



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

INCREMENTO DEL FACTOR DE SEGURIDAD DE ESTABILIDAD Y REDUCCION
DEL COSTO PARA LA ESTABILIZACION DE TALUDES CON SISTEMAS NO
CONVENCIONALES

Línea de investigación:

**Desarrollo urbano–rural, Catastro, Prevención de riesgos, Hidráulica y
Geotécnica**

Trabajo Académico para optar el Título de Segunda Especialidad
Modalidad de Suficiencia Profesional para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Autor:

Zarabia Mayta, Julio Cesar

Asesor:

Pumaricra Padilla, Raúl

Codigo ORCID: 0000-0002-7037-4396

Jurado:

Romero Ríos, David

Ayquiqa Quispe, Evelyn Estefany

Arévalo Vidal, Samir Augusto

Lima - Perú

2023

Reporte de Análisis de Similitud

Archivo: 1A -WORD-2023

Fecha del Análisis: 30 /01/2023

Analizado por: ALAVI VALVERDE LILIANA MIRIAM

Correo del analista: LALAVI@UNFV.EDU.PE

Porcentaje: 11 %

Título "INCREMENTO DEL FACTOR DE SEGURIDAD DE ESTABILIDAD Y REDUCCION DEL COSTO PARA LA ESTABILIZACION DE TALUDES CON SISTEMAS NO CONVENCIONALES"

Enlace: <https://secure.arkund.com/old/view/150310559-339298-103455#Dcg7CsMwEADRu6gewv4kr3yV4CKY2KilG5chd49geMV8y+cu61NQdDI1tKGJdgybORZYwzqOC254w5MghKhElxZijk6lCrIR7nFe4xj769rfZZWHSnZbanVx98j2+wM=>



MS. WALTER ALBERTO VARGAS MACHUCA CARTOLÍN

Jefe de la Oficina de Grados y Gestión del Egresado - FIC



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

“INCREMENTO DEL FACTOR DE SEGURIDAD DE ESTABILIDAD Y REDUCCION DEL COSTO PARA LA ESTABILIZACION DE TALUDES CON SISTEMAS NO CONVENCIONALES”

Línea de investigación:

Desarrollo urbano–rural, Catastro, Prevención de riesgos, Hidráulica y Geotécnica

Modalidad de Suficiencia Profesional para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Zarabia Mayta, Julio Cesar.

Asesor:

Pumaricra Padilla, Raúl

(ORCID: 0000-0002-7037-4396)

Jurado:

Romero Ríos, David

Ayquipa Quispe, Evelyn Estefany

Arévalo Vidal, Samir Augusto

Lima – Perú

2023

Dedicatoria

Esta investigación está dedicado a mis padres, hermanos y a mi novia, quienes me apoyaron e incentivaron a cumplir mis metas de vida y estoy seguro que me seguirán apoyando en cumplir mis siguientes objetivos. También se la dedicó a mis profesores de mi casa de estudio UNFV-FIC, quienes me inculcaron conocimientos de esta hermosa profesión, además que siempre estaban predispuestos a absolver las dudas que tenía.

Agradecimiento

A la plana de docentes de la Universidad Nacional Federico Villarreal, compañeros de clases, con quienes vivimos muchas experiencias académicas que al día de hoy nos sirven en nuestra vida profesional.

A Dios, mi familia, mis suegros y a mi novia por haberme acompañado en cumplir esta meta apoyándome en todo para no rendirme en este objetivo de vida.

INDICE

I. INTRODUCCION	11
1.1 Trayectoria el autor	11
1.2 Descripción de la Empresa / institución (donde labora o laboro)	12
1.3 Organigrama de la empresa.....	12
1.4 Áreas y funciones desempeñadas	13
II. ACTIVIDAD ESPECIFICA	14
2.1 Planteamiento del problema	14
2.2 Formulación del problema	15
2.2.1 Problema General	15
2.2.1 Problemas Específicos	15
2.3 Objetivos	15
2.3.1 Objetivo General.....	15
2.3.2 Objetivos Específicos	15
2.4 Justificación.....	15
2.5 Hipótesis.....	16
2.5.1 Hipótesis general	16
2.5.2 Hipótesis específicas.....	16
2.6 Variables.....	16
2.6.1 Variable dependiente	16
2.6.2 Variable independiente:	16

2.7 Marco Teórico	17
2.7.1 Talud.....	17
2.7.2 Estabilidad de taludes	18
2.7.2 Tipos de inestabilidad.....	19
2.7.3 Análisis de estabilidad de taludes	21
2.7.4 Programa Slide	41
2.7.4 Sistema de Muro Paraguas	41
2.7.3 Sistema de Muro de suelo reforzado	50
2.8 Marco Metodológico	53
2.8.1. Enfoque del informe	53
2.8.2. Alcance del informe.....	53
2.8.3. Diseño de informe	53
2.8.4. Población y muestra.....	53
2.8.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	54
2.8.6. Procedimientos	54
2.9 Resultados	78
2.9.1. Muro paraguas	78
2.9.2. Muro terramesh con un nivel con empotramiento mínimo	80
2.9.2. Muro terramesh con un nivel dos niveles.....	81
2.10 Discusión de resultados.....	82
III. APORTES MAS DESTACABLES A LA EMPRESA.....	84

IV. CONCLUSIONES	85
V. RECOMENDACIONES	87
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	88
VII. ANEXOS.....	91
ANEXO A: Investigaciones Geotécnicas	92
ANEXO B: Ensayos de Laboratorio	101
ANEXO C: Análisis de Estabilidad	106
ANEXO D: Panel Fotográfico	113
ANEXO E: Planos.....	123

INDICE DE FIGURAS

Tabla 1 <i>Factores contribuyentes en la inestabilidad de taludes</i>	24
Tabla 2 <i>Ecuaciones de equilibrio satisfechas por los métodos de equilibrio límite más utilizados.</i>	32
Tabla 3 <i>Hipótesis de fuerzas entre rebanadas de distintos métodos de equilibrio límite</i>	33
Tabla 4 <i>Resumen de excavaciones realizadas</i>	56
Tabla 5 <i>Resultados de los ensayos de densidad de campo</i>	57
Tabla 6 <i>Resultados de los ensayos de DPL</i>	57
Tabla 7 <i>Resumen de ensayos estándar</i>	60
Tabla 8 <i>Resumen de ensayos de corte directo</i>	60
Tabla 9 <i>Parámetros geotécnicos de los taludes de suelo</i>	61
Tabla 10 <i>Coeficiente de seguridad a emplear en el análisis de estabilidad de taludes</i>	63
Tabla 11 <i>Factores de zona “Z”</i>	65
Tabla 12 <i>Clasificación de los perfiles de suelo</i>	66
Tabla 13 <i>Factor de suelo “S”</i>	67
Tabla 14 <i>Periodos “T_p” y “T_L”</i>	68
Tabla 15 <i>Parámetros de sitio</i>	68
Tabla 16 <i>Resumen de resultados de factor de seguridad antes del corte</i>	70
Tabla 17 <i>Resultados del análisis de estabilidad</i>	72
Tabla 18 <i>Resultados del análisis de estabilidad con MSR</i>	74
Tabla 19 <i>Costos con MSR</i>	76
Tabla 20 <i>Costos con Muro Paraguas</i>	76
Tabla 21 <i>Costos con MSR</i>	77
Tabla 22 <i>Costos con Muro Paraguas</i>	78

INDICE DE TABLAS

Figura 1 <i>Organigrama de la empresa en la que laboro</i>	12
Figura 2 <i>Nomenclatura de taludes y laderas</i>	18
Figura 3 <i>Falla de talud</i>	19
Figura 4 <i>Métodos de análisis de estabilidad de taludes</i>	22
Figura 5 <i>Representación del análisis de estabilidad de un talud indefinido</i>	28
Figura 6 <i>Fuerzas que actúan en una superficie de falla curva</i>	29
Figura 7 <i>Representación de la división en rebanadas de la masa de terreno desplazada</i>	30
Figura 8 <i>Gráfico de las fuerzas que actúan sobre una rebanada</i>	31
Figura 9 <i>Esquema de las fuerzas actuantes en una rebanada consideradas en el método de Bishop</i>	36
Figura 10 <i>Diagrama de las fuerzas actuantes en una rebanada consideradas en el método de Spencer y Morgenstein-Price</i>	38
Figura 11 <i>Fotointerpretación a partir del dron del sector a analizar</i>	55
Figura 12 <i>Perfil estratigráfico km 26+970</i>	62
Figura 13 <i>Zonas Sísmicas</i>	65
Figura 14 <i>Mapa de Isoaceleraciones</i>	69
Figura 15 <i>Mapa de Intensidades Sísmicas</i>	69
Figura 16 <i>Cálculo de factor de seguridad estático y pseudoestático</i>	71
Figura 17 <i>Cálculo de factor de seguridad estático y pseudoestático de talud estabilizado con Muro tipo paraguas</i>	72
Figura 18 <i>Cálculo de factor de seguridad de talud estabilizado con MSR</i>	75
Figura 19 <i>Cálculo de factor de seguridad de talud estabilizado con MP</i>	79
Figura 20 <i>Cálculo de factor de seguridad de talud estabilizado con MSR 1 nivel</i>	81
Figura 21 <i>Cálculo de factor de seguridad de talud estabilizado con MSR 2 niveles</i>	82

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo mejorar el factor de seguridad de un talud con el fin de estabilizarlo y la reducción de costos, usando un sistema no convencional como el sistema Muro Paraguas (MP) y compararlo con el sistema de Muro de Suelo Reforzado (MSR). La investigación tiene un enfoque cuantitativo, alcance correlacional y diseño experimental. La población está conformada por la carretera Huánuco – Huallanca y la muestra está conformada por algunos sectores inestables de la carretera mencionada. Para lo cual se realizó el estudio geotécnico del sector inestable con el fin de determinar los parámetros de los materiales que conforman el talud, posteriormente se realizó el análisis de estabilidad utilizando ambos sistemas de soluciones mencionadas, para lo cual usamos el software Slide programa utilizado para la determinación del factor de seguridad. Para los costos se realizó la cotización respectiva a las empresas patentadas con estos sistemas de estabilización. Se tuvo como resultados el sistema MP nos dio un mejor factor de seguridad en estabilidad que del sistema MSR; El costo para la estabilidad del talud en este proyecto fue menor usando el sistema MP frente al sistema MSR. Se concluye que el sistema MP tiene beneficios que lo hacen más viable a diferencia del sistema MSR, no quiere decir que para todos los casos posibles sea igual ya que cada proyecto no es igual y tiene complejidades diferentes, por lo cual se recomienda seguir realizando investigaciones sobre este nuevo sistema para estabilización de taludes.

Palabras Clave: Estabilización de taludes, sistema Muro Paraguas (MP), sistema de Muro de Suelo Reforzado (MSR), factor de seguridad (FS).

ABSTRACT

The present research aims to improve the safety factor of a slope in order to stabilize it and reduce costs, using a non-conventional system such as the Umbrella Wall system (MP) and compare it with the Reinforced Soil Wall system (MSR). The research has a quantitative approach, correlational scope and experimental design. The population is made up of the Huánuco – Huallanca highway and the sample is made up of some unstable sectors of the aforementioned highway. For which the geotechnical study of the unstable sector was carried out in order to determine the parameters of the materials that make up the slope, subsequently the stability analysis was carried out using both systems of solutions mentioned, for which we used the Slide software program used to determining the safety factor. For the costs, the respective quote was made to the patented companies with these stabilization systems. The results were that the MP system gave us a better safety factor in stability than the MSR system; The cost to slope stability on this project was lower using the MP system versus the MSR system. It is concluded that the MP system has benefits that make it more viable unlike the MSR system, it does not mean that for all possible cases it is the same since each project is not the same and has different complexities, which is why it is recommended to continue carrying out research. about this new system for slope stabilization.

Keywords: Slope stabilization, Umbrella Wall system (MP), Reinforced Soil Wall system (MSR), safety factor (FS).

I. INTRODUCCION

Actualmente en la construcción se busca realizar las actividades ofreciendo una mayor seguridad con el menor costo posible, un caso frecuente en nuestro país es la inestabilidad de taludes en carreteras, canales entre otros, especialmente en las épocas de lluvias, que generan constantes bloqueos entre distintas ciudades o pueblos; por la frecuencia con la que se presentan estos problemas existe la necesidad de que sean resueltos con una solución definitiva que ofrezca una buena seguridad y no genere muchos gastos. Hasta los últimos años en el país se ha solucionado este problema, en la mayoría de casos, con el uso del sistema de Muro de Suelo Reforzado (MSR) u otros sistemas de estabilización de taludes similares; sin embargo, recientemente se viene usando un sistema poco conocido en el país, este es el llamado Sistema Muro Paraguas (MP), el cual presenta mejores beneficios y menores costos con relación a otros sistemas (comparado principalmente con el sistema MSR).

1.1 Trayectoria el autor

Egresado 2019 de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

Bachiller con conocimiento en el área de geotecnia, así como en estudios de suelos, canteras, fuentes de agua, diseño de pavimentos, sectores inestables. Experiencia en campo como supervisor de campo en investigaciones geotécnicas, coordinador de campo.

Realice practicas pre profesionales en el laboratorio JBO Ingenieros SAC, laboratorio de estudios geotécnicos. Donde labore como asistente de Ingeniero y supervisión de ensayos de laboratorio.

Ya como egresado labore en la empresa EDROSS INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC, empresa encargada de realizar informes de estudios de suelos, canteras, fuentes de agua y pavimentos, ocupando el cargo de asistente de ingeniero.

En diciembre de 2020 inicié a laborar en la empresa TELMO INGENIEROS SAC donde laboro hasta la actualidad, empresa encargada de realizar informes geotécnicos, geológicos, geofísicos y pavimentos, ocupando el cargo de asistente de ingeniero, participe en diversos estudios actualmente me encuentro participo el en estudio de sectores inestables del canal de regadío Amojao.

1.2 Descripción de la Empresa / institución (donde labora o laboro)

Telmo ingenieros es una empresa con más de 8 años de experiencia.

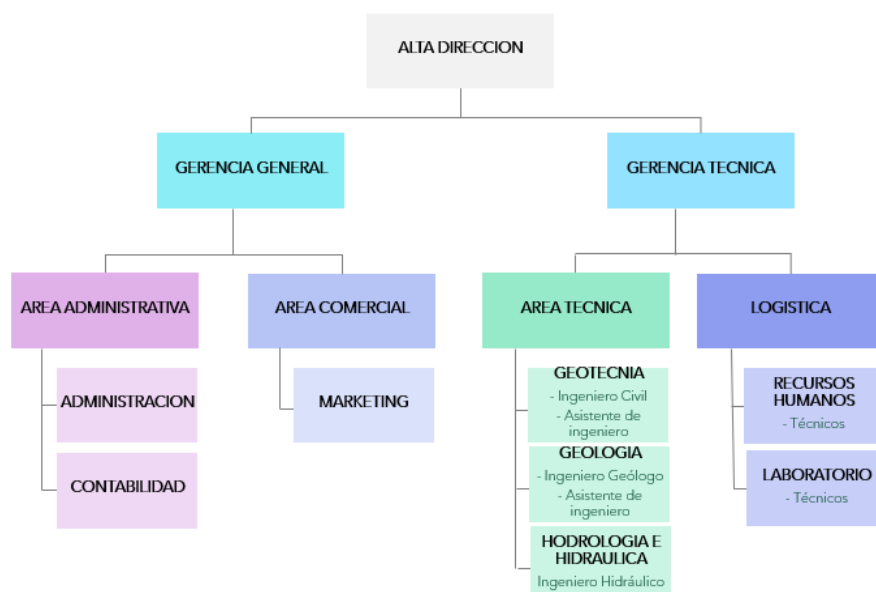
Tiene como misión de contribuir con el desarrollo de la ingeniería a través de sus servicios en el Perú y otros países.

Como visión satisfacer las expectativas de los clientes con cada uno de sus servicios a nivel nacional e internacional.

1.3 Organigrama de la empresa

Figura 1

Organigrama de la empresa en la que laboro



Fuente: Propia

1.4 Áreas y funciones desempeñadas

Voy laborando más de 2 años en la empresa Telmo Ingenieros, perteneciendo al área técnica – Geotecnia, durante este tiempo he desempeñado funciones de asistente de ingeniería e ingeniero de campo, teniendo las siguientes responsabilidades:

- Elaboración de informes de estudios geotécnicos.
- Estudios de suelos, canteras y fuentes de agua.
- Estudios para cimentaciones.
- Estudios para dar solución a sectores inestables en carreteras.
- Estudios para depósitos de material excedente.
- Elaboración de informes de pavimentos.
- Apoyo en realización de planos hidráulicos.
- Coordinador y supervisor de los trabajos de campo.
- Elaboración de planes de trabajo.
- Elaboración de reporte diario de los trabajos de campo.

II. ACTIVIDAD ESPECIFICA

2.1 Planteamiento del problema

Los problemas de inestabilidad de taludes son frecuentes en nuestro país, debido a su accidentada geografía, en algunos de casos de inestabilidad que se presentan, generalmente en Perú se venía usando el sistema de Muro de Suelo Reforzado para solucionarlos; sin embargo, con la llegada de este nuevo sistema de Muro Paraguas a Perú, el cual poco a poco viene siendo más usado debido a los beneficios que ofrece, comparado con otros sistemas de estabilización de taludes.

Se debe hacer un estudio detallado de las características presentes en el talud, para poder determinar el sistema constructivo más apropiado para estabilizar un determinado talud, como Suárez menciona en su libro *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes*: “Es importante para la seguridad y economía, que los diseñadores de estructuras de contención tengan especial consideración con los métodos de construcción y los materiales a ser utilizados. Esto ayudará a evitar diseños peligrosos y puede resultar en economía significativa.” (Suárez, 1998, p. 480). Si las características del proyecto permiten poder usar tanto el sistema de Muro de Suelo Reforzado como el Muro Paraguas, por lo general es conveniente utilizar este último, ya que como se mostrará posteriormente, presenta ventajas en diversos aspectos.

2.2 Formulación del problema

2.2.1 Problema General

¿Se optimizará el factor de seguridad y costo en estabilidad de taludes con el uso de un sistema no convencional?

2.2.1 Problemas Específicos

¿El factor de seguridad en estabilidad será mejor con sistema muro paraguas o con el sistema de suelo reforzado?

¿El sistema de muro paraguas será más económico que el sistema de muro de suelo reforzado?

2.3 Objetivos

2.3.1 Objetivo General

Analizar el factor de seguridad de estabilidad y costos que se logran al utilizar sistemas de estabilización de taludes no tradicionales.

2.3.2 Objetivos Específicos

Incrementar el valor del factor de seguridad de la estabilidad de un talud de una carretera usando un sistema muro paraguas frente a un sistema de muro de suelo reforzado.

Determinar la reducción de costos de la estabilidad de un talud de una carretera usando un sistema muro paraguas frente a un sistema de muro de suelo reforzado.

2.4 Justificación

Actualmente se busca mejores resistencias y menores costos con relación a dar solución a la inestabilidad de taludes lo cual nos conlleva a investigar nuevos métodos que son usados en otros países, así como la metodología de muro paraguas. Los problemas de inestabilidad de taludes son frecuentes en nuestro país, debido a su accidentada geografía, en algunos casos de

inestabilidad que se presentan generalmente en Perú se venía usando el sistema de muro de suelo reforzado para solucionarlos; sin embargo, con la llegada de este nuevo sistema a Perú, poco a poco viene siendo más usado debido a los beneficios que ofrece, comparado con otros sistemas de estabilización de taludes.

2.5 Hipótesis

2.5.1 Hipótesis general

Si utilizamos el sistema no convencional dará un mejor factor de seguridad en estabilidad y menor costo que la metodología del sistema tradicional.

2.5.2 Hipótesis específicas

El valor del factor de seguridad de la estabilidad de un talud de una carretera es mayor usando un sistema muro paraguas frente a un sistema de muro de suelo reforzado.

El costo de la estabilidad de un talud de una carretera es menor usando un sistema muro paraguas frente a un sistema de muro de suelo reforzado.

2.6 Variables

2.6.1 Variable dependiente

- Costos
- Factor de seguridad de estabilidad

2.6.2 Variable independiente:

- Sistema de estabilización de talud

2.7 Marco Teórico

2.7.1 Talud

Es toda superficie inclinada con respecto a la horizontal, sobre la que discurren continuamente depósitos de suelos, macizos rocosos, tanto naturales como debidas a la intervención humana en obras de ingeniería.

Al no ser la superficie del terreno horizontal, una componente de la gravedad ocasionará que el suelo se mueva hacia abajo. Si esta componente es suficientemente grande ocurrirá falla del talud, deslizándose parte de la masa del suelo, habiendo la fuerza actuante vencido a la fuerza resistente, ésta última conformado por el esfuerzo cortante que ofrece el suelo.

Dado que la superficie del suelo no es plana, la componente gravitacional hará que la tierra se mueva hacia abajo. Si esta componente es lo suficientemente grande, la pendiente colapsará, parte de la masa del suelo se deslizará y como resultado, la fuerza aplicada excederá la fuerza de resistencia, incluido el esfuerzo cortante generado por el suelo.

Esta situación obliga a realizar un cálculo y comprobar la seguridad de taludes naturales, taludes con intervención humana, trincheras y cubiertas de taludes de terraplenes compactados. (Braja M. Das, 2014, p. 334)

Una ladera o talud es una masa irregular de terreno que presenta fuertes pendientes o cambios significativos de elevación. En la literatura técnica, se define como ladera cuando su forma actual es creada por un proceso natural y talud cuando se forma artificialmente. (Figura 2).

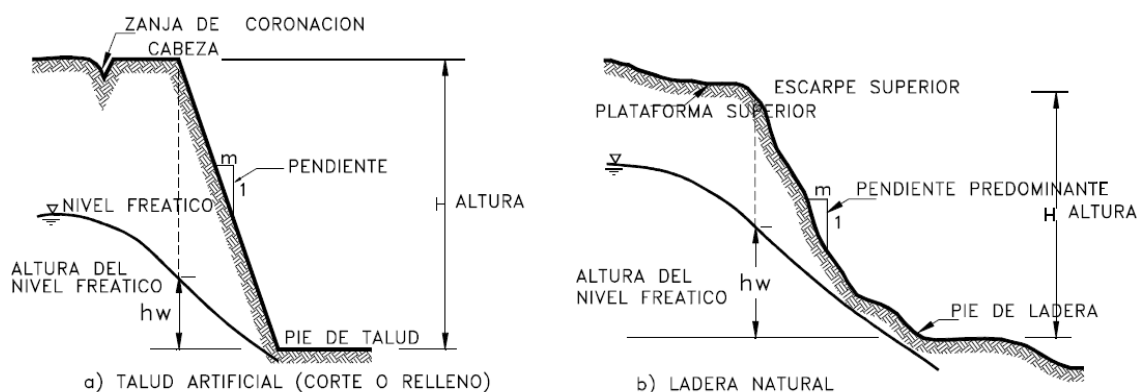
Las laderas que se han mantenido estables durante muchos años pueden colapsar repentinamente debido a cambios topográficos, actividad sísmica, movimiento de aguas

subterráneas, cambios en la resistencia del suelo, clima o factores naturales o provocados por el hombre que cambian su estado estable natural.

Los taludes se dividen en tres categorías principales: terraplén, pendiente natural y muro de contención. Además, pueden ocurrir combinaciones de diferentes tipos de pendientes y taludes. (Suarez, 1998, p. 1 y 2)

Figura 2

Nomenclatura de taludes y laderas



Fuente: Suarez (1998)

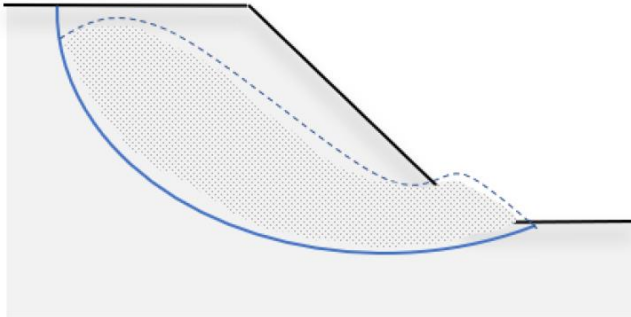
2.7.2 Estabilidad de taludes

- Se implementa una solución geotécnica completa en un talud, ya sea terraplén, excavación, natural o no, capaz de proporcionar suficiente equilibrio y estabilidad, cumpliendo con los criterios de gravedad y eventos sísmicos, medidos por factores de seguridad, los cuales no deben tener un impacto negativo en el medio ambiente. (Norma CE. 020, 2012, p.4)

- De Matteis (2003) define la estabilidad como asegurar la masa del suelo contra fallas o movimientos. En la Figura 3, puede ver el suelo después de que se daña la pendiente.

Figura 3

Falla de talud



Fuente: Osores

2.7.2 Tipos de inestabilidad

2.7.2.1 Desprendimientos o desplomes. Son movimientos inestables por falta de apoyo, cubriendo una pequeña extensión de terreno. A menudo hablamos de rocas que caen cuesta abajo debido a la pérdida del apoyo que las sostiene. Entre los desprendimientos o desplomes, se puede incluir el caso del desplome de una columna rocosa en un acantilado, debido a la erosión en la base del mismo. Pueden ser naturales o artificiales. (DICCIONARIO GEOLOGICO, 2011, p. 250).

2.7.2.2 Deslizamientos. Deslizamiento de rocas o masas de tierra por inestabilidad, que puede deberse a saturación de agua, presencia de material arcilloso que actúa como lubricante, taludes u otras causas. Las actividades humanas a menudo pueden acelerar los deslizamientos de tierra al explotar los sitios potenciales de deslizamientos de tierra sin una investigación adecuada.

Estos son movimientos que afectan a una gran cantidad de masa de terreno. Un tipo particular de corrimiento de tierra son los deslizamientos, que se producen cuando una gran masa de terreno o zona inestable, desliza con respecto a una zona estable, a través de una superficie o franja de terreno de pequeño espesor. Los deslizamientos se producen cuando en

la franja se alcanza la tensión tangencial máxima en todos sus puntos. Estos tipos de corrimiento son ingenierilmente evitables. Sin embargo, los siguientes no lo son:

Estos son movimientos que involucran grandes cantidades de tierra. Un tipo especial es un deslizamiento de tierra, que ocurre cuando una gran masa de tierra o un área inestable se mueve en relación con un área estable en la superficie o una franja de tierra de pequeño espesor. Los deslizamientos de tierra ocurren cuando se alcanza el esfuerzo cortante máximo en todos los puntos. Estos tipos de deslizamientos son técnicamente evitables. Sin embargo, a continuación, se presenta los eventos que no se pueden evitar:

Flujo de arcilla: se produce en zonas muy lluviosas afectando a zonas muy grandes. Los terrenos arcillosos, al entrar en contacto con el agua, se comportan como si alcanzasen el límite líquido, y se mueven de manera más lenta que los deslizamientos. Se da en pequeñas pendientes, pero en gran cantidad.

Licuefacción: se da en zonas de arenas limosas saturadas, o en arenas muy finas redondeadas (loess). Debido a la gran cantidad de agua intersticial que presentan, las presiones intersticiales son tan elevadas que un seísmo, o una carga dinámica, o la elevación del nivel freático, pueden aumentarlas, llegando a anular las tensiones efectivas. Esto motiva que las tensiones tangenciales se anulen, comportándose el terreno como un «pseudolíquido». Se produce, entre otros terrenos, en rellenos mineros.

Reptación: movimiento muy lento que se da en capas superiores de laderas arcillosas, de en torno a 50 centímetros de espesor. Está relacionado con procesos de variación de humedad estacionales. Se manifiestan en forma de pequeñas ondulaciones, y suelen ser signo de una posible futura inestabilidad generalizada. (DICCIONARIO GEOLOGICO, 2011, p. 249).

2.7.2.3 Arrastre. Es el desplazamiento lento y continuo de capas superficiales sobre capas más profundas.

La velocidad de arrastre es generalmente muy pequeña, Terzaghi: 30cm /decenio. Siendo que la velocidad media de avance de un deslizamiento típico es:

30 cms/hora.

2.7.3 Análisis de estabilidad de taludes

El análisis de estabilidad de taludes se utiliza para determinar la resistencia al corte promedio del suelo y encontrar el margen de seguridad. Los métodos de cálculo establecen un mecanismo de fallo que, según el tipo de procedimiento elegido, compara las fuerzas que provocan el movimiento con las fuerzas de resistencia del terreno. Se basan en un enfoque físico y matemático que incluye las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras que actúan sobre el talud. Los métodos se pueden dividir en dos grupos.

Por un lado, existe un método determinístico que, si se conocen las condiciones de la pendiente, ésta puede ser o no estable. Para ello, se deben elegir valores apropiados de los parámetros físicos y de resistencia que reflejen el comportamiento del material para representar su estado de estabilidad y el correspondiente factor de seguridad. Además, hay dos grupos en esta sección: métodos de equilibrio límite y métodos de estado de tensión-deformación.

Por otro lado, el método de probabilidad tiene en cuenta la probabilidad de falla del talud bajo ciertas condiciones. En el análisis es necesario conocer las funciones de distribución de distintas variables aleatorias, para obtener la densidad de probabilidad y la función de distribución de probabilidad del factor de seguridad y curvas de estabilidad de taludes. (González de Vallejo et al.: 2002)

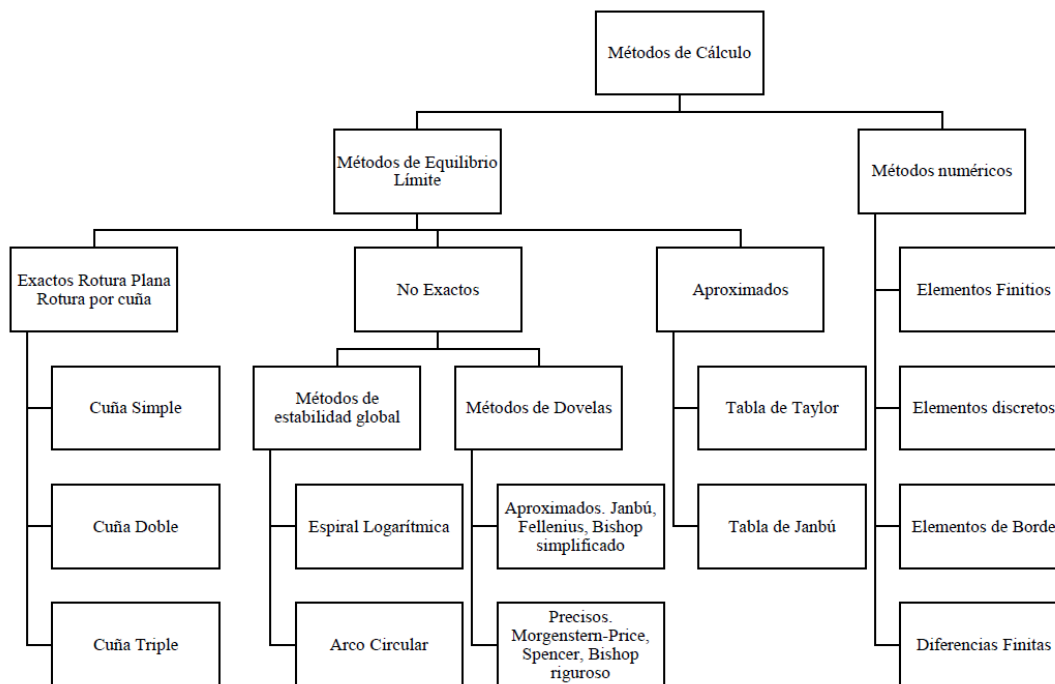
Las metodologías existentes para la modelación matemática de un talud son diversas, pero tienen como objetivos principales los cuales son los siguientes:

- Determinar si un talud es estable o inestable y el margen de la estabilidad.
- Analizar como ocurre la falla.
- Determinar la susceptibilidad del talud frente a mecanismos externos.
- Comparar las diferentes opciones de estabilización sobre el talud.
- Diseñar los taludes de manera óptima en términos de seguridad, confiabilidad y economía.

En la Figura 4 se presenta un resumen de los métodos de análisis de estabilidad de taludes.

Figura 4

Métodos de análisis de estabilidad de taludes



Fuente: Suarez (2009)

Para la presente investigación haremos uso del método del equilibrio límite para el cálculo de la estabilidad de un talud ya que son los más usados en la práctica común, debido a su facilidad, además que el valor del coeficiente de seguridad obtenida no dista mucho del valor real.

2.7.3.1 Método del Equilibrio Limite. El método del equilibrio límite establece que la rotura del terreno se produce a través de una línea que representa la superficie de rotura. De esta forma, se interpreta que la masa de terreno por encima de dicha línea se desplaza respecto la masa inferior, produciéndose, así, la rotura del terreno. En el momento de producirse la rotura, la resistencia al corte a lo largo de la superficie de deslizamiento está movilizada, y el terreno se encuentra, en su totalidad, en equilibrio estático. (UPC COMMONS (s.f), p. 3).

2.7.3.2 Factores influyentes en la estabilidad. González de Vallejo et al. (2002) indica que la estabilidad de taludes se verá afectada por factores geométricos (altura y la pendiente del talud), factores geológicos, factores hidrogeológicos y factores geotécnicos (comportamiento del suelo como resistencia y deformabilidad). La combinación de lo anterior determina el estado de falla de la estructura.

Por un lado, existen los factores conocidos como condicionantes o pasivos, que dependen de los materiales del suelo, como los factores geológicos (con secciones planas y pendientes débiles), factores hidrogeológicos (por la presencia de agua) y geotécnicos. Las características de resistencia y el comportamiento del talud son determinadas por las condiciones litológicas, estratigráficas e hidrogeológicas.

Por otro lado, los factores desencadenantes o también conocidos como activos son aquellos factores externos que cambian las características, propiedades y condiciones de equilibrio del talud, provocando finalmente el colapso de este.

La Tabla 1, resume dos grupos de factores que pueden contribuir a la inestabilidad de taludes.

Tabla 1

Factores contribuyentes en la inestabilidad de taludes

Factores condicionantes	Factores desencadenantes
Estratigrafía y litología.	Sobrecargas estáticas.
Estructura geológica.	Cargas dinámicas.
Condiciones hidrogeológicas y comportamiento hidrogeológico de los materiales.	Cambios en las condiciones hidrogeológicas.
Propiedades físicas, resistentes y deformacionales.	Factores climáticos.
Tensiones naturales y estado tenso-deformacional.	Variaciones en la geometría.
	Reducción de parámetros resistentes.

Fuente: González de Vallejo (2002)

El comportamiento tensión-deformación del suelo, así como su forma y estabilidad, depende principalmente por las propiedades físicas y la resistencia del material, así como de la presencia de agua. Este último reduce la resistencia del suelo y aumenta la fuerza desestabilizadora.

2.7.3.3 Factor de seguridad (FS). Se define como el coeficiente por el cual se debe reducir la resistencia al corte del suelo para llevar una masa potencialmente inestable al equilibrio límite a lo largo de una superficie de deslizamiento preseleccionada. Este es el factor F en el que se alcanzará el equilibrio estricto:

$$F = \frac{\text{Fuerzas estabilizadoras}}{\text{Fuerzas desestabilizadoras}}$$

Ecuación 1

También es conocido como:

$$FS_S = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad \text{Ecuación 2}$$

donde

FS_S = factor de seguridad con respecto a la resistencia

τ_f = resistencia media del suelo al corte

τ_d = esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la superficie potencial de falla

La resistencia media del suelo al corte está determinada por dos factores, la cohesión y la fricción, la cual se expresa como:

$$\tau_f = c + \sigma' \tan \phi' \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

c = cohesión

ϕ = ángulo de fricción

σ' = esfuerzo normal efectivo en la superficie potencial de falla

Tenga en cuenta que la superficie de falla esperada o la superficie deslizante es la superficie a lo largo de la cual ocurre la falla del talud. Los métodos asumen un gran número de superficies de falla, en las que la que recibe el valor mínimo del factor de seguridad se denomina superficie crítica de falla. (Suarez, 2009).

Otra definición del factor de seguridad es el cociente de la cantidad de fricción o el ángulo de fricción en un pendiente dividido por la cantidad de fricción o el ángulo de fricción requerido para mantener estable la pendiente. (UPC COMMONS, s.f.).

Un talud es inestable con una probabilidad de falla cuando el valor del FS es menor a 1, cuando FS es igual a 1 el talud está en equilibrio, pudiendo ocasionarse una inminente ruptura o acontecimiento de falla, y se dice que un talud es estable cuando el valor del FS es mayor a 1.

La elección del factor de seguridad depende de la finalidad de la excavación y de si el talud es temporal o permanente, así como del coste de ejecución, el impacto de la inestabilidad, etc. (González de Vallejo et al. :2002).

Valiente, Sobrecases y Díaz (2015) indican que un factor de seguridad único o global incluye las imprecisiones tanto en las acciones como de las resistencias, los modelos computacionales y la incertidumbre debida a errores humanos. En la que la fuerza desestabilizadora más importante es el peso de la masa deslizante, y viceversa, la principal fuerza estabilizadora es la resistencia al corte del suelo sobre la superficie del deslizamiento.

2.7.3.4 Normativa peruana. El factor de seguridad puede tomarse como base las normativas nacionales e internacionales existentes. La elección del coeficiente dependerá del carácter temporal de la obra (provisional o definitiva) y de la situación de diseño (estática o sísmica).

En el Perú, la Norma E050 Suelos y Cimentaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones estipula que un talud con presencia de estructuras debe verificarse con un factor de seguridad de al menos 1.5 en consideraciones estáticas y en consideraciones sísmicas de 1.25 (p.29). La CE.020 Estabilización de suelos y taludes del Reglamento Nacional de Edificaciones, Título II: Habilitaciones Urbanas, mantiene estos valores.

De acuerdo con Osinergmin (2017) el factor de seguridad mínimo de aceptación cambia dependiendo del tiempo de estabilidad al que se encuentre el talud, basados en la experiencia encontramos los siguientes valores: si la estabilidad es para un largo plazo, mayor a un año, el

FS > 1.5; si la estabilidad es a medio plazo, entre 3 meses y un año, tendrá el valor entre 1.3 – 1.5; y finalmente si es para corto plazo, menor a 3 meses, deberá encontrarse entre 1.1-1.3.

2.7.3.5 Métodos para el cálculo del factor de seguridad. Los métodos de análisis de estabilidad, para la rotura global del macizo, según como se estudie la masa desplazada, se dividen en tres categorías: Análisis de roturas planas en taludes infinitos, el método de la masa total y, por último, el método de las rebanadas.

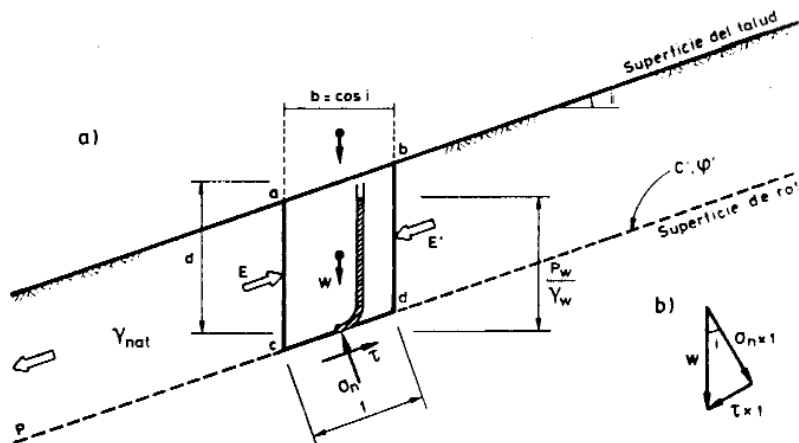
A continuación, se presenta una breve descripción de las categorías mencionadas anteriormente, y las características de cada uno.

A. Análisis del talud infinito. Este método es particularmente adecuado para movimientos traslacionales donde la superficie de deslizamiento es paralela a la superficie del terreno y en los se presente un ancho significativo en el eje perpendicular a la superficie del deslizamiento. En estos métodos el talud se considera que presenta una continuidad infinita lateralmente, lo que significa que no se tiene en cuenta los efectos que puedan ejercer las paredes laterales del movimiento sobre la estabilidad general del talud.

En estos casos, se supone que el deslizamiento ocurrió en una superficie paralela a la superficie del terreno con un ángulo constante (Figura 5). Se supone que tanto las propiedades geomecánicas como las geológicas son consideradas constantes en toda la vertiente.

Figura 5

Representación del análisis de estabilidad de un talud indefinido



Fuente: Extraído de Alonso (1989)

Considerando el criterio de falla de Mohr-Coulomb a través del balance de fuerzas longitudinales y transversales de la Figura 5, la expresión FS tiene la siguiente forma:

$$FS = \frac{c'(\gamma \cdot d \cos^2 i - u) \tan \phi'}{\gamma \cdot d \operatorname{sen} i \cos i} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde: c' y Φ' son los valores de cohesión y ángulo de fricción en la superficie de rotura, γ es la densidad del terreno, d es la altura del deslizamiento, i es la pendiente del terreno y u es la presión de poros.

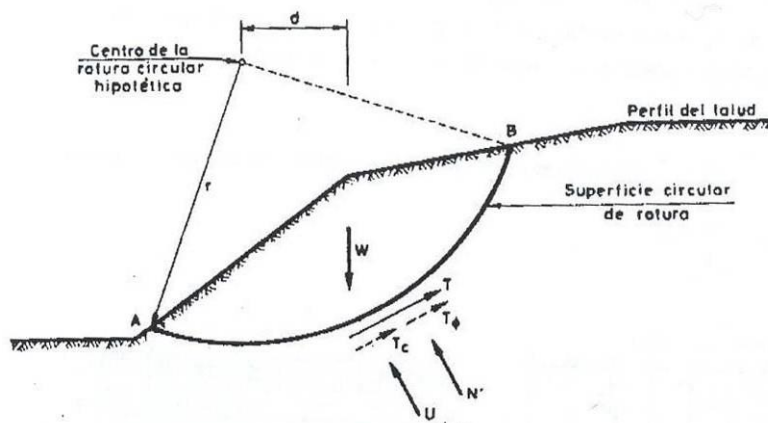
B. Métodos de la masa total. El uso de superficies de falla circulares bidimensional es una hipótesis ampliamente utilizada para el caso de taludes de altura finita donde no existe ninguna región que pueda definir la superficie de falla.

Los métodos de la masa total tratan la masa desplazada como una sola unidad de bloque que se mueve uniformemente (Figura 6), para la cual se imponen las condiciones de equilibrio. Las fuerzas que actúan sobre la superficie de falla son: el peso propio de la masa desplazada,

W ; la presión intersticial distribuida en la superficie de falla, U ; el esfuerzo tangencial, T ; y el esfuerzo normal, N . En este caso, todas las fuerzas involucradas en el equilibrio se consideran como puntuales, tal y como se muestra en la Figura 6.

Figura 6

Fuerzas que actúan en una superficie de falla curva

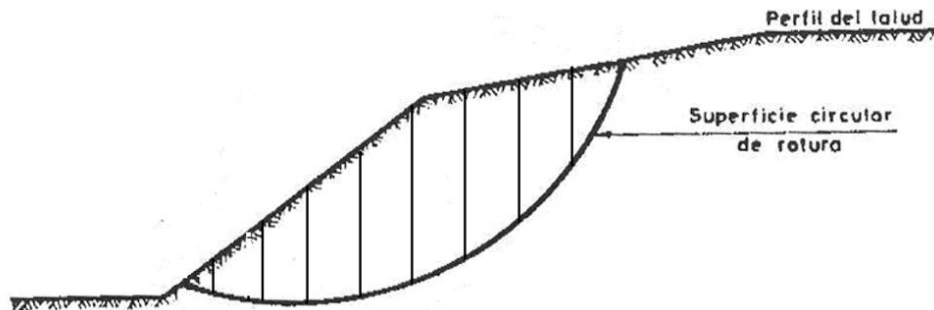


Fuente: Extraído de Alonso (1989)

C. Métodos de las rebanadas. Este método proporciona una estrategia de rebanado para mejorar los resultados obtenidos por el método de masa total. En este caso, la masa desplazada se divide en diferentes rebanadas o secciones, que se consideran sólidas. Así, como se observa en la Figura 7, donde se divide la masa a desplazar y se imponen condiciones de equilibrio en cada sección.

Figura 7

Representación de la división en rebanadas de la masa de terreno desplazada



Fuente: Extraído de Alonso (1989)

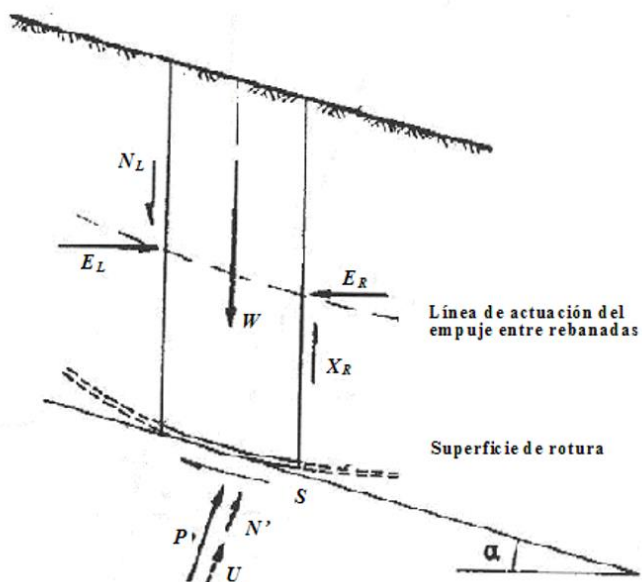
Mediante el uso de este método de las rebanadas se obtendrá, por un lado, una aproximación mucho mejor en la distribución de tensiones normales a lo largo de la superficie de rotura, dicha distribución se verá afectada por la altura de suelo que haya en cada rebanada o sección. Por otro lado, mediante el uso del método de las rebanadas, se facilita el análisis de suelos en el que el material no es uniforme, ya que solo es necesario determinar las rebanadas o secciones de manera adecuada según el terreno.

Se han aplicado dos hipótesis de simplificación a las rebanadas: por un lado, se supone que las rebanadas son suficientemente estrechas como para poder considerar que la base de cada rebanada es rectilínea; y, por otro lado, se considera que solo un tipo de material afecta la base de cada rebanada.

A continuación, En la Figura 8 se muestran las fuerzas aplicadas sobre una rebanada o sección de análisis.

Figura 8

Gráfico de las fuerzas que actúan sobre una rebanada.



Fuente: Extraído de Alonso (1989)

Desde un punto de vista teórico, los métodos de las rebanadas pueden clasificarse en función de las condiciones de equilibrio estático consideradas y de las suposiciones relativas las fuerzas entre rebanadas. En la Tabla 2 se presentan las condiciones de equilibrio que satisfacen algunos de los métodos utilizados con más frecuencia y que se pueden denominar como casos específicos del método general de equilibrio límite (General Limit Equilibrium method - GLE).

Tabla 2

Ecuaciones de equilibrio satisfechas por los métodos de equilibrio límite más utilizados.

** se cumple el equilibrio de momentos a nivel de rebanada*

Métodos de Equilibrio Límite	Equilibrio Vertical de Fuerzas	Equilibrio Horizontal de Fuerzas	Equilibrio de Fuerzas	Equilibrio de Momentos
Fellenius (Ordinario) (1927)	Si	No	No	Si
Bishop Modificado (1955)	Si	No	No	Si
Janbu Generalizado (1968)	Si	Si	Si	Si *
Spencer (1967)	Si	Si	Si	Si
Morgenster-Price (1965)	Si	Si	Si	Si
GLE	Si	Si	Si	Si
Corps of Engineers (1970)	Si	Si	Si	No
Lowe-Karafiath (1960)	Si	Si	Si	No
Sarma (1973)	Si	Si	Si	Si

Fuente: Alonso 1989

La cantidad de ecuaciones de equilibrio disponibles es menor que la cantidad de incógnitas, como consecuencia los métodos que no son rigurosos desde el punto de vista de equilibrio de fuerzas o momentos, emplean suposiciones adicionales para resolver el problema. Se sabe que en los métodos que satisfacen todas las ecuaciones de equilibrio, las suposiciones que incorporan, en general, no tienen un impacto significativamente en el valor del factor de seguridad. En el caso de métodos que solo satisfacen el equilibrio de fuerzas y no el de momentos, el valor del factor de seguridad está influenciado por la hipótesis de pendiente de las fuerzas entre rebanadas. Por lo tanto estos métodos no siempre dan una precisión tan alta como los métodos que satisfacen todas las ecuaciones de equilibrio.

En la Tabla 3 se muestra las hipótesis sobre fuerzas entre rebanadas, y el tipo de deslizamiento que se puede aplicar, para cada uno de los métodos de rebanadas más utilizados.

Tabla 3

Hipótesis de fuerzas entre rebanadas de distintos métodos de equilibrio límite

Métodos de equilibrio límite	Hipótesis
Fellenius (Ordinario) (1927)	Supone que las fuerzas entre rebanadas se anulan entre sí. Solo para deslizamiento circular.
Bishop Modificado (1955)	La fuerza resultante entre rebanadas es horizontal (significa que no hay fuerza tangencial entre rebanadas) Solo para deslizamiento circular
Janbu Generalizado	La posición de la fuerza normal entre rebanadas se define con la línea de empuje y se puede variar, es decir

Métodos de equilibrio límite	Hipótesis
(1968)	<p>cambiar la posición de las fuerzas resultantes entre rebanadas.</p> <p>Para cualquier superficie de deslizamiento.</p>
Spencer (1967)	<p>Las fuerzas resultantes entre rebanadas son paralelas.</p> <p>Cualquier superficie de deslizamiento.</p>
Morgenstern-Price (1965)	<p>La dirección de las fuerzas resultantes entre rebanadas se define mediante la función predeterminada y se puede variar la orientación, el porcentaje de la función utilizada se resuelva mediante equilibrio de fuerzas y momentos.</p> <p>Cualquier superficie de deslizamiento.</p>
GLE	<p>La dirección de las fuerzas resultantes entre rebanadas se define mediante la función predeterminada, el porcentaje de la función requerido para satisfacer el equilibrio de momentos y fuerzas se define buscando el punto de intersección en el diagrama factor de seguridad vs porcentaje de la función.</p>
Corps of Engineers (1970)	<p>Las direcciones de las fuerzas resultantes entre rebanadas se suponen paralelas al ángulo medio de la superficie del talud o a la línea definida por los puntos de entrada y salida de la línea de deslizamiento en el terreno.</p> <p>Cualquier superficie de deslizamiento.</p>

Métodos de equilibrio límite	Hipótesis
Lowe-Karafiath (1960)	<p>Las direcciones de las fuerzas resultantes entre rebanadas se suponen iguales al promedio de la superficie del terreno y superficie de deslizamiento en la base de cada rebanada.</p> <p>Cualquier superficie de deslizamiento.</p>
Sarma (1973)	<p>Los valores de las fuerzas resultantes entre rebanadas siguen ciertas pautas predeterminadas.</p> <p>Cualquier superficie de deslizamiento.</p>

Fuente: Alonso 1989

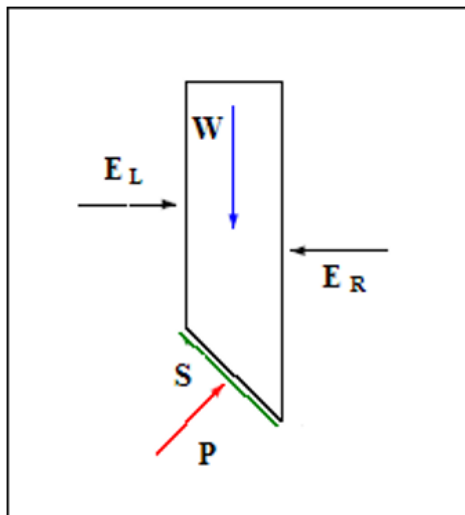
A continuación se explica con detalle las hipótesis y características de los métodos de las rebanadas más utilizados.

CI. Método de Bishop. Bishop desarrolló en el año 1955 (Bishop y Morgenstern, 1960) un método de rebanadas, el Método de Bishop, con las siguientes suposiciones:

- Se supone una superficie de falla circular.
- La masa deslizante se segmenta en rebanas o secciones verticales.
- Se plantea el equilibrio de momentos de las fuerzas actuantes en cada rebanada o seccion respecto el centro de un círculo.
- De la condición de equilibrio para las fuerzas verticales de cada rebanada o seccion se obtienen las fuerzas N (normales a la superficie de falla) y se sustituyen en la ecuación obtenida del equilibrio de los momentos.
- Este Método de Bishop Simplificado no toma en cuenta las tensiones tangenciales entre rebanadas. Pero considera las tensiones normales (Ver Figura 9).

Figura 9

Esquema de las fuerzas actuantes en una rebanada consideradas en el método de Bishop.



Fuente: UPC COMMONS (s.f).

Se requieren múltiples iteraciones para obtener el valor de FS, y la convergencia generalmente se determina rápidamente.

Después de obtener el valor del Factor de Seguridad de la superficie en consideración, se considera una segunda superficie circular y se determina un nuevo valor de FS; y así sucesivamente hasta alcanzar un mínimo. Por lo general, las ecuaciones se pueden programar y se pueden analizar círculos con diferentes radios y centros, hasta que se llegue a una ecuación que proporcione un valor del Factor de Seguridad mínimo.

El método de Bishop también se puede aplicar a superficies no circulares asumiendo un centro de rotación virtual.

Este método es adecuado para los cálculos manuales y obtener una convergencia de forma rápida.

Realizando el equilibrio de momentos al centro del círculo se obtienen la estabilidad global y su Factor de Seguridad (F_m). Aunque el problema esta sobredeterminado, el equilibrio horizontal no se satisface. Bishop lo analizó esto y demostró que el Factor de Seguridad no es particularmente sensible al valor de estas fuerzas entre elementos.

C2. Método de Janbu simplificado. Este método de Janbu simplificado es muy similar al método de Bishop simplificado, pero en este caso de Janbu solo se cumple el equilibrio total de fuerzas horizontales, pero no el de momentos. El esquema de fuerzas actuantes en una rebanada o seccion es el mismo que el esquema para el Metodo de Bishop (Figura 9). Este método fue una de las primeras rutinas para el análisis de superficies de falla no circulares, asumiendo que las fuerzas entre los elementos es cero; por lo tanto la expresión obtenida por la fuerza normal a las rebanadas es la misma que para el método de Bishop. En este caso, el equilibrio de las fuerzas horizontales proporciona un Factor de Seguridad de equilibrio de fuerzas sin considerar las fuerzas entre elementos (F_0). Para tener en cuenta el efecto de las fuerzas entre elementos al cálculo se puede aplicar un factor de ajuste (f_0) de tal modo que el Factor de Seguridad del equilibrio de Fuerzas horizontales (F_f) sea el siguiente:

$$F_f = f_0 \cdot F_0 \quad \text{Ecuacion 5}$$

Para obtener el coeficiente de este factor (f_0), se calibró el análisis con el método de Janbu Riguroso y verificaron que este factor dependía unicamente de la geometría y de las características del suelo, y se puede encontrar en tablas y figuras.

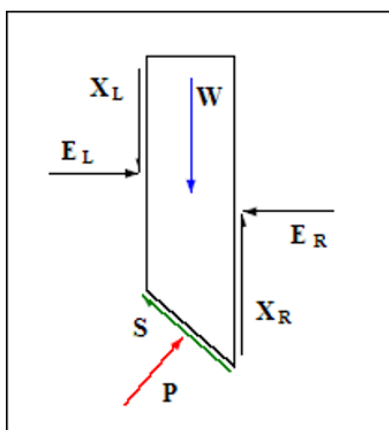
Como en el caso anterior, el problema está sobredefinida y el momento de equilibrio global no es posible satisfacer. Sin embargo, al igual que en el método de Bishop, el cálculo también puede hacer manualmente, lo cual es muy práctico. El Factor de Seguridad que es determinado con el equilibrio de fuerzas (F_f) es más sensible a la hipótesis ejecutada que el

Factor de Seguridad determinado con equilibrio de momentos (F_m). Por esta razón es preferible utilizar métodos que utilicen el equilibrio de momentos para calcular Factor de Seguridad.

C3. Método de Spencer. El método de Spencer (1967), usado originalmente para analizar superficies de fallas circulares, se puede aplicar a superficies no circulares si se usa un centro de fricción rotacional. Este método asume que todas las fuerzas ocurren entre los elementos (Figura 10).

Figura 10

Diagrama de las fuerzas actuantes en una rebanada consideradas en el metodo de Spencer y Morgenstein-Price.



Fuente: UPC COMMONS (s.f).

Ademas se considera que las fuerzas actuantes entre rebanadas tienen una inclinación uniforme (θ) a lo largo de toda la recta, de forma que:

$$X / E = \tan\theta \quad \text{Ecuacion 6}$$

dónde X son los fuerzas verticales y E las horizontales. La fuerza normal en la base del elemento será pues:

$$P = \left[W(E_R - E_L) \cdot \tan\theta - \frac{1}{F_S} (c'l \text{ seni} - u l \tan\phi' \text{ seni}) \right] / m_i \quad \text{Ecuacion 7}$$

$$\text{donde } m_i = \cos i. \left(1 + \tan i. \frac{\tan \varphi}{F}\right) \quad \text{Ecuacion 8}$$

dónde FS es el factor de Seguridad definido como la tensión de corte movilizada respecto la disponible; E_R y E_L son las fuerzas horizontales derecha e izquierda respectivamente, entre los elementos de la rebanada; u es la presión de poro en la superficie de rotura; l es la longitud de la base de la rebanada; i la inclinación de la base del elemento; c' y φ' la cohesión y el ángulo de fricción en la superficie de rotura.

Suponiendo que el ángulo θ es constante para todos los elementos de la vertiente, se pueden hacer ambos, el equilibrio global de momentos y el de fuerzas, de manera que se encuentran dos valores del Factor de Seguridad, el del equilibrio de fuerzas (F_f) y el de momentos (F_m). Es posible encontrar un valor de θ tal que ambos factores de seguridad coincidan, que será el Factor de Seguridad de la vertiente. Spencer estudió la relación entre F_f y F_m por un problema tipo. Dedujo que el factor de seguridad resultante del equilibrio de momentos es relativamente insensible a las fuerzas entre elementos. Esta conclusión es coincidente con la de Bishop.

C4. Método de Morgenstern-Price. El método de análisis desarrollado por Morgenstern y Price (1965) puede ser aplicado tanto a superficies de rotura circulares como no circulares. Es un método parecido al método de Spencer, pero en el caso de Morgenstern-Price permite la especificación de las fuerzas entre rebanadas. El esquema de fuerzas entre rebanadas es el mismo que para el método de Spencer (Figura 10). Considera que las tensiones y las fuerzas varían continuamente en la superficie, resuelve las componentes normal y paralela a la base para cada elemento formulando ecuaciones de equilibrio de fuerza generales. Supone que existe la siguiente relación entre esta componente vertical y normal:

$$\frac{X}{E} = \lambda. f(x) \quad \text{Ecuacion 9}$$

dónde $f(x)$ es la función que varía de forma continua a lo largo de la línea, y λ es un valor escala. Para una función dada $f(x)$, los valores de λ y F se encuentran de forma que se cumplan los equilibrios globales de Momentos y Fuerzas. De esta forma $F = F_m = F_f$.

Para escoger $f(x)$ se puede hacer considerando la distribución de tensiones normales a los límites de los elementos. En general no tiene que haber tensiones efectivas de tracción y las tensiones de corte deben ser menores a las requeridas por el equilibrio crítico local.

C5. Método de Janbu Generalizado. Janbu (1968) describió un método de análisis que podía ser aplicado tanto a superficies de deslizamiento circulares como no circulares. La formulación original fue ampliada para cubrir el análisis de la capacidad portante y de los problemas de presión de tierras. Este fue el primer método de rebanadas dónde se satisfacían los equilibrios globales de Momentos y Fuerzas.

Janbu formuló las ecuaciones generales de equilibrio, resolviendo verticalmente y horizontalmente respecto la base de cada rebanada. Considerando el equilibrio global de fuerzas se obtiene una expresión para el Factor de Seguridad F_f . Para que el problema sea estáticamente determinado, se impone la posición de la línea de acción de las fuerzas entre elementos. Haciendo equilibrio de momentos desde el centro de la base de cada elemento, el equilibrio de momentos global se verifica, y las fuerzas entre elementos se pueden calcular. De hecho, se encuentran insertadas dentro la expresión del factor de seguridad dónde se verifican ambos, el equilibrio global de fuerzas y el de momentos.

Sintetizando este tipo de métodos Lloret et al. (1984) concluyen que los métodos que cumplen todas las ecuaciones de equilibrio (Spencer, Bishop Riguroso, Morgenstern y Price, Fredlund, y Janbu Riguroso) proporcionan valores del coeficiente de seguridad muy parecidos (diferencias siempre menores al 5%). El método de Bishop Simplificado proporciona también

los mismos resultados que los que cumplen todas las ecuaciones cuando la superficie de rotura es circular.

2.7.4 Programa Slide

Slide es un software de análisis de Estabilidad de Taludes en 2D que utiliza métodos de equilibrio límite para el cálculo de la estabilidad. Su ámbito de aplicación en minería y obra civil es muy variado, permitiendo evaluar un gran número de problemáticas geotécnicas, tales como estabilidad de terraplenes, presas, taludes en excavaciones mineras o en edificaciones, efectos de cargas externas, sísmicas, eficiencia de elementos de refuerzo, etc.

Es un software potente y flexible desarrollado por Rocscience, empresa puntera a nivel mundial en modelización geotécnica.

El programa Slide ha ido creciendo de manera continua al mismo ritmo que se expandía la capacidad de análisis geotécnico por ordenador en los últimos años. Este continuo esfuerzo en investigación y actualización, y la solvencia que proporciona su trayectoria, lo convierten en un software de referencia. Prueba de ello es el hecho de ser uno de los programas más reconocidos y utilizados que existen en el mercado.

Hoy en día existe una creciente variedad de software de modelización geotécnica a nivel general, y también en relación a la estabilidad de taludes. Sin embargo, no todos los programas cuentan con la capacidad de cálculo y fiabilidad de Slide.

2.7.4 Sistema de Muro Paraguas

2.7.4.1 Características del sistema. El Sistema Muro Paraguas consiste en un muro de contención que cuenta con un sol anclaje, el que se realiza mediante una estructura de metal con forma piramidal, y tiene como principales ventajas una muy rápida instalación, bajo peso, estabilidad inmediata y además la posibilidad de premontaje en un lugar cercano al proyecto

que se está implementando. Cuando se necesita una intervención inmediata en la estabilización de taludes, este sistema es muy útil ya que ofrece muy buen dinamismo y versatilidad (Betonform®, 2014).

El sistema Muro Paraguas cuenta con 2 vigas de construcción de acero (HE120B), las que contendrán el suelo soportado por el sistema, éstas se encuentran unidas en forma de cruz (cruz de San Andrés, rectangular de 3.60 x 3.10 m para Muro Paraguas - ErdoX Tierra).

Las 2 vigas se conectan a un tirante rígido con nudos esféricos que se ubica en sus intersecciones de éstas, que actúan como conexión con la placa de concreto para que el sistema se encuentre anclado adecuadamente (Betonform®, 2014).

En los bordes de las vigas del panel frontal se conectan de 4 a 8 cables de contraviento de 16 mm de diámetro, con alma de acero, los que son conectados a la parte del tirante que se conecta al bloque de concreto, con lo cual se obtiene la característica piramidal del sistema Muro Paraguas (la cantidad de cables depende del tipo de elemento, si es Muro Paraguas normal o Reforzado, como se puede inferir, el primero cuenta con 4 cables, el segundo con 8) (Betonform®, 2014).

Para complementar el sistema se instala una red estructural rectangular en la zona de las 2 vigas (3.60 x 3.10 m), se coloca un cable de 12 mm de diámetro con alma de acero en el perímetro además de una red estructural con cable de acero de 8 mm que se cruzan en forma de rombo en el plano de las vigas, con un espaciamiento de 30 x 30 cm. Además, se fija una red metálica a doble torsión al panel de red estructural, las cocadas que tiene son de 8 x 10 cm y con un espesor de 2.7 mm (galvanizada completamente), y se une firmemente al panel estructural principal. La malla se dobla al pie de la estructura aproximadamente 1.50 m, la cual le aumenta el coeficiente de fricción con el suelo y además, sirve principalmente para garantizar el funcionamiento de las barreras evitando posibles erosiones al pie (esto se da principalmente

cuando el sistema se encuentra próximo a ríos). Además, esta malla favorece la adaptación del sistema, junto con el mono-anclaje, ante posibles desprendimientos diferenciales en el terreno, lo que evita que la estructura sea sometida a cargas no previstas durante su vida útil; otro sistema que ayuda a no sufrir cargas imprevistas, es el nudo esférico que puede admitir una pequeña rotación para que pueda adaptarse al punto de anclaje y no se añadan fuerzas internas que modifiquen las fuerzas de diseño (Betonform®, 2014).

Dependiendo de la función del Muro Paraguas y las características locales del suelo, se seleccionará si para el anclaje se utilizan micro-palos de cimentación, placas de concreto armado o vigas en concreto realizadas en obra. Si se escogen placas prefabricadas de concreto armado, el diseño para determinar las dimensiones se hace de acuerdo a las condiciones del material utilizado de relleno; estas placas pueden ser simples o compuestas por otros elementos adicionales (si existen presiones altas de suelo se recomiendan placas en forma de L). En la mayoría de casos las placas son suficientes para que los elementos sean estables durante su vida útil; sin embargo, en casos donde se requiera una gran resistencia del elemento para que se mantenga estable, se puede utilizar un sistema de anclaje con cimentaciones especiales. Cada elemento del Muro Paraguas viene en un kit de montaje, el cual se encuentra premontado y con las instrucciones necesarias para poder finalizar el montaje de manera sencilla; este kit contiene lo siguiente: grilletes para conectar los elementos adyacentes, grilletes adicionales, pernos, tuercas y todos los elementos que son necesarios para que la estructura sea armada correctamente. Todos los elementos metálicos de cada del Muro Paraguas se encuentran galvanizados para que se garantice que el sistema tenga una adecuada vida útil (Betonform®, 2014).

Los elementos del sistema pueden ser armados en un lugar cercano al proyecto, debido al bajo peso de cada elemento y a que son fácilmente armables, y luego se transporten al lugar

deseado para ser instalado finalmente. Esto además garantiza versatilidad y rentabilidad muy buenas.

2.7.4.2 Principio de funcionamiento. El principio de funcionamiento se basa en que el empuje que ejerce el panel frontal transmitido por el relleno más la sobrecarga que pueda haber sobre la estructura, sea menor que el peso actuante sobre la placa de concreto del material de relleno de las estructuras. Cabe resaltar que el empuje sobre el panel frontal se transmite de manera piramidal hacia la placa de concreto por medio del tirante rígido y los cables contraviento, lo que representa el sistema de anclaje de cada elemento del Muro Paraguas. Por lo cual, es recomendable que el apoyo de la placa de anclaje sea sobre un suelo de buena calidad (Betonform®, 2014).

Si por las condiciones locales no se puede apoyar la placa sobre un suelo de buena calidad, se puede anclar con un tirante hecho con una perforación en el terreno (con la profundidad adecuada para que la resistencia a tracción estabilice completamente al sistema). La base del funcionamiento tipo pirámide, garantiza que no existan problemas por volteo en un muro en un muro construido con el sistema Muro Paraguas (es geoméricamente imposible que suceda) (Betonform®, 2014).

2.7.4.3 Principales características. Las principales características que presenta este sistema son las siguientes:

- El impacto ambiental generado por este tipo de estructura es muy bajo, debido a que al terminar de construirlo se recomienda sembrar sobre la estructura, lo cual hace que el paisaje prácticamente no se vea afectado. Además, este tipo de muro se encuentra constituido, casi en su totalidad, por material de la zona en la que se encuentra el proyecto (ello hace que se pueda sembrar plantas de la zona sin ningún problema).

- Un fallo por volteo no es un problema que se pueda presentar en este tipo muro, ya que como se mencionó, tiene un funcionamiento en forma piramidal (el cual es conocido porque es imposible que presente fallas por volteo). Este tipo de funcionamiento es debido a que se transmite el empuje ejercido sobre el panel frontal a través del tirante rígido y los cables de cortaviento hacia la placa de concreto (es por ello que se recomienda que la placa de anclaje se encuentre sobre terreno firme) (Betonform®, 2014).
- En comparación con el Muro de suelo reforzado, este tipo de muro presenta ventajas en mano de obra, maquinaria y, principalmente, en costo y tiempo de ejecución. Dependiendo de las características del proyecto, se pueden alcanzar rendimientos y costos hasta 3 veces mejores, usando el sistema Muro Paraguas.
- Adquiere resistencia estructural y estabilidad al instante en que se completa cada muro construido, lo cual implica que el tránsito vehicular se puede restablecer en el menor tiempo.
- No compromete a estructuras que se puedan encontrar en la parte superior, ni induce acciones de carga que no se encuentren previstas, esto es debido a la flexibilidad del sistema (aportada por el mono-anclaje) y puede adaptarse a algunos asentamientos diferenciales que pueda tener el suelo en el cual es construido (Betonform®, 2014).
- Con el fin de evitar la saturación del material, la cara frontal del sistema permite drenaje, para que se eviten las fallas originadas por el posible exceso de peso originado por el agua (es por ello que no se consideran sobrecargas hidráulicas para el diseño) (Betonform®, 2014).
- Posee mucha adaptabilidad al entorno que lo rodea por su configuración final (cubierta por vegetación, si las condiciones locales lo permiten), lo cual le da un buen aspecto al proyecto terminado.

- Los muros contruidos con el Sistema Muro Paraguas son estructuras sismo-resistentes, debido a que por las características estructurales que presentan son flexibles e isostáticos (Betonform®, 2014).

2.7.4.4 Proceso de instalación. Para la correcta instalación del sistema Muro

Paraguas se sigue el siguiente procedimiento:

A. Armado de estructuras. Para lo cual se sigue los siguientes pasos:

- Primero, se debe colocar el panel frontal en forma horizontal, dejándolo a una altura no menor de 20 cm del suelo (se puede llegar a la altura indicada con 2 tacos de madera).
- Luego, situar las vigas lo suficientemente abiertas para que los huecos de éstas coincidan con los de las placas del nudo esférico.
- Después, se instalan los 4 pernos con sus respectivos bulones (tornillos de tamaño relativamente grande) en los huecos correspondientes.
- Posteriormente, se debe verificar que la viga doblada se encuentre alineada y además, que el lado con menor dimensión tenga una longitud de 3.09 m.
- Verificar que los 8 bulones del nudo esférico se encuentren correctamente cerrados, para garantizar la correcta unión.
- Ubicar el cable perimetral de la red estructural alrededor de las 4 extremidades del panel frontal.
- Poner los 2 sujeta cables correctamente en su posición y cerrar los bulones adecuadamente.
- Al terminar, se levanta el tirante rígido y se posiciona en forma vertical, luego se fija el cabezal del tirante en el nudo esférico central, se insertan los pernos y se procede a cerrar el bulón del nudo esférico.

- Después, se conectan los 4 cables contraviento en forma manual con el panel frontal, con la ayuda de los grilletes.

Luego, se procede a comprobar que los bulones colocados en el panel frontal se encuentren correctamente cerrados:

- 8 bulones de la placa central.
- 8 bulones de los 4 sujeta cables perimetrales.
- 1 bulón del nudo esférico.
- 4 grilletes de los cables contraviento.

B. *Preparación del plano de apoyo de las estructuras.* Para lo cual se sigue los siguientes pasos:

- Se debe excavar en el terreno de manera suficiente como para poder colocar las estructuras y la placa de anclaje de concreto.
- Si es posible, hacer una excavación “en forma de zanja” (si las características del suelo son adecuadas) se reduciría el tiempo y los costos, debido a que el volumen de corte que se necesita hacer en el terreno sería el mínimo requerido para realizar el trabajo.
- Generalmente, basta con tener un nivel aproximado del terreno para colocar las estructuras y es suficiente compactar con la misma maquinaria que se utiliza para la excavación.
- En el caso que el trabajo se efectúe próximo a una carretera (en la que se realice la plataforma sobre las estructuras) ya no se podrá efectuar una simple compactación como en la mayoría de casos, si no que esta deberá ser de una calidad suficiente como para que se eviten los posibles problemas originados por una compactación inadecuada del suelo (por ejemplo, hundimiento del terreno).

- En un lugar cercano a la obra se armarán las estructuras, se realizará cada Muro Paragua en un tiempo aproximado de 30 minutos. Para ello se necesitan: 2 personas, un juego de llaves y una maquina (por ejemplo, retroexcavadora).

C. *La colocación de la estructura armada en obra se realiza mediante el siguiente procedimiento.* Para lo cual se sigue los siguientes pasos:

- Se eleva el panel frontal armado con la ayuda de la maquinaria, hasta que se encuentre en forma vertical y el tirante rígido horizontal, luego se traslada dicha estructura hasta el lugar donde se llevará a cabo la instalación.
- Para tener la placa de concreto (o las placas en caso de contar con 2 placas, en forma de L o una sobre otra) en el lugar requerido solo hay que apoyarla sobre el terreno existente (si el terreno no es de buena calidad, es recomendable colocar debajo de la placa una capa de grava para que exista una buena fricción con el terreno). La parte final del tirante rígido tiene que quedar al centro de la placa de concreto.
- Posteriormente, se unen mediante un perno con su bulón respectivo.
- Se dobla la malla de torsión del panel frontal hasta que se puedan acercar los 2 cables perimetrales correspondientes a 2 estructuras colindantes.
- Se colocan los 3 grilletes (arriba, al medio y al fondo) y se cierran firmemente sus bulones (lo cual también garantiza la flexibilidad entre las estructuras, lo que conlleva a que sea una estructura sismo-resistente).

D. *Para el relleno de las estructuras se deben seguir las siguientes pautas.* Para lo cual se sigue los siguientes pasos:

- En la mayoría de casos se puede utilizar cualquier tipo de material debido a que la estabilidad de este sistema se encuentra dada por la estructura metálica; para el ahorro

de transporte y compra de material de otro lugar, se usa como material de relleno, por lo general, el material excavado del siguiente tramo.

- Se debe rellenar desde el lugar donde se ubica la placa de concreto hacia el muro de contención para garantizar la estabilidad de cada elemento al momento de la construcción.

- El tipo de relleno y dependiendo de si este será compactado o no se determinará según el resultado del estudio realizado para el proyecto y de acuerdo al uso que tenga el Sistema Muro Paraguas instalado.

- Según las características del proyecto, si se considera necesario, se puede instalar detrás del panel frontal geo-sintéticos adecuados para poder contener materiales finos dentro de los elementos del Muro Paraguas.

- Si se tiene que compactar el terreno rellenado, primero se debe verificar que tanto el tirante rígido como los cables contraviento se encuentren completamente cubiertos por el material de relleno para evitar posibles daños y el sistema de anclaje se pueda ver afectado. Además, se tiene que verificar que la maquinaria utilizada para este proceso sea la apropiada para el proyecto, por ejemplo, una excavadora.

- Uno de los casos donde se puede utilizar el material de la zona como material de relleno, es principalmente en los que la función del muro paraguas es estabilizar taludes inestables, lo cual evita la sobrecarga que se pueda ejercer sobre el terreno al utilizar otro tipo de material.

- En los casos en los que se utiliza el sistema muro paraguas para defensas ribereñas o espigones, el material de relleno utilizado tiene que ser capaz de detener las partículas de menor tamaño cuando éstas entren en contacto con el agua, es decir material fino (75 μm , que pasa por la malla #200); los materiales más utilizados para estos casos son piedra chancada o canto rodado de río.

- Cuando el muro paraguas se encuentra bajo una carretera en la cual la plataforma se ejecutará sobre las estructuras (para estabilizar el talud), se tiene que utilizar como material de relleno piedra chancada de 4 – 7 cm de diámetro; además, se tiene que colocar geotextil y geomalla con el fin de evitar posibles deformaciones en la carretera. En estos casos, se recomienda una separación de por lo menos 2 metros, como medida de seguridad, para poder realizar un talud.

2.7.3 Sistema de Muro de suelo reforzado

Los muros de suelo reforzado (MSR), es un término general adoptado para referirse a los muros de contención cuyas propiedades mecánicas se mejoran mediante el uso de diferentes materiales que, como su nombre indica, ayudarán a estabilizar la estructura y hacerla más duradera, más segura, aprovechando de esta manera ventajas estructurales, económicas y estéticas.

A nivel internacional muchas marcas comerciales, describen este sistema (MSR) como un conjunto que incluye el diseño, especificaciones y todos los materiales de construcción prefabricados que conforman el total de la estructura y su funcionamiento.

Este sistema tiene una similitud con el sistema de un gavión con espesor, por lo general, igual a un metro, el cual se rellena in-situ con piedras; mientras que el interior del gavión se cubre con un geotextil gracias al cual se puede evitar que los finos del material de relleno utilizado salgan del elemento (HITEC Terramesh, 2002).

Al ser este un sistema de contención de taludes con características similares al muro paraguas y además por ser uno de los más usados para este tipo de proyectos, es por lo cual se realiza la comparativa de este sistema con el muro paraguas.

2.7.3.1 Características del sistema. Cada elemento del sistema muro de suelo reforzado está conformado por una malla hexagonal de doble torsión, la cual constituye el paramento frontal, la base y tapa de la caja, además del elemento utilizado como refuerzo (su longitud es determinada en la etapa de diseño).

Con este sistema se puede construir paramentos verticales o con una pequeña inclinación escalonada externamente (con un ángulo de 6°).

Como se mencionó el sistema tiene un aspecto similar al de un muro conformado por gaviones, es por ello que, al igual que en el sistema muro paraguas, es posible revegetar el muro en la parte exterior si las condiciones lo permiten, asimismo conserva sus características de drenaje en el paramento frontal del muro.

2.7.3.2 Proceso Constructivo. A continuación, se describe brevemente el procedimiento necesario para la construcción de un muro de suelo reforzado (Maccaferri do Brasil, 2008):

- Primero, se debe desdoblar los elementos en una superficie plana y rígida para poder eliminar las posibles irregularidades que pueda haber en los elementos.
- Luego, se levanta el panel posterior y se colocan los elementos laterales en forma paralela a la base.
- Después, se coloca el diafragma dentro del elemento y se procede a amarrar con la base.
- Posteriormente, se eleva el panel frontal junto con la tapa y se procede a coser los elementos laterales a la base y al panel frontal; además, se cose el diafragma.
- Terminando de coser los elementos, se procede a colocar los elementos en su lugar correspondiente, amarrando cada elemento contiguo en sus planos de contacto (se

colocarán los elementos sobre el terreno nivelado según las condiciones necesarias para que el sistema trabaje adecuadamente).

- Cuando se tengan los elementos amarrados adecuadamente, se procede a rellenar cada uno, el relleno se realizará en 3 partes y al término de los dos primeros tercios se colocarán los tirantes. Cabe resaltar que el relleno utilizado debe ser de una buena calidad (con un ángulo de fricción considerable y que permita un drenaje adecuado); el relleno no debe contener materia orgánica o deteriorable, arcillas expansivas o encontrarse fuera de los rangos permitidos según los cálculos realizados. También se puede combinar el material propio con materiales de mejores características, asegurándose que sea adecuado para la estructura. Además, para asegurar que las características del sistema perduren en el tiempo, se deben prever obras complementarias.

- Para rellenar el paramento de los gaviones de refuerzo se debe utilizar piedra de buena calidad, densa, tenaz, durable, sana, sin defectos que puedan afectar la estructura. Su tamaño debe ser regular, con medidas mínimas del mayor tamaño de la malla y máximas del doble de ésta, es decir piedras entre 6" y 10", con una tolerancia de 5% con tamaño menor al de la malla más grande. Al colocar las piedras se debe tener en cuenta que las de mayor tamaño deben ir cerca a la malla, mientras que las más pequeñas deben ir en la parte central del gavión; además, se debe procurar que al momento de colocarlas quede la mínima cantidad de vacíos en el gavión.

- Al finalizar de rellenar se procede a doblar las tapas y amarrarlas de la misma manera que se describió anteriormente.

- Luego se coloca y fija el filtro de geotextil hacia el panel posterior.

- Al terminar, se empieza con el relleno de la estructura, compactando cada 20 o 30 cm de altura. Para compactar las zonas cercanas al paramento frontal no se puede

utilizar maquinaria pesada, con el fin de evitar que las estructuras sufran algún daño por gran peso de la maquinaria.

- Finalmente, al culminar cada tramo se deberá doblar el geotextil el cual deberá ser amarrado con las capas contiguas.

2.8 Marco Metodológico

2.8.1. Enfoque del informe

La investigación es de enfoque cuantitativo, debido a que las variables como el factor de seguridad y el costo son medibles numéricamente.

2.8.2. Alcance del informe

El alcance del informe es correlacional, debido a que se busca la relación existente del factor de seguridad y costo con el tipo de sistema de estabilización que se use en taludes.

2.8.3. Diseño de informe

El Diseño del informe es experimental, debido a que manipulamos la variable independiente para ver los efectos que causa en las variables dependientes. Se manipula el tipo de sistema de estabilización de taludes, para ver los efectos en los valores de factor de seguridad y costo.

2.8.4. Población y muestra

El presente trabajo de investigación se desarrolló en la estabilidad de sectores inestables en la carretera Huánuco – Huallanca. Así mismo, se utilizaron los parámetros hallados del terreno natural.

Para mi muestra se tomará el sector inestable del km 26+900 al km 26+990 de la carretera Huánuco – Huallanca.

2.8.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para determinar el factor de seguridad de estabilidad con las metodologías del sistema muro paraguas y sistema de suelo reforzado serán determinados con el programa Slide. Para lo cual se tendrá el siguiente procedimiento:

- Recolección de datos de las investigaciones geotécnicas realizado en el talud a estabilizar.
- Determinar los parámetros de diseño del talud a estabilizar que son su ángulo de fricción y cohesión.
- Modelamiento del talud con cada sistema a comparar para determinar su factor de seguridad de estabilidad.

Se realizará una comparativa en costos para cada tipo de sistema de estabilidad.

2.8.6. Procedimientos

Primero hemos seleccionado uno de los sectores inestables de la carretera Huánuco – Huallanca para poder analizarlo con los dos sistemas de solución para la estabilidad de taludes mencionados antes, el sector seleccionado es del km 26+900 al km 26+990.

2.8.6.1. Descripción del talud a estabilizar. El talud superior lado derecho, comprende una extensión de 90 m, el talud ha sido cortado con una pendiente de 1H:1.5V y está conformado por depósitos residuales.

Litología: el lado derecho (talud superior) de la vía está conformado por depósitos residuales producto de las alteraciones de las rocas ígneas preexistentes en profundidad, estos depósitos se conforman de material fino arcillas y limos, cubiertos por pastizales.

Geodinámica: En este sector tenemos dos fenómenos geodinámicos compuestos Deslizamiento, desde el Km 26+890 hasta el km 26+920 se observa un deslizamiento en el talud superior (lado derecho) el cual consiste de un desplazamiento violento por el corte del

talud, otro por la saturación del suelo en un evento de intensa precipitación y otro factor es la pendiente del talud.

Desde el km 26+950 hasta km 26+990 se puede observar la reptación del talud superior. Este fenómeno consiste del desplazamiento lento de un gran volumen de material generalmente el cual se ve beneficiado por la variación de humedad ya que las arcillas absorben el agua y le agregan peso al material. En este sector se observa una distancia de aproximadamente 1 m de desplazamiento, el cual va a continuar de no ser controlado.

Si bien es cierto el tramo intermedio entre ambos fenómenos, es decir Km 26+920 al km 26+950 aparentemente no se ve afectado, al presentar las mismas condiciones del material arenoso y la geometría es muy probable que a futuro se vea afectado, por esa razón debe ser intervenido y mejorar su sostenimiento. Ver figura 11.

Figura 11

Fotointerpretación a partir del dron del sector a analizar



Fuente: Propia

2.8.6.2. Trabajo de campo. Para la evaluación se desarrolló un programa de investigación geotécnicas de campo que consistió en la ejecución de excavaciones, (3 calicatas), 1 ensayo de densidad de campo, 4 ensayos DPL y ensayos de laboratorio, las que se describen a continuación:

Tabla 4

Resumen de excavaciones realizadas

Sector Inestable	Calicata / Trinchera	Prof. (m)	Nivel freático (m)	Coordenadas UTM	
				Este	Norte
km 26+900 – km 26+990	C-1	1,40	-	343162	8906526
	C-2	2,50	-	343183	8906516
	C-3	2,50	-	343156	8906580

Fuente: Propia

A. Ensayo de densidad in situ. Este ensayo permite obtener la densidad del suelo mediante el método del cono de arena. Para ello se obtiene directamente el volumen de un agujero dejado por el suelo, luego de ser comparado con el volumen de la arena de Ottawa normalizada necesarios para ocupar dichos agujeros. Este método resulta ser más directo y rápido. La tabla 5 siguiente resume el resultado de dicho ensayo:

Tabla 5

Resultados de los ensayos de densidad de campo

Exploración	Densidad de campo	Prof. (m)	D.H (g/cm³)	C.H (%)	D.S (g/cm³)
C-2	D-1	2,50	1,69	21,0	1,33

Fuente: Propia

B. Ensayo de DPL. El ensayo de penetración “DPL” (Dynamic Probing Light) consiste en auscultar los suelos a través de una punta cónica de 60° unida a unas varillas de 0,90 m de largo y 35,6 mm de diámetro; la penetración en el terreno se produce a través del impacto de un martillo de 10 kg de peso que cae libremente desde una altura de 0,60 m, El ensayo es continuo y se va registrando el número de golpes necesario para penetrar 10 cm de profundidad (N10) hasta que se alcance el rechazo.

Este método resulta ser más directo y rápido, La tabla 6 resume los resultados de dichos ensayos:

Tabla 6

Resultados de los ensayos de DPL

Sector Inestable	DPL	Tramo de ensayo (m)	N	Suelo Friccionante Φ (°)	Suelo cohesivo (Kg/cm²)
km 26+900 –	DPL-1	0,00 – 0,50	4	-	0,15
km 26+990		0,50 – 1,00	6	-	0,23

Sector Inestable	DPL	Tramo de ensayo (m)	N	Suelo Friccionante Φ (°)	Suelo cohesivo (Kg/cm²)	
		1,00 – 1,50	9	-	0,34	
		1,50 – 2,00	33	-	1,24	
	DPL-2	0,00 – 0,50	5	-	0,19	
		0,50 – 1,00	6	-	0,23	
		1,00 – 1,50	6	-	0,23	
		1,50 – 2,00	7	-	0,26	
		2,00 – 2,50	9	-	0,34	
		2,50 – 3,00	10	-	0,38	
		3,00 – 3,50	7	-	0,26	
		3,50 – 4,00	9	-	0,34	
		4,00 – 4,50	7	-	0,26	
		4,50 – 5,00	9	-	0,34	
		5,00 – 5,50	11	-	0,41	
		5,50 – 6,00	17	-	0,64	
		6,00 – 6,50	15	-	0,56	
		6,50 – 7,00	15	-	0,56	
		DPL-3	0,00 – 0,50	6	-	0,23
			0,50 – 1,00	15	-	0,56
	1,00 – 1,50		13	-	0,49	
	1,50 – 2,00		11	-	0,41	
2,00 – 2,50	16		-	0,60		

Sector Inestable	DPL	Tramo de ensayo (m)	N	Suelo Friccionante Φ (°)	Suelo cohesivo (Kg/cm ²)
		2,50 – 3,00	30	-	1,13
	DPL-4	0,00 – 0,50	1	-	0,04
		0,50 – 1,00	2	-	0,08
		1,00 – 1,50	1	-	0,04
		1,50 – 2,00	6	-	0,23
		2,00 – 2,50	13	-	0,49
		2,50 – 3,00	8	-	0,30
		3,00 – 3,50	14	-	0,53

Fuente: Propia

2.8.6.3. Trabajo de laboratorio. Para la caracterización del terreno natural se desarrolló ensayos de laboratorio, realizando ensayos estándar para la clasificación del suelo natural y ensayo de corte directo para determinar los parámetros de cohesión y fricción, como se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 7*Resumen de ensayos estándar*

Ubicación	Calicata	Muestra	Prof,	Clasificación
			(m)	SUCS
Km 26+920	C-2	M-1	0,00-2,50	ML
Km 26+960	C-3	M-1	1,50-2,50	CL

Fuente: Propia

Tabla 8*Resumen de ensayos de corte directo*

Ubicación	Calicata	Muestra	Prof, (m)	SUCS	Esfuerzos totales		Densidad seca (g/cm ³)
					c (kg/cm ²)	ø (°)	
Km 26+920	C-2	M-1	0,00-2,50	ML	0,1	21,4	1,69

Fuente: Propia

2.8.6.4. Determinación de los parámetros geotécnicos. Finalmente se hallan los parámetros geotécnicos del talud como se resume en la siguiente tabla 9:

Tabla 9

Parámetros geotécnicos de los taludes de suelo

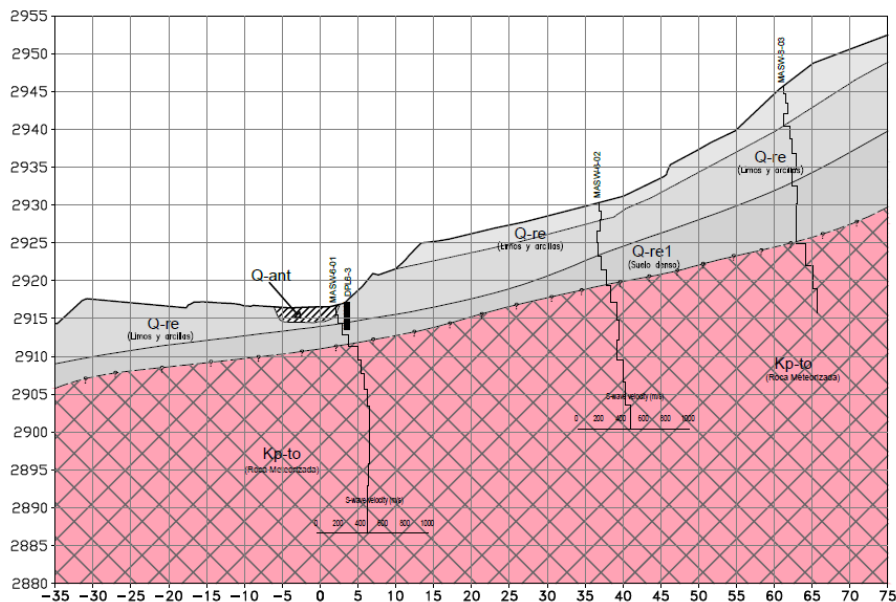
Ubicación	Material	Densidad (gr/cm³)	Cohesión (Kg/cm²)	Angulo de fricción (°)
Km 26+900 y 26+970	Suelo residual (ML)	1,69	0,1	21,4
	Suelo residual (CL)	1,59	0,2	23

Fuente: Propia

2.8.6.5. Determinación del perfil estratigráfico del talud a estabilizar - PERFIL KM 26+970. En el perfil, de acuerdo con las investigaciones se han identificado 4 estratos, El primer estrato denominado deposito antrópico que consiste en parte de la vía existente tiene un espesor que varía entre 1,40 a 1,90 m de profundidad,; El segundo estrato tiene un espesor que varía entre 5,00 a 7,30 m de profundidad, conformado por una capa de depósitos residuales (Q-re) cuya granulometría está conformada por limos y arcillas; El tercer estrato tiene un espesor inferido que varía entre 3,00 a 6,00 m de profundidad, conformado por una capa de depósitos residuales 1 (Q-re1) cuya granulometría está conformada por un suelo denso; y finalmente, el cuarto estrato correspondiente a la roca intrusiva: tonalitas-granodioritas fracturadas y meteorizadas, se encuentra en profundidades inferidas mayores a 12 metros desde superficie. Ver figura 12.

Figura 12

Perfil estratigráfico km 26+970



Fuente: Propia

2.8.6.6. Análisis de estabilidad. El análisis de estabilidad del talud evaluado, fue analizado considerando la sección más crítica, desde el punto de vista geotécnico y de la conformación de los materiales.

El análisis de estabilidad se desarrolló en la sección representativa y se analizó bajo la carga estática y sísmica.

A. Metodología de análisis. Para el análisis de estabilidad, se utilizará el programa de cómputo SLIDE (Rocscience, 2006) versión 6, este programa está completamente integrado, permite desarrollar la geometría del talud interactivamente y definir los tipos y propiedades de los materiales del modelo geotécnico.

El análisis se lleva a cabo en forma bi-dimensional usando el concepto de equilibrio límite, aproximando el modelo a un estado de deformación plana para calcular el factor de seguridad, El programa tiene la opción de utilizar diferentes métodos de análisis de estabilidad

de manera simultánea, Para el presente análisis se ha utilizado el Método de Spencer de dovelas en el cálculo de superficies de falla, La superficie de falla crítica, definida como aquella que proporciona el menor factor de seguridad, fue encontrada en forma interactiva modificando las condiciones de búsqueda de la misma, evaluándose superficies de falla circular y aleatoria.

Como hipótesis del análisis se considera que las propiedades de los materiales que conforman las diferentes estructuras analizadas, son homogéneas e isotrópicas y que el colapso se produciría como resultado de fallas simultáneas a lo largo de la superficie de deslizamiento, Cada material tiene sus propiedades, características físicas y mecánicas.

B. Criterios y condiciones de análisis. Los criterios de diseño establecidos para el análisis de estabilidad, deberá cumplir con el factor de seguridad mínimo del talud el cual deberá ser 1.5 para solicitaciones estáticas y 1.25 para solicitaciones sísmicas, tal como indica la Norma Técnica CE.020 (2012) Lo mencionado se aprecia en la tabla 10:

Tabla 10

Coefficiente de seguridad a emplear en el análisis de estabilidad de taludes

Condición	Criterio de Seguridad
Condiciones Estático	FS = 1,5
Sísmico sobre Condiciones Pseudo estáticas	FS = 1,25

Fuente: Norma Técnica CE.020 (2012)

Se tomarán en cuenta las siguientes condiciones de análisis:

Materiales, los parámetros de resistencia seleccionados, se basan en observaciones "in-situ", resultados de ensayos de laboratorio y experiencia del investigador con materiales similares, La tabla 9 muestra un resumen de los parámetros de resistencia utilizados en los análisis de estabilidad,

En la evaluación de la estabilidad, se aplicó la superficie de falla tipo circular; estática y pseudoestática,

C. Estudio de riesgo sísmico. A partir de estudios de los principales eventos sísmicos ocurridos en el Perú, presentado por Silgado (1978), se realiza el mapa de zonas sísmicas en función a las intensidades máximas observadas en nuestro territorio, basados en isosistas de sismos peruanos y datos de magnitud de sismos recientes e históricos.

CI. Zonificación. El Perú está comprendido como una de las regiones de más alta actividad sísmica, debido a que forma parte de una de las zonas sísmicas más activas del mundo. Dentro del territorio peruano se ha establecido diversas zonas sísmicas las cuales presentan diferentes características de acuerdo a la mayor o menor presencia de los sismos. En la Norma Sismorresistente E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones, se presenta el Mapa de Zonificación Sísmica. Ver figura 13.

Figura 13*Zonas Sísmicas*

Fuente: RNE. E.030 Diseño Sismorresistente, 2018.

La zona de estudio se localiza en la zona 2, el cual presenta una sismicidad de intensidad baja.

Tabla 11*Factores de zona "Z"*

Zona	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

Fuente: RNE. E.030 Diseño Sismorresistente, 2018.

Según la zona en la que se encuentra ubicado el proyecto, le corresponde un factor de zona $Z = 0,25$.

C2. Perfiles de suelo. Según la Norma Sismorresistente E.030 existen 5 tipos de perfiles de suelos que se clasifican según la velocidad promedio de propagación de ondas de corte (\bar{V}_s), por el promedio ponderado de \bar{N}_{60} (obtenido del ensayo SPT) o por el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada (\bar{S}_u).

Tabla 12

Clasificación de los perfiles de suelo

Perfil	Denominación del suelo	\bar{V}_s	\bar{N}_{60}	\bar{S}_u
S_0	Roca dura	> 1500 m/s	-	-
S_1	Roca o suelos muy rígidos	500 m/s a 1500 m/s	> 50	> 100 kPa
S_2	Suelos intermedios	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S_3	Suelos blandos	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S_4	Condiciones excepcionales	Clasificación basada en el EMS		

Fuente: RNE. E.030 Diseño Sismorresistente, 2018.

A lo largo de la carretera Huánuco - Huallanca se realizaron ensayos geofísicos como el del MASW, del cual se obtienen los valores de velocidad promedio de propagación de onda de corte (\bar{V}_s).

Para el presente tramo inestable del km 26+900 al km 26+990, el valor de $\bar{V}_s = 388$ m/s. Por lo tanto, según la Tabla 12 la denominación del perfil del suelo es: suelo intermedio (S2).

C3. Parámetros de sitio. Según la zonificación y perfiles de suelo analizados en los ítems anteriores, se obtiene el valor de factor amplificación de suelo (s) con ayuda de la siguiente Tabla 13:

Tabla 13

Factor de suelo "S"

SUELO ZONA	S₀	S₁	S₂	S₃
Z ₄	0,80	1,00	1,05	1,10
Z ₃	0,80	1,00	1,15	1,20
Z ₂	0,80	1,00	1,20	1,40
Z ₁	0,80	1,00	1,60	2,00

Fuente: RNE. E.030 Diseño Sismorresistente, 2018.

Asimismo, se calcula los periodos T_p y T_L en función al perfil del suelo del subtramo inestable (Ver Tabla 14).

Tabla 14

Periodos “ T_p ” y “ T_L ”

	Perfil de suelo			
	S_0	S_1	S_2	S_3
T_p (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T_L (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

Fuente: RNE. E.030 Diseño Sismorresistente, 2018.

Nota: T_p (s): Período que define la plataforma del factor de amplificación sísmica (C).

Finalmente, en la siguiente Tabla 15 se presenta los parámetros de sitio correspondientes a la zona de estudio.

Tabla 15

Parámetros de sitio

Tramo inestable	Zona (Z)	Factor de suelo (S)	Periodo “ T_p ”	Periodo “ T_L ”
Km 26+900 – km 26+990	0,25	1,20	0,6	2,0

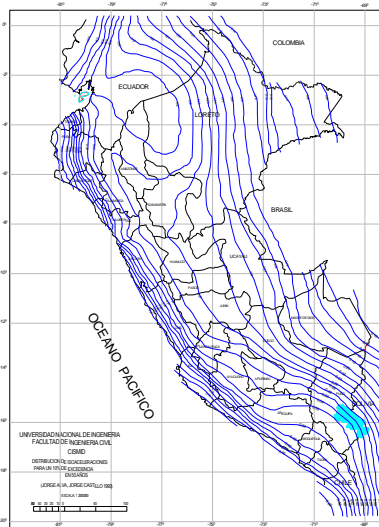
Fuente: RNE. E.030 Diseño Sismorresistente, 2018.

Según el mapa de ISO-aceleraciones del CISMID – UNI (Figura 14), la máxima aceleración presentada con una excedencia de 10% para un periodo de retorno en 50 años es de 0,24g, así también según el mapa de intensidades sísmicas, entonces para el análisis se utiliza

1/2 del periodo de retorno total siendo 0,12g. Ver figuras 14 y 15, el proyecto se encuentra entre las zonas de intensidad V y VI.

Figura 14

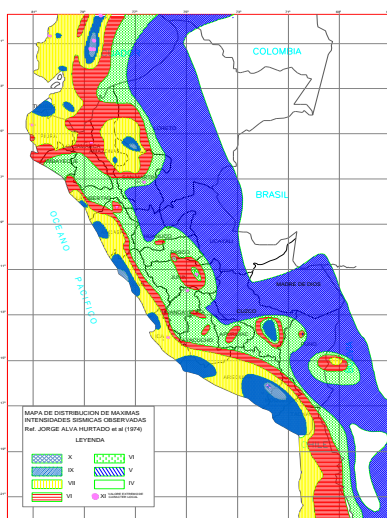
Mapa de Isoaceleraciones



Fuente: CISMID - UNI.

Figura 15

Mapa de Intensidades Sísmicas



Fuente: Alva Hurtado (1984).

Por lo tanto, para el análisis pseudo - estático, el coeficiente sísmico horizontal utilizado es de 0,14g.

D. Evaluación de estabilidad en estado natural. Se realizó el análisis de estabilidad de la sección elegida en estado natural teniendo resultados desfavorables. Ver Tabla 16 y Figura 16.

Tabla 16

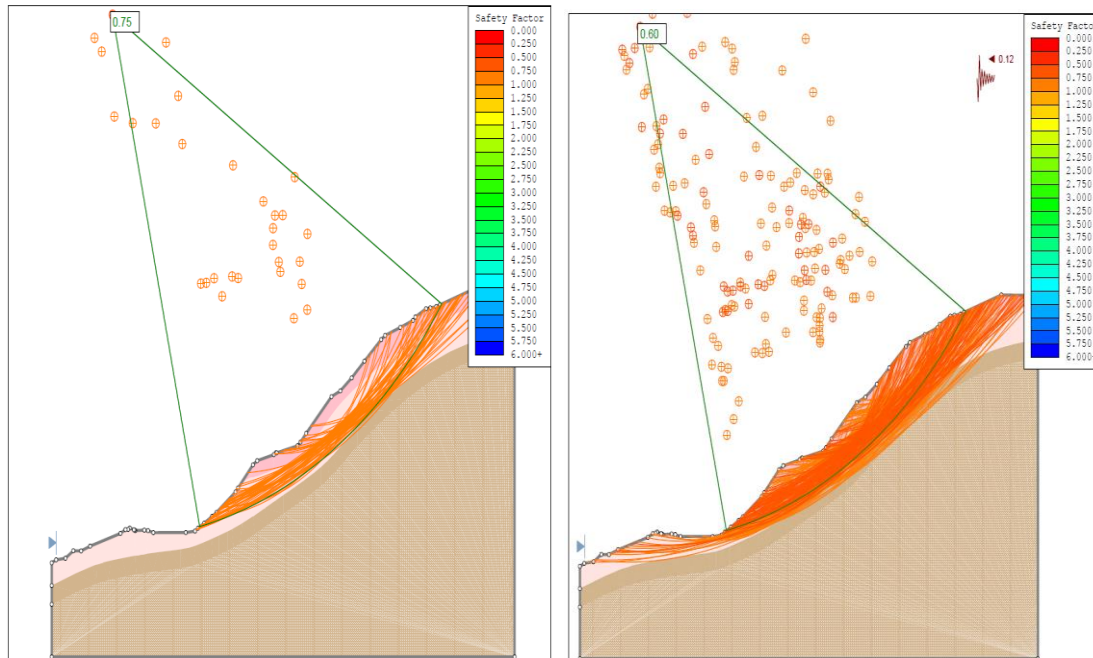
Resumen de resultados de factor de seguridad antes del corte

Sección analizada	Condición	Factor de Seguridad (FS)		Descripción Geométrica	Conclusiones y Recomendaciones
		Estático	Pseudo- estático		
26+900	Actual	0,75	0,60	Presenta un ángulo de talud 1H:2V	Presenta valores de estabilidad por debajo del límite de equilibrio.

Fuente: Propia.

Figura 16

Cálculo de factor de seguridad estático y pseudoestático



Fuente: Propia.

Este sector está siendo afectado por un conjunto de eventos de deslizamiento y reptación en el talud superior de un gran volumen de material, se plantea el sostenimiento con muro tipo paraguas desde el Km 26+885 al Km 27+000.

D1. Evaluación de estabilidad con sostenimiento sistema muro paraguas. De acuerdo a la evaluación realizada en el sector inestable Km 26+900, descrita en el ítem anterior, se evidencia la pérdida de estabilidad con un deslizamiento y la reptación de material en el talud superior, cuyo factor de seguridad de 0,75 y 0,60.

Para mejorar este factor de seguridad y minimizar las probabilidades de otro evento, se realizó el análisis de estabilidad colocando muro tipo paraguas Km 26+885 al Km 27+000, para nuestro análisis seguiremos usando la sección más desfavorable que es el km 26+900, lo cual se resumen a continuación en la tabla 17:

Tabla 17

Resultados del análisis de estabilidad

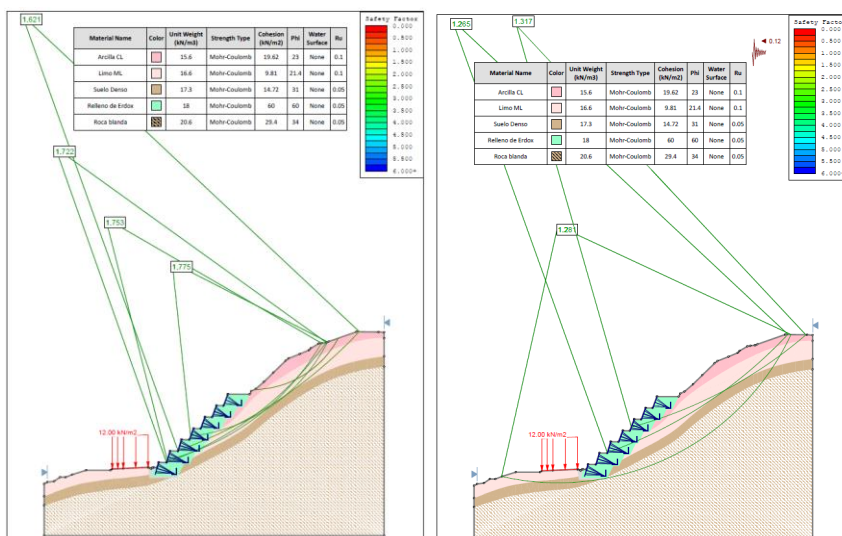
Sección analizada	Factor de Seguridad (FS)		Conclusiones
	Estático	Pseudo- estático	
26+900	1,62	1,28	Con el sostenimiento muro tipo paraguas, el talud presenta valores de estabilidad aceptables

Fuente: Propia.

La figura 17 presenta un esquema del talud estabilizado con muro Paraguas en el sector:

Figura 17

Cálculo de factor de seguridad estático y pseudoestático de talud estabilizado con Muro tipo paraguas



Fuente: Propia

D2. Evaluación de estabilidad con sostenimiento sistema muro de suelo reforzado.

Para nuestro análisis comparativo seguiremos usando la sección más desfavorable que es el km 26+900, lo cual analizaremos con muro de suelo reforzado como sistema de estabilidad de talud, la factibilidad del muro de suelo reforzado en un talud superior esta dado en proyectar alturas máximas a 7.0 m a fin de que la longitud de empotramiento no supere los 7.0 m. Alturas superior obligaría a realizar muros complejos con longitud de refuerzo elevadas traducidas en un mayor corte e invasión del talud actual. El muro proyectado tiene una altura de 7.00 y taludes con altura de 7.00 y pendiente H:V=1:1. Con esta configuración se presenta problemas de inestabilidad en el sector dado que no se supera los factores de seguridad mínimos. Con esta alternativa se logra un factor seguridad estático de $FS=0.90$ y un factor en condición pseudoestática de $FS=0.73$.

A fin de lograr una estabilidad del sector, considerando el muro proyectado, se deben proyectar un banqueteo con altura de $h=4.00$, conservando la misma pendiente. El corte obligaría a ingresar a través de tres estratos y quedar muy próximo al macizo rocoso. Con esta modificación se logra un fator seguridad estático de $FS=1.59$ y un factor en condición pseudoestática de $FS=1.27$.

Los resultados se resumen a continuación en la tabla 18:

Tabla 18*Resultados del análisis de estabilidad con MSR*

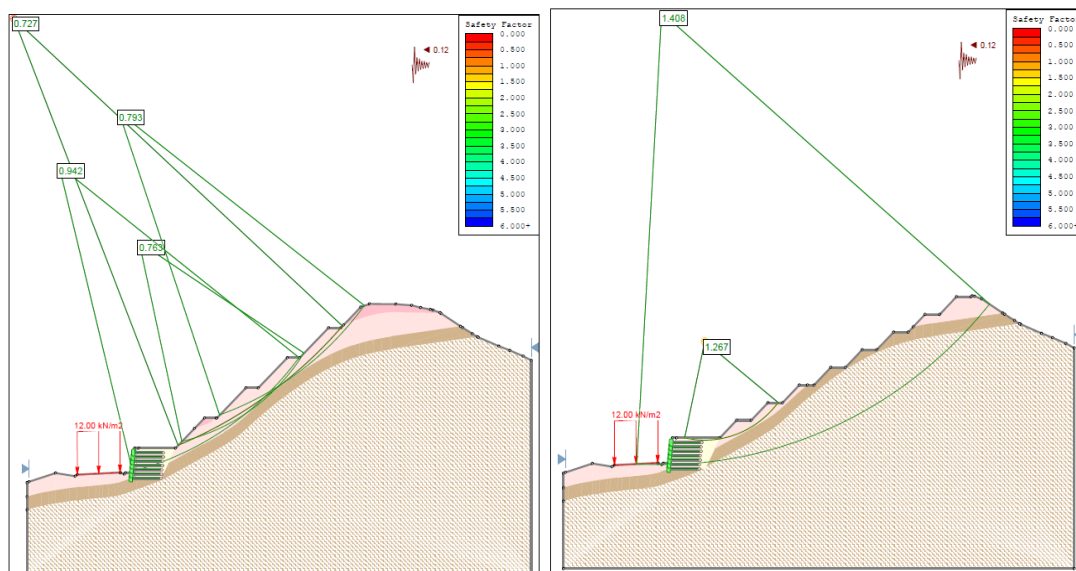
Sección analizada	Factor de Seguridad (FS)		Configuración del corte en talud	Conclusiones
	Estático	Pseudo- estático		
26+900	0,90	0,73	El muro proyectado tiene una altura de 7.00 y taludes con altura de 7.00 y pendiente H:V=1:1.	Con el sostenimiento muro de suelo reforzado, el talud presenta valores de estabilidad no aceptables
26+900	1,59	1,27	El muro proyectado tiene una altura de 7.00 y taludes con altura de 4.00 y pendiente H:V=1:1.	Con el sostenimiento muro de suelo reforzado, el talud presenta valores de estabilidad aceptables

Fuente: Propia

La figura 18 presenta un esquema del talud estabilizado con muro de suelo reforzado en el sector:

Figura 18

Cálculo de factor de seguridad de talud estabilizado con MSR



Fuente: Propia

E. Costos Muro Paraguas. El ahorro en el costo se debe fundamentalmente a que no es necesario traer material de relleno de otros lugares o zona de acopio de material granular lejanos al lugar de la obra, lo cual ahorra costos por transporte de material. Además, en una reducción al impacto ambiental que se pueda generar durante el proyecto, ya que se reduciría el traslado de maquinarias o equipos que generan gases contaminantes.

Otro ahorro económico con este sistema es en la reducción de horas hombre y horas máquina que serán necesario para ejecutar el proyecto.

A continuación, se presentan ejemplos con tablas de los costos detallados que implican cada tipo de sistema de estabilización de taludes analizado en esta investigación, para luego comparar las principales partidas a tener en cuenta para observar con mayor detalle las similitudes y diferencias que pueda presentar cada sistema. Además, posteriormente, se comparará el tiempo de ejecución al utilizar cada alternativa propuesta.

Tabla 19

Costos con MSR

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	METRADO	P.U.	MONTO (US\$)
100	OBRAS PROVISIONALES				
101	TOPOGRAFÍA Y GEOREFENCIACIÓN	km	0.01	644.51	3.22
102	MANTENIMIENTO DE TRÁNSITO Y SEGURIDAD VIAL	mes	3.00	9,543.21	28,629.63
200	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
201A	DESBROCE Y LIMPIEZA EN BOSQUE	ha	0.04	2,270.11	98.75
202A	EXCAVACIÓN DE MATERIAL SUELTO	m3	1,760.96	2.56	4,508.06
203	CONFORMACIÓN DE SUB-RASANTE	m3	58.00	0.68	39.44
205	CONFORMACIÓN DE TERRAPLENES CON MATERIAL PROPIO	m3	58.00	2.93	169.94
500	OBRAS DE ARTE Y DRENAJE				
505A	RELLENO PARA SUELO REFORZADO (TERRAMESH)	m3	2,405.23	18.81	45,242.38
543B	GEOTEXTIL NO TEJIDO CLASE II	m2	450.28	1.97	887.05
	TUBERÍA FLEXIBLE PERFORADA	m	22.05	9.43	207.93
	SUBDRENAJE TIPO IV	ml	96.46	18.67	1,800.91
	GEOMALLA WG 200	m2	455.70	4.38	1,995.97
	GEOMALLA WG 120	m2	303.80	4.11	1,248.62
	TERRAMESH 1 x 1 x 4 MALLA DE 10 x 12 d = 2.7 mm (ZN + AL + TBC)	und	152.00	120.68	18,343.36
	TERRAMESH 0.50 x 1 x 4 MALLA DE 10 x 12 d = 2.7 mm	und	130.00	160.78	20,901.40
570	GEOCOMPUESTO PARA DRENAJE 11 mm	m2	99.00	13.11	1,297.89
571	GEOMANTA MACMAT L 2 x 30	m2	213.14	7.64	1,628.39
	ACONDICIONAMIENTO DE MATERIAL EN DME	m3	1,760.96	0.94	1,655.30
	TRANSPORTES				
	TRANSPORTE DE MAT GRANULAR MENOR A 1 km	m3.km	2,364.85	1.97	4,658.75
	TRANSPORTE DE MAT GRANULAR MAYOR A 1 km	m3.km	257,312.96	0.67	172,399.68
	TRANSPORTE DE MAT EXCEDENTE MENOR A 1 km	m3.km	1,549.64	1.97	3,052.79
	TRANSPORTE DE MAT EXCEDENTE MAYOR A 1 km	m3.km	1,685.23	0.67	1,129.10
				TOTAL	309,898.57

Fuente: Odebrecht

Tabla 20

Costos con Muro Paraguas

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	METRADO	P.U.	MONTO (US\$)
100	OBRAS PROVISIONALES				
101	TOPOGRAFÍA Y GEOREFENCIACIÓN	km	0.01	644.51	3.22
102	MANTENIMIENTO DE TRÁNSITO Y SEGURIDAD VIAL	mes	1.00	9,543.21	9,543.21
200	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
201A	DESBROCE Y LIMPIEZA EN BOSQUE	ha	0.04	2,270.11	98.75
202A	EXCAVACIÓN DE MATERIAL SUELTO	m3	1,753.10	2.56	4,487.94
203	CONFORMACIÓN DE SUB-RASANTE	m3	58.00	0.68	39.44
205	CONFORMACIÓN DE TERRAPLENES CON MATERIAL PROPIO	m3	58.00	2.93	169.94
500	OBRAS DE ARTE Y DRENAJE				
	ELEMENTO ERDOX (INCLUYE PLACA DE APOYO)	und	21.00	2,675.73	56,190.33
	CAMA DE GRAVA DEBADO SISTEMA ERDOX (2 x 2 x 0.5) (PEDRAPLEN)	m3	17.00	5.18	88.06
	RELLENO PARA SISTEMA ERDOX (RELLENO PARA ESTRUCTURAS)	m3	1,390.54	11.65	16,199.79
543B	GEOTEXTIL NO TEJIDO CLASE II	m2	235.12	1.97	463.19
	TUBERÍA FLEXIBLE PERFORADA	m	22.05	9.43	207.93
	SUBDRENAJE TIPO IV	ml	96.46	18.67	1,800.91
570	GEOCOMPUESTO PARA DRENAJE 11 mm	m2	99.00	13.11	1,297.89
	PIEDRA ACOMODADA (ENROCADO d = 0.60 m)	m2	10.00	12.63	126.30
	CABEZAL DE SALIDA DE SUB DREN (CONCRETO 140 kg/cm2)	m3	0.40	100.04	40.02
	ENCOFRADO CAB. SALIDA	m2	2.80	17.34	48.55
571	GEOMANTA MACMAT L 2 x 30	m2	213.14	7.64	1,628.39
	ACONDICIONAMIENTO DE MATERIAL EN DME	m3	362.56	0.94	340.81
	TRANSPORTES				
	TRANSPORTE DE MAT EXCEDENTE MENOR A 1 km	m3.km	319.05	1.97	628.53
	TRANSPORTE DE MAT EXCEDENTE MAYOR A 1 km	m3.km	346.97	0.67	232.47
				TOTAL	93,635.66

Fuente: Odebrecht

Como se puede observar, el costo total del sistema muro paraguas es el más económico y por lo tanto conveniente para estabilizar este talud, el costo de este sistema es 93,635.66 US \$, el cual es mucho menor que el costo del sistema muro de suelo reforzado (309,898.57 US \$, es decir, más del 330% comparado con el sistema muro paraguas).

Para la presente investigación se realizó la cotización respectiva para cada solución propuesta en la estabilización del talud del sector km 26+900 al 26+990 de la carretera Huánuco – Huallanca, obteniendo lo siguiente:

Tabla 21

Costos con MSR

Presupuesto					
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio \$/.	Parcial \$/.
01	Sector Inestable (Km 26+900 - 26+990)				2,845,890.16
01.02	Movimiento de Tierras				1,581,852.50
01.02.2001	Excavación no clasificada para estructuras	m3	8,810.00	11.85	102,636.50
01.02.2002	Relleno compactado con material de préstamo - masivo	m3	8,810.00	91.22	803,648.20
01.02.2003	Eliminación de material excedente	m3	25580.00	26.41	675,567.80
01.03	Obras de Arte				1,080,941.40
01.03.2001	Elemento muro de suelo reforzado	m3	1260.00	831.34	1,047,488.40
01.03.2002	Geotextil no Tejido Clase 2	m2	1260.00	10.15	12,789.00
	Gromalla	m2	2520.00	4.38	11,037.60
	Geomanta	m2	1260.00	7.64	9,626.40
01.04	Elementos de Drenaje				183,056.26
01.04.2002	Geocompuesto de Drenaje 6"	m	360.00	466.34	167,882.40
01.04.2003	Tramo de Descarga 6"	und	100.00	132.84	13,284.00
01.04.2004	Cabezal de Descarga	und	1.00	759.50	759.50
01.04.2006	Piedra 4" Asentada sobre Concreto 175 kg/cm2 (e=0.15 m)	m2	13.50	83.73	1,130.36
	Costo Directo				2,845,890.16

Fuente: Maccaferri

Tabla 22

Costos con Muro Paraguas

PRESUPUESTO REFERENCIAL						
PROYECTO :			SECTOR INTERVENIDO: Km 28+900 - km 28+990			
UBICACIÓN :						
Código	Descripción Recurso	Unidad	Nº Estructuras	Cant. unitaria	Precio PEN	Parcial PEN
Materiales (Sistema Muro Paraguas)						
665 F	MURO PARAGUAS MODELO REFORZADO HEB 120 - TIRANTE 5.00 m.	u	100.0000	1.00	11,547.10	1,154,709.55
665 F	MURO PARAGUAS MODELO REFORZADO HEB 120 - TIRANTE 4.00 m.	u	120.0000	1.00	11,547.10	1,385,651.46
665 I	MURO PARAGUAS MODELO REFORZADO HEB 120 - CIERRE 90°	u	6.0000	1.00	10,455.60	62,733.57
	GEOTEXTIL NO TEJIDO CLASE 1 - ADICIONAL DETRAS DEL PANEL FRONTAL	m2	279.00	15.02	4.64	19,437.82
	GEOMANTO DE POLIPROPILENO - ADICIONAL DETRAS DEL PANEL FRONTAL	m2	279.00	15.02	10.94	45,829.68
	DREN FRANCÉS CON OVER L70xH80 cm. - AL PIE ESTRUCTURA	m3	744.0000	0.56	45.07	18,777.96
	DREN FRANCÉS CON OVER L70xH80 cm. - POR DETRÁS DE LA PLACA	m3	248.0000	0.56	45.07	6,259.32
	CAMA DE GRAVA - PIEDRAS SOBRE EL MEJORAMIENTO	m3	40.0000	3.83	60.00	9,180.00
	CAMA DE GRAVA - PIEDRAS POR DEBAJO DE LAS ESTRUCTURAS - TIRANTE 5.00 m.	m3	80.0000	1.97	60.00	9,432.00
	CAMA DE GRAVA - PIEDRAS POR DEBAJO DE LAS ESTRUCTURAS - TIRANTE 4.00 m.	m3	80.0000	1.67	60.00	7,992.00
	CAPA DE GRAVA - PIEDRAS POR DEBAJO DE LAS PLACAS	m3	80.0000	1.28	60.00	6,144.00
	MEJORAMIENTO DE FUNDACIÓN	m3	40.0000	4.15	25.00	4,150.00
	GEODRÉN PARA ERDOX	m2	248.0000	3.35	30.00	24,924.00
	GEOTEXTIL NO TEJIDO CLASE 1 - SEPARACION HORIZONTAL - TIRANTE 5.00 m.	m2	80.00	23.19	4.64	8,607.39
	GEOTEXTIL NO TEJIDO CLASE 1 - SEPARACION HORIZONTAL - TIRANTE 4.00 m.	m2	80.00	19.78	10.94	17,309.71
	GEOMEMBRANA	m2	0.00	9.00	4.64	0.00
	SUBDREN POR DEBAJO DE LA CUNETA					
	GEOMANTO DE POLIPROPILENO - EN LOS TALUDES					
	CUNETAS					
						2,755,221.37
	Relleno para estructuras					
	RELLENO PARA MURO TIPO PARAGUAS CON MATERIAL PROPIO COMPACTADO	m3				0.00
	RELLENO PARA MURO TIPO PARAGUAS CON MATERIAL GRANULAR GRUESO	m3				0.00
						0.00
	Corte de talud in situ					
	CORTE PARA COLOCACION ESTRUCTURAS	m3	0.0000	0.00	0.00	0.00
						0.00
						Costo directo Total - USD \$/ 2,755,221.37
						Costo Por cada Erdox - USD \$/ 10,186.87

Fuente: Betonform

Como se puede observar, el costo total del sistema muro paraguas es el más económico y por lo tanto conveniente para estabilizar este talud, el costo de este sistema es S./ 2,755,221.37, el cual es mucho menor que el costo del sistema de muro de suelo reforzado (S./2,845,850.16, es decir, más del 3.30% comparado con el muro paraguas).

2.9 Resultados

A continuación, se presentará los resultados hallados para cada sistema de estabilización analizado en esta investigación:

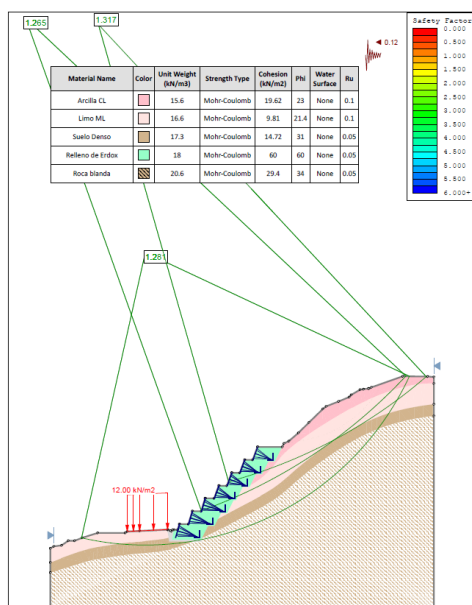
2.9.1. Muro paraguas

- Se plantea la alternativa de muro paraguas dado que tiene una mayor resistencia que un muro de gavión.

- La factibilidad del muro paraguas en un talud superior esta dado en proyectar alturas máximas a 3.3 m y una longitud de empotramiento de 7.0 m. Alturas superior obligaría a realizar 7 niveles de muros.
- El muro proyectado tiene 7 niveles de altura de 3.30 cada una. Con esta configuración ya no se presenta problemas de inestabilidad en el sector dado que superara los factores de seguridad mínimos.
- Con esta alternativa se logra un factor seguridad estático de $FS=1.62$ y un factor en condición pseudoestática de $FS=1.28$.
- La viabilidad del muro paraguas va de la mano con garantizar taludes superiores estables sin generar taludes que no demanden un corte excesivo.

Figura 19

Cálculo de factor de seguridad de talud estabilizado con MP



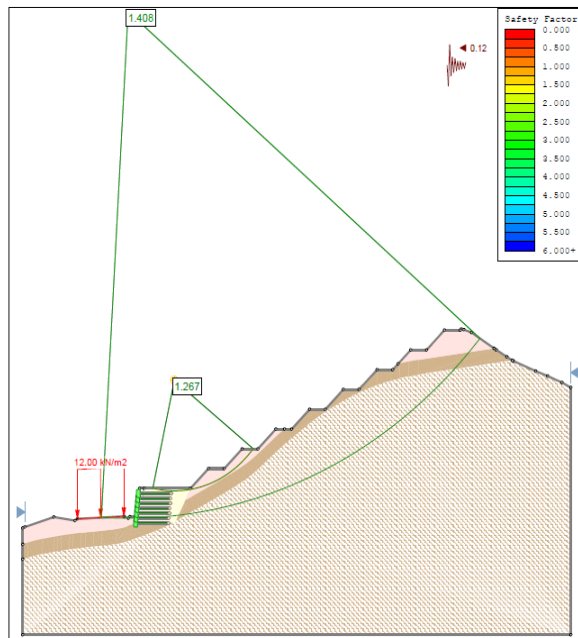
Fuente: Propia

2.9.2. Muro suelo reforzado con un nivel con empotramiento mínimo

- Se plantea la alternativa de muro de suelo reforzado dado que tiene una mayor resistencia que un muro de gavión.
- La factibilidad del muro de suelo reforzado en un talud superior esta dado en proyectar alturas máximas a 7.0 m a fin de que la longitud de empotramiento no supere los 7.0 m. Alturas superior obligaría a realizar muros complejos con longitud de refuerzo elevadas traducidas en un mayor corte e invasión del talud actual
- El muro proyectado tiene una altura de 7.00 y taludes con altura de 7.00 y pendiente $H:V=1:1$. Con esta configuración se presenta problemas de inestabilidad en el sector dado que no se superan los factores de seguridad mínimos.
- Con esta alternativa se logra un factor seguridad estático de $FS=0.90$ y un factor en condición pseudoestática de $FS=0.73$.
- A fin de lograr una estabilidad del sector, considerando el muro proyectado, se deben proyectar un banqueteo con altura de $h=4.00$, conservando la misma pendiente. El corte obligaría a ingresar a través de tres estratos y quedar muy próximo al macizo rocoso. Con esta modificación se logra un factor seguridad estático de $FS=1.59$ y un factor en condición pseudoestática de $FS=1.27$.
- La viabilidad del muro de suelo reforzado va de la mano con garantizar taludes superiores estables sin generar taludes que no demanden un corte excesivo.
- Por último, proyectar un muro a nivel superficial, considerando los problemas de inestabilidad global que presenta el sector crítico, podría generar la ocurrencia de fallas por debajo de los muros.

Figura 20

Cálculo de factor de seguridad de talud estabilizado con MSR 1 nivel



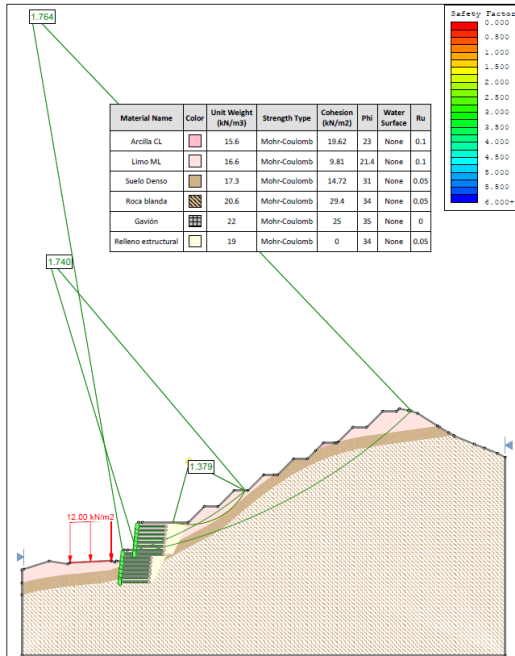
Fuente: Propia

2.9.2. Muro suelo reforzado con un nivel dos niveles

- Se plantea una segunda alternativa con muro de suelo reforzado con dos niveles a fin de poder empotrar adecuadamente el muro sobre un estrato firme y para no perder altura efectiva del muro.
- Al igual que la alternativa de muros de suelo reforzado anterior, se requiere banquetas con una altura de 4.00 y pendiente H:V=1:1 para lograr factores de seguridad adecuados.
- Con esta alternativa se logra un factor seguridad estático de FS=1.38 y un factor en condición pseudoestática de FS=1.10.
- A fin de lograr una estabilidad del sector, el corte obligaría a ingresar a través de tres estratos y quedar muy próximo al macizo rocoso.

Figura 21

Cálculo de factor de seguridad de talud estabilizado con MSR 2 niveles



Fuente: Propia

2.10 Discusión de resultados

En general, la solución planteada en este sector debe cumplir con los siguientes requisitos su seguridad y factibilidad:

- Debe estar empotrada sobre un estrato firme. Lo cual hemos logrado en cada sistema planteado en esta investigación.
- El sostenimiento debe estar presente a lo largo del talud a fin de mitigar no solo la falla global, sino las fallas intermedias y compuestas a lo largo del talud. Lo cual fue mitigado con cada sistema planteada en esta investigación, pero con el sistema de muro de suelo reforzado se tuvo que realizar mayores cortes en el talud superior generando mayor movimiento de tierra.

- En lo posible, debe ser capaz de reutilizar el material del corte realizado. Para este punto se debe tener en cuenta mucho el sistema de muro paraguas debido a que este sistema puede reutilizar el material cortado en el talud sea cual sea el material extraído para esta investigación se determinó materiales finos como limos y arcillas, estos materiales se podrían reutilizar con el sistema muro paraguas. Mientras que para el sistema de suelo reforzado no sería factible utilizar este tipo de suelo debido a que sus especificaciones no indica de usar un material con cierta gradación, lo cual sería un limitante en algunas zonas de nuestro Perú, donde no se cuentan con canteras con material para ser usados en el MSR y de hallarse se encuentran alejadas del proyecto, generando mayores movimientos de tierra.
- Debe contribuir con generar taludes superiores estables, sin generar cortes masivos. Para este punto es notorio que ambos sistemas analizados generaron taludes superiores estables, pero el MSR genera cortes masivos.
- El presupuesto para el proyecto de estabilización del talud tuvo una disminución del 3.3% usando el sistema de muro paraguas para la solución en vez del sistema de suelo reforzado. Si bien la disminución en este caso es mínima, se tiene investigaciones anteriores donde la disminución del costo es considerable (como se mostró en un ejemplo mencionado), lo cual nos indica que en referencia a costo sigue siendo menor que el sistema convencional que se usa actualmente. No quiere decir que para todos los casos posibles sea igual ya que cada proyecto no es igual y tiene complejidades diferentes, por lo cual se recomienda seguir realizando investigaciones sobre este nuevo sistema para estabilización de taludes.

III. APORTES MAS DESTACABLES A LA EMPRESA

Con el informe de suficiencia profesional, se plantea una metodología no convencional viable que permite la estabilización de taludes y dando mejores resultados en comparación con una metodología convencional, proyectando así una intervención optima tanto en seguridad y costo.

Consideró como aporte más destacado la implementación de nuevas tecnologías para la estabilización de taludes como lo es el sistema muro paraguas, sistema que permite la reutilización del material de corte, en función de los alcances y limitaciones que tuvo el proyecto. Asimismo, cabe indicar los siguientes beneficios para el proyecto.

- Se cumplió con las metas del proyecto sin generar perjuicios en el comportamiento estructural de los taludes.
- La implementación del sistema muro paraguas favorece en la adecuada reutilización del material de corte, con ello se reduce el movimiento de tierra.
- El presupuesto para el proyecto de estabilización del talud tuvo una disminución del 3.3% usando el sistema de muro paraguas para la solución en vez del sistema de suelo reforzado.

IV. CONCLUSIONES

Con la investigación realizada. se concluye los siguientes resultados de las variables con sus dimensiones, que se muestra en la siguiente tabla:

Variable dependiente	Dimensión	Indicadores	Resultados
- Factor de seguridad	- Equilibrio - Inestable - Estable	- FS _{min} =1.5 - FS=1 - FS<1.5 - FS>1.5	- Factor de seguridad con el sistema muro paraguas es de 1.62 - Factor de seguridad con el sistema muro suelo reforzado es de 1.58
- Análisis de Costos	- Tipo de Intervención - Análisis de precios unitarios - Costo por Intervención	- Muro Paraguas - Muro de suelo reforzado	- Costo con el sistema muro paraguas es de S/. 2 755 221.37 - Costo con el sistema muro suelo reforzado es de S/. 2 845 850.16.
Variable Independiente	Dimensión	Indicadores	Resultados
- Sistema de estabilización de talud	- Muro Paraguas - Muro de suelo reforzado	- Características - Criterio de cálculo - Parámetros Geotécnicos	- El talud es Estable con el sistema muro paraguas con un valor de factor de seguridad mayor al mínimo aceptable - El talud es estable con el sistema muro de suelo reforzado con un factor de seguridad cercano al límite del mínimo aceptable

El sistema no convencional de muro paraguas incrementó el factor de seguridad en estabilidad en un 1.9% frente al sistema tradicional como es en este caso el muro de suelo reforzado.

El costo para la estabilidad del talud de la carretera en mención en este proyecto es menor en un 3.3% usando el sistema de muro paraguas frente a un sistema de suelo reforzado.

La estabilidad de los taludes está condicionada a la caracterización geotécnica del material y a las condiciones hipotéticas referidas para el análisis. La presente investigación permitió la optimización del factor de seguridad y costo de los taludes bajo las condiciones

explicadas en el capítulo de parámetros geotécnicos de los materiales, así como el factor de seguridad considerado mínimo según la normativa peruana y bajo criterio adoptado.

Se concluye que el tema del factor de seguridad puede ser mejorado en el caso de muro de suelo reforzado, pero se tendría que aumentar niveles de construcción lo cual incrementaría el costo del proyecto.

V. RECOMENDACIONES

Implementar el punto de partida de futuras investigaciones sobre el sistema de Muro Paraguas en estabilidad de taludes.

Es recomendable analizar cómo los cambios de los parámetros geotécnicos afectan en la estabilidad de los taludes, ya que las propiedades del suelo son variables.

El análisis cambiando los parámetros de los estratos que conforman el suelo según las obras ubicadas en diferentes zonas es materia de investigación para futuros proyectos de investigación.

Una mayor cantidad de datos permitirá obtener una correlación entre la influencia de la caracterización del material y la estabilidad del talud.

Se recomienda tener en cuenta que el factor de seguridad debe contemplar que la información del suelo gravoso no es exacta, sino referencial. La estabilidad de un talud está vinculada al interés económico y social de la obra.

Se debe tener en cuenta que los programas computacionales son sólo una herramienta, para la cual es importante tener criterio como ingenieros para poder evaluar una situación correctamente.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alonso Eduardo (2005). Métodos de equilibrio limite. Recuperado de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://deca.upc.edu/es/eldepartamento/secciones/itcg/docencia/asignaturas/geolquat/ejercicios/P2/analisis-estabilidad.
- Alva Hurtado (1984). Peligro Sísmico en el Perú. Recuperado de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis15_a.pdf.
- BETONFORM® (2014). Muro de Contención pre-armado ErdoX® - INFORME TÉCNICO SOBRE EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA. Recuperado de <https://dokumen.tips/documents/erdox-informe-sistema-2016.html>.
- Braja M. Das (2014). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. (4° ed.). México: Cengage Learning.
- CISMID. (2012). Mapa de suelos en la ciudad de Lima [Mapa]. Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-suelos-districtos-lima>.
- De Matteis, A. (2003). Geología y Geotecnia. Tema: Estabilidad de taludes (Trabajo de investigación, Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Cs. Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Rosario: Argentina). Recuperado de: <https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Estabilidad%20de%20Taludes.pdf>.
- Estaire, J y Olivenza, G (2013) Factores e seguridad en la estabilidad de taludes de acuerdo con el Eurocódigo EC-7 y el anejo nacional español. VIII Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, Palma de Mallorca, junio 2013.
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson Educación. Recuperado de <https://www.u->

[cursos.cl/usuario/c19094b1ea89f1f08e243796b671e2e5/mi_blog/r/Ingenieria Geologica - Gonzalez de Vallejo.pdf](https://cursos.cl/usuario/c19094b1ea89f1f08e243796b671e2e5/mi_blog/r/Ingenieria_Geologica_-_Gonzalez_de_Vallejo.pdf).

HITEC Terramesh (2002). Evaluation of the Maccaferri Terramesh System Retaining Wall. (1° ed.). EE.UU.: Amer Society of Civil Engineers.

INGEMMET (2011). DICCIONARIO GEOLOGICO. Recuperado de [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://biblioteca.ismm.edu.cu/wp-content/uploads/2017/06/Diccionario-geologico.pdf](https://biblioteca.ismm.edu.cu/wp-content/uploads/2017/06/Diccionario-geologico.pdf).

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2012). CE.020. Estabilización de suelos y taludes. Lima, Perú: Reglamento Nacional de Edificaciones.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). Norma E.050 Suelos y Cimentaciones. Lima, Perú: Reglamento Nacional de Edificaciones.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). Norma E.030 Diseño Sismo Resistente. Lima, Perú: Reglamento Nacional de Edificaciones.

Osinergmin (2017), RESOLUCIÓN DE GERENCIA DE SUPERVISIÓN MINERA ORGANISMO SUPERVISOR DE LA INVERSIÓN EN ENERGÍA Y MINERÍA. Recuperado de [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/Sanciones/2017/2791-2017-OS-GSM.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/Sanciones/2017/2791-2017-OS-GSM.pdf).

Pérez, E. (2005). *Estabilidad de Taludes*. Edición 2005. España: Universidad Politécnica de Cataluña. Recuperado de https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250339/2015/Tema5--Taludes.pdf.

Pérez, E. (2005). *Estabilidad de Taludes*. Edición 2005. España: Universidad Politécnica de Cataluña. Recuperado de https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250339/2015/Tema5--Taludes.pdf.

UPC COMMONS (s.f). *Metodología*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona (ETSECCPB). Barcelona: España. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6529/05.pdf?sequence=6&isAllowed=y>.

VII. ANEXOS

ANEXO A: Investigaciones Geotécnicas

ANEXO B: Ensayos de Laboratorio

ANEXO C: Análisis de Estabilidad

ANEXO D: Panel Fotográfico

ANEXO E: Planos

ANEXO A: Investigaciones Geotécnicas

REGISTRO DE EXCAVACIÓN				Calicata N°: C-1	
PROYECTO :		NORTE (m):	8906526	ESTE (m):	343162
UBICACIÓN :		ELEVACION (m)	: 2924		
METODO DE EXCAVACION : Calicata		NIVEL FREATICO (m)	: -		
FECHA DE EJECUCION : 10/09/2020		REGISTRADO POR	: Ing. J.Z.M.		

PROF. (m)	G R A F I C O	DESCRIPCION DEL SUELO <small>Clasificación técnica; color; contenido de humedad; índice de plasticidad; grado de compacidad/ consistencia; otros: presencia oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.</small>	Tipo de muestra	Numero de muestra	Ensayos insitu	COMENTARIOS
0.00		0.00 - 1.40 m: Limo arenoso de gris verdoso, humedad media, plasticidad baja y de compacidad densa	ML	S/M	-	Similar C6-2 M-1
1.00						
2.00		Roca fracturada	-	-	-	-
3.00						
4.00						
5.00						
6.00						
7.00						

OBSERVACIONES : Se encontró roca fracturada a 1.40 m de profundidad <hr/> <hr/>	Página 1/1
Nota: <hr/> <hr/> <hr/>	S/M : Sin Muestra RM : Roca Meterizada PV: Peso Volumetrico

		REGISTRO DE EXCAVACIÓN			Calicata N°: C-2	
PROYECTO :		NORTE (m): <u>8906516</u>		ESTE (m): <u>343183</u>		
UBICACIÓN :		ELEVACION (m) : <u>2922</u>		NIVEL FREÁTICO (m) : <u>-</u>		
MÉTODO DE EXCAVACIÓN : <u>Calicata</u>		REGISTRADO POR : <u>Ing. J.Z.M.</u>				
FECHA DE EJECUCIÓN : <u>10/09/2020</u>						
PROF. (m)	G R A F I C O	DESCRIPCIÓN DEL SUELO Clasificación técnica; color; contenido de humedad; índice de plasticidad; grado de compactación/ consistencia; otros: presencia oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.	Tipo de muestra	Numero de muestra	Ensayos in situ	COMENTARIOS
0.00		0.00 - 2.50 m: Limo arenoso de color amarillo pardusco, humedad alta, plasticidad media y de compactación densa	ML	M-1	Densidad de campo	Clasificación SUCS, Corte Directo
1.00						
2.00						
3.00						
4.00						
5.00						
OBSERVACIONES :						Página 1/1
Nota:						S/M : Sin Muestra RM : Roca Meterizada PV: Peso Volumetrico

REGISTRO DE EXCAVACIÓN							Calicata N°: C-3
PROYECTO :		NORTE (m): <u>8906580</u>		ESTE (m): <u>343156</u>			
UBICACIÓN :		ELEVACION (m) : <u>2932</u>		NIVEL FREÁTICO (m) : <u>-</u>			
MÉTODO DE EXCAVACIÓN : <u>Calicata</u>		REGISTRADO POR : <u>Ing. J.Z.M.</u>					
FECHA DE EJECUCIÓN : <u>10/09/2020</u>							
PROF. (m)	G R A F I C O	DESCRIPCIÓN DEL SUELO Clasificación técnica; color; contenido de humedad; índice de plasticidad; grado de compactad/ consistencia; otros: presencia oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.	Tipo de muestra	Numero de muestra	Ensayos a insitu	COMENTARIOS	
	0.00 - 0.20 m	0.00 - 0.20 m: TOP SOIL	-	S/M	-	-	
0.30 1.00 1.50	0.20 - 1.50 m	0.20 - 1.50 m: Arcilla arenosa de baja plasticidad de color marrón claro, ligeramente húmeda, de plasticidad baja y consistencia dura. Presencia de raíces	CL	S/M	-	Similar a C6-3 M-1	
2.00 2.50	1.50 - 2.50 m	1.50 - 2.50 m: Arcilla arenosa de color pardo claro, humedad alta, plasticidad baja y de consistencia media	CL	M-1	DPL	Clasificación SUCS	
3.00 3.50 4.00 4.50							
OBSERVACIONES :						Página 1/1	
Nota:						S/M : Sin Muestra RM : Roca Meterizada PV : Peso Volumetrico	

ENSAYO DE DENSIDAD IN-SITU METODO DE CONO DE ARENA (ASTM D 1556)						
Proyecto:						
Ensayado: Ing. J.Z.M.						
Ubicación: Huánuco						
Fecha: 09/09/2020						
Ubicación		km 26+920				
Calicata / Trinchera		Unidad	C-2			
Profundidad		m	2.50			
DENSIDAD DE CAMPO (ASTM - D1556)						
1	Peso Equipo + arena inicial	(g)	4500.00			
2	Peso Equipo + arena sobrante	(g)	470.00			
3	Peso arena empleada (1)-(2)	(g)	4030.00			
4	Peso arena en punta cono	(g)	1910.00			
5	Peso arena del hoyo (3)-(4)	(g)	2120.00			
6	Densidad arena calibrada	(g/cm ³)	1.44			
7	Volumen hoyo, (5)(6)	(cm ³)	1472.22			
8	Peso resipiente + suelo	(g)	2500.00			
9	Peso resipiente	(g)	14.00			
10	Peso suelo (8)-(9)	(g)	2486.00			
11	Densidad suelo humedo (10/7)	(g/cm ³)	1.69			
12	Contenido de humedad (ASTM - D2216)	(%)	21.0			
13	Densidad suelo seco (11)/(1+(12))	(g/cm ³)	1.33			

REGISTRO DE SONDAJE - DPL						
				SONDAJE : DPL-1		
PROYECTO :		REALIZADO : Ing. J.Z.M.				
UBICACIÓN :		PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 2.20				
COORDENADAS: NORTE (m): 8906526 ESTE (m): 343164		PROF. NIVEL FREATICO (m) : -				
		FECHA : 10/09/2020				
PROF. (m)	DESCRIPCION DEL SUELO	S U C S	CORRELACIONES		ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA LIGERA	
			N SPT	f (Kg/cm ²) suelo friccionante	c (Kg/cm ²) suelo cohesivo	N _{DPL} N° de golpes 10 cm
1.00	0.00 - 1.40 m: Arena limosa de color plomo y compacidad densa		4	23.9	0.15	
			6	26.0	0.23	
			9	28.4	0.23	
2.00		33	40.7	1.24		
3.00	Roca fracturada					
4.00						
5.00						
6.00						
7.00						
8.00						
OBSERVACIONES :						

REGISTRO DE SONDAJE - DPL							
PROYECTO :			SONDAJE : DPL-2				
UBICACIÓN :			REALIZADO : Ing. J.Z.M.				
COORDENADAS: NORTE (m): 8906517 ESTE (m): 343175			PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 7.40				
			PROF. NIVEL FREÁTICO (m) : -				
			FECHA : 10/09/2020				
PROF. (m)	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	S U C S	CORRELACIONES			ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA LIGERA N _{DPL} N° de golpes 10 cm	
			N SPT	● f suelo friccionante	c (Kg/cm ²) suelo cohesivo		
1.00	0.00 - 1.60 m: Arena limosa de color beige y compacidad densa		5	25.0	0.19		
			6	26.0	0.23		
2.00			6	26.0	0.23		
			7	26.8	0.26		
3.00			9	28.4	0.34		
			10	29.1	0.38		
4.00			7	26.8	0.26		
			9	28.4	0.34		
5.00			7	26.8	0.26		
			9	28.4	0.34		
6.00			11	29.8	0.41		
			17	33.4	0.64		
7.00			15	32.3	0.56		
			15	32.3	0.56		
8.00							
OBSERVACIONES :							
TELF: (511)-3969328 CEL: 995736540,949907123 E-Mail : telmoIngenieros@gmail.com							

REGISTRO DE SONDAJE - DPL						
			SONDAJE : DPL-3			
PROYECTO :			REALIZADO : Ing. J.Z.M.			
UBICACIÓN :			PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 3.20			
COORDENADAS: NORTE (m): 8906545 ESTE (m): 343133			PROF. NIVEL FREÁTICO (m) : -			
			FECHA : 10/09/2020			
PROF. (m)	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	S U C S	CORRELACIONES			ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA LIGERA N _{DPL} = N° de golpes 10 cm
			N SPT	φ (°) suelo friccionante	c (Kg/cm ²) suelo cohesivo	
1.00			6	26.0	0.23	
2.00			15	32.3	0.56	
3.00			13	31.1	0.56	
4.00			11	29.8	0.41	
5.00			16	32.9	0.60	
6.00			30	39.5	1.13	
7.00						
8.00						
OBSERVACIONES :						

REGISTRO DE SONDAJE - DPL						
			SONDAJE : DPL-4			
PROYECTO :			REALIZADO : Ing. J.Z.M.			
UBICACIÓN :			PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 3.70			
COORDENADAS: NORTE (m): 8906580 ESTE (m): 343164			PROF. NIVEL FREATICO (m) : -			
			FECHA : 10/09/2020			
PROF. (m)	DESCRIPCION DEL SUELO	S U C S	CORRELACIONES		ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA LIGERA N _{DPL} N° de golpes 15 cm	
			N SPT	● f _s suelo friccionante		c (Kg/cm ²) suelo cohesivo
1.00			1	19.5	0.04	
			2	21.3	0.08	
			1	19.5	0.08	
2.00			6	26.0	0.23	
			13	31.1	0.49	
3.00			8	27.6	0.30	
			14	31.7	0.53	
4.00						
5.00						
6.00						
7.00						
8.00						
OBSERVACIONES :						

ANEXO B: Ensayos de Laboratorio

ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN (ASTM D422, ASTM D4318, ASTM D2487, ASTM D2216)

UBICACIÓN : HUÁNUCO
Zona / Sector : Km. 26+920
Sondaje : C - 2
Muestra : M - 1
Profundidad (m) : 0.00 - 2.50

Fecha de emisión : 21/10/2020
Fecha de recepción : 16/10/2020

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO, ASTM - D 422-63			
PORCENTAJE A CUMULADO QUE PASA (%)	Malla		% que pasa
	N°	Abertura (mm)	
	3"	75.000	100.0
	2"	50.000	100.0
	1 1/2"	37.500	100.0
	1"	25.000	100.0
	3/4"	19.000	100.0
	3/8"	9.500	100.0
	N° 4	4.750	100.0
	N° 10	2.000	100.0
	N° 20	0.850	98.5
	N° 40	0.425	92.5
	N° 60	0.250	85.9
	N° 140	0.106	73.5
	N° 200	0.075	54.1

Distribución Granulométrica			
% Grava	GG%	0.0	0.0
	GP%	0.0	
% Arena	AG%	0.0	45.9
	AP%	7.5	
% Finos			54.1

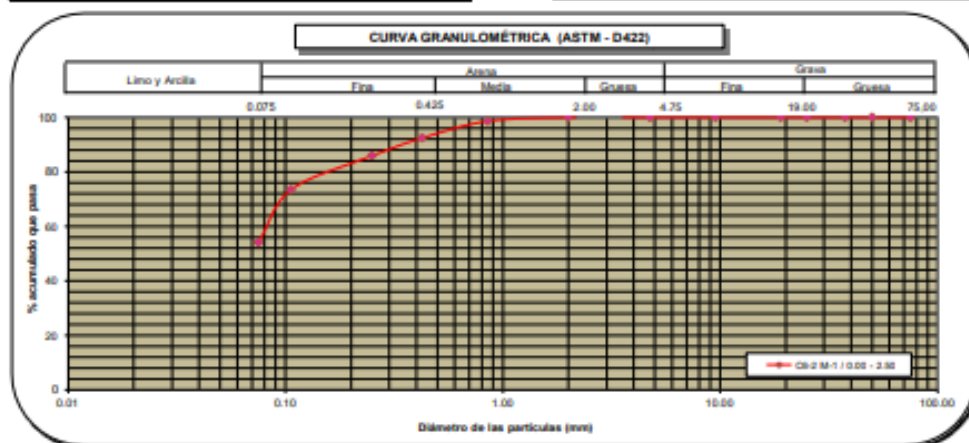
Porcentaje retenido en la 3 pulg (%)	0
Coefficiente de Curvatura (CC)	---
Coefficiente de Uniformidad (CU)	---

Contenido de Humedad, ASTM - D 2216	
Contenido de Humedad (%)	21.3

Límites de Consistencia, ASTM - D 4318	
Límite Líquido (LL) (%)	34
Límite Plástico (LP) (%)	24
Índice Plástico (IP) (%)	10



Clasificación ASTM - D 2487	
Clasificación (SUCS)	ML
Nombre de Grupo	
Limo arenoso	



Observaciones :

Referencias : ASTM D2216-10 Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass
ASTM D4318-10e1 Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
ASTM D6913 / D6913M Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis
ASTM D2487 - 11 Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.

ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN
(ASTM D422, ASTM D4318, ASTM D2487, ASTM D2216)

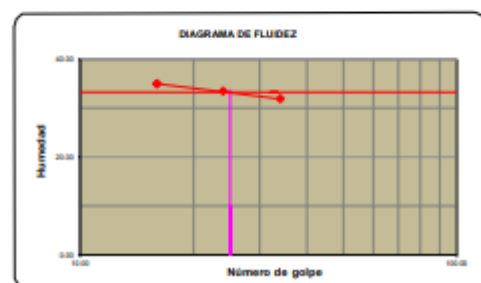
UBICACIÓN : HUÁNUCO
Zona / Sector : Km. 26+960
Sondaje : C - 3
Muestra : M - 1
Profundidad (m) : 1.50 - 2.50

Fecha de emisión : 21/10/2020
Fecha de recepción : 16/10/2020

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO, ASTM - D 422-63		
PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla	
	N°	Abertura (mm)
	3 *	75.000
	2 *	50.000
	1 1/2 *	37.500
	1 *	25.000
	3/4 *	19.000
	3/8 *	9.500
	N° 4	4.750
	N° 10	2.000
	N° 20	0.850
	N° 40	0.425
	N° 60	0.250
	N° 140	0.106
	N° 200	0.075
		% que pasa
		100.0
		100.0
		100.0
		100.0
		100.0
		100.0
		99.3
		97.8
		93.4
		85.1
		79.3
		71.1
		59.8

Contenido de Humedad, ASTM - D 2216	
Contenido de Humedad (%)	24.1

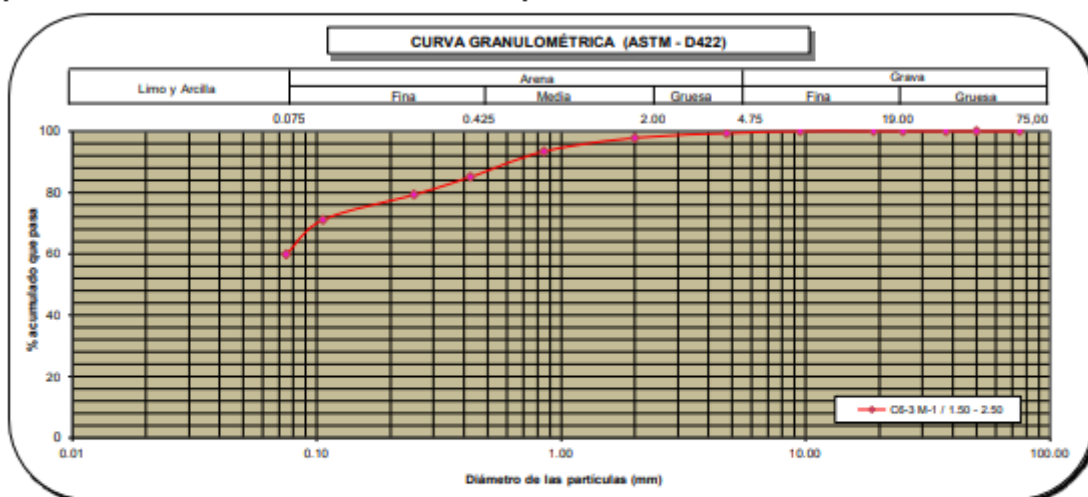
Límites de Consistencia, ASTM - D 4318	
Límite Líquido (LL) (%)	33
Límite Plástico (LP) (%)	22
Índice Plástico (IP) (%)	11



Distribución Granulométrica			
% Grava	GG%	0.0	0.7
	GF%	0.7	
% Arena	AG%	1.5	39.5
	AM%	12.7	
	AP%	25.3	
% Finos			59.8

Clasificación ASTM - D 2487	
Clasificación (SUCS)	CL
Nombre de Grupo	
Arcilla arenosa de baja plasticidad	

Porcentaje retenido en la 3 pulg (%)	0
Coefficiente de Curvatura (CC)	---
Coefficiente de Uniformidad (CU)	---



Observaciones :

Referencias :
ASTM D2216-10 Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass
ASTM D4318-10e1 Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
ASTM D6913 / D6913M Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis
ASTM D2487 - 11 Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.

ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM - D 3080

UBICACIÓN	:	HUÁNUCO			
Zona / Sector	:	Km 26+920	Fecha de emisión	:	21/10/2020
Sondeo	:	C - 2	Fecha de recepción	:	16/10/2020
Muestra	:	M - 1			
Profundidad (m)	:	0.00 - 2.50	Clasificación SUCS	:	ML
Diámetro	:	6.25 cm	Peso Suelo Seco	:	95.57 g
Altura	:	2.10 cm	Contenido Humeda	:	21.30 %
Área	:	30.68 cm ²	Densidad Húmeda	:	2.05 g/cm ³
Volumen	:	64.43 cm ³	Densidad Seca	:	1.69 g/cm ³
Estado	:	Alterado, remoldeado (Material <Tamiz N°4)			

Nro.	Deform Hz. (mm)	% Desplaz.Hz	I (1.00 kg/cm ²)		II (2.00 kg/cm ²)		III (4.00 kg/cm ²)	
			Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm ²)	Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm ²)	Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm ²)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	5	0.05	8.50	0.04	60.10	0.27	106.70	0.48
3	10	0.10	17.00	0.08	65.70	0.30	129.10	0.59
4	25	0.25	25.50	0.12	75.30	0.34	155.70	0.71
5	50	0.50	33.80	0.15	83.30	0.38	184.40	0.84
6	75	0.75	41.90	0.19	97.60	0.45	206.00	0.94
7	100	1.00	54.50	0.25	113.50	0.52	222.00	1.02
8	125	1.25	58.50	0.27	120.20	0.55	232.50	1.07
9	150	1.50	66.70	0.31	127.80	0.59	242.70	1.12
10	200	2.00	70.40	0.33	129.70	0.60	254.90	1.18
11	250	2.50	76.50	0.36	134.20	0.63	261.50	1.22
12	300	3.00	80.00	0.38	137.10	0.64	265.30	1.25
13	350	3.50	83.50	0.40	142.40	0.67	269.00	1.27
14	400	4.00	88.80	0.42	144.60	0.69	276.30	1.32
15	450	4.50	89.70	0.43	158.60	0.76	297.50	1.43
16	500	5.00	90.00	0.43	167.00	0.81	306.00	1.48
17	600	6.00	90.30	0.44	168.40	0.82	312.50	1.53
18	700	7.00	90.70	0.45	170.10	0.84	321.30	1.59
19	800	8.00	91.90	0.46	170.50	0.86	324.60	1.63
20	900	9.00	94.30	0.48	170.50	0.87	325.00	1.65
21	1000	10.00	94.30	0.49	169.20	0.87	321.80	1.66
22	1100	11.00	93.90	0.49	167.70	0.88	317.60	1.66
23	1200	12.00	92.50	0.49	165.40	0.88	313.20	1.66
24	1300	13.00	91.30	0.49	162.90	0.88	308.70	1.66
25	1400	14.00	89.90	0.49	160.60	0.88	304.40	1.66
26	1500	15.00	88.60	0.49	158.20	0.88	300.80	1.67

Carga Normal	:	30.8 Kg	61.5 Kg	123.0 Kg
Constante del Anillo	:	0.139		
ESFUERZOS	:			
Esfuerzo Normal	:	1.00 Kg/cm ²	2.00 Kg/cm ²	4.01 Kg/cm ²
Esfuerzo Cortante Máximo	:	0.49 Kg/cm ²	0.88 Kg/cm ²	1.67 Kg/cm ²
RESULTADOS	:			
Ángulo de Fricción Interna	:	21.4 Grados		
Cohesión	:	0.10 kg/cm ²		

Observaciones :

Los especímenes se remoldearon con la densidad natural del suelo 1.69 gr/cm³.

ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM - D 3080

UBICACIÓN : HUÁNUCO
Sector : Km 26+920 **Fecha de emisión** : 21/10/2020
Sondeo : C6 - 2 **Fecha de recepción** : 16/10/2020
Muestra : M - 1
Profundidad (m) : 0.00 - 2.50 **Clasificación SUCS** : ML

GRÁFICO DE CURVA DEFORMACIÓN TANGENCIAL vs ESFUERZO DE CORTE

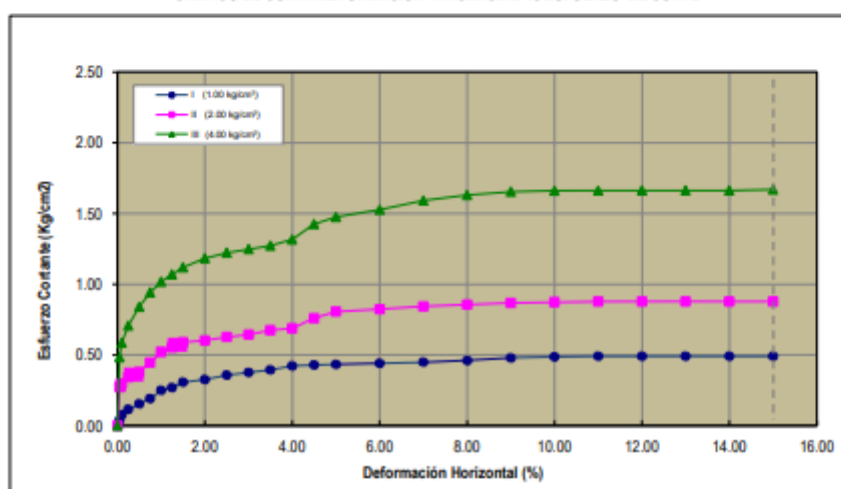
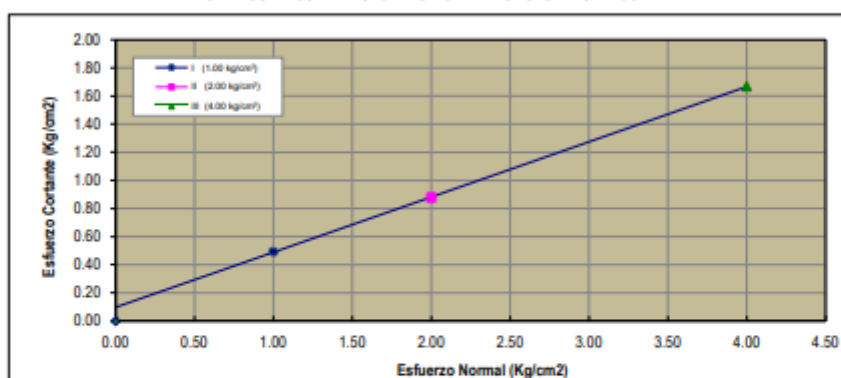


GRÁFICO DE CURVA ESFUERZO NORMAL vs ESFUERZO DE CORTE

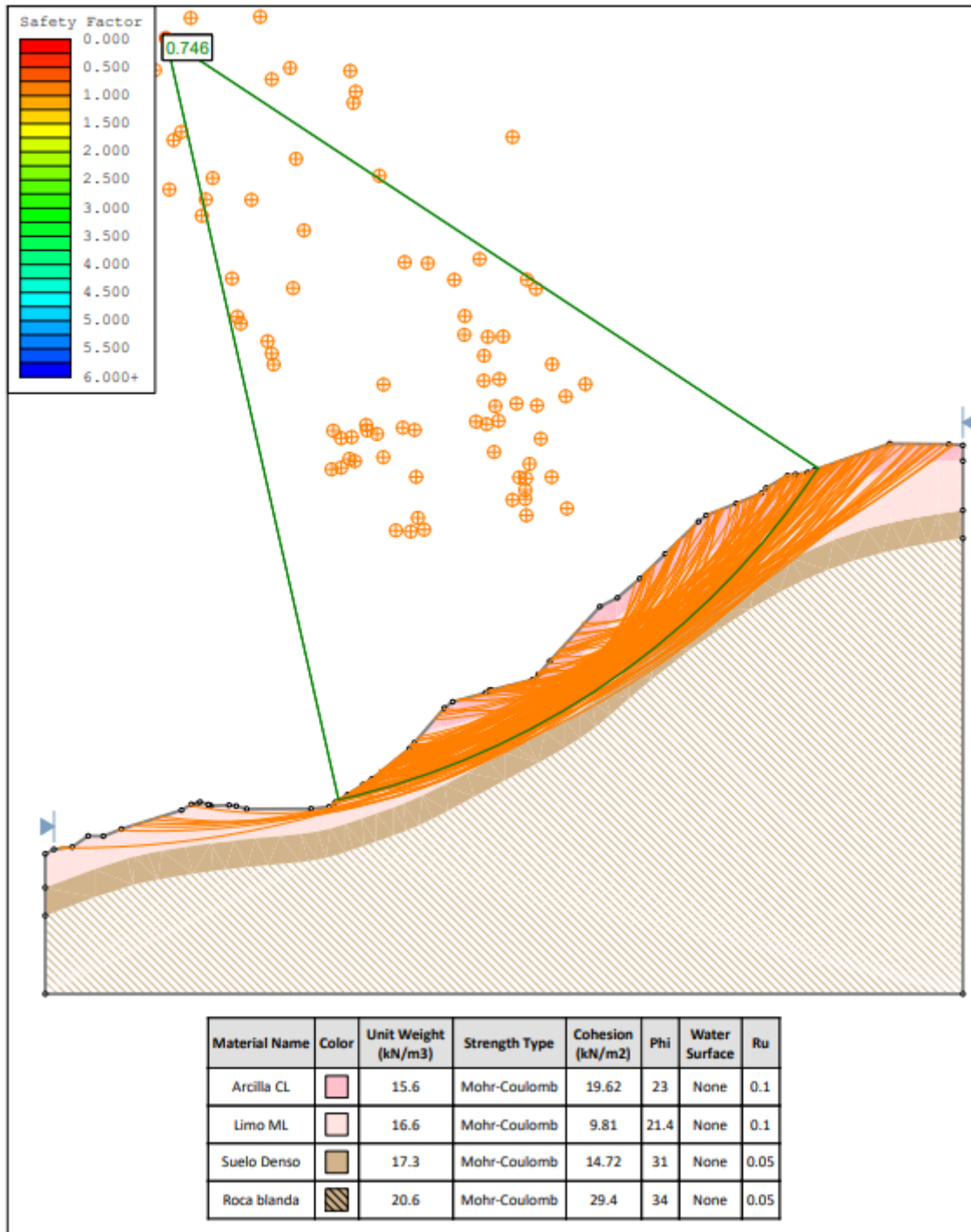
**RESULTADOS**

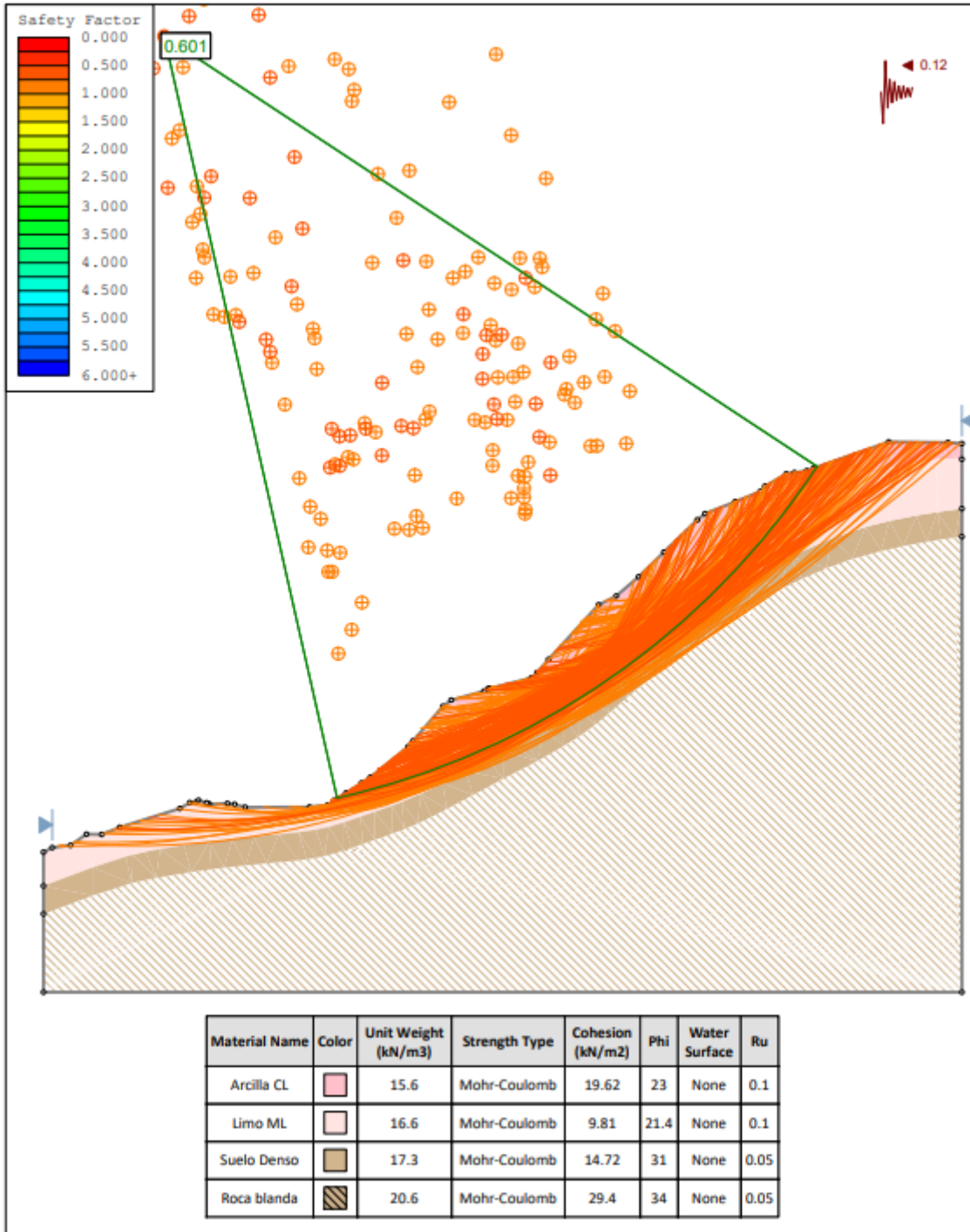
Ángulo de Fricción Interna : 21.4 Grados
 Cohesión : 0.10 kg/cm²

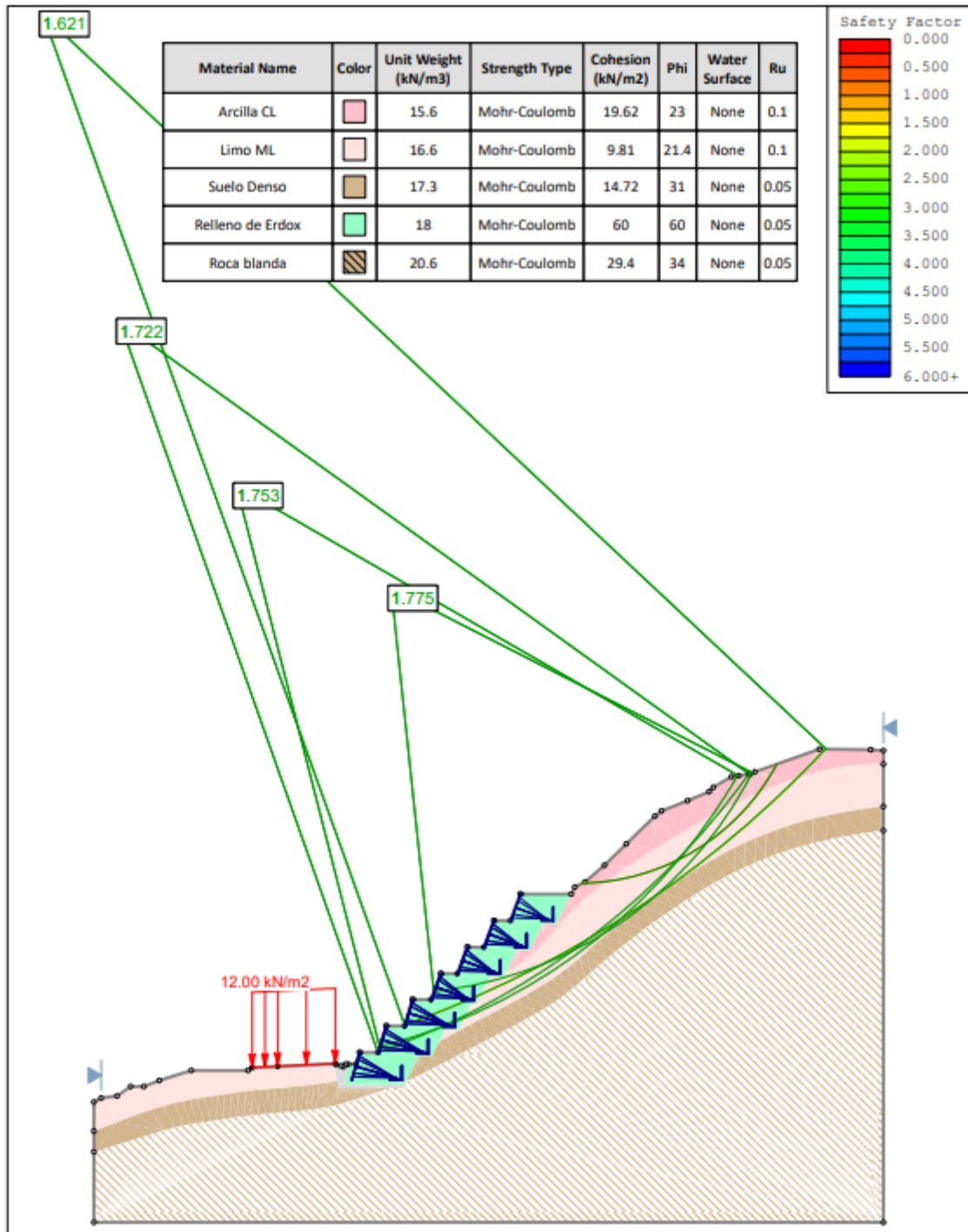
Observaciones :

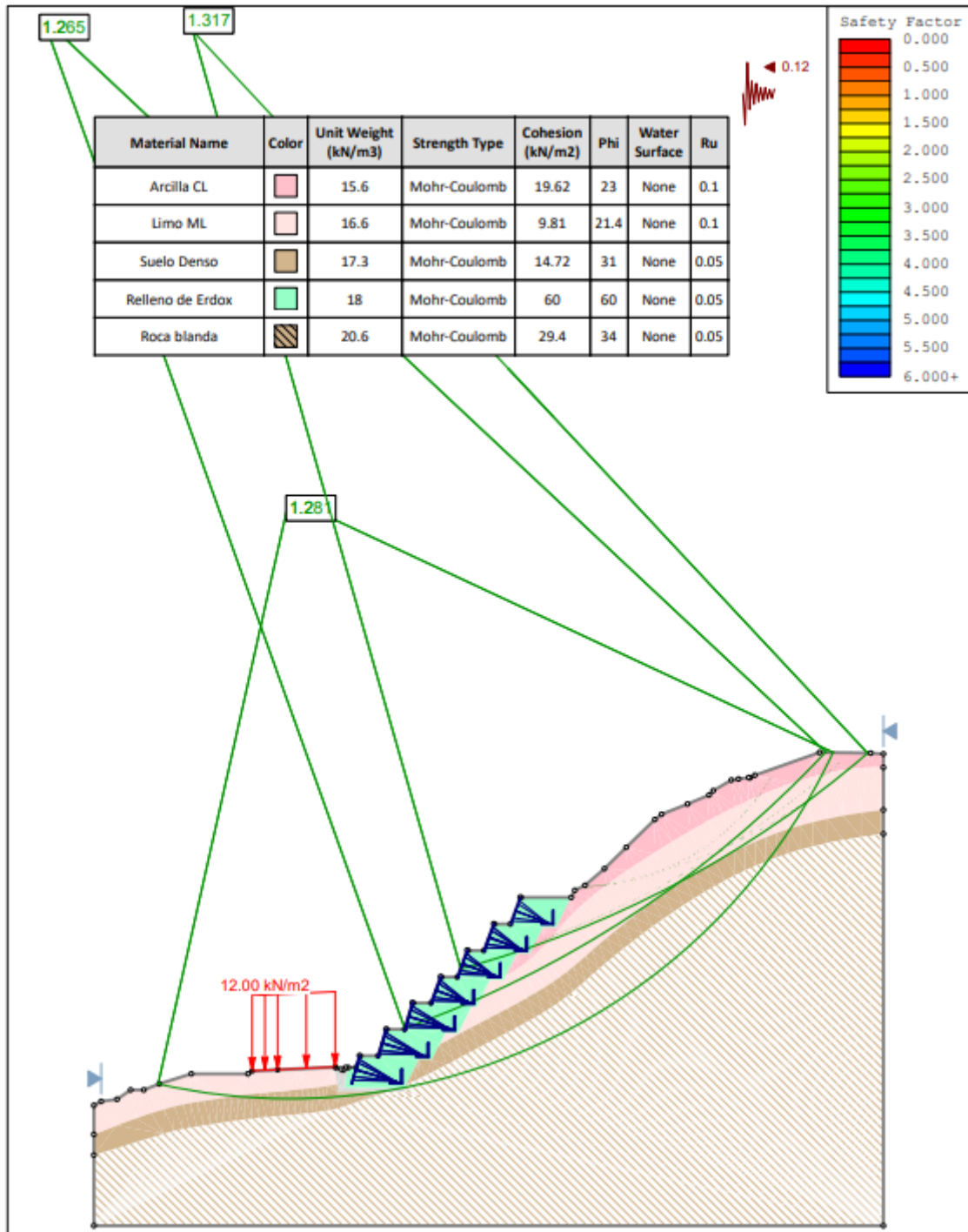
Los especímenes se remoldearon con la densidad natural del suelo 1.69 gr/cm³.

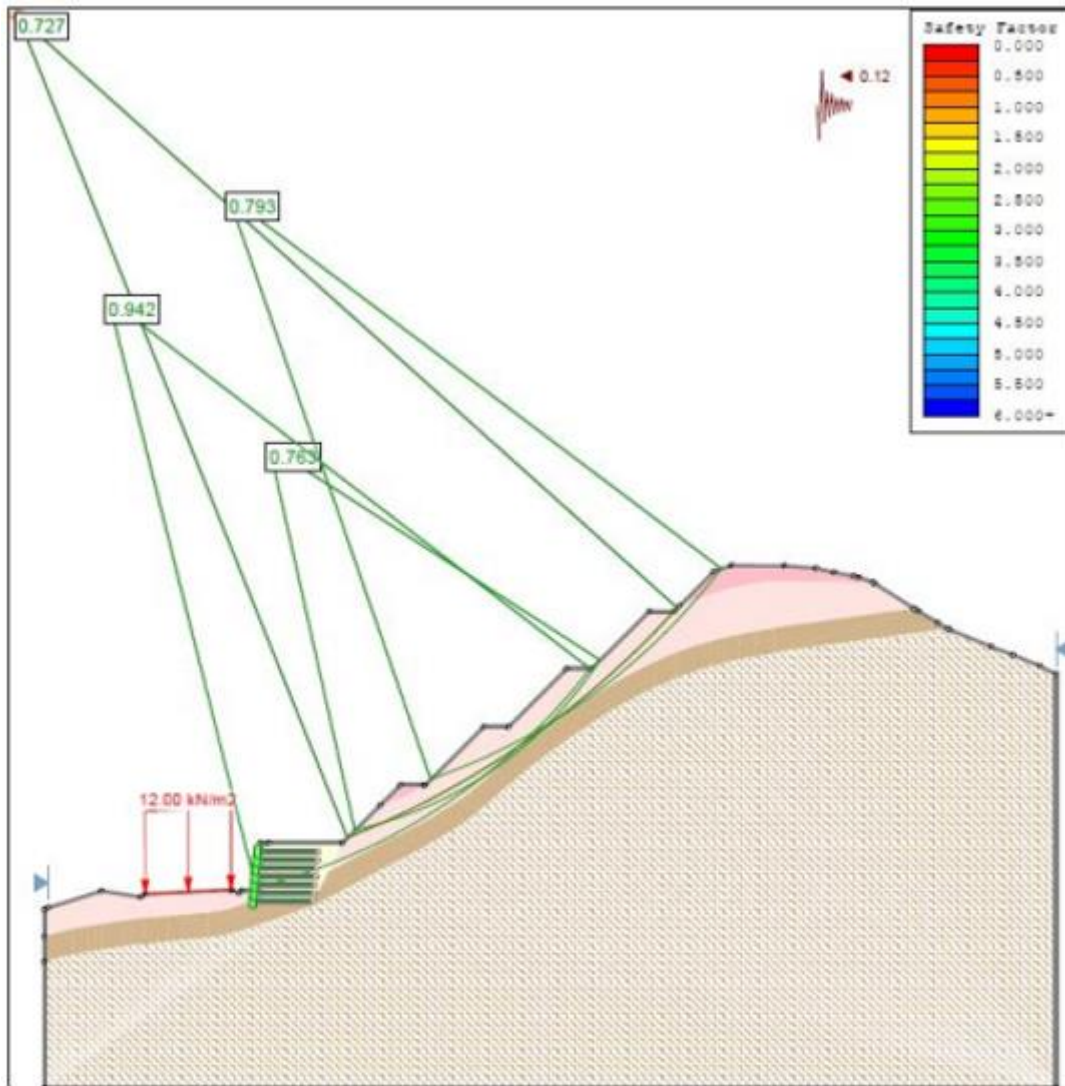
ANEXO C: Análisis de Estabilidad




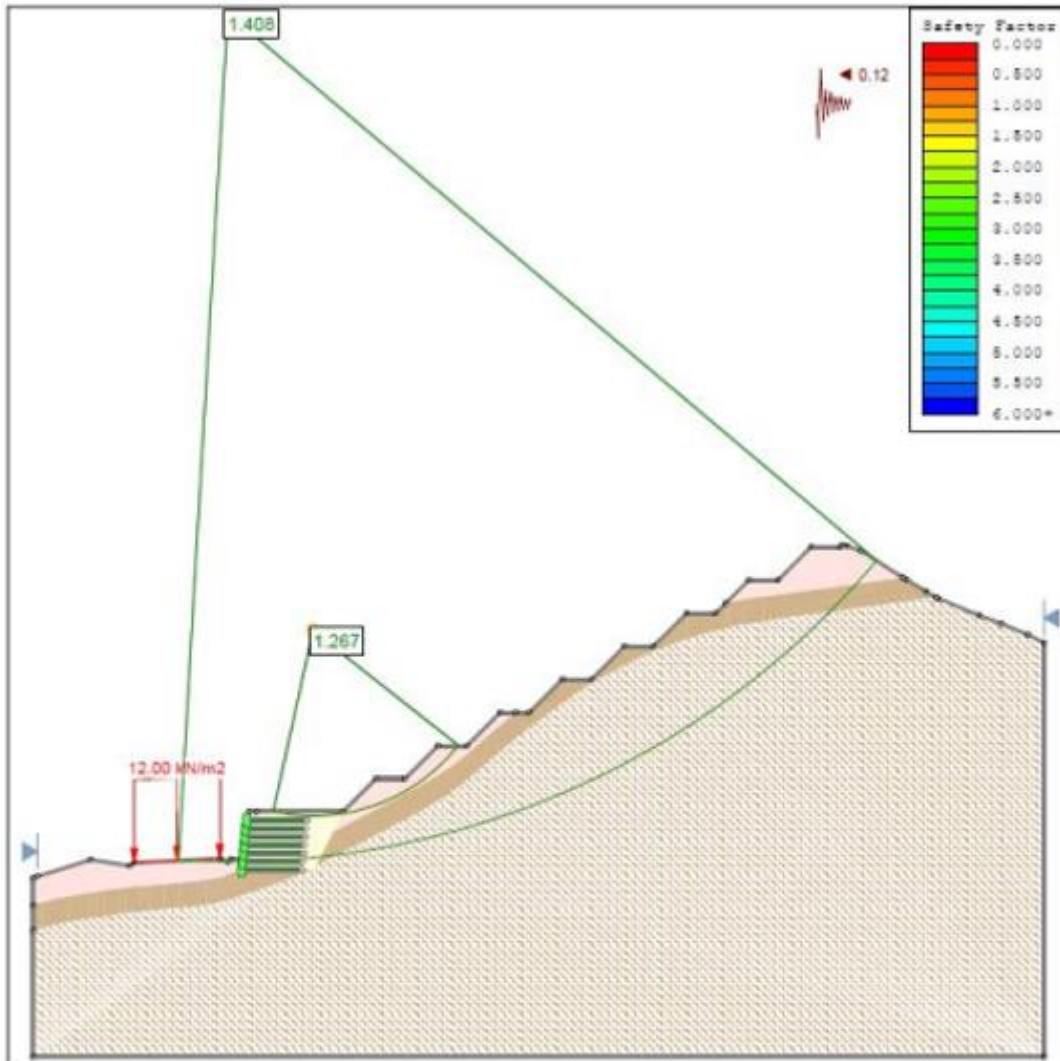












Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi	Water Surface	Ru
Arcilla CL		15.6	Mohr-Coulomb	19.62	23	None	0.1
Limo ML		16.6	Mohr-Coulomb	9.81	21.4	None	0.1
Suelo Denso		17.3	Mohr-Coulomb	14.72	31	None	0.05
Roca blanda		20.6	Mohr-Coulomb	29.4	34	None	0.05



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi	Water Surface	Ru
Arcilla CL		15.6	Mohr-Coulomb	19.62	23	None	0.1
Limo ML		16.6	Mohr-Coulomb	9.81	21.4	None	0.1
Suelo Denso		17.3	Mohr-Coulomb	14.72	31	None	0.05
Roca blanda		20.6	Mohr-Coulomb	29.4	34	None	0.05

ANEXO D: Panel Fotográfico

PANEL FOTOGRÁFICO



Foto N° 1. Vista panorámica, KM. 26+900 – KM. 26+990

Foto N° 2. Vista panorámica de la Calicata C-1, KM. 26+900 – KM. 26+990



PANEL FOTOGRÁFICO

Foto N° 3. Vista de la Calicata C-1, KM. 26+900 – KM. 26+990

Foto N° 4. Vista del ensayo de DPL, DPL-1, KM. 26+900 – KM. 26+990



PANEL FOTOGRÁFICO

Foto N° 5. Vista panorámica de la Calicata C-2, KM. 26+900 – KM. 26+990

Foto N° 6. Vista de la Calicata C-2, KM. 26+900 – KM. 26+990



PANEL FOTOGRÁFICO



Foto N° 7. Vista del perfil estratigráfico de la Calicata C-2, KM. 26+900 – KM. 26+990



Foto N° 8. Vista del ensayo de densidad D -1 en la Calicata C-2, KM. 26+900 – KM. 26+990

PANEL FOTOGRÁFICO



Foto N° 9. Vista del ensayo de DPL, DPL-2, KM. 26+900 – KM. 26+990



Foto N° 10. Vista panorámica de la Calicata C -3, KM. 26+900 – KM. 26+990

PANEL FOTOGRÁFICO

Foto N° 11. Vista de la excavación de la Calicata C -3,
KM. 26+900 – KM. 26+990



Foto N° 12. Vista de la Calicata C -3,
KM. 26+900 – KM. 26+990

PANEL FOTOGRÁFICO

Foto N° 13. Vista del perfil estratigráfico de la Calicata C -3, KM. 26+900 – KM. 26+990



Foto N° 14. Vista del ensayo de DPL, DPL-3, KM. 26+900 – KM. 26+990

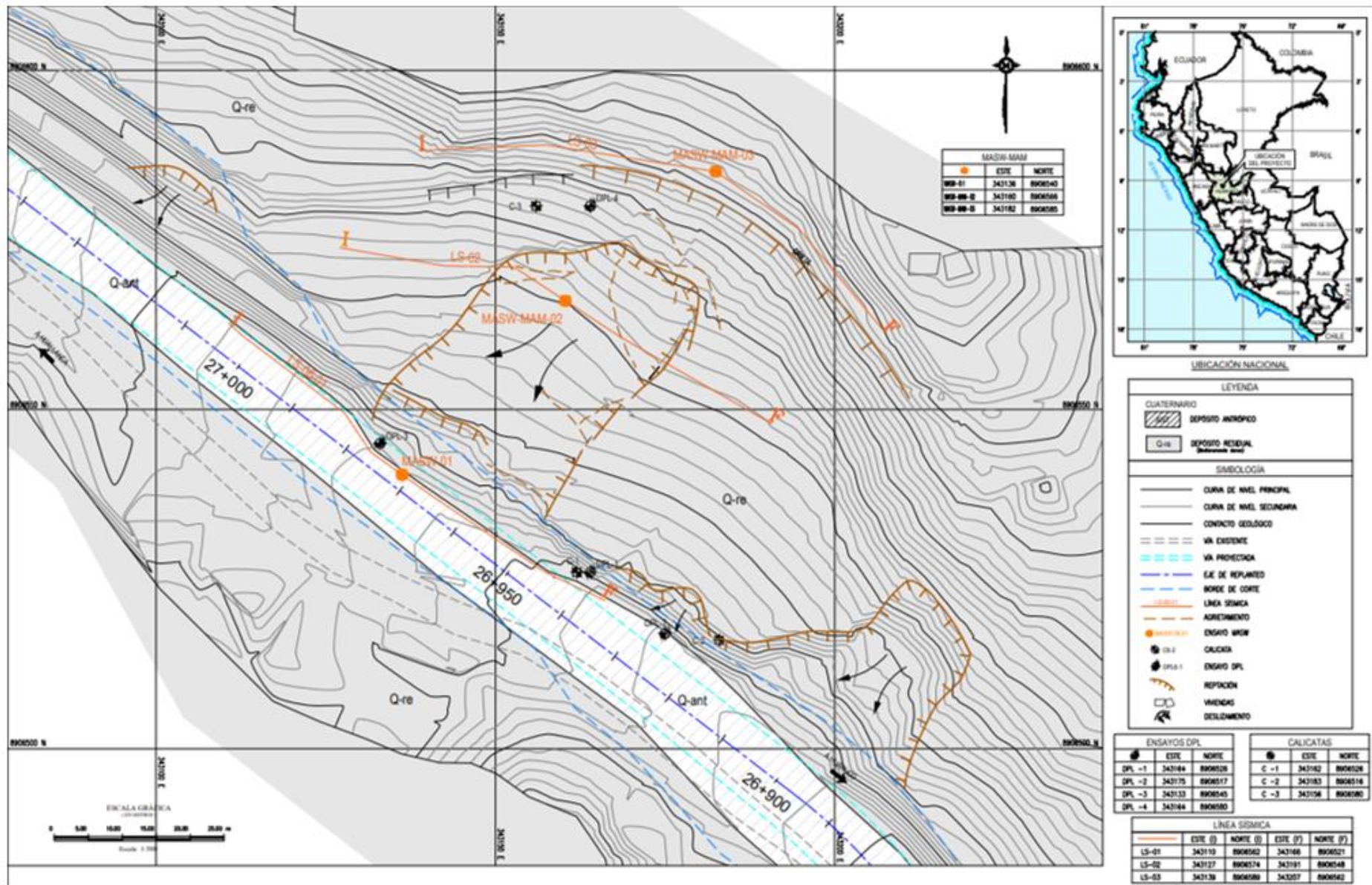
PANEL FOTOGRÁFICO

Foto N° 15. Vista del ensayo de DPL, DPL-3, KM. 26+900 – KM. 26+990



Foto N° 16. Vista del ensayo de DPL, DPL-4, KM. 26+900 – KM. 26+990

ANEXO E: Planos



MASW-MAM			
	ESTE	NORTE	
MAM-01	343136	890640	
MAM-02	343140	890656	
MAM-03	343182	890685	

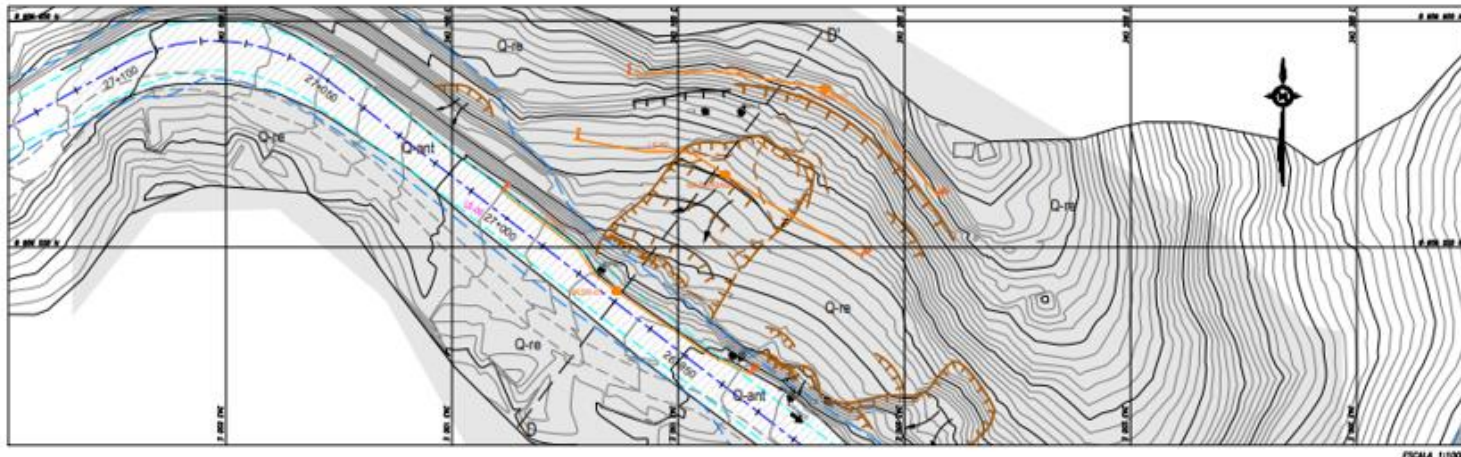


LEYENDA	
CUATERNARIO	
	DEPOSITO ANTRÓPICO
	DEPOSITO RESIDUAL
SIMBOLOGIA	
	CURVA DE NIVEL PRINCIPAL
	CURVA DE NIVEL SECUNDARIA
	CONVICTO GEOLOGICO
	VA EXISTENTE
	VA PROYECTADA
	LE DE REPLANTEO
	NOQUE DE CORTE
	LINEA SIMICA
	ADRENTAMIENTO
	ENSAYO MASW
	CALICIA
	ENSAYO DPL
	REPOSICION
	VIENEGAS
	DESLIZAMIENTO

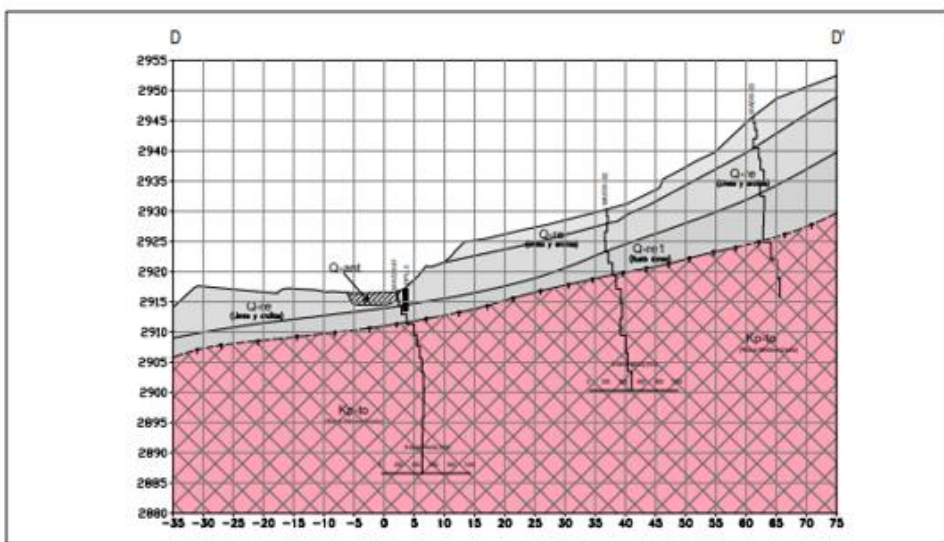
ENSAYOS DPL			
	ESTE	NORTE	
DPL -1	343184	890628	
DPL -2	343175	890617	
DPL -3	343133	890640	
DPL -4	343184	890680	

CALICIAS			
	ESTE	NORTE	
C -1	343182	890628	
C -2	343183	890616	
C -3	343156	890680	

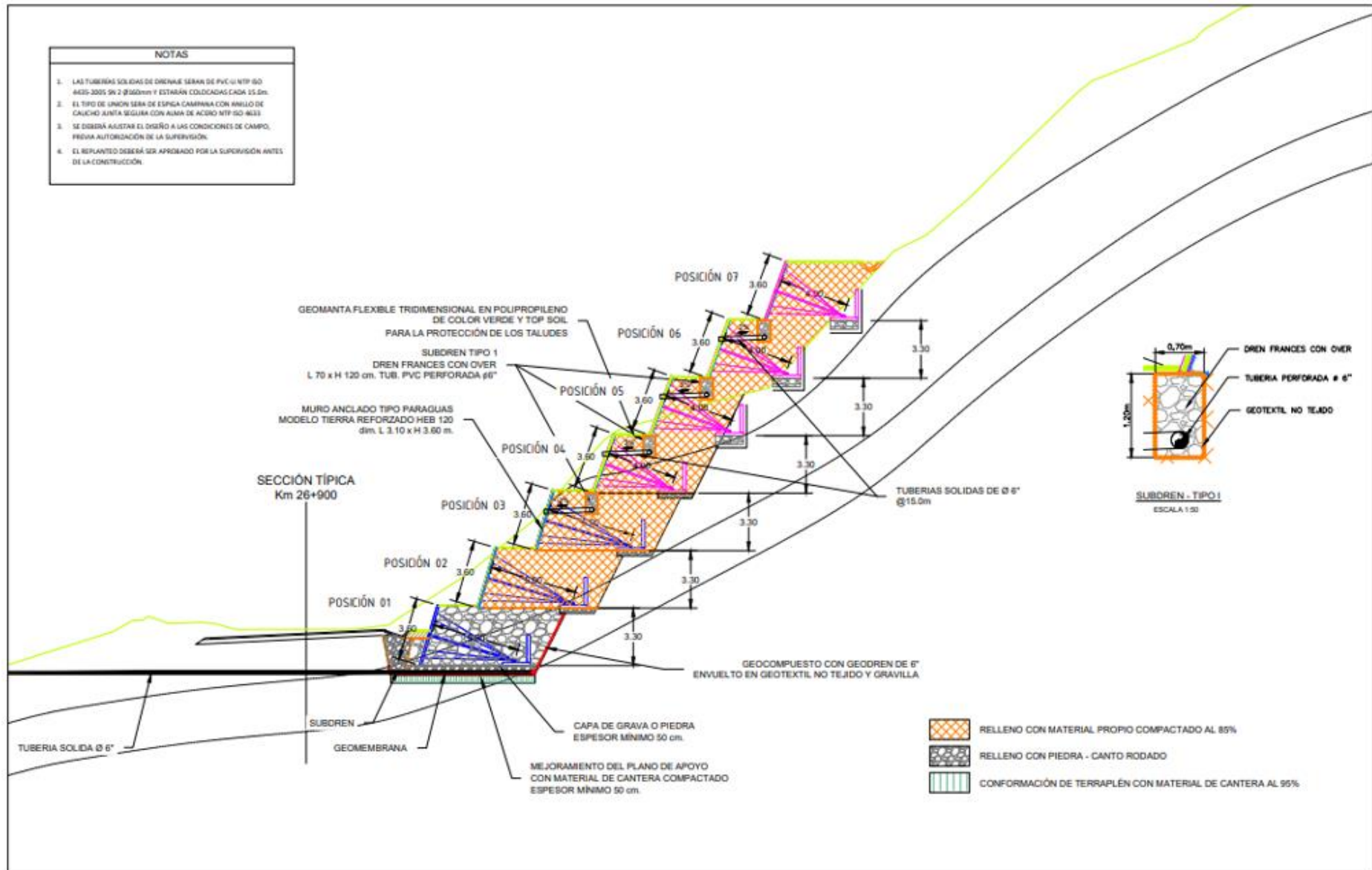
LINEA SIMICA					
	ESTE (E)	NORTE (N)	ESTE (P)	NORTE (P)	
LS-01	343110	890662	343166	890621	
LS-02	343127	890674	343191	890648	
LS-03	343139	890680	343207	890662	

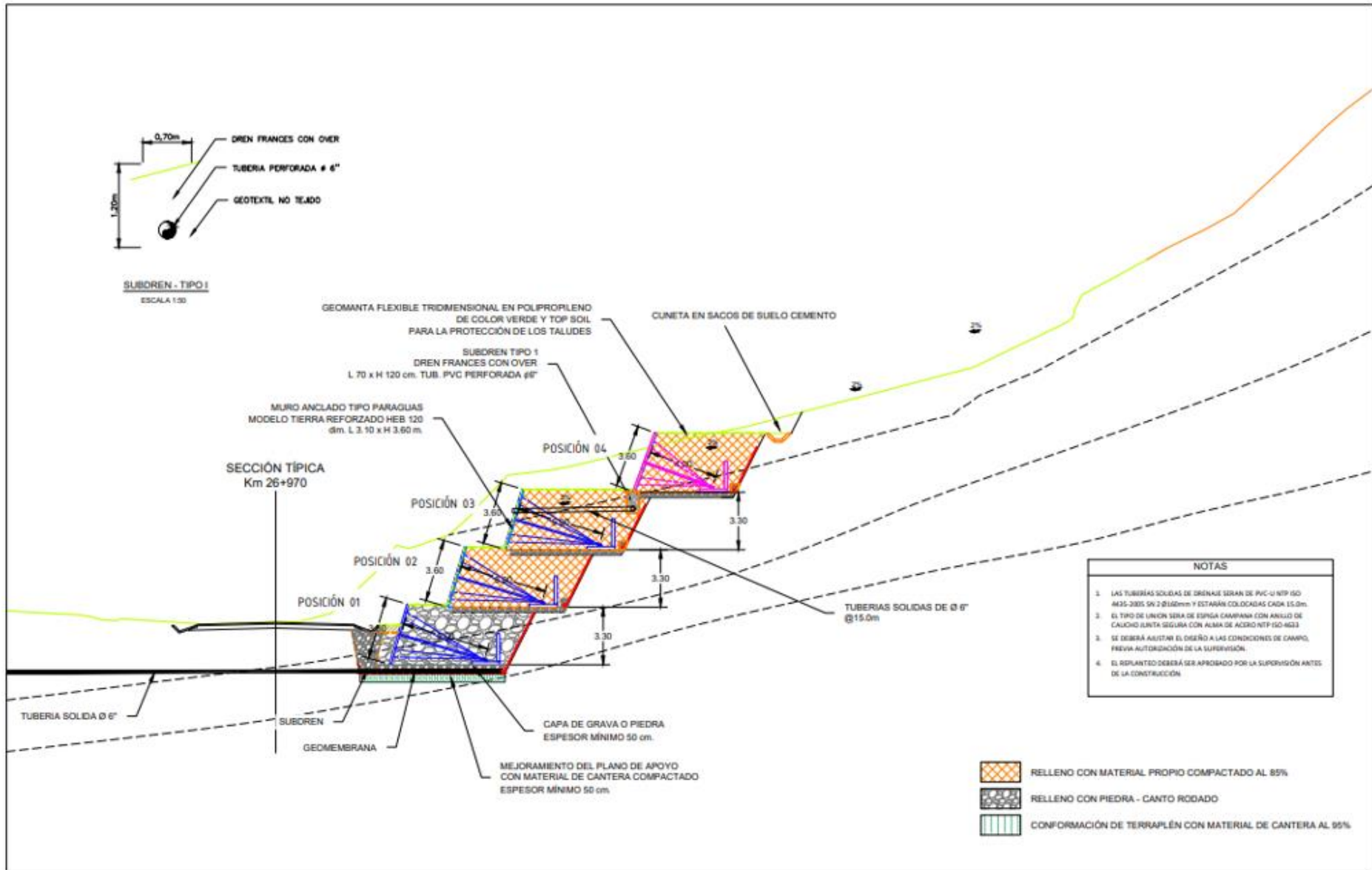


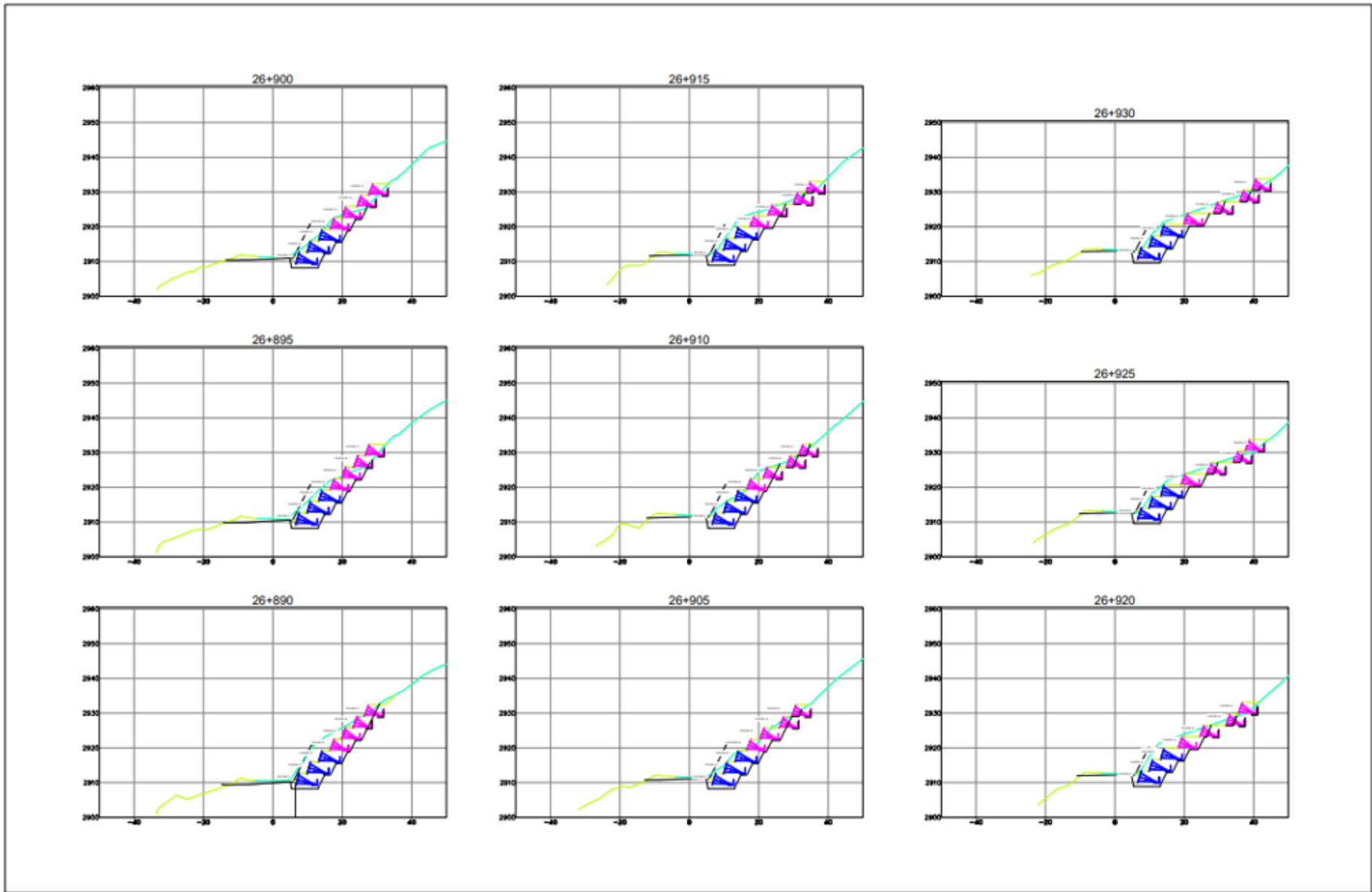
SECCION D-D'
Km 26+970

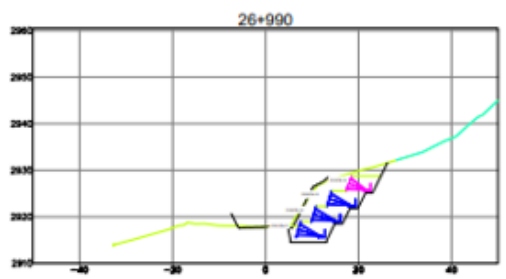
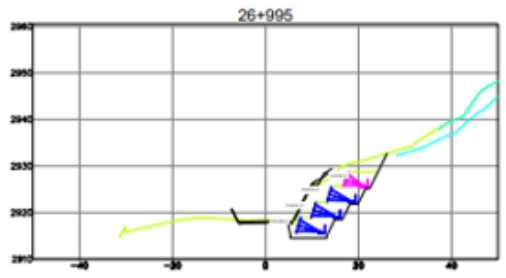


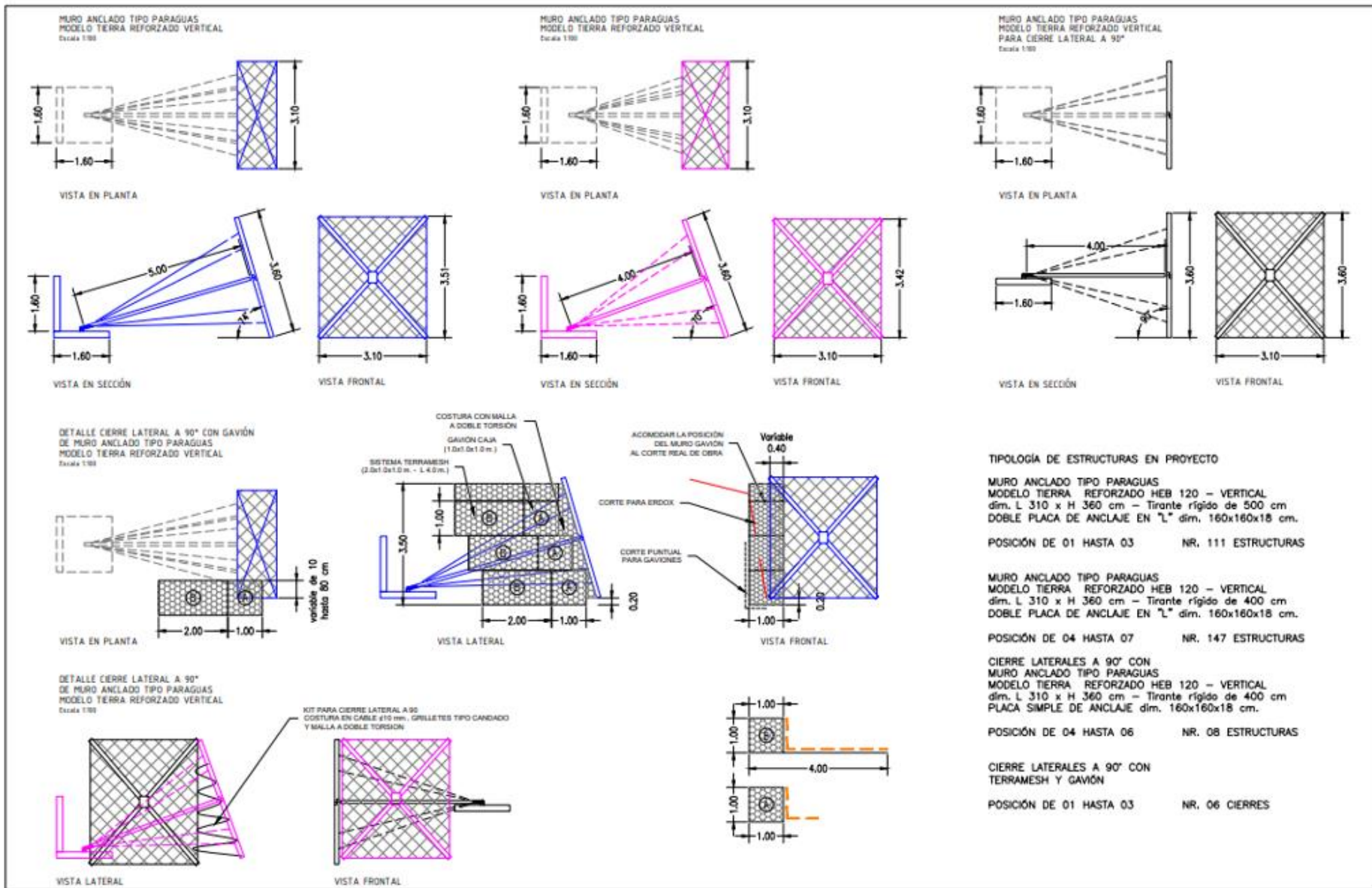
LEYENDA	
CUATERNARIO	
	DEPOSITO ANTROPICO
	DEPOSITO RESIDUAL (Arcilla y arena)
	DEPOSITO RESIDUAL (Arena)
ROCA INTRUSIVA	
	TONALITA
SIMBOLOGIA	
	CURVA DE NIVEL PRINCIPAL
	CURVA DE NIVEL SECUNDARIA
	CONTACTO GEOLOGICO
	CONTACTO GEOLOGICO INFERIDO
	VIA EXISTENTE
	VIA PROYECTADA
	ESE DE REPLANTEO
	BORDE DE CORTE
	AGRIETAMIENTO
	LINEA SISMICA
	ENSAYO MAIOR
	CALICATA
	ENSAYO DPL
	REFRACION Y AGRIETAMIENTO
	WENDAS
	DESPLAZAMIENTO
	DPL PROYECTADO
	CALICATA PROYECTADA
	ENSAYO MAIOR PROYECTADO
	LINEA SISMICA PROYECTADA











COMO COLOCAR SISTEMA DE SUELO REFORZADO

