

**SITIO 4: CA01W B: SANTA TECLA (LAS DELICIAS) -LA CUCHILLA (INT. CA08W)**

MEMORIA DE CALCULO SOLUCION DE CAIDA DE ROCAS A TRAVEZ DE LA CONSTRUCCION DE ANCLAJES ACTIVOS DE ROCA A MANTO ROCOSO

ING. LUCAS A. MENDEZ

RESISTENCIA ESTRUCtuRAL, S.A DE C.V.

lucasamendez@yahoo.com.mx

INDICE

[**1.** **INTRODUCCION** 2](#_Toc466968719)

[**2.** **DESARROLLO DE ALTERNATIVA 2** 2](#_Toc466968720)

[2.1 Remover Rocas fracturadas y sueltas 4](#_Toc466968721)

[2.2 Suministro e Instalación de malla y su anclaje a la masa rocosa 4](#_Toc466968722)

[2.3 Anclajes para la sujeción de bloques de roca 6](#_Toc466968723)

[2.4 Anclajes Activos de bloques de roca a Manto rocoso 7](#_Toc466968724)

[2.5 Resumen de Anclaje Activo en Rocas 15](#_Toc466968725)

[2.6 Barrera de alta resistencia para caída de rocas 16](#_Toc466968726)

[2.6.1 Determinación de postes 18](#_Toc466968727)

[2.6.2 Análisis de base de barda 22](#_Toc466968728)

[2.6.3 Resultados 23](#_Toc466968729)

[2.6.4 Condición sísmica 26](#_Toc466968730)

[**3.** **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES** 28](#_Toc466968731)

[Conclusiones. 28](#_Toc466968732)

[Recomendaciones. 28](#_Toc466968733)

1. **INTRODUCCION**

El presente documento consiste en la descripción técnica de la propuesta de protección al talud rocoso que se encuentra en el sector denominado **“Sitio 4 CA01W B: SANTA TECLA (LAS DELICIAS) -LA CUCHILLA (INT. CA08W)”**, el cual es un sub proyecto de “DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCION EN LAS ZONAS 1 Y 2 DE EL SALVADOR”.

Para este sub proyecto se cuenta con dos soluciones denominadas Alternativa 1 y Alternativa 2.

Para la alternativa 1, se propone remover rocas fracturadas y sueltas; restauración de la malla fracturada y el suministro e instalación de malla de iguales características a la existente en el resto del área afectada. Esta actividad incluye los anclajes menores para la sujeción de mallas.

Y por último construir una barrera de alta resistencia para caída de rocas del tipo LOOP FENCE.

Esta barrera posee la particularidad de ser resistente a altos impactos. La ubicación de esta seria adosada por el lado interno del muro alcancía existente, es decir entre el talud rocoso y paralelo al muro alcancía existente.

Para la alternativa #2, se propone remover rocas fracturadas y sueltas; restauración de la malla fracturada y el suministro e instalación de malla de iguales características a la existente en el resto del área afectada. Esta actividad incluye los anclajes menores para la sujeción de mallas.

Y por último la sujeción a través de anclajes activos de bloques de rocas a manto rocoso. Esta actividad implica la perforación profundad de rocas.

1. **DESARROLLO DE ALTERNATIVA 2**

Alternativa 2:

* Remover rocas fracturadas y sueltas
* Suministro e instalación de malla y su anclaje a la masa rocosa
* Suministro y Construcción de Barrera de alta resistencia para caída de rocas
* Construcción de anclajes para la sujeción de bloques de roca



MALLA

CUÑA ROCOSA A REMOVER

MATERIAL SUELTO A REMOVER

Para efectos de análisis, se realizara en cuatro pasos:

* 1. Remover Rocas fracturadas y sueltas

Esta actividad consiste en eliminar cualquier roca o masa de roca fracturada, que amenace con desprenderse con movimientos de terremotos suaves o moderados.

* 1. Suministro e Instalación de malla y su anclaje a la masa rocosa

Esta actividad consiste en la restauración de malla existente anclándola a través de barras de diámetro Ø1” y longitud un metro embebidas en las rocas firmes.

La malla propuesta para la captación de rocas, avalanchas, aluviones e inestabilidad de taludes es de alambre de acero trenzado de 4 mm de diámetro y tiene una resistencia a la tracción de al menos 1.77 N/mm2, con un tipo de acero al carbono de alta resistencia.

Debe poseer protección contra la corrosión e instalarse en rollos de 3.5m de ancho y 20m de largo.

La red de cables en espiral (refuerzo de malla), formada por una malla romboidal, tiene una capacidad de carga longitudinal de 220 kN/m, resultando superior a las redes de cable convencionales con o sin refuerzo longitudinal. La red de cables en espiral es suministrada en rollos de 20 m x 3,5 m, los cuales se pueden extender fácilmente y, gracias a las áreas comparativamente más grandes que se pueden cubrir, pueden sujetarse con un número relativamente pequeño de costuras o conexiones.

|  |
| --- |
| Figura 1. Ejemplo de diseño de instalación de malla |

Considerando un área de 3m de ancho por 4m de largo.

Los cables perimetrales serán de diámetro 14.5 mm y se sujetaran con anclas (ver figura #8), a una separación entre 2.50mt a 3mt.

Para casos donde los puntos de anclajes permitidos (ver ruta de puntos C y D) es mayor a 3mt, se deberá colocar uno anclaje intermedio tipo placa.

Así mismo, la ruta de puntos F y A, deberá llevar un anclaje intermedio tipo placa a efecto de no sobrepasar la longitud máxima de apoyos de 3mt.



|  |
| --- |
| Figura 2. Anclajes cable en esquina |

|  |
| --- |
| Figura 3. Anclajes intermedio cable |

* 1. Anclajes para la sujeción de bloques de roca

Para efecto de transporte e instalación, las características del rollo de alambre son:

Ancho del rollo 3.5 mt

Longitud del rollo 20 mt

Área total del rollo 70 m2

Peso por m2 será de 2.7 kg

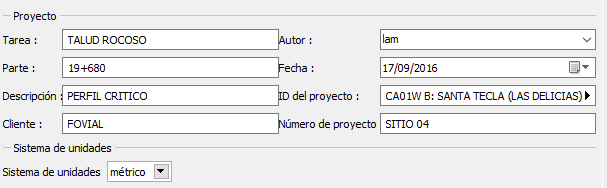
Peso del rollo de la red 190 kg.

Longitud de anclajes 100 cm con un Angulo de 10 grados

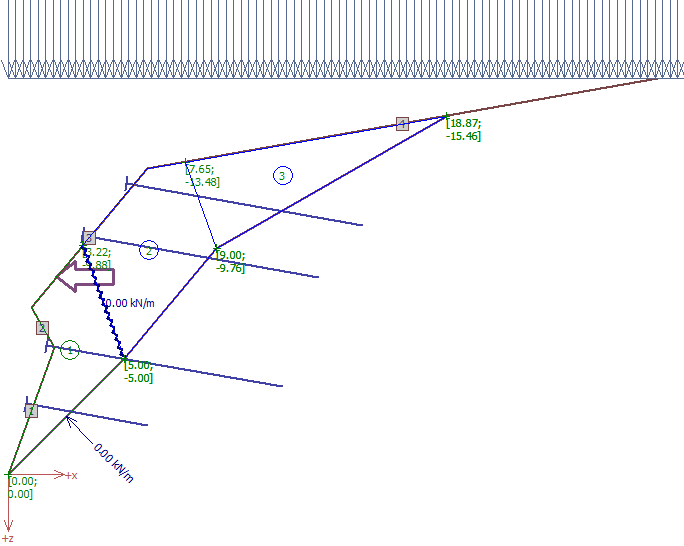
Diámetro del anclaje barra G60, Ø3/4”

* 1. Anclajes Activos de bloques de roca a Manto rocoso

Para esta actividad, se ha analizado la cuña de masa rocosa, estimando el peso y la fricción entre rocas y luego determinar la capacidad de los anclajes. Para ello nos hemos auxiliado del programa Geo5, el cual tiene un módulo para análisis de calidad de rocas.

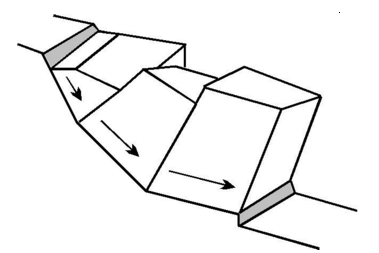


El programa analiza la estabilidad de taludes en roca y muros para un tipo especificado de rotura, incluyendo una superficie de deslizamiento plana o poligonal o una cuña de suelo.



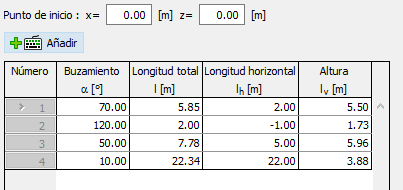
El programa análisis de estabilidad de pendiente de roca y trata el siguiente tipo de fallo de superficies rocosas:

* [Deslizamiento en la superficie de deslizamiento plana](mk:@MSITStore:C:\Program%20Files%20(x86)\Fine\GEO5%202016\RockStability_5_ES.chm::/superficie-de-deslizamiento-plana-01.html)
* [Translación en la superficie de deslizamiento poligonal](mk:@MSITStore:C:\Program%20Files%20(x86)\Fine\GEO5%202016\RockStability_5_ES.chm::/superficie-de-deslizamiento-poligonal-01.html)
* [Caída del borde rocoso](mk:@MSITStore:C:\Program%20Files%20(x86)\Fine\GEO5%202016\RockStability_5_ES.chm::/cuna-de-roca.html)

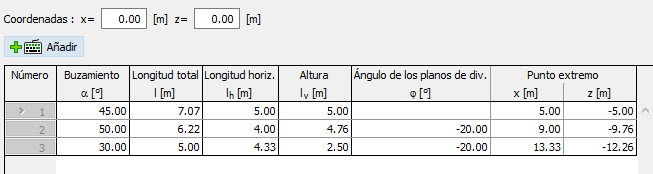


El presente análisis se realizara para el tipo de superficie de deslizamiento poligonal.

Superficie del terreno:

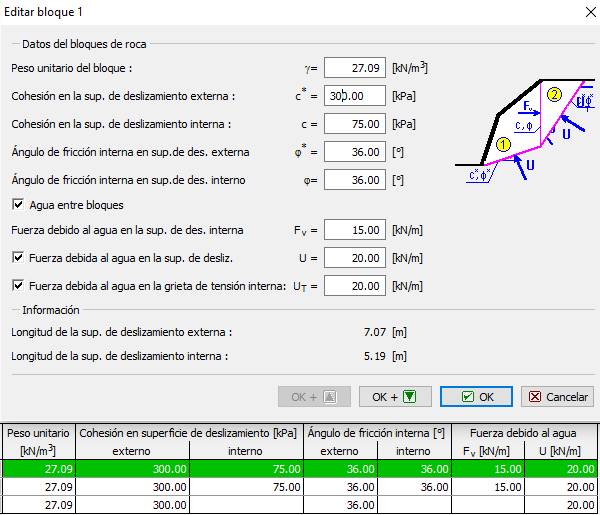


Superficie de deslizamiento.

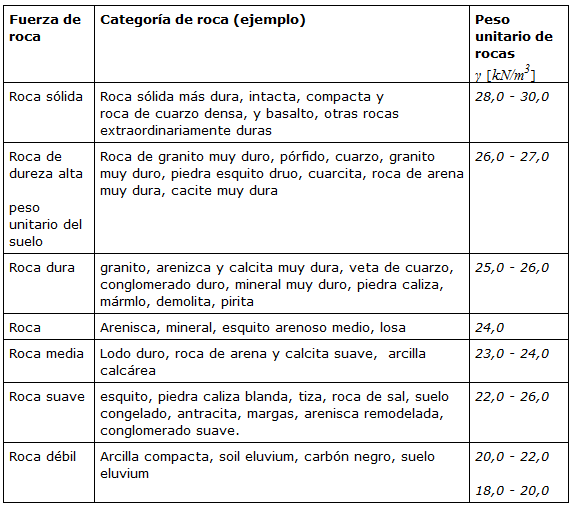


Parámetros de material rocoso

Para el valor de Cohesión en la superficie de deslizamiento interna se ha utilizado un 25% de la Cohesión en la superficie de deslizamiento externa.

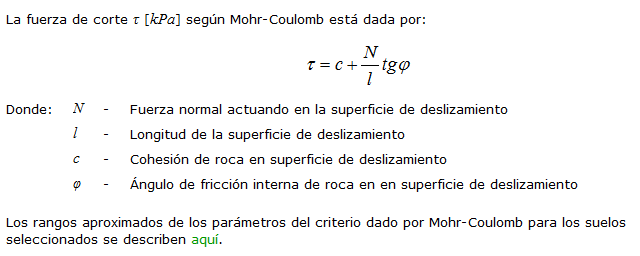


Peso un unitario de rocas, γ(kN/m3)

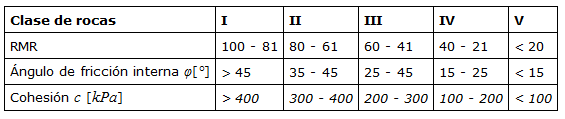


Parámetros de material Rocoso:

Para Mohr - Coulomb



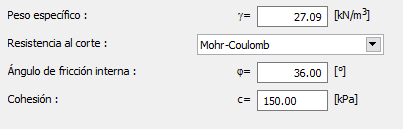
Los rangos aproximados de los parámetros del criterio dado por Mohr – Coulomb para los suelos seleccionados se describen así:



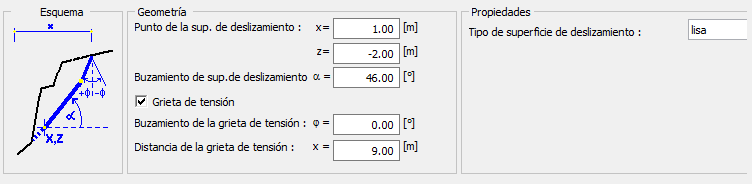
Si es posible, los parámetros de fuerza deben ser determinados por mediciones in-situ. Los resultados de estas mediciones o de experimentos en laboratorios muestran que el ángulo de fricción interna se encuentra la mayoría de las discontinuidades en masas de rocas  dentro del rango 27° a 47°. Valores aproximados del ángulo de fricción interna φ y de cohesión c para rocas basadas en la clasificación RMR son almacenados en tabla anterior.

Características de la roca:

De acuerdo al estudio de suelos elaborado por Labosaing, para la piedra color gris claro posee un peso de 2709 kg/m3

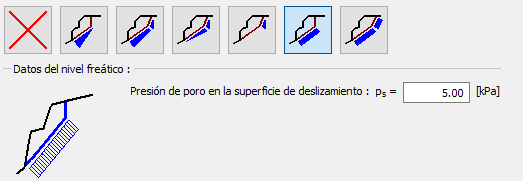


Superficie de deslizamiento:

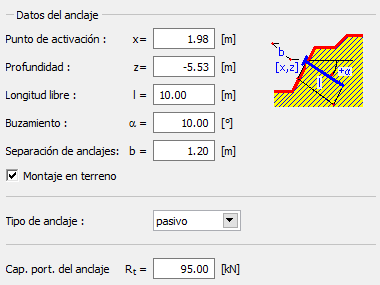


Presión de agua en las grietas:

La superficie de deslizamiento está completamente seca (La filtración no es posible), el GWT intercepta la grieta de tensión o es alienada con el terreno, el valor máximo del aumento de presión está en la intersección entre la superficie de deslizamiento y la grieta de tensión.

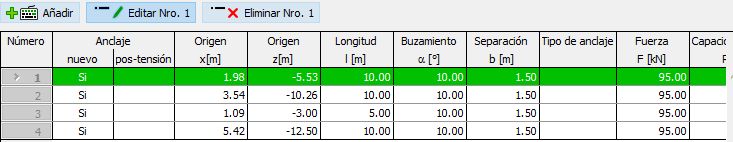


Características de Anclajes:

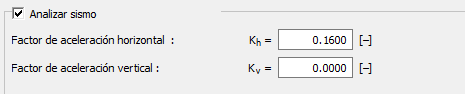


Anclajes: 4 camadas.

La primera a 3m, la segunda a 5.50mt, la tercera a 10.20mt y la cuarta a 12.50mt de altura

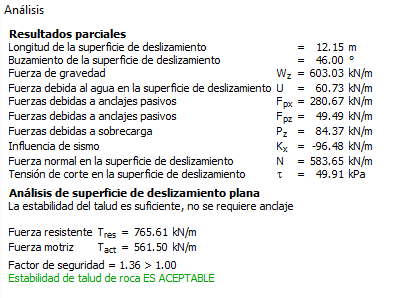


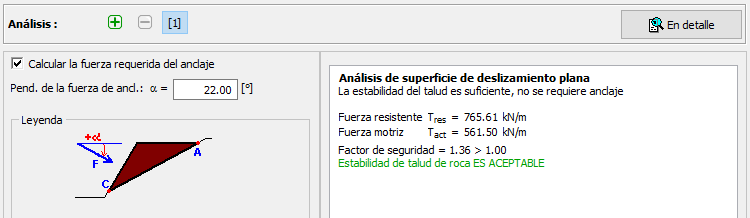
Sismo:



**Para falla de superficie de deslizamiento poligonal:**

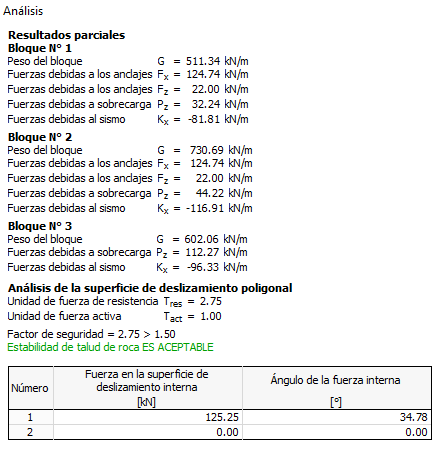
Análisis configuración de etapa: Transitoria





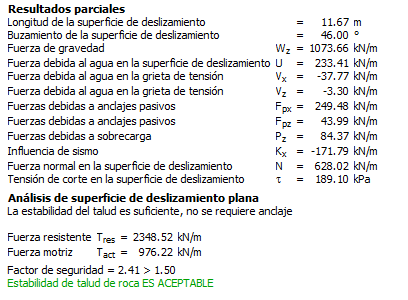
**Para falla de superficie de deslizamiento poligonal:**

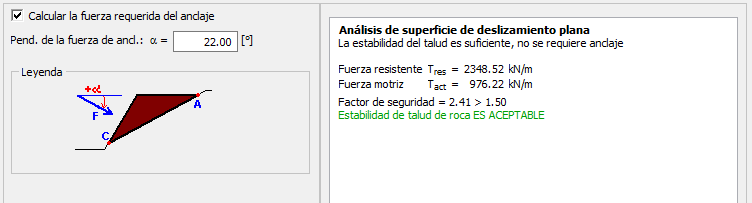
Análisis configuración de etapa: Permanente



**Para falla de superficie de deslizamiento plana:**

Análisis configuración de etapa: Transitoria





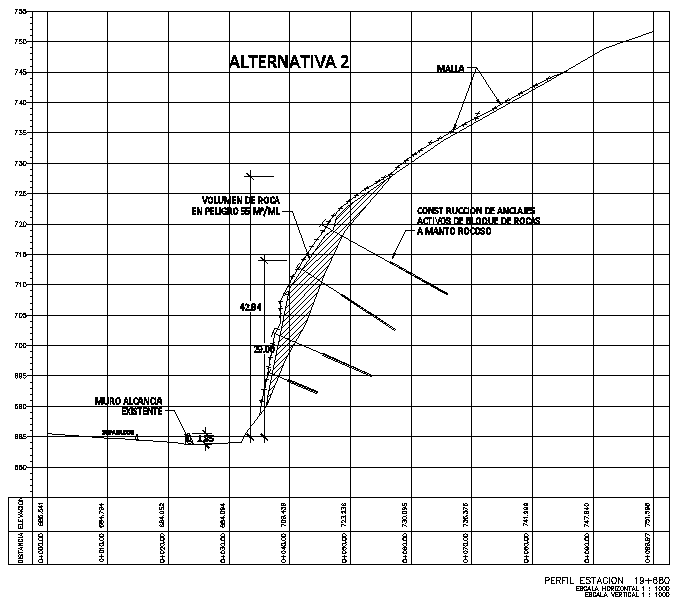
* 1. Resumen de Anclaje Activo en Rocas

Los anclajes para el bloque de roca irán a cada 1.20m horizontalmente

Llevará 4 camadas de anclajes

La longitud de los anclajes será de 10mt con un buzamiento de 10 grados.

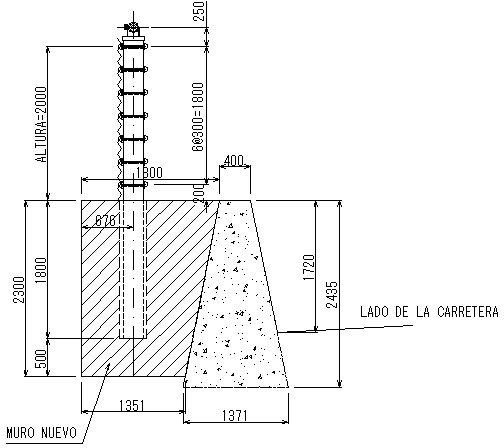
El tipo de anclaje será activo de una capacidad de 95kN x 1.5 = 142.5 kN ó 15Tn



|  |
| --- |
| Figura #9. Perfil reforzado del talud rocoso |

* 1. Barrera de alta resistencia para caída de rocas

La barrera de alta resistencia tiene como objetivo captar rocas desprendidas del talud rocoso convirtiendo la energía cinética en energía potencial. Esto es llevar a cero la velocidad con la que se desplaza y depositarla al pie del muro alcancía.



La forma del muro de concreto donde se apoyan los postes obedece a la existencia de un muro alcancía. El poste posee un empotramiento en el concreto de 1.80mt y una altura visita de 2.0 mt.

Esta barrera de alta resistencia para caída de rocas, posee una estructura simple y un desempeño superior. Tiene la capacidad de atrapar las rocas caídas con una energía máxima de 1000kJ.

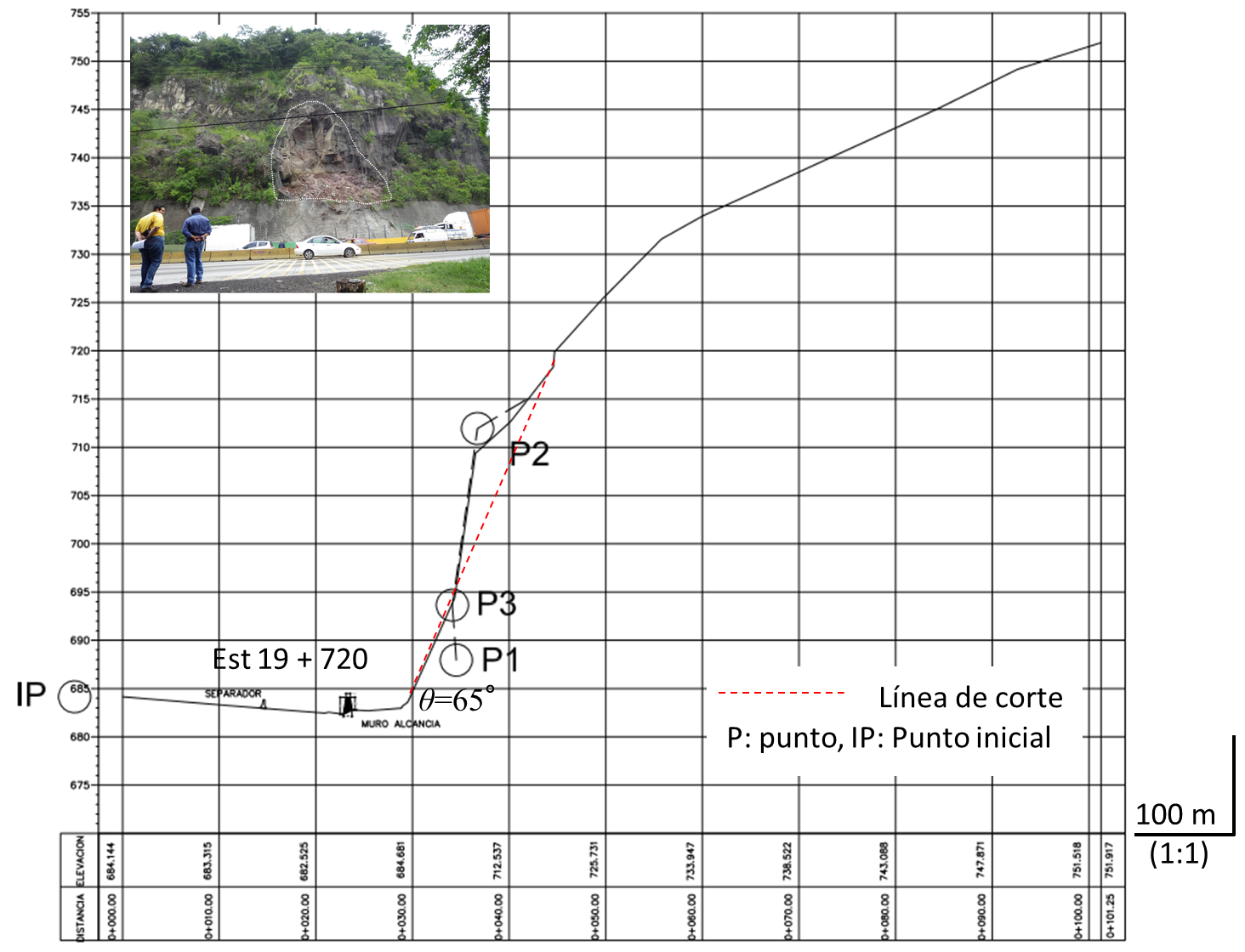
|  |
| --- |
| Figura #4. Forma de disipar energía de rocas en movimiento |

### 2.6.1 Determinación de postes

Primeramente se determina el volumen de roca a desprenderse.

La altura promedio del muro rocoso esta entre 40 y 50 mt, por lo tanto la altura media de caída de rocas será de 29 mt y habrá un desprendimiento de 12.759m3 por cada metro lineal.

|  |
| --- |
| Figura 5. Perfil de estación 19 + 720  P: Punto medio con distanciometro |



Calculo de la energía de roca caída

　 Según el “Manual de medidas para Roca caída” de la Asociación de Carreteras de Japón, de la sociedad civil con personalidad jurídica.

1.1 Condiciones para el diseño

Tabla 3. Condiciones para el diseño

Condiciones ・Forma de roca caída esférico

・Diámetro de Roca caída φ = 1.32 [m]

・Peso de la unidad de Roca caída γ = 27.0 [kN/m3]

・Aceleración de la gravedad g = 9.8 [m/s2]

・Peso de Roca caída W (m・g) = 32.52 [kN]

・Masa de Roca caída m = 3.32 [t]

・Altura de roca caída H = 35.0 [m]

（35m al máximo）

・ Inclinación de ladera =65.0 [ °]

・ Clasificación de ladera　　Clasificación E

Cálculo del coeficiente de fricción equivalente, 𝜇 según la Tabla 4.

Tabla 4. Coeficiente de fricción equivalente sobre la ladera.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Clasificación | Característica de roca caída y talud | 𝜇 para diseño |
| A | Roca dura, Roca suave,  Desigual: Poco, No hay árboles | 0.05 |
| B | Roca suave, Cuadrado～esférico,  Desigual: Moderado～intenso, Hay unos árboles | 0.15 |
| C | Tierra・Detrito, Esférico～cuadrado  Desigual: Poco～moderado, No hay árboles | 0.25 |
| D | Detrito・Detrito con roca grande, Cuadrado  Desigual: Moderado～intenso, No hay árboles～Hay | 0.35 |
| E | Roca dentro de la malla para proteger contra las rocas caídas. | 0.5 |

**1.2 Energía de roca caída**

Calculo de la energía de roca caída según la formula siguiente.

Donde:

E: Energía de roca caída [ kJ]

　　　 　𝛽: Coeficiente de la energía rotacional （normalmente: 0.1） [ - ]

𝜇： Coeficiente de fricción equivalente [ - ]

*θ*： Inclinación de ladera [ °]

m・g： Peso de roca caída （=W） [ kN]

H: Altura de roca caída [ m ]

= 0.844≦ 1.0

En consecuencia, usar 0.844

E=0.844×32.52×35.0

=960.64 (kJ)

Por eso, se usa para el cálculo: E=1000 [kJ]

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Tipo S** | **Tipo R** | **Tipo M** | **Tipo L** | **Tipo E** |
| Capaz de absorber energía | 1000kJ | 600kJ | 250kJ | 150kJ | 100kJ |
| Altura de la guía estándar | 2.5m – 5.0m | 2.5m-5.0m | 2.5m-5.0m | 2.5m-5.0m | 2.5m-5.0m |
| Espaciado estándar puntual | 6.0m-10.0m | 6.0m-10m | 6.0m-10m | 3.0m-5.0m | Por calculo estructural |
| Diámetro del cable principal | 16mm  Ø5/8” | 16mm  Ø5/8” | 12mm  Ø1/2” | 12mm  Ø1/2” | 16mm |
| Reducir la tierra y la arena | - | - | - | - | La correspondencia posible |

|  |
| --- |
| Figura 6. Absorción de energía |

La altura promedio del muro rocoso asciende a 36 mt, por lo tanto la altura media de caída de rocas será de 25 mt y habrá un desprendimiento de 9.60 m3 por cada metro lineal.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Altura de muro | Volumen desprendido | Altura promedio de caída | Volumen por cada ml |
| Figura #7. Tomada de Loop Fence. Folleto Japonés | | | | |

De acuerdo a la tabla de figura #7, para un talud con altura promedio entre 30 y 40mt, podría desprenderse un volumen de rica de 9.60 m³/ml. Esta roca desprendida en fragmentos tendrá un aumento de volumen o abundamiento de alrededor de 1.5 veces.

Por tanto el volumen a almacenar será de 9.60 m³/m x 1.5, esto es 14.40m³/ml.

La altura de la barda propuesta es de 2 mt sobre la corona del muro alcancía existente, con esta altura se alcanza un volumen de 35m³/ml, y siendo que el volumen de roca por desprenderse alcanza 9.60 m³/ml, **se concluye entonces que la altura de la barda de 2mt por encima del muro existente es satisfactorio.**

Para un volumen desprendido de roca de 9.60 m3 con un peso volumétrico promedio de 27.09 kN/m3, se tiene un peso en dirección vertical de 260.06 kN.

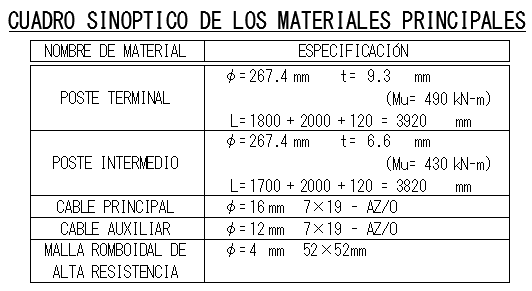
Utilizando una fuerza horizontal de 0.4g, se tiene que la fuerza horizontal es 104.02 kN. Si esta fuerza se aplica a una altura de 1/3H, donde H es 2 mt, se tiene que el momento es de 69.35 kN-m

Considerando la colocación de columnas o postes a cada 6.0 mt, se tiene que el peso a soportar por cada columna será de 96.68kN x 6 m, esto es 416.0 kN

Aplicando esta fuerza horizontal a una altura de 1/3 de H, siendo H=2.0 mt, se tiene un momento de: 277.33 kN-m lo cual es menor que 490 kN-m

Por lo tanto el tubo de Ø267.4mm y t=9.3m que posee un momento Mn=490 kN-m, es aceptable.

Características estructurales del tubo:



**Conclusión:**

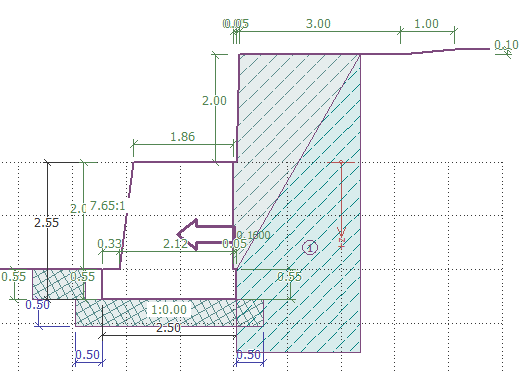
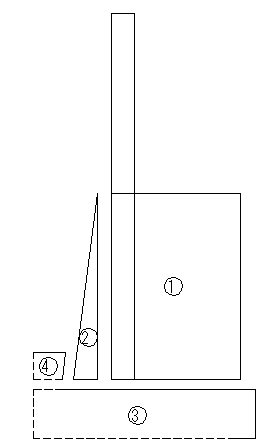
* La Barda deberá ser de 4.85mt de altura medidos desde el suelo de apoyo ó 3 metros medidos desde la corona del muro alcancía existente.
* Los cables serán de diámetro Ø 16mm 7 x 19, apoyados de columna en columna a través de ojetes o bucles.
* Las columnas irán apoyadas sobre agujero en el suelo natural y en su alrededor concreto simple de resistencia a la compresión f’c, de 210 kg/cm². Ver figura 9
* La profundidad de empotramiento será de 1.20mt
* El espaciamiento de las columnas o puntales será de 3.5mt

### 2.6.2 Análisis de base de barda

Consiste en un muro base de concreto f’c=250 kg/cm2 a construirse adosado al muro alcancía existente

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Estructuras de hormigón : | EN 1992-1-1 (EC2) | |
| Coeficientes EN 1992-1-1 : | Estándar | |
| Muro de concreto (f’c=250 kg/cm2): | EN 1996-1-1 (EC6) | |
| Calculo de la presión activa de la tierra : | | Coulomb | |
| Cálculo de la presión pasiva de la tierra : | | Caquot-Kerisel | |
| Análisis sísmico : | | Mononobe-Okabe | |
| Forma de la cuña de la tierra : | | Calcular oblicuo | |
| Excentricidad permitida : | | 0.333 | |
| Metodología de verificación : | | Factores de seguridad (ASD) | |

Geometría de la estructura:





El peso gravitacional del muro de 1.76 mt vistos y una barda de 2.0 m sobre la corona del muro existente, genera un momento de 18.348 Tn-mt.

### 2.6.3 Resultados

**a. Condición permanente:**

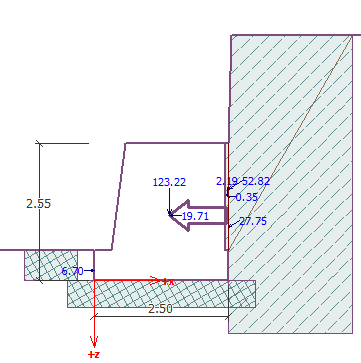
Se analizó la estructura para una condición permanente, generando los siguientes resultados:

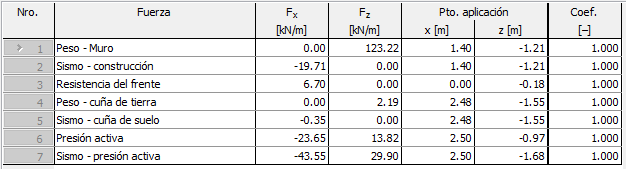
Capacidad portante del suelo: 2 kg/cm² ó 200 kPa

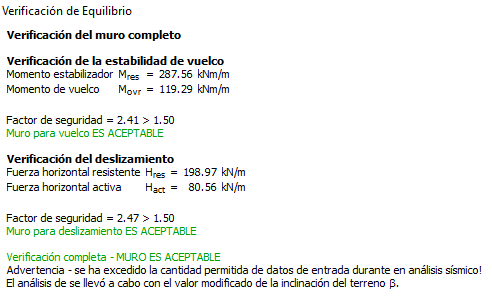
Peso del concreto: 2.2 kg/m3 ó 22 kN/m3

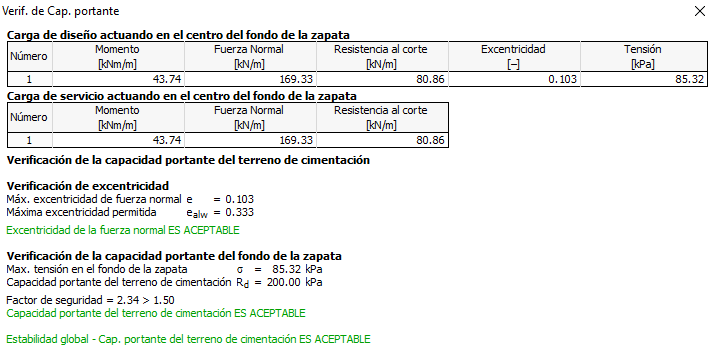
Peso de piedra tipo granito 27 kN/m3

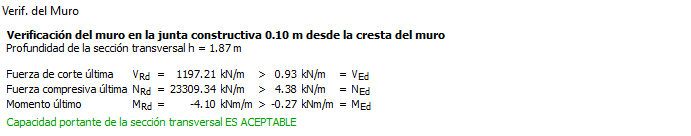
Peso de piedra fracturada 22.5 kN/m3

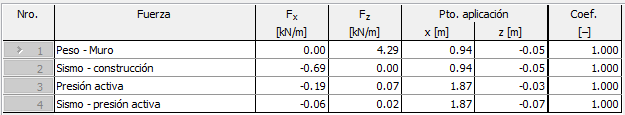












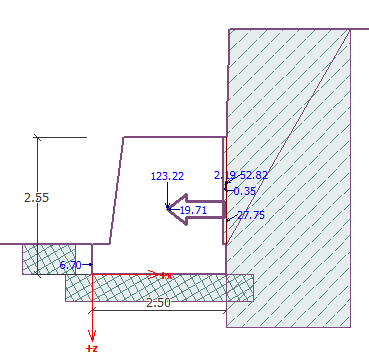
### 2.6.4 Condición sísmica

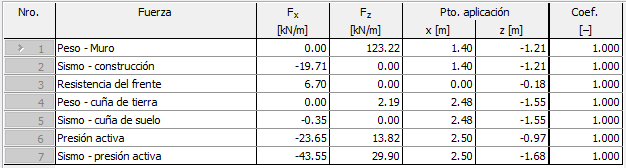
Capacidad portante del suelo: 2 kg/cm² ó 200 kPa

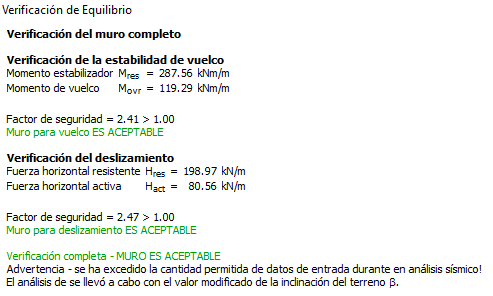
Peso del concreto: 2.2 kg/m3 ó 22 kN/m3

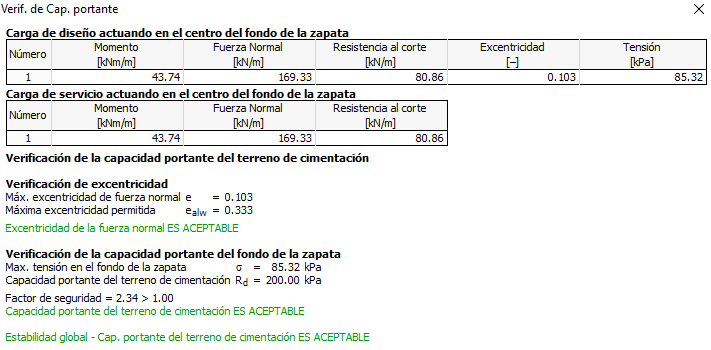
Peso de piedra tipo granito 27 kN/m3

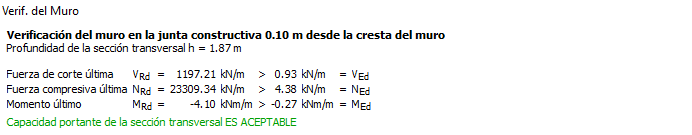
Peso de piedra fracturada 22.5 kN/m3

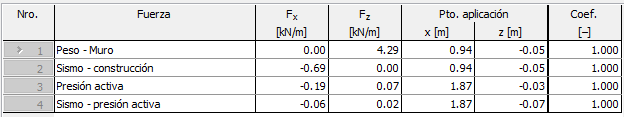












1. **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## Conclusiones.

* Garantizar una longitud de 10mt para cada anclaje en la roca.
* Cada anclaje no será menor de 15 Tn.
* La separación máxima será a cada 1.50 horizontalmente.
* El muro de retención tipo alcancía con las nuevas dimensiones establecidas, cumple con los factores mínimos de seguridad de Norma Técnica de Diseño y Construcción de Muros de retención y Estabilidad de Taludes.
* La capacidad actual y su estabilidad estructural del muro alcancía no se verá disminuida por la construcción de una barrera sobre la corona del mismo, ya que el muro base adicional lo vuelve más estable.
* Dado que el suelo del lugar es de consistencia rocosa, la capacidad portante del suelo es sustancialmente alta.

## Recomendaciones.

* Sera necesario hacer pruebas de pull out para probar anclajes al menos en un 10%.
* Elegir roca sana o en su defecto utilizar la roca menos fracturada para hacer la perforación.
* Cada perforación no deberá ser menor a 4” de diámetro.
* Debido a que es un muro estabilizado gravitacionalmente, se debe mantener las dimensiones y pesos de materiales establecidos para la revisión de la estabilidad estructural a efecto de garantizar un comportamiento aceptado.
* Hacer juntas de espesor 3cm, a cada 12mt o donde exista la junta del muro alcancía existente y así garantizar un comportamiento similar entre muro viejo y muro nuevo.