas N° 337 - Urb. El Manzano - Lima 25
 Telf: 639-7592 / Celular: 991-886454
 slc.ingenieros@slc.com.pe
 www.slc.com.pe

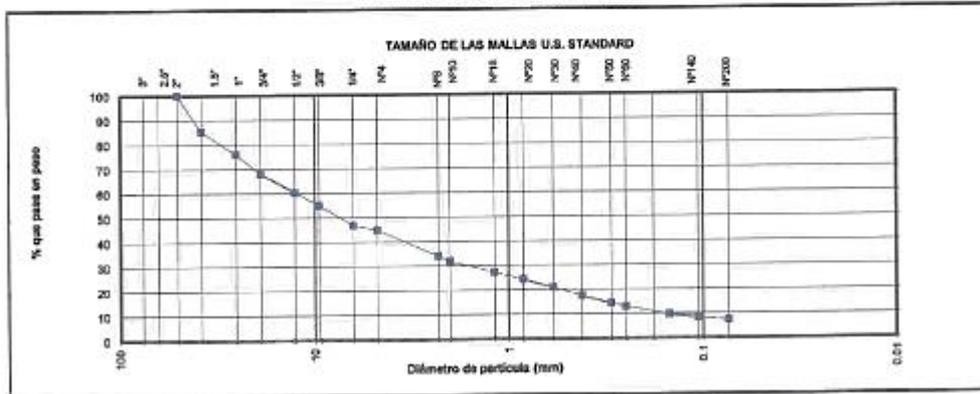
LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
 (ASTM D 422, NTP 339.128)**

INFORME N° : LOP.AG.2018.09.01
 SOLICITANTE : CONSORCIO VIAL JUNIN
 MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL TRAMO AV.
 PROYECTO : CIRCUNVALACION - CRUCE CARRETERA CENTRAL, DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTÍN DE CAJAS, HUALHUAS SAROS, SAN
 JERÓNIMO DE TUNAN
 UBICACIÓN : JUNIN - HUANCAYO - PERÚ
 FECHA : 3/09/2018

CALICATA :		C-01	MUESTRA :	M-01	PROF. :	2.50 - 2.80 m	Zona :
Diámetros (mm)	TAMICES ASTM	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Descripción de la Muestra	
76.2	3"					Peso seco inicial (g):	5211.8
63.5	2 1/2"					Peso seco pasante N°4 (g):	2333.1
50.8	2"	0.0	0.0	0.0	100.0	Fración fina (g):	2333.1
38.1	1 1/2"	766.0	14.7	14.7	85.3	COEFICIENTES:	
25.4	1"	494.2	9.5	24.2	75.8	Cc =	1.48
19.0	3/4"	404.0	7.8	31.9	68.1	Cu =	67.88
12.7	1/2"	413.1	7.9	39.9	60.1	LIMITES ATTERBERG:	
9.525	3/8"	271.7	5.2	45.1	54.9	LL =	
6.35	1/4"	420.1	8.1	53.1	46.9	LP =	NP
4.76	N° 4	109.8	2.1	55.2	44.8	IP =	-
2.30	N° 8	562.2	10.8	66.0	34.0	Humedad ref. (%):	8.7
2.00	N° 10	107.20	2.1	68.1	31.9	MATERIAL:	
1.18	N° 16	241.40	4.6	72.7	27.3	GRAVA (%)	55.2
0.84	N° 20	166.80	3.0	75.7	24.3	ARENA (%)	37.5
0.60	N° 30	177.10	3.4	79.1	20.9	FINOS (%)	7.2
0.42	N° 40	172.20	3.3	82.4	17.6	CLASIFICACION DE SUELOS:	
0.297	N° 50	163.50	3.1	85.5	14.4	AASHTO =	A-1-a (0)
0.25	N° 60	81.20	1.6	87.1	12.9	SIUCS =	GW-GM
0.149	N° 100	166.80	3.2	90.3	9.7	Grava bien gradada con Limo y Arena	
0.106	N° 140	71.40	1.4	91.7	8.3		
0.074	N° 200	55.60	1.1	92.8	7.2		
	< N° 200	377.70	7.2	100.0	0.0		

CURVA GRANULOMETRICA



Observaciones:

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS
 SLC INGENIEROS SAC
 ELABORADO POR
 Técnico de Laboratorio

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS
 SLC INGENIEROS SAC
 REVISADO POR
 Jefe de Laboratorio



SLC Ingenieros S.A.C.

Consultoría y Supervisión en Ingeniería Geotécnica y Pavimentos
Calle Las Calezas Nº 337 – Urb. El Manzano – Lima 25
Telf: 639-7592 / , Celular: 991-886454
slc.ingenieros@slc.com.pe
www.slc.com.pe

INFORME N° : LGP.HN.2018.09.01
SOLICITANTE : CONSORCIO VIAL JUNIN
MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV.
PROYECTO : FERROCARRIL TRAMO AV. CIRCUNVALACIÓN - CRUCE CARRETERA CENTRAL,
DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTÍN DE CAJAS, HUALHUAS SAÑOS, SAN JERÓNIMO
DE TUNAN
UBICACIÓN : JUNIN - HUANCAYO - PERÚ
FECHA : 3/09/2018

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-01
MUESTRA : M-01
PROF : 2.50 - 2.80 m

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D2216 / NTP 339.127

Número recipiente	105	
Peso del suelo húmedo + recipiente	6068.3	
Peso del suelo seco + recipiente	5614.9	
Peso del agua	453.4	
Peso del recipiente	403.1	
Peso del suelo seco	5211.8	
% de humedad	8.7	
% de humedad (promedio)		8.7

Observaciones:

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS

SLC INGENIEROS SAC

Juan Carlos Orozco

Técnico de Laboratorio

ELABORADO POR

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS

SLC INGENIEROS SAC

Ricardo Madrid

CIP 60607

REVISADO POR



SLC Ingenieros S.A.C.
 Consultoría y Supervisión en Ingeniería Geotécnica y Pavimentos
 Calle Las Calezas Nº 337 – Urb. El Manzano – Lima 25
 Telf: 639-7592 / Celular: 991-886454
 slc.ingenieros@slc.com.pe
 www.slc.com.pe

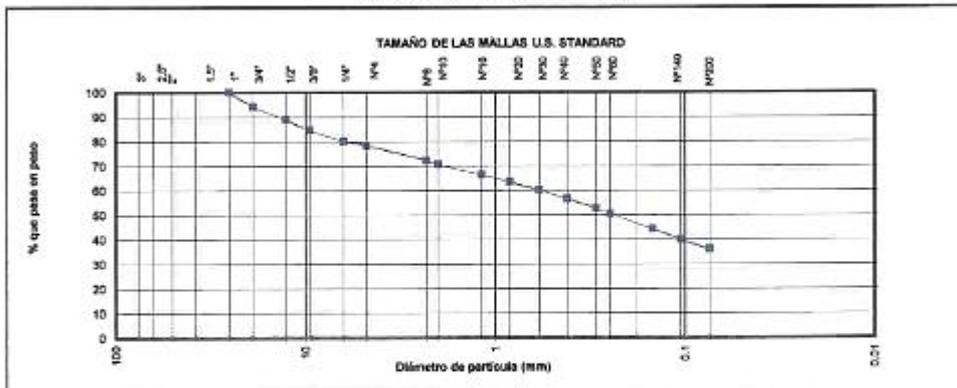
LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
 (ASTM D 422, NTP 339.128)**

INFORME N° : LGPAG 2018.09.02
 SOLICITANTE : CONSORCIO VIAL JUNIN
 MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL TRAMO AV.
 PROYECTO : CIRCUNVALACIÓN - CRUCE CARRETERA CENTRAL, DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTÍN DE CAJAS, HUALHUJAS SAÑOS, SAN
 JERÓNIMO DE TUNAN
 UBICACIÓN : JUNIN - HUANCAYO - PERÚ
 FECHA : 3/09/2018

CALICATA :		C-03	MUESTRA :	M-01	PROF. :	0.50 - 1.50 m	Zona :
Dímetros (mm)	TAMICES ASTM	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Descripción de la Muestra	
76.2	3"	0.0	0.0	0.0	100.0	Peso seco inicial (g): 1078.1	
83.5	2 1/2"	84.0	5.9	5.9	94.1	Peso seco pasante N°4 (g): 845.8	
60.8	2"	56.2	5.2	11.1	88.9	Fracción fina (g): 845.8	
38.1	1 1/2"	48.2	4.3	15.4	84.6	COEFICIENTES:	
25.4	1"	48.8	4.5	20.0	80.0	Cc = 0.32	
19.0	3/4"	17.1	1.6	21.5	78.5	Cu = 28.32	
12.7	1/2"	68.0	6.3	27.9	72.1	LÍMITES ATTERBERG:	
9.525	3/8"	17.00	1.6	29.4	70.6	LL = 24	
6.35	1/4"	45.10	4.2	33.6	66.4	LP = 17	
4.76	N° 4	31.50	2.9	36.5	63.5	Humedad ref. (%): 15.4	
2.30	N° 8	35.80	3.3	39.9	60.1	MATERIAL:	
2.00	N° 10	39.30	3.6	43.5	56.5	GRAVA (%) 21.5	
1.18	N° 16	41.80	3.9	47.4	52.6	ARENA (%) 42.5	
0.84	N° 20	23.40	2.2	49.6	50.4	FINOS (%) 35.9	
0.59	N° 30	68.30	6.3	55.9	44.1	CLASIFICACION DE SUELOS:	
0.42	N° 40	44.40	4.1	60.0	40.0	AASHTO = A-4 (0)	
0.297	N° 60	43.90	4.1	64.1	35.9	SUCS = SM-SC	
0.25	N° 60	387.30	35.9	100.0	0.0	Arena limosa y arcillosa con grava	
0.149	N° 100						
0.106	N° 140						
0.074	N° 200						
	< N° 200						

CURVA GRANULOMETRICA



Observaciones:

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS
 SLC INGENIEROS SAC
 Juan Carlos Orozco
 Técnico de Laboratorio
 ELABORADO POR

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS
 SLC INGENIEROS SAC
 Elvira J. Alarcón
 REVISADO POR
 Jefe de Laboratorio



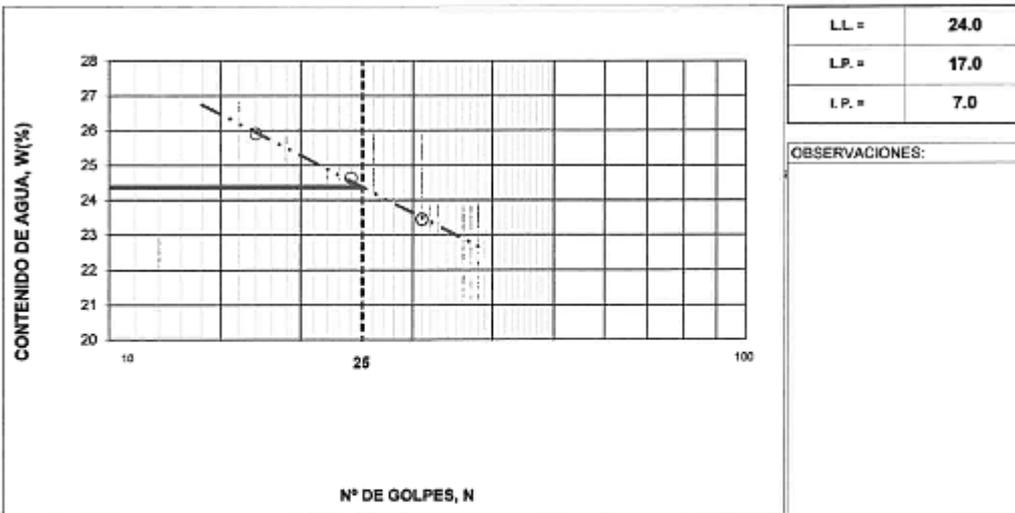
SLC Ingenieros S.A.C.

Consultoría y Supervisión en Ingeniería Geotécnica y Pavimentos
 Calle Las Caletas N° 337 – Urb. El Manzano – Lima 25
 Telf: 639-7592 / Celular: 991-886454
 slc.ingenieros@slc.com.pe
 www.slc.com.pe

INFORME N° : LGP.LL.2018.09.02
 SOLICITANTE : CONSORCIO VIAL JUNIN
 PROYECTO : MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL TRAMO AV. CIRCUNVALACIÓN - CRUCE CARRETERA CENTRAL, DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS, HUALHUAS SAÑOS, SAN JERÓNIMO DE TUNAN
 UBICACIÓN : JUNIN - HUANCAYO - PERÚ
 FECHA : 3/09/2018
 CALICATA : C-03
 MUESTRA : M-01
 PROF : 0.50 - 1.50 m

LÍMITE LÍQUIDO (LL) ASTM D4318 / NTP 339.129				
Número del depósito	5	1	13	
Peso del suelo húmedo + depósito	21.16	22.82	45.10	
Peso del suelo seco + depósito	19.40	20.57	42.57	
Peso del agua	1.76	2.25	2.13	
Peso del depósito	11.89	11.44	34.75	
Peso del suelo seco	7.51	9.13	8.22	
Contenido de agua (w%)	23.44	24.64	25.91	
Numero de golpes, n	31	24	17	

LÍMITE PLÁSTICO (LP) ASTM D 4318 / NTP 339.129		
Numero del depósito	4	24
Peso del suelo húmedo + depósito	36.27	26.13
Peso del suelo seco + depósito	34.15	24.51
Peso del agua	2.12	1.62
Peso del depósito	21.75	15.17
Peso del suelo seco	12.40	9.34
Contenido de agua (w%)	17.10	17.30
Promedio de %:	17.1	17.3



Observaciones: _____

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS
 SLC INGENIEROS SAC
 Juan Carlos Orozco
 ELABORADO POR

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS
 SLC INGENIEROS SAC
 Ricardo Madrid
 JEFE DEL LABORATORIO



SLC Ingenieros S.A.C.

Consultoría y Supervisión en Ingeniería Geotécnica y Pavimentos
Calle Las Calezas N° 337 – Urb. El Manzano – Lima 25
Telf: 639-7592 / , Celular: 991-886454
slc.ingenieros@slc.com.pe
www.slc.com.pe

INFORME N° : LGP.HN.2018.09.02
SOLICITANTE : CONSORCIO VIAL JUNIN
PROYECTO : MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL TRAMO AV. CIRCUNVALACIÓN - CRUCE CARRETERA CENTRAL, DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTÍN DE CAJAS, HUALHUAS SAÑOS, SAN JERÓNIMO DE TUNAN
UBICACIÓN : JUNIN - HUANCAYO - PERÚ
FECHA : 3/09/2018

DATOS DE LA MUESTRA
CALICATA : C-03
MUESTRA : M-01
PROF : 0.50 - 1.50 m

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D2216 / NTP 339.127

Número recipiente	U-2	
Peso del suelo humedo + recipiente	1292.6	
Peso del suelo seco + recipiente	1126.6	
Peso del agua	166.0	
Peso del recipiente	48.5	
Peso del suelo seco	1078.1	
% de humedad	15.4	
% de humedad (promedio)		15.4

Observaciones: _____

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS
SLC INGENIEROS SAC
ELABORADO POR...
Juan Carlos Orozco
Técnico de Laboratorio

Pág. 3 de 3

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS
SLC INGENIEROS SAC
REVISADO POR...
CIP: 60607
Jefe de Laboratorio



SLC Ingenieros S.A.C.
 Consultoría y Supervisión en Ingeniería Geotécnica y Pavimentos
 Calle Las Calezas N° 337 - Urb. El Manzano - Lima 25
 Telf: 639-7592 / , Celular: 991-886454
 slc.ingenieros@slc.com.pe
 www.slc.com.pe

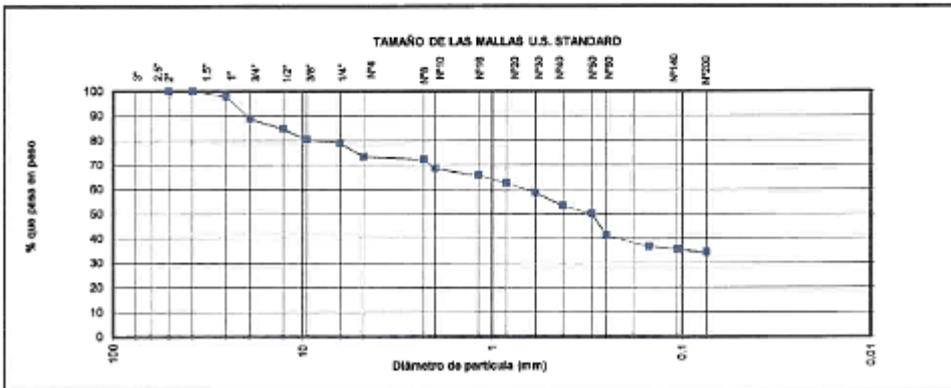
LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
 (ASTM D 422, NTP 339.128)**

INFORME N° : LGP.AG.2018.09.03
 SOLICITANTE : CONSORCIO VIAL JUNIN
 PROYECTO : MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL TRAMO AV. CIRCUNVALACIÓN - CRUCE CARRETERA CENTRAL, DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTÍN DE CAJAS, HUALHUAS SAÑOS, SAN JERÓNIMO DE TUNAN
 UBICACIÓN : JUNIN - HUANCAYO - PERÚ
 FECHA : 3/09/2018

Diámetros (mm)	TAMICES ASTM	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Descripción de la Muestra
76.2	3"					Peso seco inicial (g): 1919.2 Peso seco pasante N°4 (g): 1406.3 Fracción fina (g): 1417.4 COEFICIENTES: Cc = 0.29 Cu = 31.25 LÍMITES ATTERBERG: LL = 25 LP = 17 IP = 8 Humedad ref. (%): 13.1 MATERIAL: GRAVA (%) 26.6 ARENA (%) 39.3 FINOS (%) 34.1 CLASIFICACION DE SUELOS: AASHTO = A-2-4 (0) SUCS = SC Arena arcillosa con grava
63.5	2 1/2"					
50.8	2"	0.0	0.0	0.0	100.0	
38.1	1 1/2"	0.0	0.0	0.0	100.0	
25.4	1"	40.6	2.1	2.1	97.9	
19.0	3/4"	172.0	9.0	11.1	88.9	
12.7	1/2"	79.4	4.1	15.2	84.8	
9.525	3/8"	86.3	4.5	19.7	80.3	
6.35	1/4"	26.9	1.4	21.1	78.9	
4.76	N° 4	105.7	5.5	26.6	73.4	
2.30	N° 8	24.1	1.2	27.9	72.1	
2.00	N° 10	70.80	3.7	31.5	68.5	
1.18	N° 16	52.60	2.7	34.3	65.7	
0.84	N° 20	63.80	3.3	37.6	62.4	
0.59	N° 30	72.70	3.8	41.3	58.7	
0.42	N° 40	105.40	5.5	46.8	53.2	
0.297	N° 50	61.90	3.2	50.0	50.0	
0.25	N° 60	171.60	8.9	58.9	41.1	
0.149	N° 100	89.30	4.6	63.4	36.6	
0.106	N° 140	21.00	1.1	64.5	35.5	
0.074	N° 200	26.30	1.4	65.9	34.1	
	< N° 200	658.90	34.1	100.0	0.0	

CURVA GRANULOMETRICA



Observaciones:

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS
 SLC INGENIEROS S.A.C.
 ELABORADO POR
 Juan Carlos Orozco
 Técnico de Laboratorio

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS
 SLC INGENIEROS S.A.C.
 REVISADO POR
 Ricardo Madrid
 CIP. 60607
 Jefe de Laboratorio



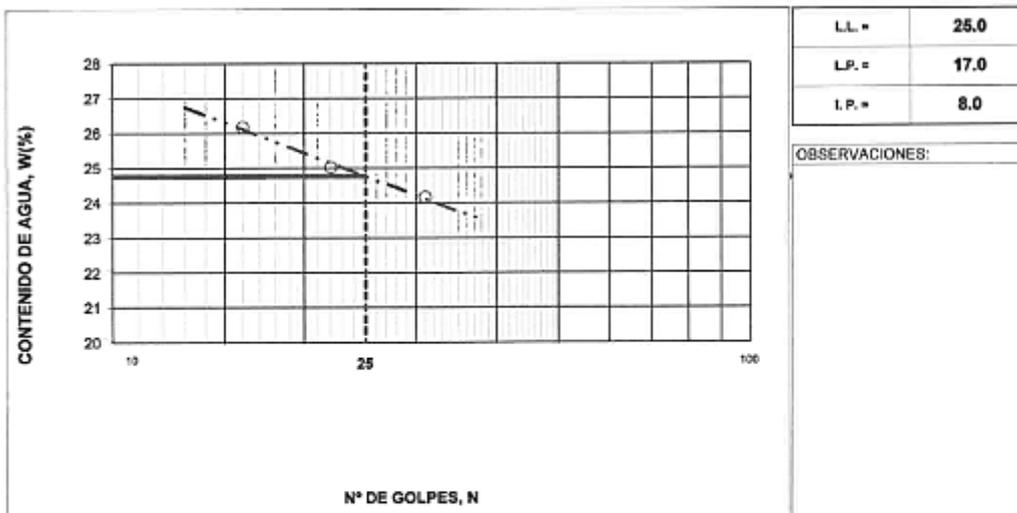
SLC Ingenieros S.A.C.

Consultoría y Supervisión en Ingeniería Geotécnica y Pavimentos
 Calle Las Cañales N° 337 - Urb. El Manzano - Lima 25
 Telf: 639-7592 / , Celular: 991-886454
 slc.ingenieros@slc.com.pe
 www.slc.com.pe

INFORME N° : LGP.LL.2018.09.03
 SOLICITANTE : CONSORCIO VIAL JUNIN
 PROYECTO : MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASMO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL TRAMO AV. CIRCUNVALACIÓN - CRUCE CARRETERA CENTRAL, DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS, HUALHUAS SAÑOS, SAN JERONIMO DE TUNAN
 UBICACIÓN : JUNIN - HUANCAYO - PERÚ
 FECHA : 3/09/2018
 CALICATA : C-03
 MUESTRA : M-02
 PROF : 0.00 - 0.50 m

LÍMITE LÍQUIDO (LL) ASTM D4318 / NTP 339.129				
Número del depósito	7	9	10	
Peso del suelo húmedo + depósito	48.28	44.16	26.70	
Peso del suelo seco + depósito	44.09	42.10	24.21	
Peso del agua	2.19	2.06	2.49	
Peso del depósito	35.03	33.87	14.70	
Peso del suelo seco	9.06	8.23	9.51	
Contenido de agua (w%)	24.17	25.03	26.18	
Numero de golpes, n	31	22	16	

LÍMITE PLÁSTICO (LP) ASTM D 4318 / NTP 339.129				
Numero del depósito	16	39		
Peso del suelo húmedo + depósito	35.77	26.24		
Peso del suelo seco + depósito	33.79	24.58		
Peso del agua	1.98	1.66		
Peso del depósito	22.28	15.04		
Peso del suelo seco	11.51	9.54		
Contenido de agua (w%)	17.20	17.40		
Promedio de %:	17.2	17.4		



Observaciones:

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS
 SLC INGENIEROS SAC
 ELABORADO POR:
 Juan Carlos Orzco
 Técnico de Laboratorio

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS
 SLC INGENIEROS SAC
 REVISADO POR:
 CIP. 60607
 Jefe de Laboratorio



SLC Ingenieros S.A.C.

Consultoría y Supervisión en Ingeniería Geotécnica y Pavimentos
Calle Las Calezas N° 337 – Urb. El Manzano – Lima 25
Telf: 639-7592 / , Celular: 991-886454
slc.ingenieros@slc.com.pe
www.slc.com.pe

INFORME N° : LGP.HN.2018.09.03
SOLICITANTE : CONSORCIO VIAL JUNIN
PROYECTO : MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL TRAMO AV. CIRCUNVALACIÓN - CRUCE CARRETERA CENTRAL, DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTÍN DE CAJAS, HUALHUAS SAÑOS, SAN JERÓNIMO DE TUNAN
UBICACIÓN : JUNIN - HUANCAYO - PERÚ
FECHA : 3/09/2018

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-03
MUESTRA : M-02
PROF : 0.00 - 0.50 m

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D2216 / NTP 339.127

Número recipiente	9	
Peso del suelo humedo + recipiente	2559.2	
Peso del suelo seco + recipiente	2307.8	
Peso del agua	251.4	
Peso del recipiente	388.6	
Peso del suelo seco	1919.2	
% de humedad	13.1	
% de humedad (promedio)	13.1	

Observaciones:

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS
SLC INGENIEROS S.A.C.
ELABORADO POR
Juan Carlos Ordoñez
Técnico de Laboratorio

Pág. 3 de 3

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS
SLC INGENIEROS S.A.C.
REVISADO POR
Ricardo Madrid
CIP: 60607
Jefe de Laboratorio



LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ASTM D - 3080

Formato de ensayo F-3
Rev. 0
14/02/2014

Ciente: CONSORCIO VIAL JUNIN
Proyecto: MILAGRAMENTO DEL CONSORCIO VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL TAMBO AN, CIRCUNVALACION - CRUCE CARRETERA CENTRAL, DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS, HUALLIYAS SACOS, SAN JERONIMO DE TUNAN
Sondeo: C-03
Muestra: M-01
Descripción: ARENA LIMOSA ARCILLOSA

Fecha de ensayo: 7/06/2018

Fecha de muestreo: 23/08/2018

Ensayo No.: LGP.CD.2018.009.001

Identificación de la muestra: C-03/M-01

TIPO DE ENSAYO: CONSOLIDADO, DRENADO REMOLDEADA Profundidad: 0.02 -1.50 m

Parámetros de la muestra	Especimen 1	Especimen 2	Especimen 3	Especimen 4
Diámetro (mm)	50.78	50.78	50.78	-
Área (mm²)	2025.23	2025.23	2025.23	-
Altura (mm)	22.04	22.04	22.04	-
Humedad natural (%)	17.75	17.75	17.75	-
Peso del suelo húmedo (g)	67.93	67.93	67.93	-
Peso del suelo seco (g)	60.01	60.01	60.01	-
Gravedad específica (g/cm³)	2.69	2.69	2.69	-
Masa unitaria húmeda (g/cm³)	1.93	1.93	1.93	-
Masa unitaria seca (g/cm³)	1.67	1.67	1.67	-
Deformación Consolidación (mm)	0.087	0.303	0.790	-

Parámetros del Ensayo				
Peso en el brazo (kg)	1.00	2.00	4.00	-
Peso del estribo (kg)	3.70	3.70	3.70	-
Multiplo del brazo de palanca	10.00	10.00	10.00	-
Velocidad de deslizamiento (mm/min)	0.10	0.10	0.10	-
Befuerzo Vertical (kPa)	87.85	117.02	215.78	-
Consolidador	SI	SI	SI	-

Deformación Horizontal (mm)	Deformación Horiz. Unitaria (%)	Deformación Normal (mm)			Fuerza (N)			Esfuerzo Cortante (kPa)		
		68	117	216	68	117	216	68	117	216
0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	3.209	6.400	44.520	1.58	3.16	21.62
0.10	0.20	-0.012	-0.012	-0.010	26.200	42.400	90.420	12.94	20.94	44.64
0.20	0.39	-0.035	-0.040	-0.029	34.200	59.800	109.600	16.80	29.02	54.12
0.30	0.59	-0.058	-0.059	-0.048	38.600	66.400	123.400	19.05	32.79	60.93
0.40	0.79	-0.069	-0.090	-0.054	40.600	73.000	134.000	20.05	36.05	66.17
0.50	0.98	-0.125	-0.118	-0.080	43.400	77.600	145.200	21.43	38.32	71.70
0.60	1.18	-0.150	-0.137	-0.095	46.600	81.000	155.200	23.01	40.00	76.63
0.80	1.58	-0.192	-0.176	-0.120	51.400	88.600	172.600	25.38	43.78	85.22
1.00	1.97	-0.223	-0.213	-0.147	56.600	95.900	184.000	27.85	47.20	90.85
1.20	2.36	-0.248	-0.244	-0.167	61.600	101.600	193.200	30.51	50.17	95.40
1.40	2.76	-0.268	-0.272	-0.189	64.200	106.800	200.200	31.70	52.84	99.85
1.60	3.15	-0.286	-0.302	-0.209	66.000	112.200	208.400	32.60	55.40	101.91
1.80	3.54	-0.302	-0.329	-0.222	68.400	116.600	214.800	33.77	57.16	106.06
2.00	3.94	-0.318	-0.353	-0.233	69.200	120.000	220.400	34.17	59.25	108.83
2.20	4.33	-0.329	-0.372	-0.243	72.000	122.500	224.000	35.56	60.63	110.60
2.40	4.73	-0.340	-0.389	-0.254	73.400	127.000	232.600	36.24	62.71	114.86
2.60	5.12	-0.348	-0.410	-0.264	75.400	130.200	236.800	37.23	64.29	116.63
2.80	5.51	-0.362	-0.430	-0.275	76.600	133.400	239.400	38.84	65.87	118.21
3.00	5.91	-0.369	-0.449	-0.284	76.000	135.600	245.400	37.53	66.95	121.17
3.20	6.30	-0.380	-0.466	-0.294	79.200	138.400	248.800	39.11	68.34	122.85
3.40	6.70	-0.388	-0.479	-0.302	78.600	141.200	252.000	38.91	69.72	124.43
3.60	7.09	-0.398	-0.488	-0.304	75.600	141.200	252.400	39.40	69.72	124.63
3.80	7.48	-0.400	-0.498	-0.310	80.800	141.600	257.200	39.90	70.02	127.00
4.00	7.88	-0.410	-0.507	-0.317	81.000	143.600	261.000	40.00	71.00	128.67
4.20	8.27	-0.422	-0.515	-0.322	79.600	144.800	262.800	39.30	71.90	129.79
4.40	8.66	-0.429	-0.522	-0.330	81.200	146.600	265.000	40.09	72.39	130.88
4.60	9.06	-0.434	-0.527	-0.331	81.800	147.400	267.400	40.39	72.78	132.03
4.80	9.45	-0.439	-0.531	-0.335	84.000	147.400	268.800	41.48	72.78	132.63
5.00	9.85	-0.444	-0.531	-0.336	84.000	147.800	271.600	41.48	72.80	134.11
5.50	10.83	-0.445	-0.531	-0.339	84.400	147.600	273.600	41.67	72.80	135.10
6.00	11.82									
6.50	12.80									
7.00	13.78									
7.50	14.77									
8.00	15.75									
8.50	16.74									
9.00	17.72									
9.50	18.71									
10.00	19.69									
20.00	39.39									

Observaciones:

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS
SLC INGENIEROS SAC
Elaborado por:
Juan Carlos Orozco
Técnico de Laboratorio

Pag. 1 de 2

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS
SLC INGENIEROS SAC
Revisado por:
Ricardo Madrid
CIP: 60607
Jefe de Laboratorio



LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ASTM D - 3080

Forma de ensayo F-3
Rev. 0
14/02/2014

Clien: CONBORCHO VIAL JUNIH
MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV.
FERROCARRIL TRAMO AV. CIRCUNVALACIÓN - CRUCE CARRETERA CENTRAL, DISTRITO
DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS, HUACHUAS SAROS, SAN JERONIMO DE TUNAN

Proyector:

Sondeo: MT-04

Muestra: M-03

Descripción: GRAVA LIMO ARCILLOSA

Fecha de ensayo: 10/09/2018

Fecha de muestreo: 29/09/2018

Ensayo No.: LGP.C.D.2018.009.002

Identificación de la muestra: MT-04/M-03

TIPO DE ENSAYO: CONSOLIDADO, DRENADO REMOLDEADA Profundidad: 0,00-0,20_m

Parámetros de la muestra		Especimen 1			Especimen 2			Especimen 3			Especimen 4		
Diámetro (mm)		50,78			50,78			50,78			-		
Área (mm²)		2025,23			2025,23			2025,23			-		
Alura (mm)		22,04			22,04			22,04			-		
Humedad natural (%)		6,30			6,30			6,30			-		
Peso del suelo húmedo (g)		66,73			66,73			66,73			-		
Peso del suelo seco (g)		63,81			63,81			63,81			-		
Gravedad específica (g/cm³)		2,65			2,65			2,65			-		
Masa unitaria húmeda (g/cm³)		1,62			1,62			1,62			-		
Masa unitaria seca (g/cm³)		1,53			1,53			1,53			-		
Deformación Consolidación (mm)		0,087			0,303			0,790			-		
Parámetros del Ensayo													
Peso en el brazo (kg)		1,00			2,00			4,00			-		
Peso del estribo (kg)		3,70			3,70			3,70			-		
Multiplo del brazo de palanca		10,00			10,00			10,00			-		
Velocidad desplazam. (mm/min)		0,10			0,10			0,10			-		
Esfuerzo Vertical (kPa)		67,65			117,62			216,78			-		
Consolidar		SI			SI			SI			-		
Deformación Horizontal (mm)	Deformación Horiz. Unitaria (%)	Deformación Normal (mm)			Fuerza (N)			Esfuerzo Cortante (kPa)					
		68	117	216	68	117	216	68	117	216			
0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	4,600	10,400	7,20	2,27	5,14	3,56			
0,10	0,20	-0,015	-0,018	-0,009	20,400	37,600	61,40	10,07	18,66	30,32			
0,20	0,39	-0,054	-0,046	-0,033	27,600	48,200	86,80	13,63	23,80	42,37			
0,30	0,59	-0,091	-0,078	-0,060	32,000	56,200	100,40	15,80	27,75	49,67			
0,40	0,79	-0,125	-0,102	-0,089	35,400	61,800	113,00	17,46	30,51	55,80			
0,50	0,98	-0,158	-0,129	-0,108	38,200	66,200	123,00	18,66	32,69	61,03			
0,60	1,18	-0,186	-0,150	-0,136	41,000	70,400	130,40	20,54	34,75	64,39			
0,80	1,56	-0,231	-0,188	-0,160	47,000	79,000	145,80	23,21	39,01	71,99			
1,00	1,97	-0,267	-0,224	-0,216	51,600	83,400	157,40	25,68	41,18	77,72			
1,20	2,36	-0,298	-0,260	-0,245	55,400	86,800	167,60	27,35	43,75	82,75			
1,40	2,75	-0,324	-0,297	-0,288	57,800	92,800	173,60	28,54	45,72	85,72			
1,60	3,15	-0,349	-0,328	-0,287	60,200	97,400	180,00	29,72	46,69	88,38			
1,80	3,54	-0,372	-0,358	-0,306	61,800	100,600	184,00	30,51	49,67	90,85			
2,00	3,94	-0,399	-0,384	-0,321	62,800	103,800	187,20	31,01	51,25	92,43			
2,20	4,33	-0,420	-0,407	-0,338	64,000	106,400	192,00	31,60	52,54	94,80			
2,40	4,73	-0,440	-0,429	-0,358	66,800	110,200	196,80	32,89	54,41	97,17			
2,60	5,12	-0,460	-0,454	-0,372	67,200	114,000	198,80	33,16	55,29	98,16			
2,80	5,51	-0,477	-0,477	-0,383	67,200	116,400	203,00	33,16	57,47	100,24			
3,00	5,91	-0,492	-0,500	-0,408	68,200	120,200	206,20	33,68	58,35	101,82			
3,20	6,30	-0,504	-0,520	-0,424	70,000	123,000	208,00	34,85	60,73	102,70			
3,40	6,70	-0,517	-0,537	-0,440	71,800	125,200	213,20	35,35	61,82	105,27			
3,60	7,09	-0,532	-0,553	-0,451	72,800	127,800	217,40	35,85	63,10	107,25			
3,80	7,48	-0,545	-0,566	-0,465	72,800	128,400	220,40	35,85	63,40	108,83			
4,00	7,88	-0,555	-0,578	-0,478	73,000	130,800	223,40	36,05	64,59	110,31			
4,20	8,27	-0,568	-0,593	-0,496	74,000	133,200	226,00	36,54	65,77	111,59			
4,40	8,66	-0,572	-0,600	-0,510	74,600	134,400	227,00	36,84	65,36	112,09			
4,60	9,06	-0,583	-0,616	-0,522	74,200	135,200	230,20	36,84	65,76	113,67			
4,80	9,45	-0,594	-0,628	-0,531	74,200	136,400	230,80	36,84	67,35	113,96			
5,00	9,85	-0,607	-0,638	-0,542	75,400	136,400	233,20	37,23	67,35	115,15			
5,20	10,23	-0,621	-0,640	-0,542	75,200	137,400	233,20	37,63	67,84	115,15			
5,40	11,62												
5,60	12,80												
7,00	13,78												
7,50	14,77												
8,00	15,75												
8,50	16,74												
9,00	17,72												
9,50	18,71												
10,00	19,69												
20,00	39,29												

Observaciones:

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS
SLG INGENIEROS S.A.C.
AUTORIZADO POR:
Juan Carlos Orozco
Técnico de Laboratorio

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS
SLG INGENIEROS S.A.C.
REVISADO POR:
Ricardo Madrid
CIP: 60607
Jefe de Laboratorio



LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ASTM D - 3080

Formato de ensayo F-3
 Rev. 0
 14/02/2014

MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL TRAMO AV. CIRCUNVALACIÓN - CRUCE CARRETERA CENTRAL, DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTÍN DE CAJAS, HUALHUAS SAÑOS, SAN JERÓNIMO DE TUNAN

Ubicación: MT-04

Materia: M-03

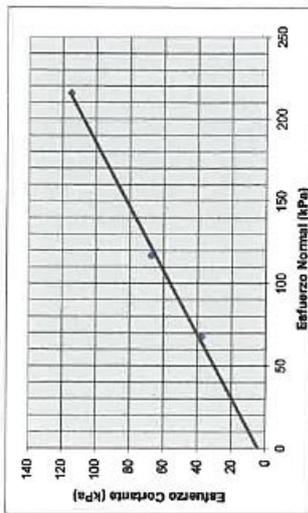
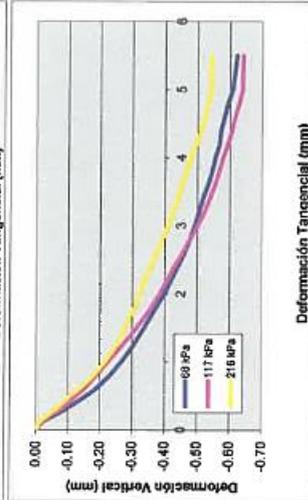
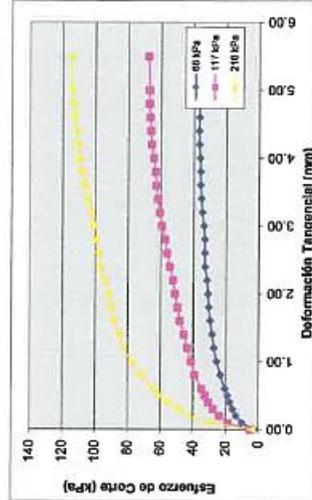
Descripción: GRAVA LIMO ARCILLOSA

Fecha de ensayo: 10/09/2018

Fecha de muestreo: 29/09/2018

Ensayo No.: LQP.CD.2018.009.002

RESULTADOS DE ENSAYO				
Sondaje	MT-04			
Profundidad	0.00-0.20			
Preparación	REMOLDEADA			
	Espesimen 1	Espesimen 2	Espesimen 3	Espesimen 4
Humedad inicial (%)	6.30	1.624	6.30	6.30
Peso unitario (g/cm ³)	1.624	1.624	1.624	1.624
Área Ao (mm ²)	2.025	2.025	2.025	2.025
Velocidad (mm/min)	0.10	0.10	0.10	0.10
Esfuerzo Normal (kPa)	67.65	117.02	215.78	215.78
Esfuerzo de Corte (kPa)	37.63	67.35	115.15	115.15
Cohesión (kPa)	4.3			
Ángulo de fricción	27.4°			



Observaciones:

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS
 SLC INGENIEROS SAC
 LABORADOR
 Juan Carlos Orozco
 Técnico de Laboratorio

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS
 SLC INGENIEROS SAC
 LABORADOR
 Ricardo Madrid
 ZIP: 60607
 Jefe de Laboratorio



LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ASTM D - 3080

Formato de ensayo F-3
Rev. 0
14/03/2014

Ciente: CONSORCIO VIAL JUNIN
RECONSTRUCCIÓN DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO MONTE - SUR, AV.
PEROGARIN, TRAMO IV, CIRCUNVALACIÓN - CRUCE CARRETERA CENTRAL, DISTRITO
DE EL TAMBO, SAN AGUSTÍN DE CAJAS, INALFASAS SACO, SAN JERÓNIMO DE TUNAN

Sondeo: MT-05
Muestra: M-01
Descripción: ARENA LIMO ARCILLOSA CON GRAVA

Fecha de ensayo: 7/09/2016

Fecha de muestreo: 28/08/2016

Ensayo No.: LGP.CD.2016.009.003

Identificación de la muestra: MT-05/M-01

TIPO DE ENSAYO: CONSOLIDADO, DRENADO REMOLDEADA Profundidad: 0.00 - 0.20 m

Parámetros de la muestra	Especimen 1	Especimen 2	Especimen 3	Especimen 4						
Diámetro (mm)	50.78	50.78	50.78	*						
Área (mm²)	2025.23	2025.23	2025.23	*						
Altura (mm)	22.04	22.04	22.04	*						
Humedad natural (%)	8.00	8.00	8.00	*						
Peso del suelo húmedo (g)	83.28	83.28	83.28	*						
Peso del suelo seco (g)	77.11	77.11	77.11	*						
Gravedad específica (g/cm³)	2.65	2.65	2.65	*						
Masa unitaria húmeda (g/cm³)	1.87	1.87	1.87	*						
Masa unitaria seca (g/cm³)	1.73	1.73	1.73	*						
Deformación Consolidación (mm)	0.067	0.303	0.750	*						
Parámetros del Ensayo										
Peso en el brazo (kg)	1.00	2.00	4.00	*						
Peso del estribo (kg)	3.70	3.70	3.70	*						
Multiplo del brazo de palanca	10.00	10.00	10.00	*						
Velocidad desplazam. (mm/min)	0.10	0.10	0.10	*						
Esfuerzo Vertical (kPa)	67.66	117.92	216.78	*						
Consolidar	SI	SI	SI	*						
Deformación Horizontal (mm)	Deformación Hstzl. Unitaria (%)	Deformación Normal (mm)			Fuerza (N)			Esfuerzo Cortante (kPa)		
Esfuerzo Vertical (kPa) →		88	117	216	88	117	216	88	117	216
0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	1.600	4.400	-3.40	0.75	2.17	-1.58
0.10	0.20	-0.006	-0.007	-0.006	27.600	34.800	37.80	13.73	17.18	18.66
0.20	0.39	-0.046	-0.033	-0.029	35.200	51.000	77.60	17.38	25.18	38.32
0.30	0.68	-0.052	-0.061	-0.057	39.600	60.400	98.20	19.55	26.82	48.49
0.40	0.79	-0.111	-0.091	-0.083	43.600	66.600	111.20	21.63	32.89	54.91
0.50	0.98	-0.139	-0.118	-0.110	46.200	70.400	123.80	22.81	34.76	61.13
0.60	1.18	-0.167	-0.143	-0.134	48.600	74.400	131.00	24.00	36.74	64.68
0.80	1.58	-0.210	-0.192	-0.180	53.600	81.600	141.40	26.56	40.39	69.62
1.00	1.97	-0.243	-0.233	-0.219	57.800	88.400	154.60	28.54	43.65	78.34
1.20	2.30	-0.277	-0.276	-0.255	60.200	93.600	166.20	29.72	46.22	82.06
1.40	2.76	-0.307	-0.306	-0.291	62.200	100.000	175.20	30.71	49.38	86.51
1.60	3.15	-0.337	-0.334	-0.326	65.200	106.400	186.20	32.19	52.54	91.94
1.80	3.64	-0.366	-0.366	-0.360	67.800	113.800	196.60	33.48	56.19	97.17
2.00	3.94	-0.394	-0.372	-0.393	69.600	119.000	205.40	34.37	59.06	101.42
2.20	4.33	-0.419	-0.391	-0.423	71.800	122.800	214.00	35.45	60.83	105.67
2.40	4.73	-0.440	-0.410	-0.448	73.400	125.000	221.20	36.24	61.72	109.22
2.60	5.12	-0.446	-0.431	-0.468	74.800	129.800	238.60	38.93	64.09	112.88
2.80	5.61	-0.448	-0.449	-0.487	76.000	135.000	238.40	37.53	66.68	116.73
3.00	5.91	-0.465	-0.464	-0.507	76.600	137.400	242.60	37.82	67.84	119.79
3.20	6.30	-0.485	-0.477	-0.522	78.180	140.000	249.60	38.80	69.13	123.24
3.40	6.70	-0.485	-0.494	-0.534	79.400	143.600	252.40	39.21	71.00	124.63
3.60	7.09	-0.505	-0.509	-0.543	80.620	148.200	255.60	39.81	72.19	126.21
3.80	7.48	-0.515	-0.525	-0.551	81.840	148.200	257.80	40.41	73.18	127.29
4.00	7.88	-0.525	-0.538	-0.560	83.060	151.600	259.40	41.01	74.95	128.08
4.20	8.27	-0.535	-0.548	-0.562	84.280	154.400	259.80	41.61	76.24	128.26
4.40	8.66	-0.541	-0.558	-0.566	85.500	158.200	261.20	42.22	77.13	128.97
4.60	9.06	-0.552	-0.570	-0.576	86.720	159.800	261.60	42.60	78.00	129.17
4.80	9.46	-0.563	-0.582	-0.587	87.940	163.000	265.00	43.42	80.46	130.85
5.00	9.86	-0.576	-0.594	-0.600	89.160	165.200	265.20	44.00	81.57	131.44
5.50	10.83	-0.589	-0.594	-0.627	90.380	165.400	269.00	44.83	81.67	132.82
6.00	11.82									
6.50	12.80									
7.00	13.75									
7.50	14.77									
8.00	15.75									
8.50	16.74									
9.00	17.72									
9.50	18.71									
10.00	19.69									
20.00	39.39									

Observaciones:

LABORATORIO DE GEOTEC.
SLC INGENIEROS
AUTORIZADO POR
Juan Carlos Orozco
Técnico de Laboratorio

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS
SLC INGENIEROS S.A.
RIBASACAO POR
Ricardo Madrid
CIP. 60607
Jefe de Laboratorio



LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ASTM D - 3080

Formato de ensayo F-3
 Rev. 0
 14/02/2014

MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL, TRAMO AV. CIRCUNVALACIÓN - CRUCE CARRETERA CENTRAL, DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTÍN DE CAJAS, HUALHUAS SAÑOS, SAN JERÓNIMO DE TUNAN

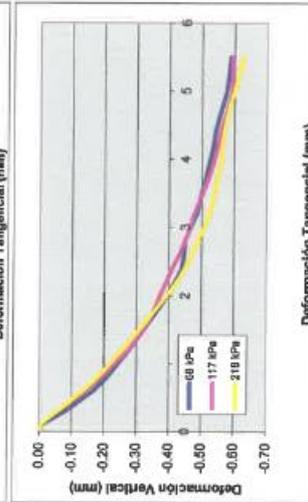
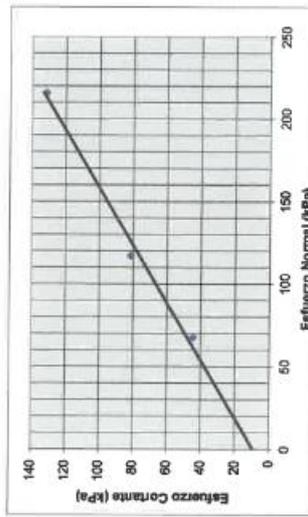
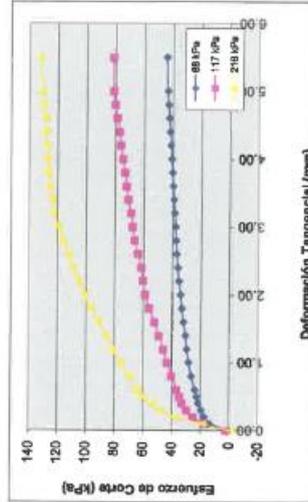
Ubicación: **MT-05**
 Material: **M-41**

Fecha de ensayo: 7/09/2018
 Fecha de muestreo: 29/08/2018

Descripción: **ARENA LIMO ARCILLOSA CON GRAVA**

Ensayo No.: **LGP.CD.2018.009.003**

RESULTADOS DE ENSAYO			
Serie	MT-05		
Profundidad	0.00 - 0.20		
Preparación	REMOLDEADA		
	Especimen 1	Especimen 2	Especimen 3
Humedad inicial (%)	8.00	8.00	8.00
Peso unitario (g/cm ³)	1.866	1.866	1.866
Área A _o (mm ²)	2.025	2.025	2.025
Velocidad (mm/min)	0.10	0.10	0.10
Esfuerzo Normal (kPa)	67.55	117.02	215.78
Esfuerzo de Corte (kPa)	44.63	81.57	131.44
	Cohesión (kPa)		9.2
	Ángulo de fricción		29.8°



Observaciones:

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS
 SLC INGENIEROS SAC

LABORADOR PDR
 Juan Carlos Orozco
 Técnico de Laboratorio

Pág. 2 de 2

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS
 SLC INGENIEROS SAC

LABORADOR PDR
 Ricardo Madrid
 CIP: 60607
 Jefe de Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 037758

ANÁLISIS DE SUELO - SALES

SOLICITANTE : SLC INGENIEROS SAC
PROYECTO : MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR -, AV. FERROCARRIL TRAMO AV CIRCUNVALACION - CRUCE CARRETERA CENTRAL, DISTRITO DEL EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS, HUALHUAS, SAÑOS, SAN JERONIMO DE TUNAN.
PROCEDENCIA : Junín, Huancayo
RESP. ANALISIS : Ing. Nelson Guerrero Pardo
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 11 de septiembre de 2018

N° Lab.	N° Campo	SST (ppm)	CL (ppm)	SO ₄ (ppm)
37758	MT - 07	459.30	51.66	77.43

Métodos

Sales Solubles Totales: Determ. de Sales Solubles en suelos y agua subterránea - NTP339.152 - 2002

Cloruro Soluble: Determ. de cloruros solubles en suelos y agua subterránea - NTP339.177 - 2002

Sulfato Soluble: Determ. de sulfatos solubles en suelos y agua subterránea - NTP339.178 - 2002

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO
Ing. Msc. Miquel A. Sánchez Delgado
JEFE DE LABORATORIO



ENSAYO TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO (CU) NTP 339.166 (ASTM D 4767)

Solicitante SLC INGENIEROS S.A.C.	Expediente 18-181
Proyecto MEJ. CORR. VIAL TRANP M. NORTE SUR AV FERROCARRIL	
Muestra C-03 Profundidad 0.00-1.50	Fecha : 18 Set 2018

CARACTERISTICAS DE LOS ESPECIMENES

Tipo de muestra :	Remoldeada
Peso esp. solidos Gs	2.65

Especimen	A	B	C
-----------	---	---	---

Diámetro cm	10.00	10.00	10.00
Altura cm	20.00	20.00	20.00
Humedad inicial	15.3%	15.3%	15.3%
Humedad final	14.3%	13.3%	12.3%
Saturacion inicial	69.7%	69.6%	69.6%
Saturación final	100.0%	100.0%	100.0%
Relacion de vacios inicial e	0.58	0.58	0.58
Porosidad inicial n	36.8%	36.8%	36.8%
Densidad inicial g/cm ³	1.93	1.93	1.93
Densidad final g/cm ³	1.91	1.90	1.88
Densidad seca g/cm ³	1.67	1.67	1.67
Presión de cámara kg/cm ²	8.00	10.00	14.00
Contra presión kg/cm ²	6.00	6.00	6.00
Coefficiente de poros B	0.99	0.99	0.99


MANUEL A. OLCESE FRANZOSO
 Ingeniero CIVIL CIP 12909
 Jefe del Laboratorio

ENSAYO TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO (CU) NTP 339.166 (ASTM D 4767)

Solicitante SLC INGENIEROS S.A.C.	Expediente 18-181
Proyecto MEJ. CORR. VIAL TRANP M. NORTE SUR AV FERROCARRIL	
Muestra C-03 Profundidad 0.00-1.50	Fecha : 18 Set 2018

CARACTERISTICAS DE LOS ESPECIMENES EN LA FALLA

FALLA DEFINIDA CONFORME A LA NORMA NTP 339.166 (ASTM D 4767)

Especimen	A	B	C
-----------	---	---	---

MAXIMA RELACION DE TENSIONES

σ'_1/σ'_3 máximo	3.21	3.40	3.27
σ'_1 kg/cm ²	1.97	3.69	7.27
σ'_3 kg/cm ²	0.61	1.08	2.23
u kg/cm ²	1.42	2.99	5.93
ε %	15.00	15.00	15.00
A_f	1.05	1.15	1.17

MAXIMO ESFUERZO DESVIADOR

$\sigma'_1 - \sigma'_3$ máximo kg/cm ²	1.36	2.58	5.04
σ'_1 kg/cm ²	1.97	6.68	13.21
σ'_3 kg/cm ²	0.61	1.08	2.22
u kg/cm ²	1.42	3.00	5.93
ε %	15.00	15.00	15.00
A_f	1.05	1.16	1.18


MANUEL A. OLIVERA FRANZOSO
 Ingeniero Civil CIP 12969
 Jefe del Laboratorio



ENSAYO TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO (CU) NTP 339.166 (ASTM D 4767)

Solicitante SLC INGENIEROS S.A.C.	Expediente 18-181
Proyecto MEJ. CORR. VIAL TRANP M. NORTE SUR AV FERROCARRIL.	Fecha : 18 Set 2018
Muestra C-03	Profundidad 0.00-1.50

Especimen A

ϵ %	$\sigma_1 - \sigma_3$ kg/cm ²	u kg/cm ²	σ'_3 kg/cm ²	σ'_1 kg/cm ²	σ'_1/σ'_3	p' kg/cm ²	q kg/cm ²
0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	1.00	2.00	0.00
0.10	0.40	0.29	1.75	2.14	1.23	1.95	0.20
0.20	0.59	0.52	1.52	2.11	1.39	1.82	0.30
0.30	0.70	0.65	1.39	2.09	1.51	1.74	0.35
0.40	0.76	0.80	1.24	2.01	1.61	1.62	0.38
0.50	0.80	0.88	1.16	1.96	1.69	1.56	0.40
0.60	0.82	0.96	1.08	1.91	1.76	1.49	0.41
0.80	0.85	1.06	0.98	1.83	1.87	1.40	0.42
1.00	0.87	1.14	0.90	1.77	1.96	1.34	0.43
1.20	0.88	1.19	0.85	1.72	2.03	1.29	0.44
1.40	0.88	1.24	0.80	1.68	2.10	1.24	0.44
1.60	0.88	1.27	0.77	1.65	2.15	1.21	0.44
1.80	0.88	1.30	0.74	1.62	2.20	1.18	0.44
2.00	0.89	1.33	0.71	1.60	2.25	1.16	0.44
2.38	0.90	1.36	0.68	1.58	2.31	1.13	0.45
2.75	0.91	1.38	0.66	1.56	2.38	1.11	0.45
3.13	0.92	1.40	0.64	1.57	2.44	1.10	0.46
3.50	0.94	1.41	0.63	1.57	2.50	1.10	0.47
3.88	0.95	1.42	0.61	1.57	2.55	1.09	0.48
4.25	0.96	1.43	0.61	1.57	2.58	1.09	0.48
4.63	0.98	1.44	0.60	1.58	2.63	1.09	0.49
5.00	0.99	1.44	0.60	1.59	2.65	1.10	0.50
5.38	1.01	1.44	0.60	1.61	2.68	1.11	0.50
5.75	1.03	1.44	0.60	1.63	2.72	1.12	0.52
6.13	1.05	1.44	0.60	1.65	2.76	1.12	0.53
6.50	1.06	1.45	0.59	1.65	2.81	1.12	0.53
6.88	1.09	1.45	0.59	1.67	2.85	1.13	0.54
7.25	1.10	1.45	0.59	1.68	2.87	1.14	0.55
7.63	1.11	1.45	0.59	1.70	2.90	1.14	0.56

(Continua.....)



MANUEL A. QUIJESE FRANCO
Ingeniero Civil CIP 12969
Jefe del Laboratorio

ENSAYO TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO (CU) NTP 339.166 (ASTM D 4767)

Solicitante: SLC INGENIEROS S.A.C.	Expediente 18-181
Proyecto: MEJ. CORR. VIAL. TRANP M. NORTE SUR AV FERROCARRIL	
Muestra: C-03 Profundidad 0.00-1.50	Fecha: 18 Set 2018

Especimen A

e %	$\sigma_1 - \sigma_3$ kg/cm ²	u kg/cm ²	σ_3 kg/cm ²	σ_1 kg/cm ²	σ_1/σ_3	p' kg/cm ²	q kg/cm ²
8.00	1.13	1.45	0.59	1.72	2.93	1.15	0.56
8.38	1.15	1.45	0.59	1.74	2.93	1.17	0.57
8.75	1.16	1.44	0.60	1.76	2.92	1.18	0.58
9.13	1.17	1.44	0.60	1.77	2.96	1.19	0.59
9.50	1.18	1.44	0.60	1.78	2.97	1.19	0.59
9.88	1.20	1.44	0.60	1.80	2.99	1.20	0.60
10.25	1.21	1.44	0.60	1.81	3.02	1.21	0.61
10.63	1.23	1.44	0.60	1.83	3.05	1.21	0.61
11.00	1.24	1.44	0.60	1.84	3.06	1.22	0.62
11.38	1.25	1.44	0.60	1.85	3.08	1.23	0.63
11.75	1.27	1.44	0.60	1.87	3.10	1.24	0.63
12.13	1.28	1.43	0.61	1.88	3.10	1.25	0.64
12.50	1.28	1.43	0.61	1.89	3.10	1.25	0.64
12.88	1.29	1.43	0.61	1.90	3.12	1.26	0.65
13.25	1.30	1.42	0.61	1.91	3.11	1.26	0.65
13.63	1.31	1.43	0.61	1.92	3.14	1.26	0.65
14.00	1.33	1.42	0.61	1.94	3.16	1.28	0.67
14.38	1.35	1.42	0.61	1.96	3.19	1.29	0.67
14.75	1.36	1.42	0.61	1.97	3.21	1.29	0.68
15.13	1.36	1.43	0.61	1.97	3.23	1.29	0.68
15.50	1.37	1.43	0.61	1.98	3.24	1.29	0.68
15.88	1.38	1.42	0.61	2.00	3.25	1.31	0.69
16.25	1.39	1.43	0.61	2.00	3.28	1.31	0.70
16.63	1.40	1.43	0.61	2.01	3.29	1.31	0.70
17.00	1.40	1.42	0.61	2.02	3.28	1.32	0.70
17.75	1.42	1.42	0.61	2.03	3.31	1.32	0.71
18.50	1.46	1.43	0.61	2.07	3.39	1.34	0.73
19.25	1.47	1.43	0.61	2.08	3.41	1.35	0.74
20.00	1.48	1.43	0.61	2.09	3.44	1.35	0.74



MANUEL A. QUIJESE FRANZERO
Ingeniero Civil (CIP 42569)
Jefe del Laboratorio

ENSAYO TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO (CU) NTP 339.166 (ASTM D 4767)

Solicitante SLC INGENIEROS S.A.C.	Expediente 18-181
Proyecto MEJ. CORR. VIAL TRANP M. NORTE SUR AV FERROCARRIL	
Muestra C-03 Profundidad 0.00-1.50	Fecha : 18 Set 2018

Especimen B

ϵ %	$\sigma_1 - \sigma_3$ kg/cm ²	u kg/cm ²	σ'_3 kg/cm ²	σ'_1 kg/cm ²	σ'_1/σ'_3	p' kg/cm ²	q kg/cm ²
0.00	0.00	0.00	4.00	4.00	1.00	4.00	0.00
0.10	0.25	0.56	3.52	3.77	1.07	3.64	0.12
0.20	0.58	0.89	3.19	3.77	1.18	3.48	0.29
0.30	0.81	1.20	2.87	3.69	1.28	3.28	0.41
0.40	1.10	1.57	2.51	3.61	1.44	3.06	0.55
0.50	1.30	1.84	2.24	3.54	1.58	2.89	0.65
0.60	1.46	2.02	2.06	3.52	1.71	2.79	0.73
0.80	1.71	2.32	1.76	3.47	1.98	2.61	0.86
1.00	1.84	2.50	1.58	3.42	2.16	2.50	0.92
1.20	1.89	2.62	1.46	3.35	2.29	2.40	0.94
1.40	1.91	2.71	1.37	3.28	2.39	2.33	0.96
1.60	1.92	2.77	1.31	3.23	2.47	2.27	0.96
1.80	1.93	2.82	1.26	3.19	2.54	2.23	0.97
2.00	1.94	2.85	1.22	3.17	2.59	2.20	0.97
2.38	1.96	2.91	1.17	3.13	2.67	2.15	0.98
2.75	1.98	2.94	1.14	3.12	2.74	2.13	0.99
3.13	2.00	2.97	1.11	3.11	2.80	2.11	1.00
3.50	2.02	2.99	1.09	3.12	2.85	2.10	1.01
3.88	2.04	3.00	1.08	3.12	2.90	2.10	1.02
4.25	2.07	3.01	1.07	3.14	2.94	2.10	1.03
4.63	2.09	3.02	1.06	3.15	2.98	2.10	1.05
5.00	2.12	3.02	1.06	3.17	3.01	2.11	1.06
5.38	2.14	3.03	1.05	3.19	3.04	2.12	1.07
5.75	2.17	3.03	1.05	3.22	3.07	2.13	1.08
6.13	2.19	3.03	1.05	3.24	3.09	2.14	1.09
6.50	2.21	3.03	1.05	3.26	3.11	2.16	1.11
6.88	2.23	3.03	1.05	3.28	3.13	2.17	1.12
7.25	2.26	3.03	1.05	3.31	3.15	2.18	1.13
7.63	2.28	3.03	1.05	3.33	3.17	2.19	1.14

(Continua.....)


MANUEL A. OJEDA FRANZERO
 Ingeniero Civil CIP 12969
 Jefe del Laboratorio

ENSAYO TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO (CU) NTP 339.166 (ASTM D 4767)

Solicitante SLC INGENIEROS S.A.C.	Expediente 18-181
Proyecto MEJ. CORR. VIAL TRANSP M. NORTE SUR AV FERROCARRIL	
Muestra C-03 Profundidad 0.00-1.50	Fecha : 18 Set 2018

Especimen B

ε %	$\sigma_1 - \sigma_3$ kg/cm ²	u kg/cm ²	σ_3 kg/cm ²	σ_1 kg/cm ²	σ_1/σ_3	p' kg/cm ²	q kg/cm ²
8.00	2.30	3.03	1.05	3.35	3.19	2.20	1.15
8.38	2.32	3.03	1.05	3.37	3.21	2.21	1.16
8.75	2.34	3.02	1.06	3.40	3.22	2.23	1.17
9.13	2.36	3.02	1.06	3.42	3.23	2.24	1.18
9.50	2.38	3.02	1.06	3.44	3.25	2.25	1.19
9.88	2.40	3.02	1.06	3.46	3.27	2.26	1.20
10.25	2.42	3.01	1.07	3.49	3.27	2.28	1.21
10.63	2.44	3.01	1.07	3.50	3.28	2.29	1.22
11.00	2.45	3.01	1.07	3.52	3.29	2.29	1.22
11.38	2.47	3.00	1.08	3.54	3.29	2.31	1.23
11.75	2.48	3.00	1.08	3.56	3.31	2.32	1.24
12.13	2.50	3.00	1.08	3.57	3.32	2.32	1.25
12.50	2.51	3.00	1.08	3.59	3.33	2.33	1.25
12.88	2.52	3.00	1.08	3.60	3.34	2.34	1.26
13.25	2.53	3.00	1.08	3.61	3.35	2.34	1.27
13.63	2.55	3.00	1.08	3.62	3.37	2.35	1.27
14.00	2.56	2.99	1.08	3.64	3.36	2.36	1.28
14.38	2.57	2.99	1.08	3.65	3.37	2.37	1.28
14.75	2.58	3.00	1.08	3.66	3.38	2.37	1.29
15.13	2.59	2.99	1.08	3.68	3.39	2.38	1.30
15.50	2.60	2.99	1.08	3.69	3.40	2.39	1.30
15.88	2.61	2.99	1.08	3.70	3.41	2.39	1.31
16.25	2.62	2.99	1.08	3.71	3.42	2.40	1.31
16.63	2.63	2.99	1.08	3.71	3.42	2.40	1.31
17.00	2.64	2.99	1.08	3.72	3.43	2.40	1.32
17.75	2.65	2.99	1.08	3.74	3.45	2.41	1.33
18.50	2.67	2.99	1.09	3.76	3.44	2.43	1.33
19.25	2.68	2.99	1.09	3.78	3.45	2.43	1.34
20.00	2.68	2.99	1.08	3.76	3.47	2.42	1.34


MANUEL A. OLIVERA FRANZURRO
 Ingeniero Civil CIP 12964
 Jefe del Laboratorio

ENSAYO TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO (CU) NTP 339.166 (ASTM D 4767)

Solicitante SLC INGENIEROS S.A.C.	Expediente 18-181
Proyecto MEJ. CORR. VIAL TRANP M. NORTE SUR AV FERROCARRIL	Fecha : 18 Set 2018
Muestra C-03	Profundidad 0.00-1.50

Especimen C

ε %	$\sigma_1 - \sigma_3$ kg/cm ²	u kg/cm ²	σ'_3 kg/cm ²	σ'_1 kg/cm ²	σ'_1/σ'_3	p' kg/cm ²	q kg/cm ²
0.00	0.00	0.00	8.00	8.00	1.00	8.00	0.00
0.10	0.47	0.54	7.61	8.08	1.06	7.85	0.23
0.20	0.78	0.91	7.25	8.02	1.11	7.64	0.39
0.30	1.15	1.29	6.87	8.02	1.17	7.45	0.58
0.40	1.55	1.79	6.37	7.92	1.24	7.14	0.78
0.50	2.04	2.34	5.81	7.85	1.35	6.83	1.02
0.60	2.63	2.82	5.34	7.96	1.49	6.65	1.31
0.80	3.31	3.73	4.43	7.74	1.75	6.09	1.65
1.00	3.66	4.41	3.75	7.41	1.98	5.58	1.83
1.20	3.91	4.86	3.30	7.21	2.19	5.25	1.96
1.40	4.03	5.16	3.00	7.03	2.34	5.01	2.02
1.60	4.11	5.38	2.78	6.89	2.48	4.83	2.06
1.80	4.17	5.55	2.61	6.79	2.60	4.70	2.09
2.00	4.20	5.68	2.48	6.69	2.69	4.58	2.10
2.38	4.25	5.83	2.32	6.58	2.83	4.45	2.13
2.75	4.31	5.94	2.22	6.53	2.94	4.38	2.15
3.13	4.36	6.01	2.15	6.51	3.03	4.33	2.18
3.50	4.41	6.05	2.11	6.51	3.09	4.31	2.20
3.88	4.45	6.08	2.08	6.53	3.14	4.30	2.23
4.25	4.50	6.10	2.06	6.56	3.19	4.31	2.25
4.63	4.56	6.11	2.04	6.60	3.23	4.32	2.28
5.00	4.60	6.11	2.04	6.64	3.25	4.34	2.30
5.38	4.63	6.11	2.04	6.67	3.27	4.36	2.32
5.75	4.67	6.11	2.04	6.72	3.29	4.38	2.34
6.13	4.70	6.11	2.04	6.75	3.30	4.40	2.35
6.50	4.73	6.10	2.05	6.79	3.30	4.42	2.37
6.88	4.76	6.10	2.06	6.82	3.32	4.44	2.38
7.25	4.79	6.09	2.07	6.86	3.32	4.46	2.39
7.63	4.82	6.08	2.08	6.89	3.32	4.49	2.41

(Continua.....)



MANUEL A. OLCESE FRÁNZER
Ingeniero Civil (CIP 12969)
Jefe del Laboratorio

ENSAYO TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO (CU) NTP 339.166 (ASTM D 4767)

Solicitante SLC INGENIEROS S.A.C.	Expediente 18-181
Proyecto MEJ. CORR. VIAL TRANP M. NORTE SUR AV FERROCARRIL	Fecha : 18 Set 2018
Muestra C-03	Profundidad 0.00-1.50

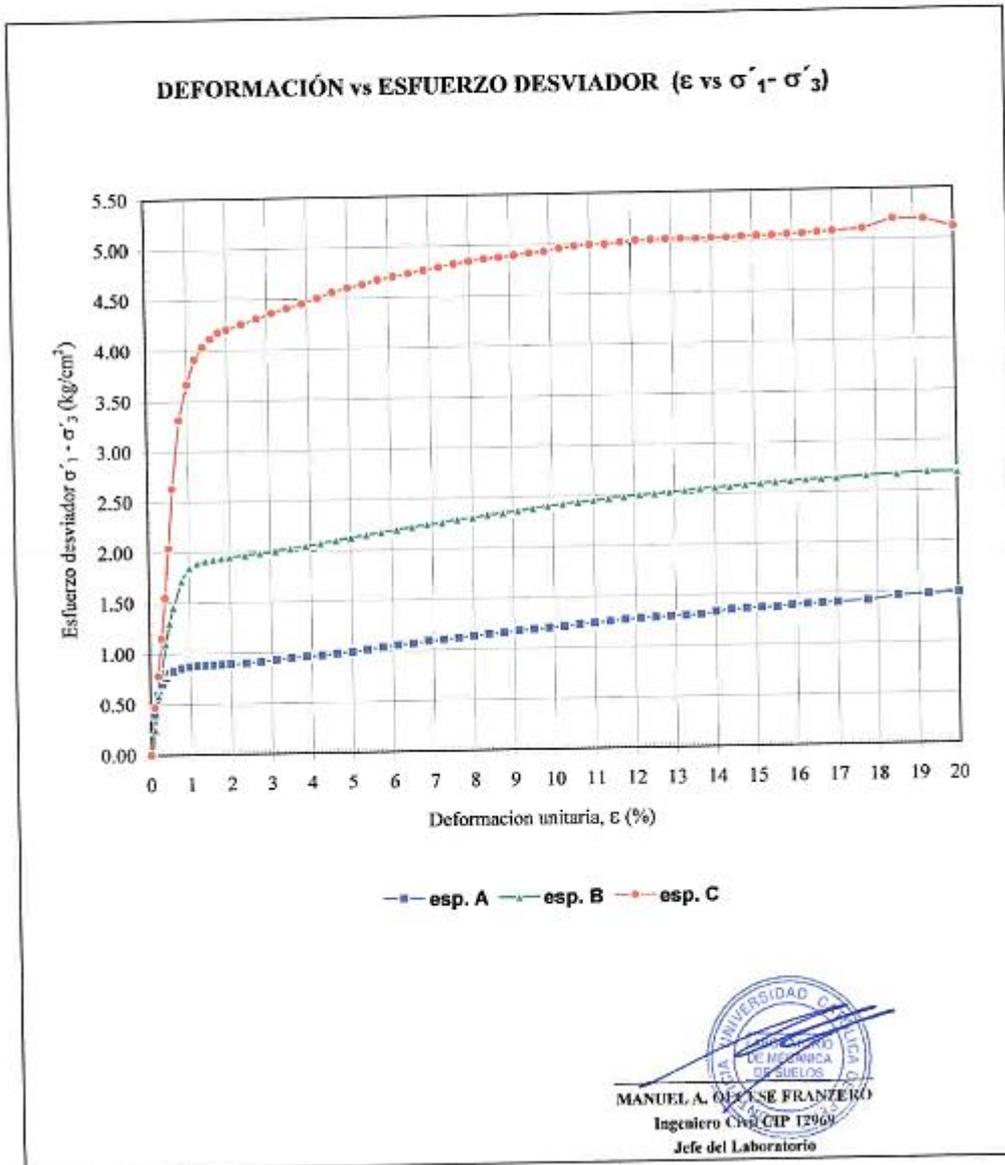
Especimen C

ε %	$\sigma_1 - \sigma_3$ kg/cm ²	u kg/cm ²	σ'_3 kg/cm ²	σ'_1 kg/cm ²	σ'_1/σ'_3	p' kg/cm ²	q kg/cm ²
8.00	4.84	6.08	2.08	6.93	3.33	4.50	2.42
8.38	4.86	6.06	2.09	6.96	3.32	4.53	2.43
8.75	4.88	6.05	2.11	6.99	3.31	4.55	2.44
9.13	4.89	6.04	2.12	7.02	3.31	4.57	2.45
9.50	4.91	6.02	2.13	7.05	3.30	4.59	2.46
9.88	4.93	6.02	2.13	7.06	3.31	4.60	2.46
10.25	4.96	6.01	2.15	7.10	3.31	4.62	2.48
10.63	4.98	6.00	2.16	7.13	3.31	4.64	2.49
11.00	4.99	6.00	2.16	7.15	3.31	4.65	2.49
11.38	4.99	5.99	2.17	7.16	3.30	4.67	2.49
11.75	5.01	5.98	2.18	7.19	3.30	4.68	2.50
12.13	5.02	5.97	2.19	7.21	3.30	4.70	2.51
12.50	5.03	5.96	2.20	7.23	3.29	4.71	2.51
12.88	5.03	5.96	2.20	7.23	3.29	4.71	2.52
13.25	5.03	5.95	2.21	7.24	3.28	4.72	2.52
13.63	5.03	5.95	2.21	7.24	3.27	4.73	2.51
14.00	5.04	5.95	2.21	7.25	3.28	4.73	2.52
14.38	5.03	5.93	2.22	7.26	3.26	4.74	2.52
14.75	5.04	5.93	2.22	7.27	3.27	4.75	2.52
15.13	5.05	5.93	2.22	7.27	3.27	4.75	2.52
15.50	5.05	5.93	2.22	7.27	3.27	4.75	2.53
15.88	5.06	5.93	2.22	7.28	3.27	4.75	2.53
16.25	5.06	5.93	2.22	7.29	3.28	4.76	2.53
16.63	5.08	5.93	2.23	7.31	3.28	4.77	2.54
17.00	5.08	5.92	2.23	7.32	3.28	4.78	2.54
17.75	5.10	5.93	2.22	7.33	3.30	4.78	2.55
18.50	5.19	5.93	2.23	7.42	3.33	4.83	2.60
19.25	5.19	5.92	2.23	7.43	3.32	4.83	2.60
20.00	5.11	5.92	2.24	7.35	3.28	4.79	2.55

MANUEL A. OJEDA FRANCO
 Ingeniero Civil CIP 13965
 Jefe del Laboratorio

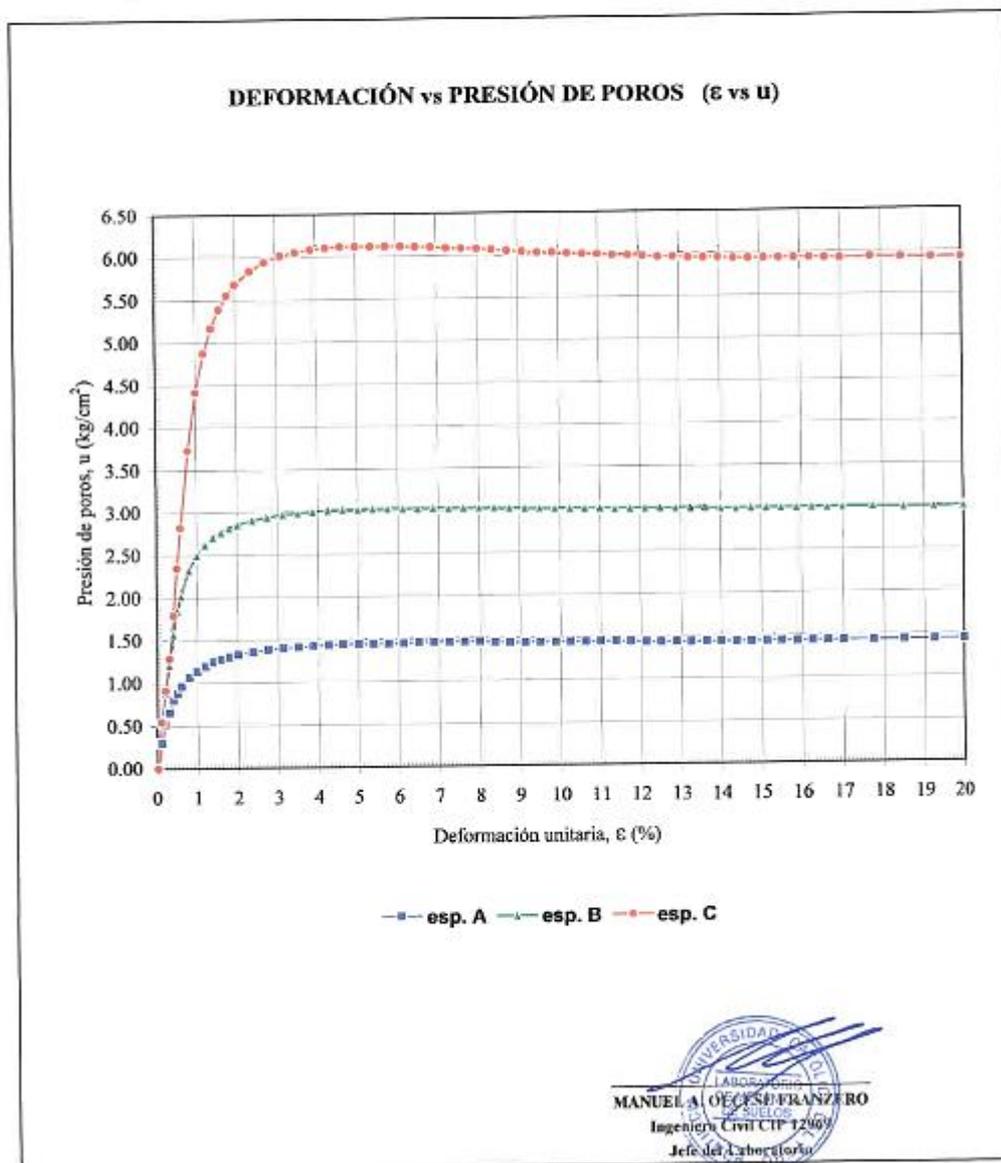
ENSAYO TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO (CU) NTP 339.166 (ASTM D 4767)

Solicitante: SLC INGENIEROS S.A.C.	Expediente: 18-181
Proyecto: MEJ. CORR. VIAL TRANP M. NORTE SUR AV FERROCARRIL	Fecha: 18 Set 2018
Muestra: C-03	Profundidad: 0.00-1.50



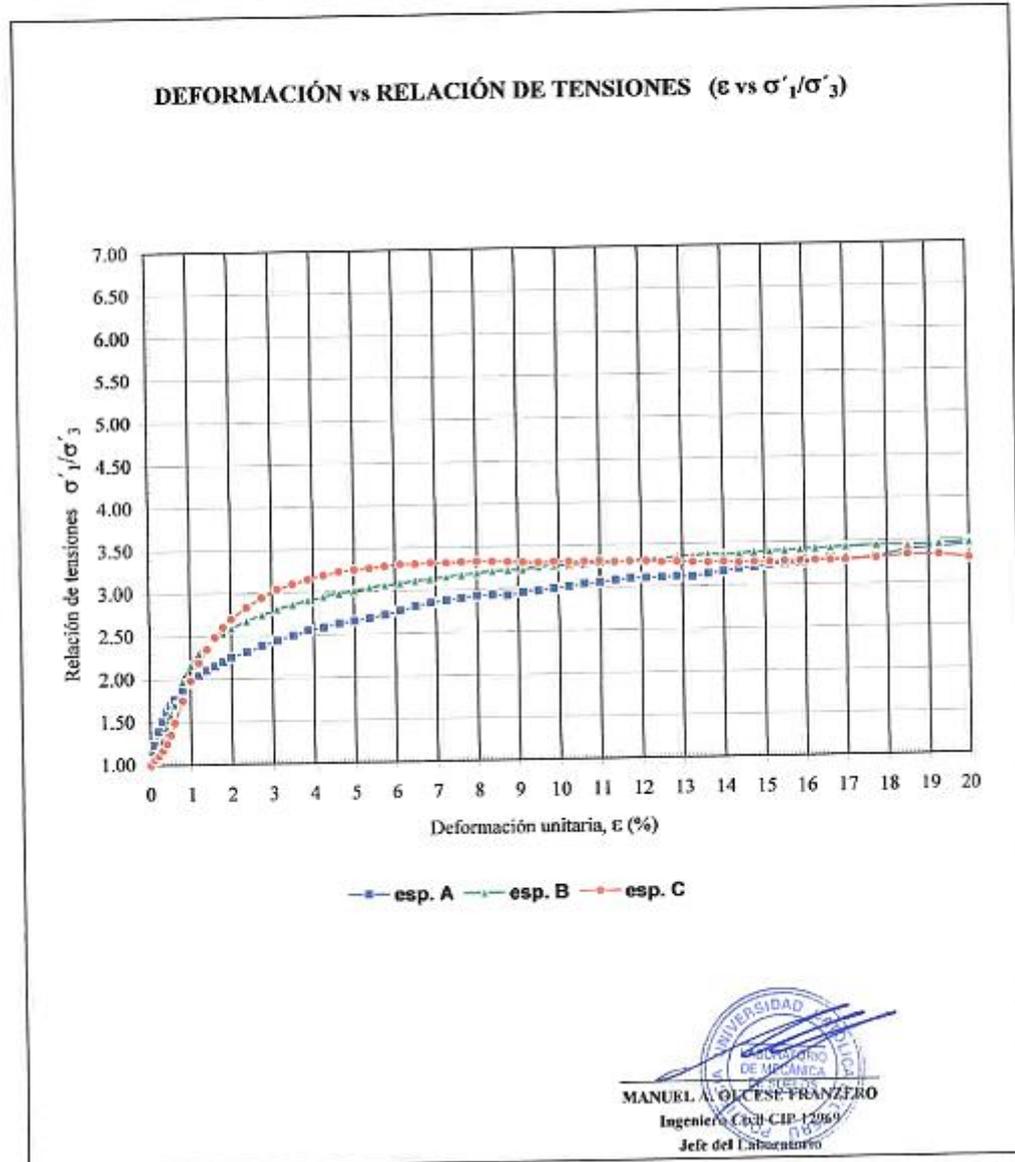
ENSAYO TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO (CU) NTP 339.166 (ASTM D 4767)

Solicitante SLC INGENIEROS S.A.C.	Expediente 18-181
Proyecto MEJ. CORR. VIAL TRANP M. NORTE SUR AV FERROCARRIL.	Fecha : 18 Set 2018
Muestra C-03	Profundidad 0.00-1.50



ENSAYO TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO (CU) NTP 339.166 (ASTM D 4767)

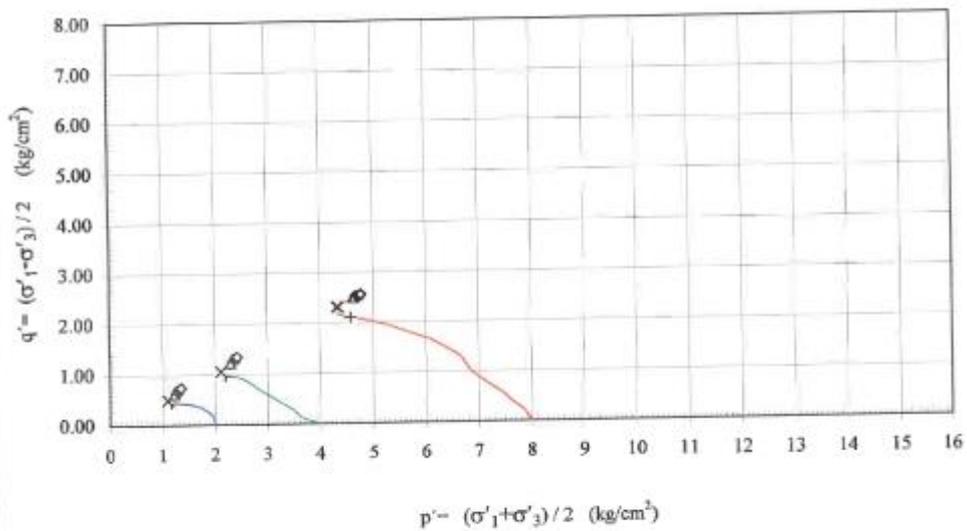
Solicitante SLC INGENIEROS S.A.C.	Expediente 18-181
Proyecto MEJ. CORR. VIAL TRANP M. NORTE SUR AV FERROCARRIL	Fecha : 18 Set 2018
Muestra C-03	Profundidad 0.00-1.50



ENSAYO TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO (CU) NTP 339.166 (ASTM D 4767)

Solicitante: SLC INGENIEROS S.A.C.	Expediente 18-181
Proyecto: MEJ. CORR. VIAL TRANP M. NORTE SUR AV FERROCARRIL	Fecha : 18 Set 2018
Muestra: C-03	Profundidad 0.00-1.50

TRAYECTORIA DE TENSIONES



— esp. A — esp. B — esp. C + 2.5% × 5% Δ 10% ● 15% ◊ 20%

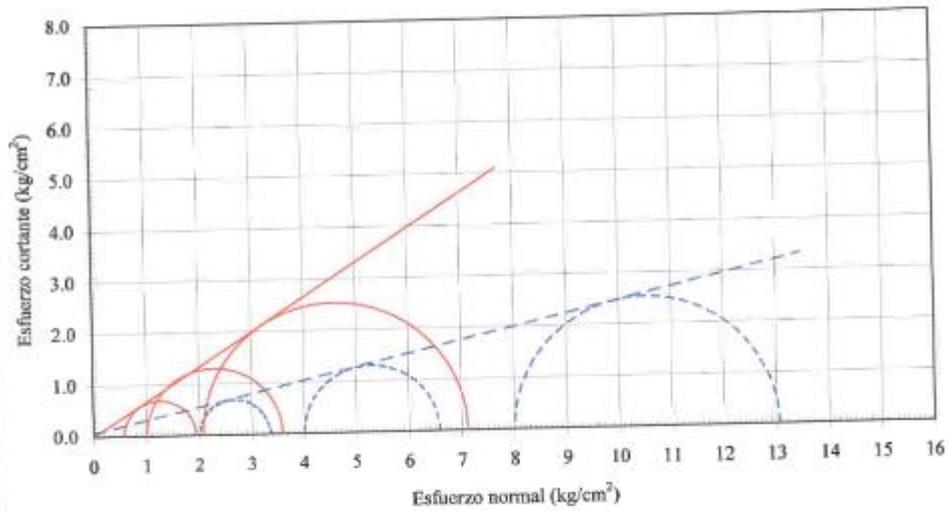


MANUEL A. OLCESE FRANZOSO
Ingeniero Civil CIP: 12969
Jefe del Laboratorio

ENSAYO TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO (CU) NTP 339.166 (ASTM D 4767)

Solicitante SLC INGENIEROS S.A.C.	Expediente 18-181
Proyecto MEJ. CORR. VIAL TRANP M. NORTE SUR AV FERROCARRIL	Fecha : 18 Set 2018
Muestra C-03	Profundidad 0.00-1.50

ENVOLVENTE DE FALLA - ESFUERZO DESVIADOR MÁXIMO



--- $\sigma_1 - \sigma_3$ — $\sigma'_1 - \sigma'_3$

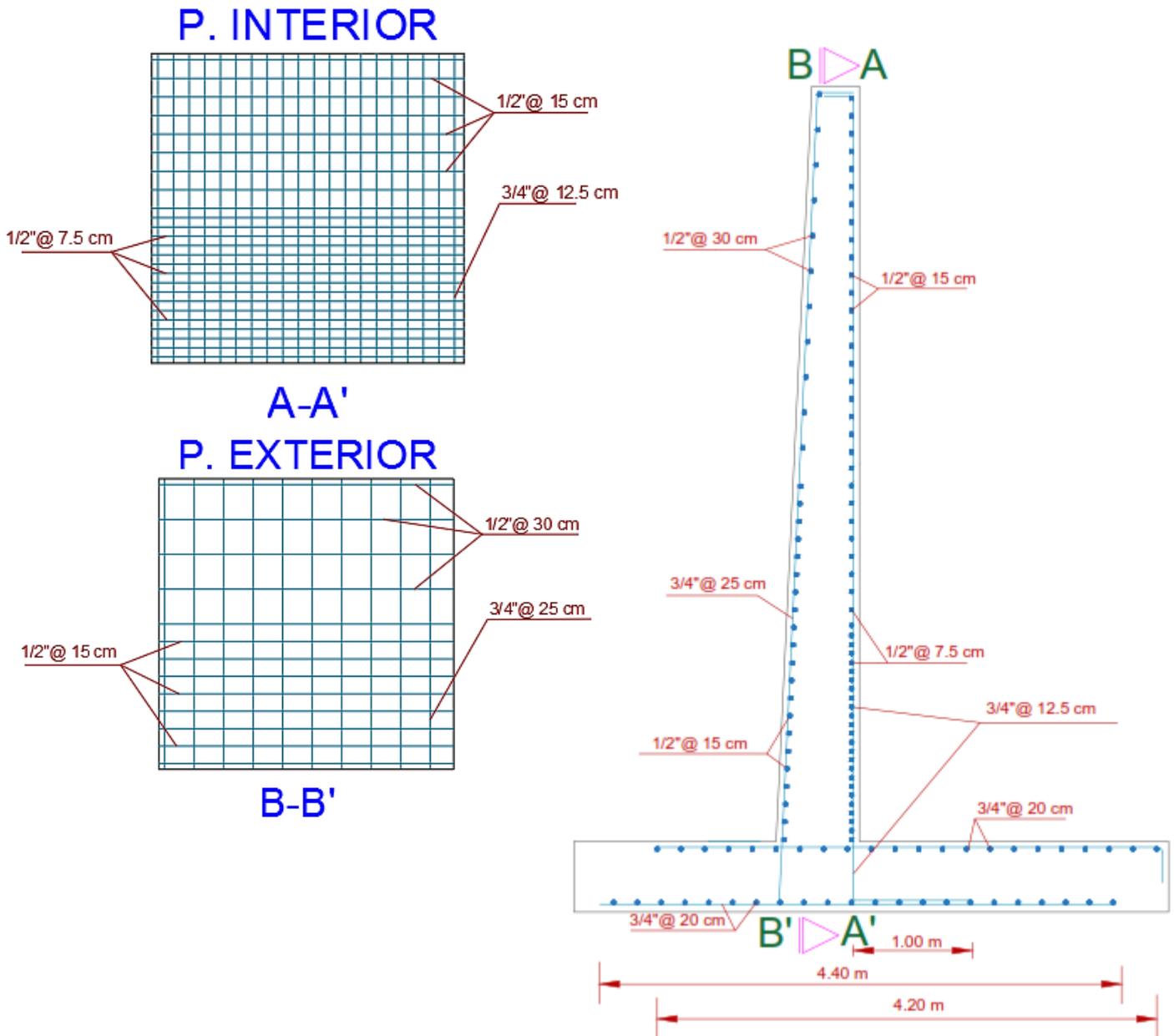
$c = 0.06 \text{ kg/cm}^2$ $\phi = 14^\circ$

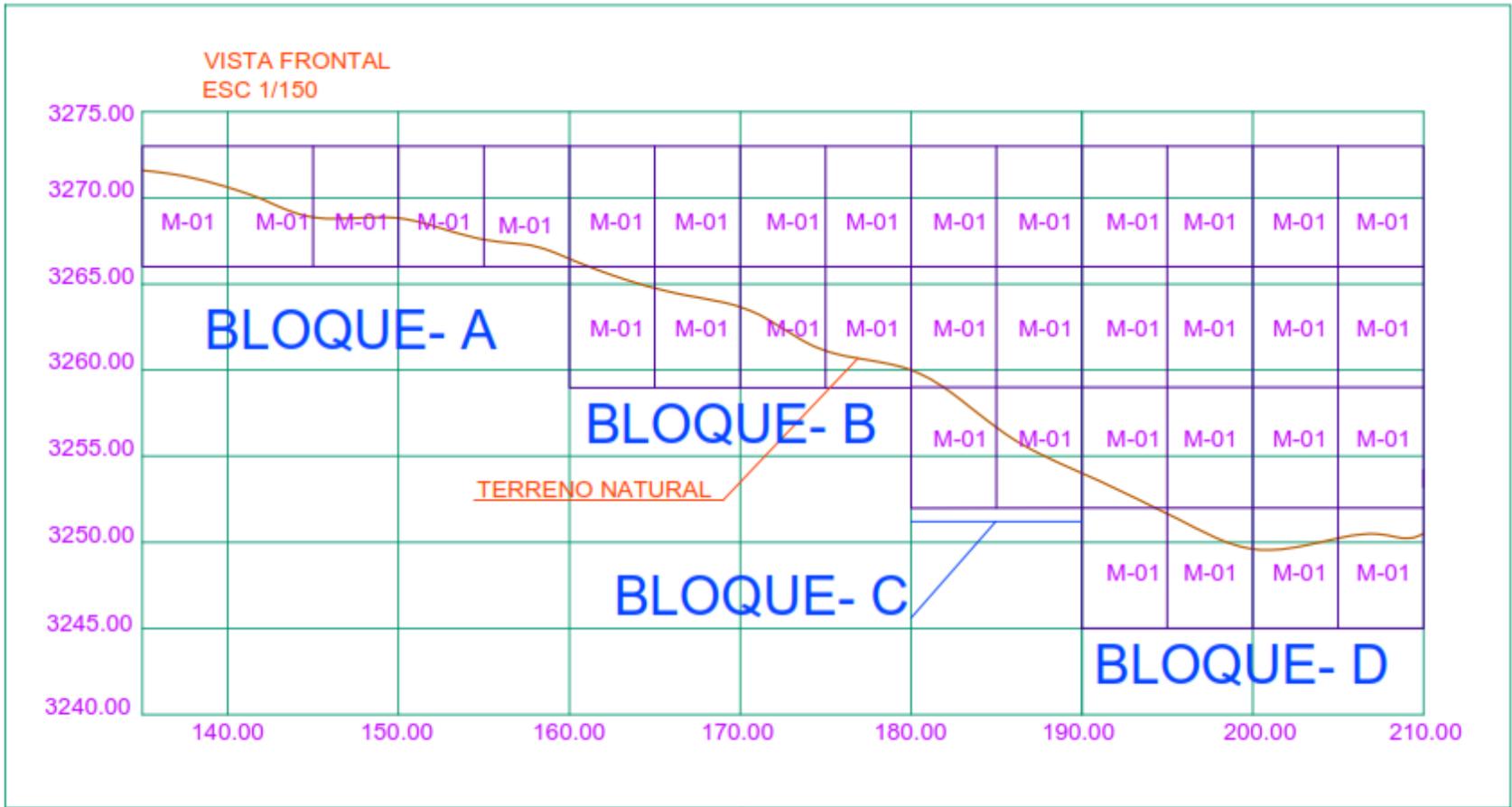
$c' = 0.00 \text{ kg/cm}^2$ $\phi' = 33^\circ$

UNIVERSIDAD DEL CALLAO
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
MANUEL A. DI GIUSE FRONZERO
Ingeniero Civil CIP 32969
Jefe del Laboratorio

ANEXO 5

PROPUESTA DE MURO EN VOLADIZO

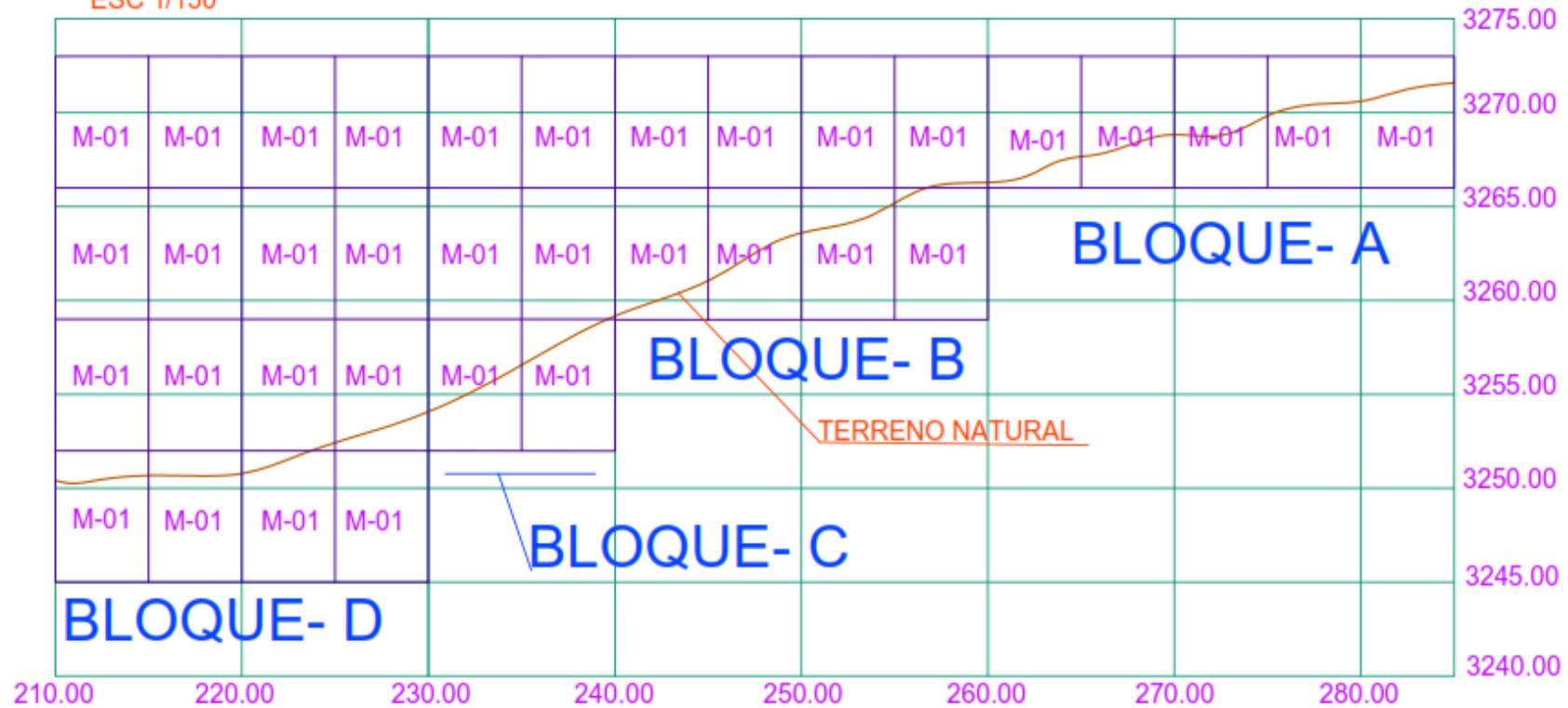




PROPUESTA PARA MEJORAR LA SERVICIABILIDAD DE UN TALUD VIAL
INCORPORANDO UN MURO DE SUELO REFORZADO CON SISTEMA
TERRAMESH PARA EL PROYECTO QUEBRADA HONDA - HUANCAYO

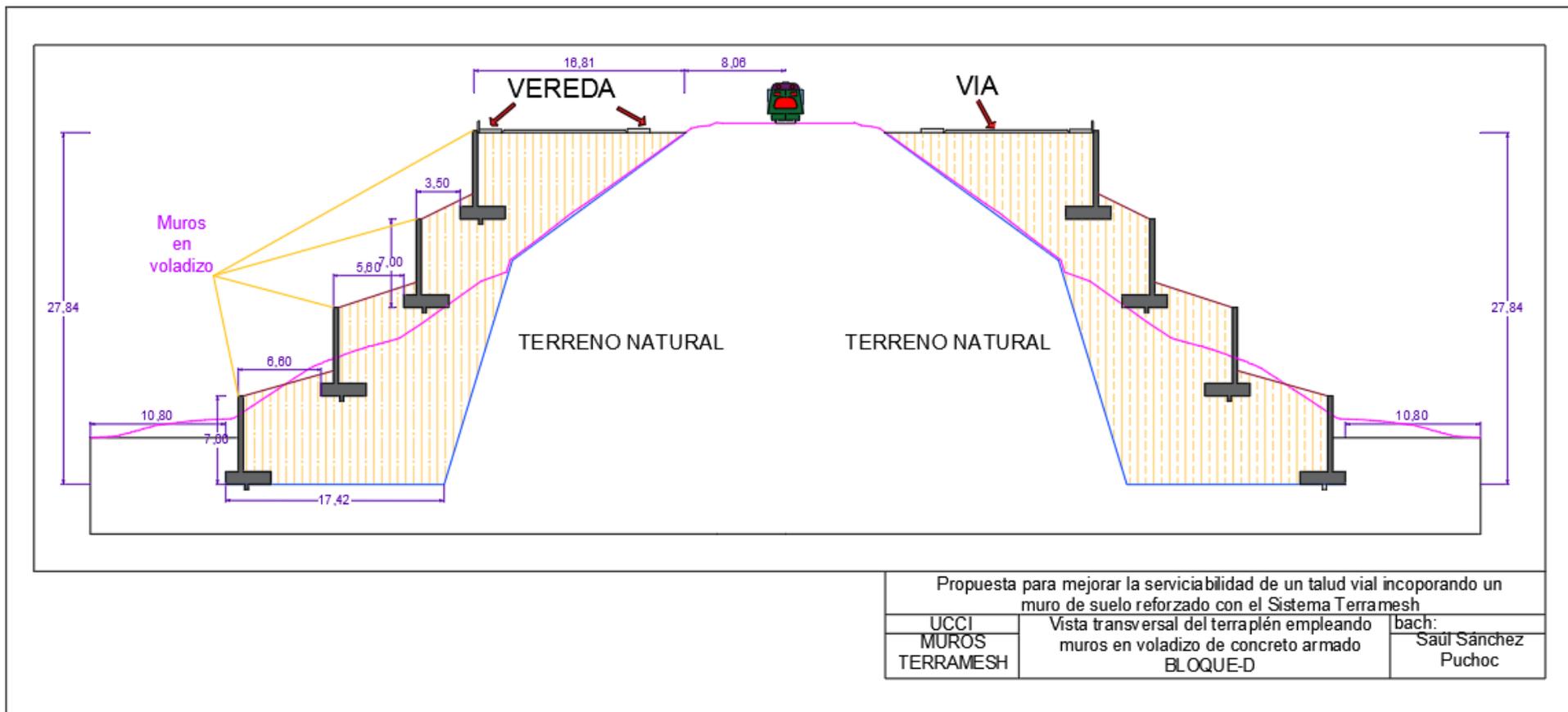
UCCI	MURO EN VOLADIZO DE CONCRETO ARMADO H=7 m	bach:
MUROS FRONTAL		Saúl Sánchez

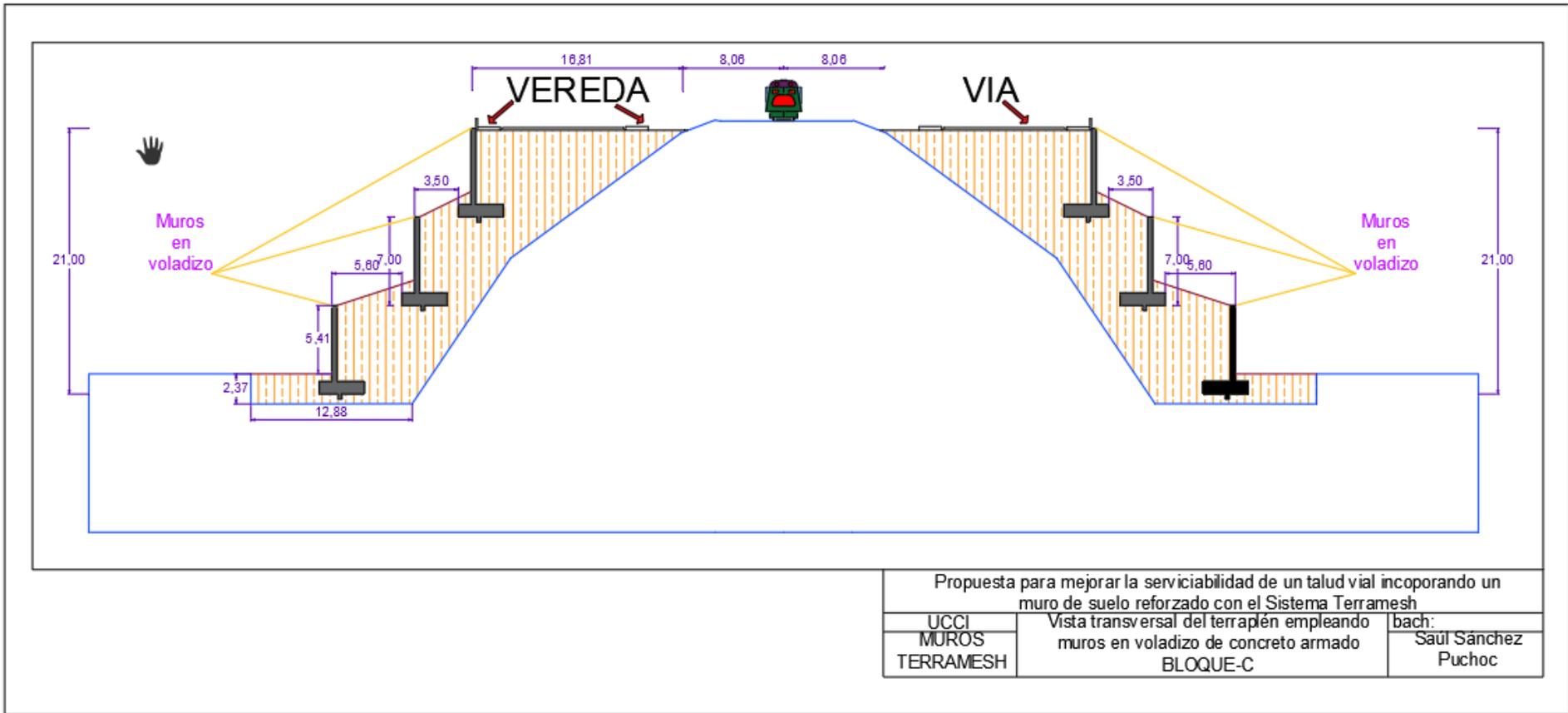
VISTA FRONTAL
ESC 1/150



PROPUESTA PARA MEJORAR LA SERVICIABILIDAD DE UN TALUD VIAL
INCORPORANDO UN MURO DE SUELO REFORZADO CON SISTEMA
TERRAMESH PARA EL PROYECTO QUEBRADA HONDA - HUANCAYO

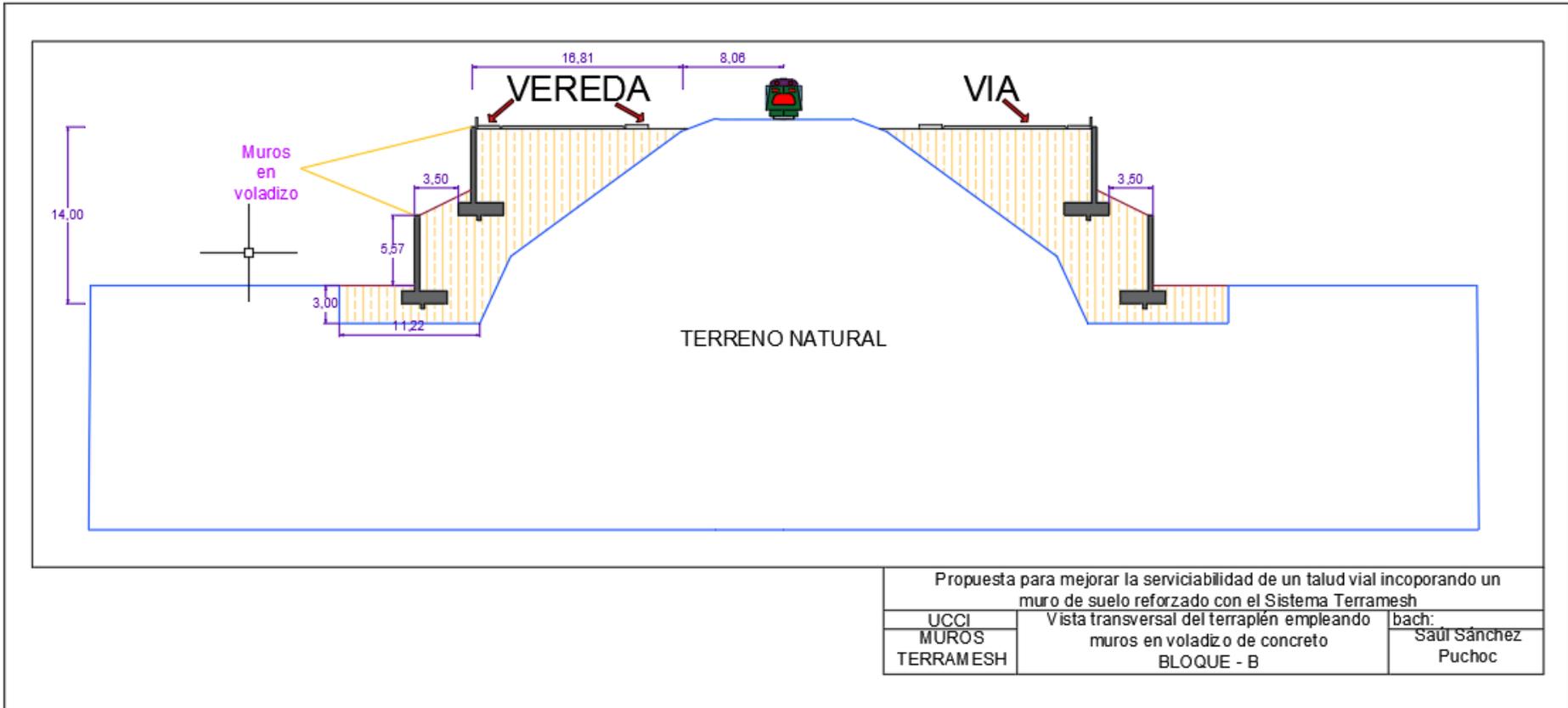
UCCI	MURO EN VOLADIZO DE CONCRETO ARMADO H=7 m	bach:
TERRAMESH FRONTAL		Saúl Sánchez

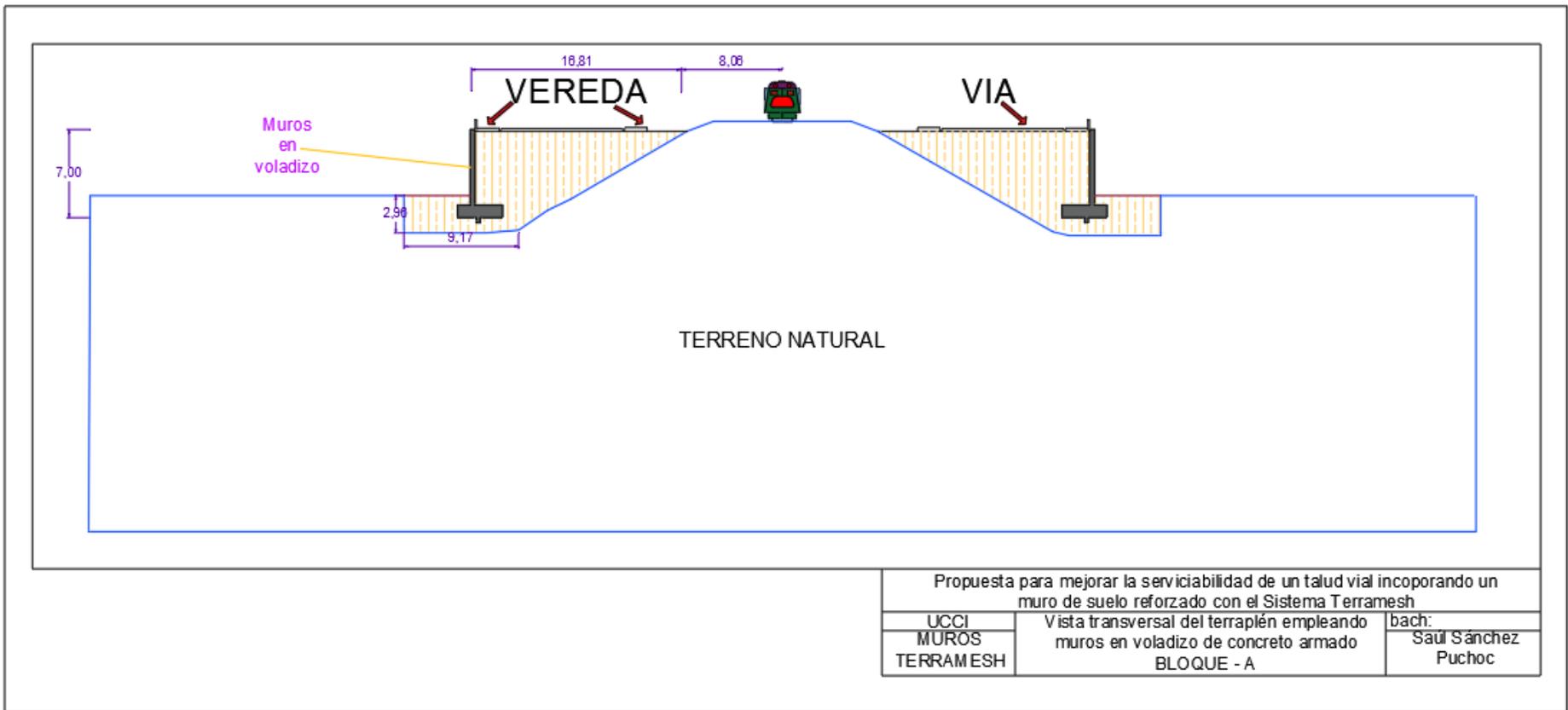




Propuesta para mejorar la serviciabilidad de un talud vial incorporando un muro de suelo reforzado con el Sistema Terramesh

UCCI	Vista transversal del terraplén empleando	bach:
MUROS	muros en voladizo de concreto armado	Saúl Sánchez
TERRAMESH	BLOQUE-C	Puchoc





METRADO DE MATERIALES

CONCRETO

1.00 Muros de concreto armado en voladizo

BLOQUE A
BLOQUE B
BLOQUE C
BLOQUE D

	(m)	(m)	(m)		(m3)			(m3)
	Alto	Ancho	Largo	# veces	Sub Parcial	Parcial	Parcial x 4	Total
Área =	6.12	20.00		4.00	489.60	1958.40	7833.60	17136.00
Área =	6.12	10.00		3.00	183.60	734.40	2937.60	
Área =	6.12	20.00		2.00	244.80	979.20	3916.80	
Área =	6.12	25.00		1.00	153.00	612.00	2448.00	

MOVIMIENTO DE TIERRAS

3.00

Metrado de relleno granular

BLOQUE A
BLOQUE B
BLOQUE C
BLOQUE D

	AREA (m2)	LARGO (m)	VOL(m3)	# VECES	PARCIAL	TOTAL (m3)
BLOQUE A	344.62	40.00	13784.8	2.00	27569.60	58399.40
BLOQUE B	219.30	20.00	4386	2.00	8772.00	
BLOQUE C	161.16	40.00	6446.4	2.00	12892.80	
BLOQUE D	91.65	50.00	4582.5	2.00	9165.00	

METRADO DE MATERIALES

CONCRETO

1.00 Muros de concreto armado en voladizo

BLOQUE A
BLOQUE B
BLOQUE C
BLOQUE D

(m)	(m)	(m)	# veces	(m3)			(m3)
Alto	Ancho	Largo		Sub Parcial	Parcial	Parcial x 4	Total
Área =	6.12	20.00	4.00	489.60	1958.40	7833.60	17136.00
Área =	6.12	10.00	3.00	183.60	734.40	2937.60	
Área =	6.12	20.00	2.00	244.80	979.20	3916.80	
Área =	6.12	25.00	1.00	153.00	612.00	2448.00	

ACERO

2.00 Muros de concreto armado en voladizo

BLOQUE D

Zapata

 3/4"
 3/4"

Pantalla

 1/2"
 3/4"

# veces del elemento	(m) Largo	Cantidad	Longitud (m) Bloque A	F. C (kg/m)	Parcial (Kg)	# veces	Sub Total (Kg)	Total (Kg)
2.00	3.50	45.00	315.00	0.994	313.11	4.00	1252.44	7640.66
2.00	20.00	15.00	600.00	2.235	1341.00	4.00	5364.00	
1.00	3.20	68.00	217.60	0.994	216.29	4.00	865.18	
1.00	20.00	2.00	40.00	0.994	39.76	4.00	159.04	
2.00	20.00	20.00	800.00	0.994	795.20	4.00	3180.80	8853.76
1.00	8.20	87.00	713.40	0.994	709.12	4.00	2836.48	
1.00	8.20	87.00	713.40	0.994	709.12	4.00	2836.48	

BLOQUE C

Zapata

 3/4"
 3/4"

Pantalla

 1/2"
 3/4"

2.00	10.00	45.00	900.00	0.99	894.60	3.00	2683.80	4963.59
2.00	3.50	41.00	287.00	2.24	641.45	3.00	1924.34	
1.00	3.20	31.00	99.20	0.99	98.60	3.00	295.81	
1.00	10.00	2.00	20.00	0.99	19.88	3.00	59.64	
2.00	10.00	20.00	400.00	0.99	397.60	3.00	1192.80	4200.45
2.00	8.20	41.00	672.40	0.99	668.37	3.00	2005.10	
1.00	8.20	41.00	336.20	0.99	334.18	3.00	1002.55	

BLOQUE B

Zapata

 3/4"
 3/4"

Pantalla

 1/2"
 3/4"

2.00	3.50	45.00	315.00	0.99	313.11	2.00	626.22	3820.33
2.00	20.00	15.00	600.00	2.24	1341.00	2.00	2682.00	
1.00	3.20	68.00	217.60	0.99	216.29	2.00	432.59	
1.00	20.00	2.00	40.00	0.99	39.76	2.00	79.52	
2.00	20.00	20.00	800.00	0.99	795.20	2.00	1590.40	5551.69
2.00	8.20	81.00	1328.40	0.99	1320.43	2.00	2640.86	
1.00	8.20	81.00	664.20	0.99	660.21	2.00	1320.43	

BLOQUE A

Zapata

 3/4"
 3/4"

Pantalla

 1/2"
 3/4"

2.00	3.50	45.00	315.00	0.99	313.11	2.00	626.22	4612.49
2.00	25.00	15.00	750.00	2.24	1676.25	2.00	3352.50	
1.00	3.20	84.00	268.80	0.99	267.19	2.00	534.37	
1.00	25.00	2.00	50.00	0.99	49.70	2.00	99.40	
2.00	25.00	20.00	1000.00	0.99	994.00	2.00	1988.00	6927.38
2.00	8.20	101.00	1656.40	0.99	1646.46	2.00	3292.92	
1.00	8.20	101.00	828.20	0.99	823.23	2.00	1646.46	

PARCIAL

46570.35

TOTAL X 4

186281.38

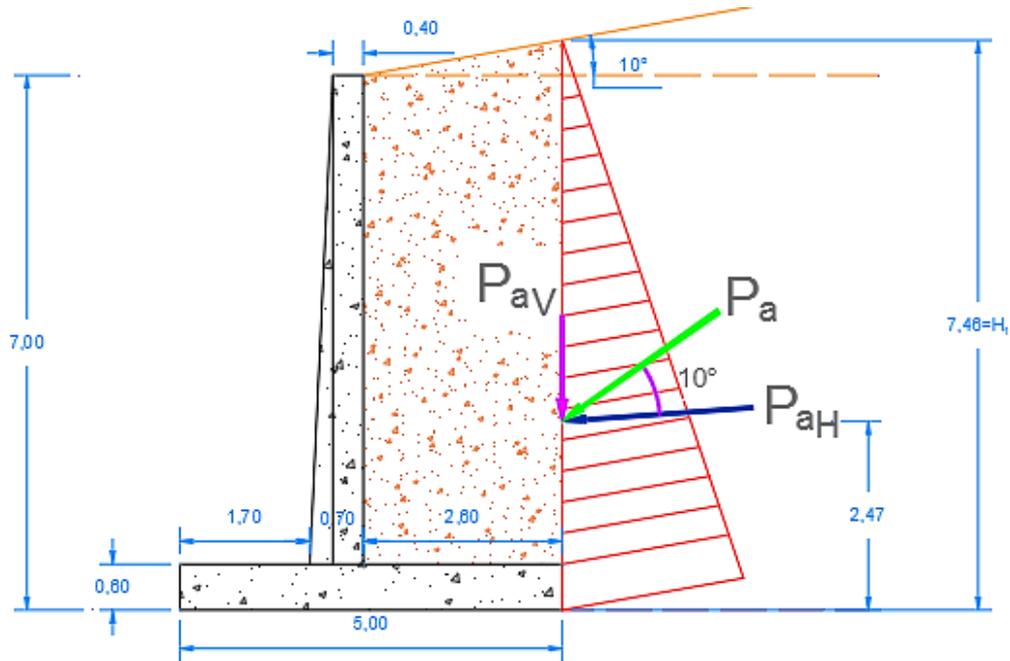
MOVIMIENTO DE TIERRAS

3.00 Metrado de relleno granular

BLOQUE A
BLOQUE B
BLOQUE C
BLOQUE D

AREA (m2)	LARGO (m)	VOL(m3)	# VECES	PARCIAL	TOTAL (m3)
344.62	40.00	13784.8	2.00	27569.60	58399.40
219.30	20.00	4386	2.00	8772.00	
161.16	40.00	6446.4	2.00	12892.80	
91.65	50.00	4582.5	2.00	9165.00	

DISEÑO MURO EN VOLADIZO H=7m



ANÁLISIS

$$K_a = \tan\left(45 - \frac{33}{2}\right)^2 = 0.29$$

$$P_a = 0.5 K_a \gamma H_i^2$$

$$P_a = 0.5 (0.29)(18)(7.4^2) = 145.29 \text{ kN}$$

$$P_{aH} = P_a \cos(\alpha) = 145.29 \cos(10) = 143.08 \text{ kN}$$

$$P_{aV} = P_a \sin(\alpha) = 145.29 \sin(10) = 25.23 \text{ kN}$$

REVISIÓN DEL VOLCAMIENTO

SECCION	ÁREA (M2)	P.E o P.U (KN/M2)	W (peso) (KN)	BRAZO (M)	MOMENTO (KN-M)
1	1.92	23.54	45.20	1.95	88.13
2	2.70	23.54	63.56	2.25	143.01
3	15.36	18.00	276.48	3.30	912.38
4	0.96	23.54	22.60	1.70	38.42
5			25.23	4.50	113.53
$\sum V$			433.06	$\sum M_R$	1295.47

$$\sum M_O = 143.08 * 2.47 = 353.41$$

$$F.S. = \frac{353.41}{1295.47} = 3.67 > 1.5 \quad \text{Ok!}$$

REVISIÓN POR DESLIZAMIENTO

$$FS_{\text{DESLIZAMIENTO}} = \frac{433.06 * \tan(33) + 30 * 4.5 * 1}{143.08} = 2.91$$

$$F.S. = 2.91 > 1.5 \quad \text{Ok!}$$

REVISION POR CAPACIDAD DE CARGA

Mr=	1295.47	KN/M2
Mo=	353.41	KN/M2
M_{NETO} =	942.06	KN/M2
\bar{X} =	2.18	M

EXCENRICIDAD

$$e = \frac{B}{2} - \bar{X}$$

e= 0.07 M < B/6= 0.75

DISTRIBUCIÓN DE LA PRESIÓN BAJO LA LOSA

$$q_{m\acute{a}x} = \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right)$$

$$q_{m\acute{i}n} = \frac{\sum V}{B} \left(1 - \frac{6e}{B} \right)$$

qmin=	96.24	KN/M
qmáx=	86.66	KN/M

PARA :

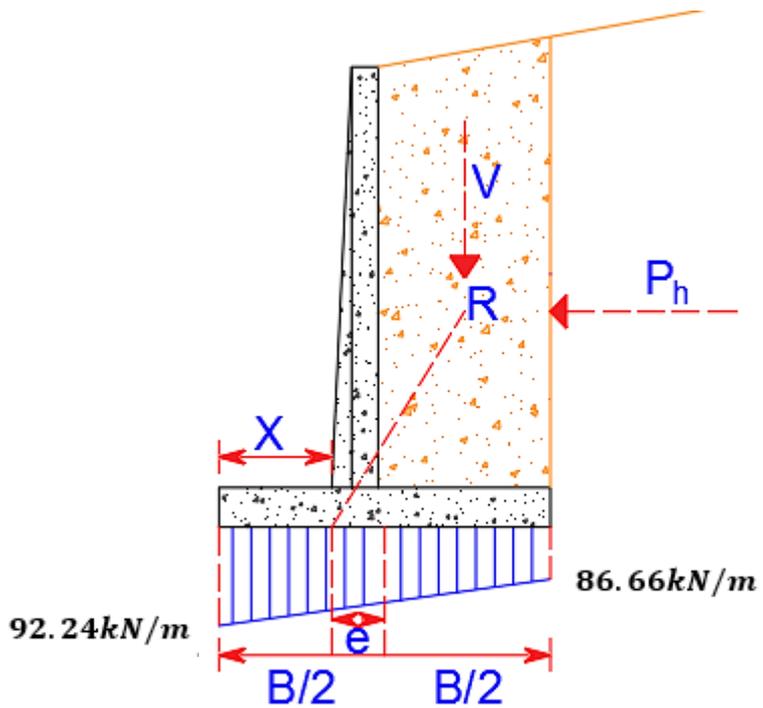
$\phi = 33^\circ$

Nc=	38.64
Nq=	26.09
Ny=	35.19
Tan(phi)=	0.65
Angulo de inclinación de la carga	
ψ =	18.28
Fci=	0.63
Fyi=	0.20

CAPACIDAD ÚLTIMA

qu=	519.39	KN/M
-----	--------	------

F.S.= 5.40 > 3 **Ok!**



DISEÑO DE ACERO

PANTALLA

DISEÑO DE ACERO VERTICAL EN LA PANTALLA DEL MURO EN VOLADIZO

$$M_u = 1.7 * 143.08 * 1.87 = 454.85 \text{ kN} - m$$

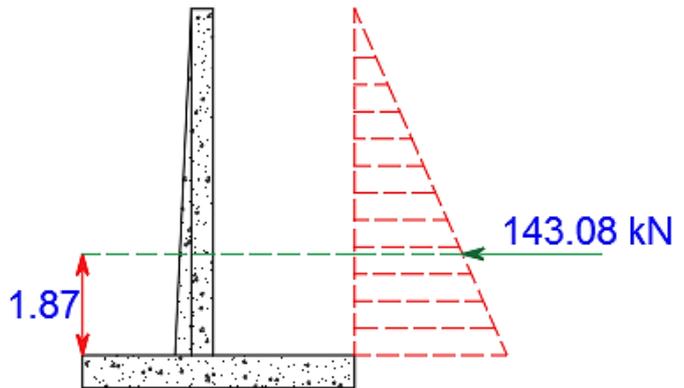
$$M_u = 46381.79 \text{ kg} - m$$

$$K_u = \frac{46381.79 * 100}{100 * 64^2}$$

$$K_u = 11.3236$$

$$\rightarrow \rho = 0.0032$$

$$A_{req} = 100 * 64 * 0.0032 = 20.84 \text{ cm}^2$$



Podemos colocar entre 1/3 a 1/2 de la cantidad de acero, en la cara exterior.

INTERIOR

$$100 \text{ cm} \text{ ______ } 20.84 \text{ cm}^2$$

$$X \text{ cm} \text{ ______ } 2.84 \text{ cm}^2$$

$$X = 13.62 \text{ cm} \approx 12.5 \text{ cm}$$

$$\phi 3/4" @ 12.5 \text{ cm}$$

EXTERIOR

$$100 \text{ cm} \text{ ______ } 10.42 \text{ cm}^2$$

$$X \text{ cm} \text{ ______ } 2.84 \text{ cm}^2$$

$$X = 27.73 \text{ cm} \approx 25 \text{ cm}$$

$$\phi 3/4" @ 25.0 \text{ cm}$$

DISEÑO DE ACERO HORIZONTAL EN LA PANTALLA DEL MURO EN VOLADIZO

Para el diseño se empleará la cuantía mínima $\rho = 0.025$

Se ha dividido en dos zonas A y B

ZONA A

$$A_{Requerido} = 0.0025(40)(100) = 10 \text{ cm}^2$$

Capa interior: 2/3 As requerido

$$= 10 \left(\frac{2}{3}\right) = 6.67 \text{ cm}^2$$

$$100 \text{ cm} \text{ _____ } 6.67 \text{ cm}^2$$

$$X \text{ cm} \text{ _____ } 1.27 \text{ cm}^2$$

$$X = 19.04 \text{ cm}$$

$\phi 1/2'' @ 15 \text{ cm}$

Capa exterior: 1/3 As requerido

$$= 10 \left(\frac{1}{3}\right) = 3.33 \text{ cm}^2$$

$$100 \text{ cm} \text{ _____ } 3.33 \text{ cm}^2$$

$$X \text{ cm} \text{ _____ } 1.27 \text{ cm}^2$$

$$X = 38.13 \text{ cm}$$

$\phi 1/2'' @ 30 \text{ cm}$

ZONA B

$$A_{Requerido} = 0.0025(70)(100) = 17.5 \text{ cm}^2$$

Capa interior: 2/3 As requerido

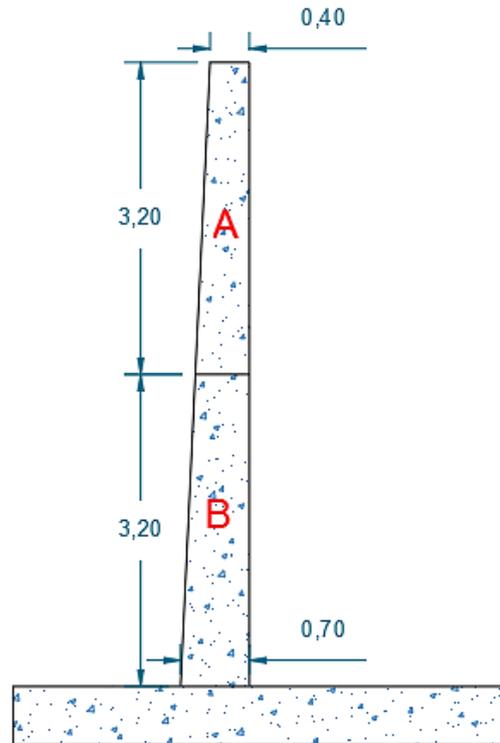
$$= 17.5 \left(\frac{2}{3}\right) = 11.67 \text{ cm}^2$$

$$100 \text{ cm} \text{ _____ } 11.67 \text{ cm}^2$$

$$X \text{ cm} \text{ _____ } 1.27 \text{ cm}^2$$

$$X = 10.88 \approx 7.5 \text{ cm}$$

$\phi 1/2'' @ 7.5 \text{ cm}$



Capa exterior: 1/3 As requerido

$$= 17.5 \left(\frac{1}{3} \right) = 5.83 \text{ cm}^2$$

$$100 \text{ cm} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 5.83 \text{ cm}^2$$

$$X \text{ cm} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 1.27 \text{ cm}^2$$

$$X = 21.78 \approx 7.5 \text{ cm}$$

$\phi 1/2'' @ 15 \text{ cm}$

ZAPATA

$$M_r = \frac{92.24 \text{ kN}}{m} * 1.7 \text{ m} * 0.85 \text{ m} = 133.29 \text{ kN} - \text{m}$$

$$M_u = 1.7 * 133.29 = 226.59 \text{ kN} - \text{m}$$

$$M_u = 23105.75 \text{ kg} - \text{m}$$

$$K_u = \frac{23105.75 * 100}{100 * 54^2}$$

$$K_u = 7.9237$$

$$\rightarrow \rho = 0.0022$$

$$A_{req} = 100 * 54 * 0.0022 = 11.88 \text{ cm}^2$$

$$100 \text{ cm} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 11.88 \text{ cm}^2$$

$$X \text{ cm} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 2.84 \text{ cm}^2$$

$$X = 23.90 \text{ cm} \approx 20 \text{ cm}$$

$\phi 3/4'' @ 20 \text{ cm}$

