

República de Panamá



MINISTERIO DE
OBRAS PÚBLICAS

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

CONSULTORÍA PARA EL DISEÑO URBANO DE LAS CALLES DE ISLA COLÓN,
CIRCUNVALACIÓN COSTERA LA FERIA – BOCA DE DRAGO – PLAYA BLUFF –
PLAYA PAUNCH, SISTEMA DE BOMBEO Y REMOZAMIENTO DEL PARQUE
SIMÓN BOLÍVAR

PROVINCIA BOCAS DEL TORO

Contrato UAL-3-01-2020



CONSORCIO PROYECO-INGEOTEC

12. DISEÑO DE PUNTOS CRÍTICOS Y SISTEMA DE CONTENCIÓN Y PROTECCIÓN COSTERO

Versión 01

Diciembre, 2020

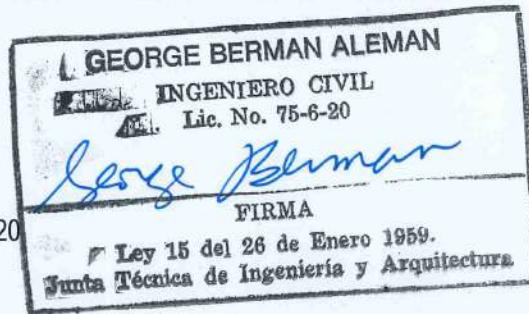


TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	1
3. DESCRIPCIÓN DE LA TEORÍA DEL CÁLCULO.....	2
3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DE CÁLCULO	2
3.2. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES	2
3.3. TIPOS DE CÁLCULOS	2
3.4. CONDICIÓN SÍSMICA.....	4
4. ANÁLISIS DE PUNTO CRÍTICO 1 Y 2.....	4
4.1. CARACTERIZACIÓN DE ESTRATOS.....	4
4.2. DATOS DE ENTRADA DEL MODELO	8
4.3. MODELACIÓN.....	9
4.3.1. ETAPAS DEL CÁLCULO	10
4.3.2. RESULTADOS.....	14
5. ANÁLISIS DE PUNTO CRÍTICO 3.....	15
5.1. CARACTERIZACIÓN DE ESTRATOS.....	15
5.2. DATOS DE ENTRADA DEL MODELO	17
5.3. MODELACIÓN.....	17
5.3.1. ETAPAS DEL CÁLCULO	19
5.3.2. RESULTADOS.....	23
6. ANÁLISIS DE PUNTO CRÍTICO 4.....	24
6.1. CARACTERIZACIÓN DE ESTRATOS.....	24
6.2. DATOS DE ENTRADA DEL MODELO	25

6.3. MODELACIÓN.....	26
6.3.1. MODELACIÓN.....	26
6.3.2. ETAPAS DEL CÁLCULO	27
6.3.3. RESULTADOS.....	31
7. ANÁLISIS DE CONTROL DE SISTEMA DE CONTENCIÓN Y PROTECCIÓN COSTERO	32
7.1. CARACTERIZACIÓN DE ESTRATOS.....	32
7.2. DATOS DE ENTRADA DEL MODELO	35
7.3. MODELACIÓN.....	36
7.3.1. ETAPAS DEL CÁLCULO	36
7.3.2. RESULTADOS.....	44

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Sección Típica para Análisis de Estabilidad de Punto Crítico 1 y 2	9
Ilustración 2. Sección Típica para Análisis de Estabilidad de Punto Crítico 3.....	18
Ilustración 3. Sección Típica para Análisis de Estabilidad de Punto Crítico 4.....	26
Ilustración 4. Sección Típica para Análisis de Control de Erosión	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Caracterización de estratos, Puntos críticos 1 y 2	5
Tabla 2. Propiedades de estrato de suelo residual, puntos críticos 1 y 2	6
Tabla 3. Caracterización de estratos, Puntos críticos 1 y 2	7
Tabla 4. Caracterización de estratos de roca meteorizada, punto crítico 1 y 2.....	8
Tabla 5. Propiedades de materiales, Puntos críticos 1 y 2.	8
Tabla 6. Caracterización de estratos, Punto crítico 3.....	16
Tabla 7. Propiedades de estrato de material de relleno, punto crítico 3.	16
Tabla 8. Propiedades de estrato de roca meteorizada, punto crítico 3.....	17
Tabla 9. Propiedades de materiales, Punto crítico 3.....	17
Tabla 10. Caracterización de estratos, Punto crítico 4.....	24
Tabla 11. Propiedades de estrato de suelo residual, punto crítico 4.....	25
Tabla 12. Propiedades de estrato de roca meteorizada, punto crítico 4	25
Tabla 13. Propiedades de materiales, Punto crítico 4.....	26
Tabla 14. Caracterización de estratos, costa.....	32
Tabla 15. Propiedades de estrato de suelo residual, costa.....	33
Tabla 16. Caracterización de estratos, costa.....	34
Tabla 17. Propiedades de estrato de roca meteorizada, costa	35
Tabla 18. Propiedades de materiales.	35
Tabla 19. Propiedades de materiales, tablestaca.	35

1. INTRODUCCIÓN

Como parte del proyecto denominado "CONSULTORÍA PARA EL DISEÑO URBANO DE LAS CALLES DE ISLA COLÓN, CIRCUNVALACIÓN COSTERA LA FERIA – BOCA DE DRAGO – PLAYA BLUFF – PLAYA PAUNCH, SISTEMA DE BOMBEO Y REMOZAMIENTO DEL PARQUE SIMÓN BOLÍVAR, PROVINCIA DE BOCAS DEL TORO" con contrato UAL-3-01-2020, se entienden todos aquellos estudios, investigaciones, levantamientos y diseños necesarios para la futura construcción.

El presente documento manifiesta el diseño de los puntos críticos y sistema de contención y protección costero empleados en el desarrollo de la Fase A del proyecto en referencia, el cual abarca las siguientes zonas:

- Circunvalación Costera La Feria – Boca de Drago – Playa Paunch
 - Tramo Existente La Feria – Playa Paunch
 - Tramo Existente Big Creek - Boca de Drago

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La circunvalación costera objeto del proyecto presenta una serie de zonas colindantes a áreas playeras con estabilidad vulnerable ante la erosión por oleaje, tal es el caso observado en la zona de Big Creek en la que se ha constatado el efecto producido por el oleaje ante la falta de sistemas de protección y contención costera que aseguren la vida útil de la vialidad existente (ver sección 7. Descripción de problemas técnicos, legales o comunitarios).

Para dar una solución integral a la vialidad, con base a lo antes descrito, se han realizado perforaciones para la zona de control de erosión. Las perforaciones se extendieron hasta la profundidad necesaria para identificar los materiales geológicos que inciden sobre el diseño de los cimientos del proyecto. A intervalos convenientes se realizaron pruebas de penetración estándar, para cuantificar la consistencia de los suelos en sitio. Se utilizaron estos resultados en conjunto con los ensayos de laboratorio para evaluar la estabilidad de los taludes de los puntos críticos.

Los cuatro puntos críticos se encuentran ubicados en el Recorrido que va desde la Playa Big Creek hasta Playa Boca del Drago. Y el control de erosión se encuentra en el Recorrido que va desde La Feria hacia Playa Paunch.

Este informe cuantifica el factor de seguridad para la estabilidad de los taludes en corte, relleno y con gaviones. Las evaluaciones se realizaron para la condición estática y pseudo-estática.

3. DESCRIPCIÓN DE LA TEORÍA DEL CÁLCULO

3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DE CÁLCULO

PLAXIS es un programa de computadora de elemento finito en dos dimensiones con propósito especial utilizado para ejecutar análisis de estabilidad y deformaciones para distintos tipos de aplicaciones geotécnicas. Se pueden modelar situaciones reales ya sea, por deformaciones unitarias planas o un modelo axi-simétrico. El programa utiliza una conveniente interfase usuario de gráficas que permite generar rápidamente un modelo geométrico y una malla de elemento finito basado en una sección transversal vertical representativa de la situación.

3.2. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

El comportamiento mecánico de los suelos puede ser modelado con modelos avanzados de precisión. La ley de Hooke de la elasticidad lineal isotrópica, por ejemplo, es la relación disponible de esfuerzo-deformación más simple. Ya que, solamente involucra dos parámetros; el módulo de Young, E, y la relación de Poisson, ν , lo cual es generalmente muy crudo para capturar características esenciales del comportamiento del suelo y la roca.

Las propiedades de los materiales a introducir son las estimadas en los datos de entrada para cada punto crítico.

3.3. TIPOS DE CÁLCULOS

Carga de gravedad: la etapa en donde se aplica la carga de gravedad; es decir, el peso propio, es controlada por una proporción de gravedad aplicada y una porción del peso de los materiales: masa de suelo, presiones de poro y estructuras.

Plástico: el cálculo plástico se utiliza para llevar a cabo un análisis de deformación elasto-plástico en el cual no es necesario tomar en cuenta la disminución del exceso de presión de poro con el tiempo. La matriz de rigidez en un cálculo normal plástico se basa en la geometría original no deformada.

Factor de seguridad: el factor de seguridad es, usualmente, definido como la razón entre la carga de falla y la carga de trabajo. Esta definición es apropiada para estructuras de fundación, pero no para tablestacas o terraplenes. Para estas últimas estructuras, es más apropiado utilizar la definición de la mecánica de suelos para el factor de seguridad, el cual es la razón entre la resistencia disponible al corte y la resistencia mínima necesaria al corte para el equilibrio. PLAXIS puede ser utilizado para encontrar ese factor de seguridad utilizando el método "phi-c reduction".

De acuerdo al REP-14: Anexo A6, Cuadro A6.5.3.7, el factor de seguridad recomendado para la modalidad de falla de derrumbe global en la condición estática es de $FS = 1.5$ y para la condición de sismo, de 1.2.

Método "Phi-C Reduction": en el enfoque de la reducción de phi-c, los parámetros de resistencia del suelo, $\tan\varphi$ y c , son sucesivamente reducidos hasta que ocurre la falla en la estructura. El multiplicador total $\sum Msf$ es el factor de seguridad, FS , del talud. Indica el factor por el cual se reduce el valor de los parámetros de resistencia del suelo para llegar a una condición de equilibrio:

$$\sum Msf = \frac{\tan\varphi_{input}}{\tan\varphi_{reduced}} = \frac{c_{input}}{c_{reduced}}$$

En donde los parámetros de resistencia con el subíndice "input" se refiere a las propiedades de los materiales introducidos y los parámetros con el subíndice "reduced" se refiere a los valores reducidos utilizados en el análisis.

El enfoque de la reducción de phi-c reemplaza el método de calcular los factores de seguridad como se ha adoptado, convencionalmente, con el análisis de círculo de falla. El plano de falla crítico surge del estado de esfuerzos y los parámetros de resistencia en el análisis.

3.4. CONDICIÓN SÍSMICA

La caracterización del Riesgo Sísmico en el sitio se obtuvo del Reglamento Estructural de Panamá (REP-2014). La aceleración espectral (Ss) en el sitio es de 1.282. De la ecuación 3.1 de Z.A. Lubkowski & B. Aluisi ("Deriving Ss and S1 Parameters from PGA Maps"), se obtiene el PGA:

$$Ss/PGA = 0.3386 * PGA + 2.1696, \text{ resultando } PGA = 0.54g$$

Para la evaluación de la estabilidad de taludes, mediante métodos pseudo-estáticos, aplicamos el criterio expresado en Kramer, S ("Geotechnical Earthquake Engineering", Prentice-Hall, 1996). Kramer, en la sección 10.6.1.1 de la referencia citada, describe las recomendaciones de múltiples autores para elegir una aceleración pseudo-estática apropiada para evaluar un talud. Estas recomendaciones de reducción del PGA se fundamentan en el hecho de que un talud es una masa flexible comparado a la rigidez de una estructura, que disipa mucha energía en los procesos de deformación. Para nuestras evaluaciones, elegimos una aceleración horizontal para evaluar los taludes de:

$$ah = 0.3 \text{ PGA} = 0.3 (0.54) = 0.16g$$

4. ANÁLISIS DE PUNTO CRÍTICO 1 Y 2

4.1. CARACTERIZACIÓN DE ESTRATOS

Con base al estudio de suelos realizado (ver Sección 8), se presentan los siguientes datos de estratos caracterizados fueron suelo residual y roca meteorizada. Sólo se caracterizaron los materiales involucrados en la estabilidad del talud, por lo que la roca sana no se incluyó en el análisis.

Suelo Residual

El estrato de suelo residual corresponde a un estrato compuesto de limo y arcilla. Por lo tanto, se considera lo siguiente:

- Se considera que el modelo matemático que mejor representa el comportamiento mecánico de este material es SUELO ENDURECIDO (HARDENING SOIL).
- Las perforaciones realizadas muestran:

Tabla 1. Caracterización de estratos, Puntos críticos 1 y 2.

Sondeo	Prof. (m)		N (SPT)	Descripción Visual
	Desde	Hasta		
H-04	1.50	2.10	6	No hubo recuperación. Consistencia firme. OC. 3.
	3.00	3.60	6	Suelo residual. Limo arcilloso. Consistencia firme. OC: 3. Plasticidad media. Resistencia en estado seco moderada. Color marrón/crema.
	4.50	5.10	5	
	6.00	6.60	13	Suelo residual. Limo arcilloso. Consistencia rígida. OC: 3. Plasticidad baja. Resistencia en estado seco débil. Color gris
	7.50	8.10	25	Suelo residual. Limo con fragmentos de meteorización. Consistencia muy rígida. OC: 4. No plástico. Color gris.
H-05	3.00	3.60	20	Suelo residual. Limo con fragmentos de meteorización. Consistencia muy rígida. OC: 4. Plasticidad baja. Resistencia en estado seco baja. Color gris.

Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

- Con base a los registros de perforación y a proyectos con geología similar se estiman las siguientes propiedades:

Empirical values for γ , of cohesive soils based on the standard penetration number, (from Bowles, Foundation Analysis), se estima el peso específico seco, $\gamma_{unsat} = 16.0 \text{ kN/m}^3$ y saturado, $\gamma_{sat} = 17.0 \text{ kN/m}^3$

Según el Reglamento Estructural Panameño (REP 2014), Anexo A6: Figura 6.3.3 Capacidad de Soporte de Cimientos Superficiales; se estiman los valores del ángulo de fricción $\phi = 20^\circ$ y la cohesión, $c = 16 \text{ kN/m}^2$

De acuerdo a la velocidad de onda de corte estimada y la relación de Poisson de $\nu = 0.3$, se obtiene el valor del módulo de Young, $E_{50} \text{ ref} = 210,000 \text{ kN/m}^2$

- Con lo anterior, se presenta la lista de parámetros que describen las propiedades del estrato de manera completa:

Tabla 2. Propiedades de estrato de suelo residual, puntos críticos 1 y 2.

Modelo:	HARDENING SOIL					
Estrato	$\gamma_{\text{unsat}} (\text{kN/m}^3)$	$\gamma_{\text{sat}} (\text{kN/m}^3)$	$E_{50} \text{ ref} (\text{kN/m}^2)$	ν	$\phi (^\circ)$	$c (\text{kN/m}^2)$
SResidual	16	17	210,000	0.3	20	16

Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

Roca Meteorizada

La roca meteorizada del área corresponde la descomposición de la roca predominante en el sitio: arenisca de grano fino de la Formación Gatún Uscari. Por lo tanto, se considera lo siguiente:

Se considera que el modelo matemático que mejor representa el comportamiento mecánico de este material es SUELLO ENDURECIDO (HARDENING SOIL). Primero se estimaron parámetros iniciales del modelo "Hoek-Brown" para un tipo de roca "arenisca". Luego, según el ajuste Mohr-Coulomb por Hoek,B. (2007), se obtuvieron parámetros de resistencia que permitieron definir el material equivalente dentro del modelo "Hardening-Soil". Para obtener la equivalencia se utilizó la referencia: RocLab© de 2012-2013 Rocscience por Evert Hoek.

- Las perforaciones o ensayos de laboratorio realizados para este proyecto muestran:

Tabla 3. Caracterización de estratos, Puntos críticos 1 y 2.

Sondeo	Prof. (m)		Recobro (%)	Descripción Visual
	Desde	Hasta		
H-04	8.10	9.00	0	No hubo recuperación. Roca muy suave. El material se lavó en la acción de la perforación. Avance de broca de diamante medio. Color de agua gris.
H-05	4.50	5.10	50	Transición de suelo residual a roca. Limo saprolítico. Consistencia dura. OC: 5. No plástico. Limo con fragmentos de arena y meteorización. Color gris.
	5.10	6.00	0	No hubo recuperación. Roca muy suave. El material se lavó en la acción de la perforación. Avance de broca de diamante medio. Color de agua gris.

Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

- Por referencia a los ensayos de compresión simple en el sitio y a proyectos con geología similar se obtienen los siguientes parámetros:

El valor del peso específico no saturado, el $\gamma_{unsat} = 17 \text{ kN/m}^3$ y saturado, $\gamma_{sat} = 17 \text{ kN/m}^3$

El valor de la resistencia a la compresión simple estimada, $\sigma_c = 5,300 \text{ kN/m}^2$

De acuerdo a la velocidad de onda de corte estimada y la relación de Poisson, $v = 0.20$, se obtiene el valor del módulo inicial de la masa de roca, $E_i = 1,084,000 \text{ kN/m}^2$. De estos datos, se obtiene el módulo $E_{50} = 596,000 \text{ kN/m}^2$.

El coeficiente $m_i = 17$, de acuerdo al tipo de roca; el índice de resistencia geológico, $GSI = 60$ y el factor perturbación mínima, $D = 0$.

Datos de Entrada

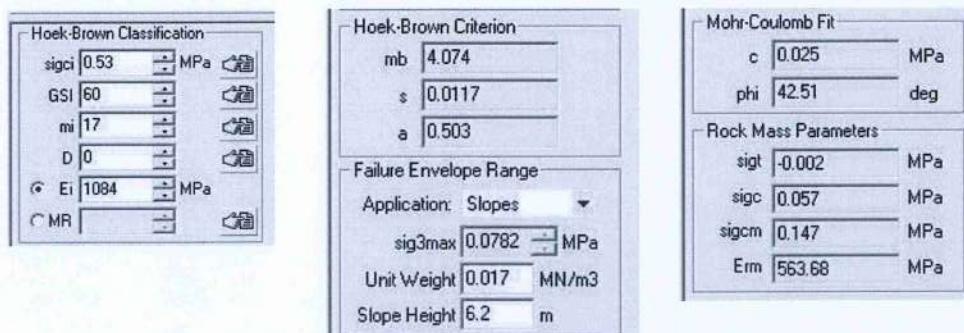
Clasificación Hoek-Brown

Resultados

Criterio Hoek-Brown

Resultados

Ajuste Mohr-Coulomb



Con lo anterior, se presenta la lista de parámetros que describen las propiedades del estrato de manera completa:

Tabla 4. Caracterización de estratos de roca meteorizada, punto crítico 1 y 2.

Modelo:	HARDENING SOIL					
Estrato	γ_{unsat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	E_{50} ref (kN/m ²)	v	ϕ (°)	c (kN/m ²)
RMeteorizada	17	17	596,000	0.3	42	25

Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

4.2. DATOS DE ENTRADA DEL MODELO

Carga externa: la sobrecarga superior se tomó de acuerdo a, $Q = 15 \text{ kN/m/m}$, distribuido en la futura calle.

Materiales complementarios: se utilizaron materiales de suelo complementarios que hacen parte de la situación actual del talud y de la solución para mejorar la estabilidad del mismo. El material deslizado fue estimado según retro análisis y los rellenos fueron estimados en base a proyectos similares. Estos materiales son:

Tabla 5. Propiedades de materiales, Puntos críticos 1 y 2.

Modelo:	HARDENING SOIL					
Estrato	γ_{unsat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	E_{50} ref (kN/m ²)	v	ϕ (°)	c (kN/m ²)

Mat. Desliz.	16	17	210,000	0.3	15	8
Relleno Selecto	18	19	200,000	0.3	40	20
Relleno General	18	19	120,000	0.3	32	10

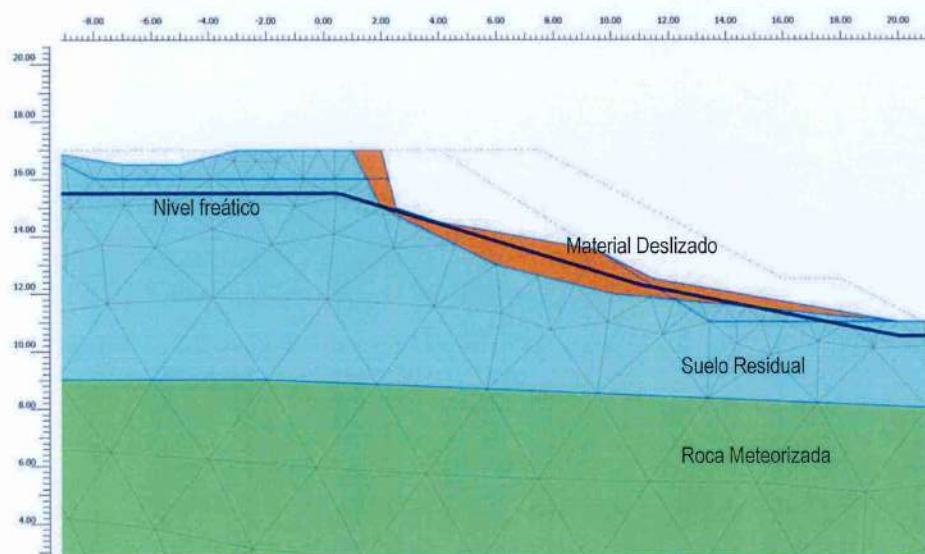
Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

Nivel freático: se consideró la condición de nivel freático más crítica.

4.3. MODELACIÓN

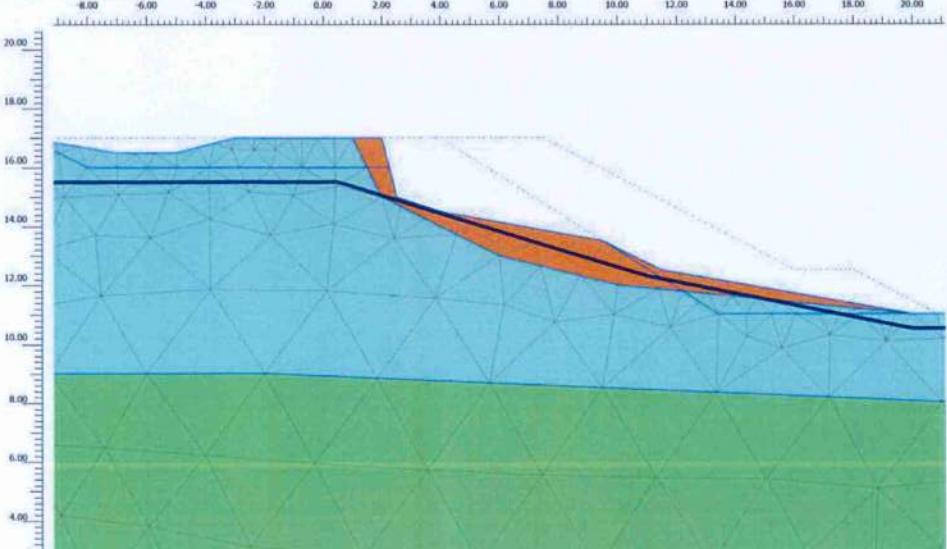
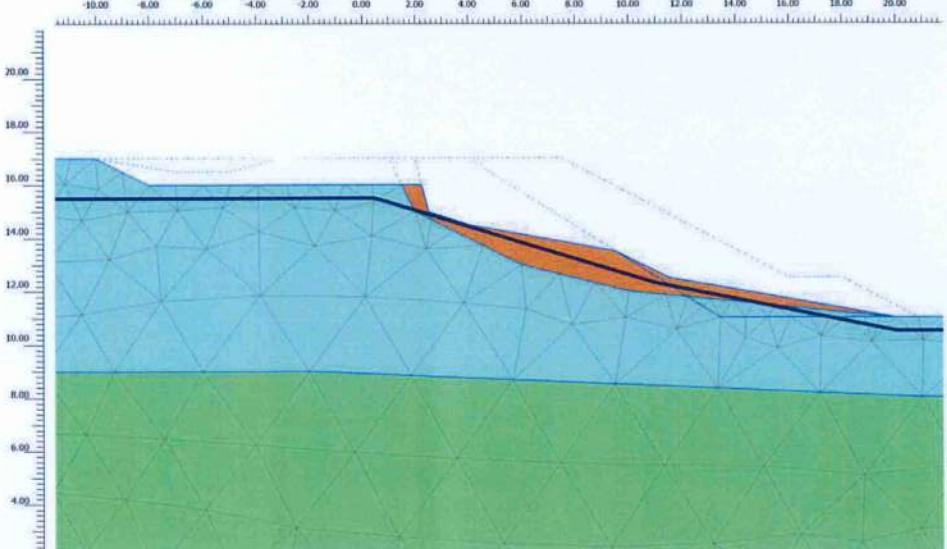
Perfil: para modelar la geometría, se tomó la sección transversal 0K+880 y la información de los estratos de los sondeos H-04 y H-05.

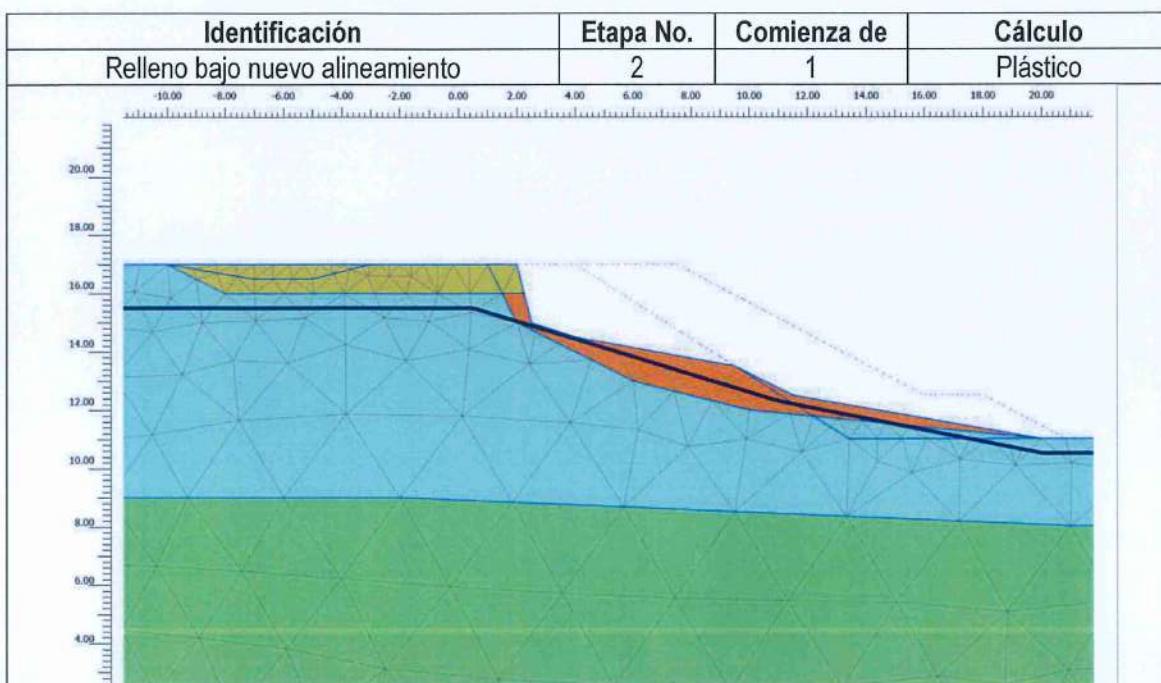
Ilustración 1. Sección Típica para Análisis de Estabilidad de Punto Crítico 1 y 2



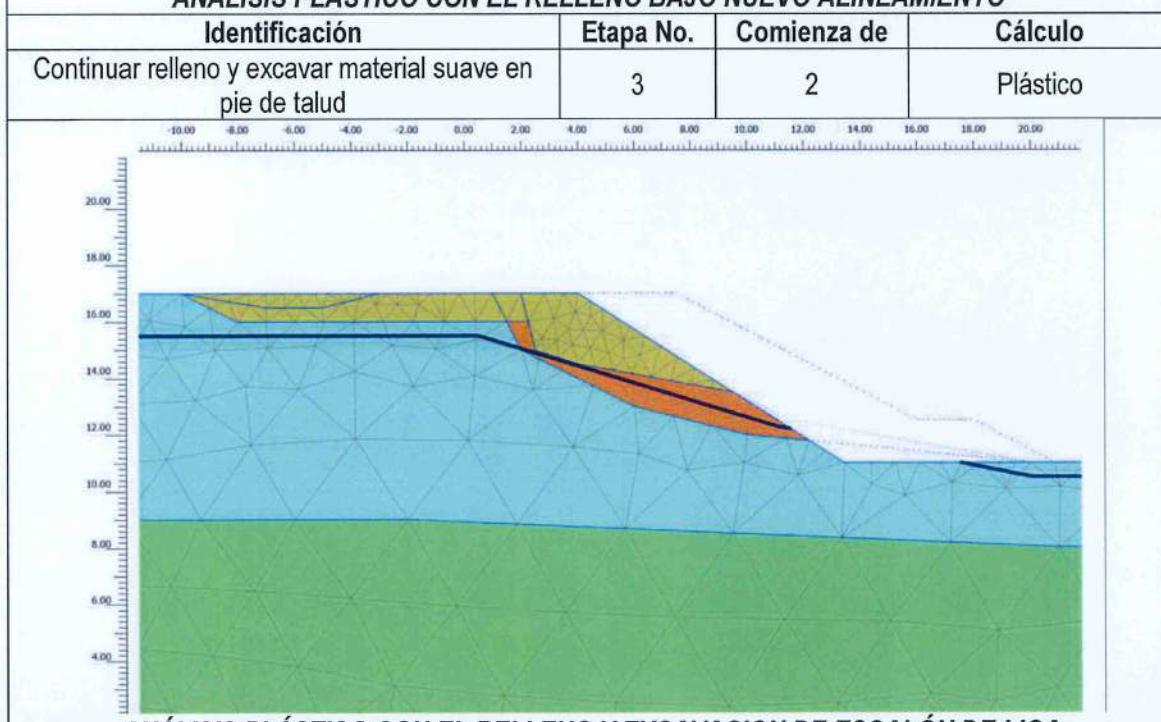
Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

4.3.1. ETAPAS DEL CÁLCULO

Identificación	Etapa No.	Comienza de	Cálculo
Fase inicial	0	N/A	Seguridad, FS = 1.36
			
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD ACTUAL			
Identificación	Etapa No.	Comienza de	Cálculo
Talud de corte	1	0	Plástico
			
ANÁLISIS PLÁSTICO CON EL TALUD DE CORTE			

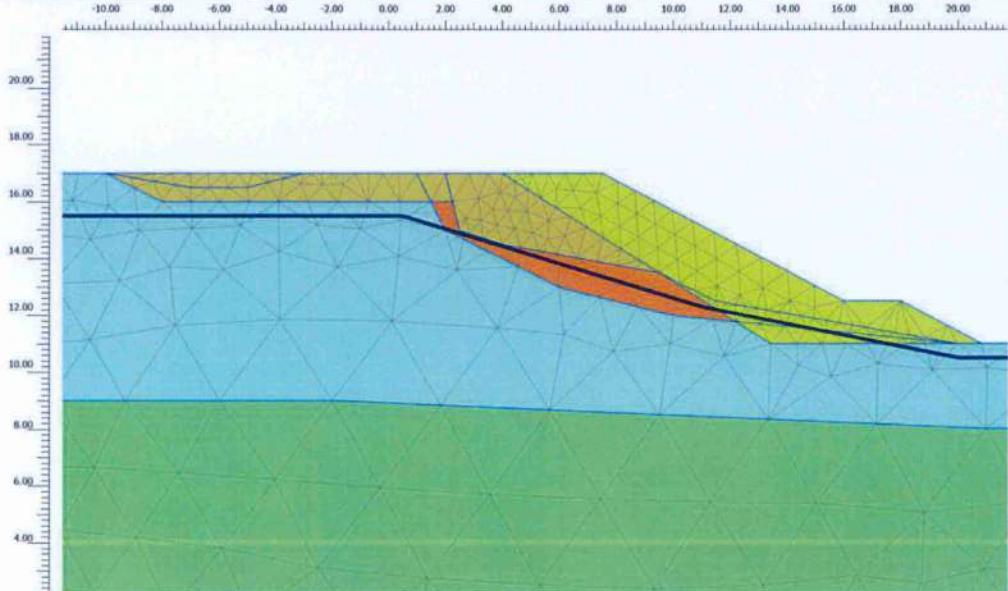


ANÁLISIS PLÁSTICO CON EL RELLENO BAJO NUEVO ALINEAMIENTO



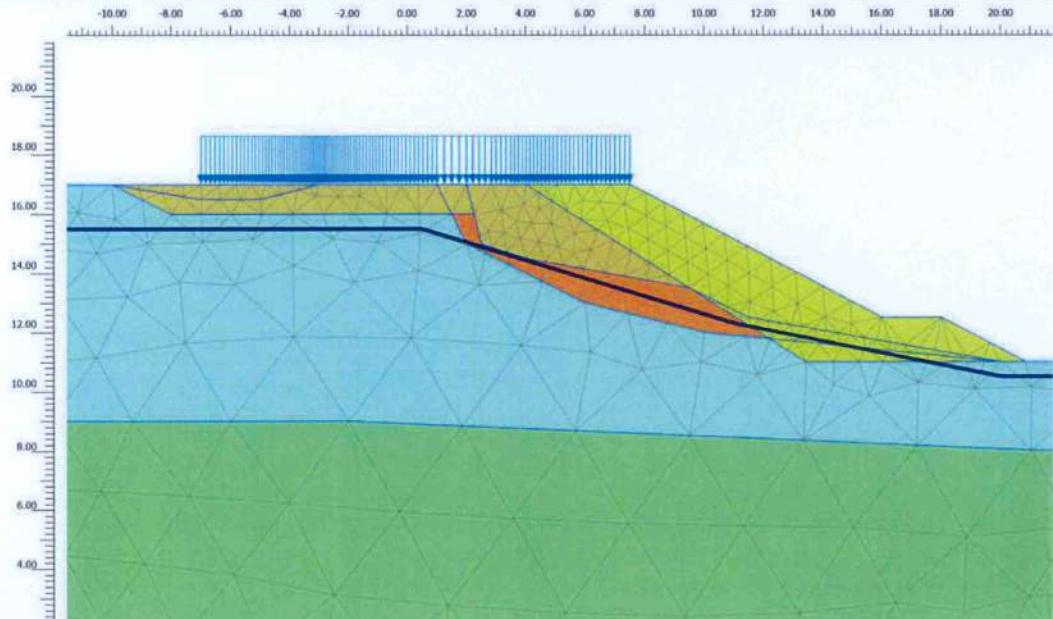
ANÁLISIS PLÁSTICO CON EL RELLENO Y EXCAVACION DE ESCALÓN DE LIGA

Identificación	Etapa No.	Comienza de	Cálculo
Completar alineamiento con relleno general	4	3	Plástico

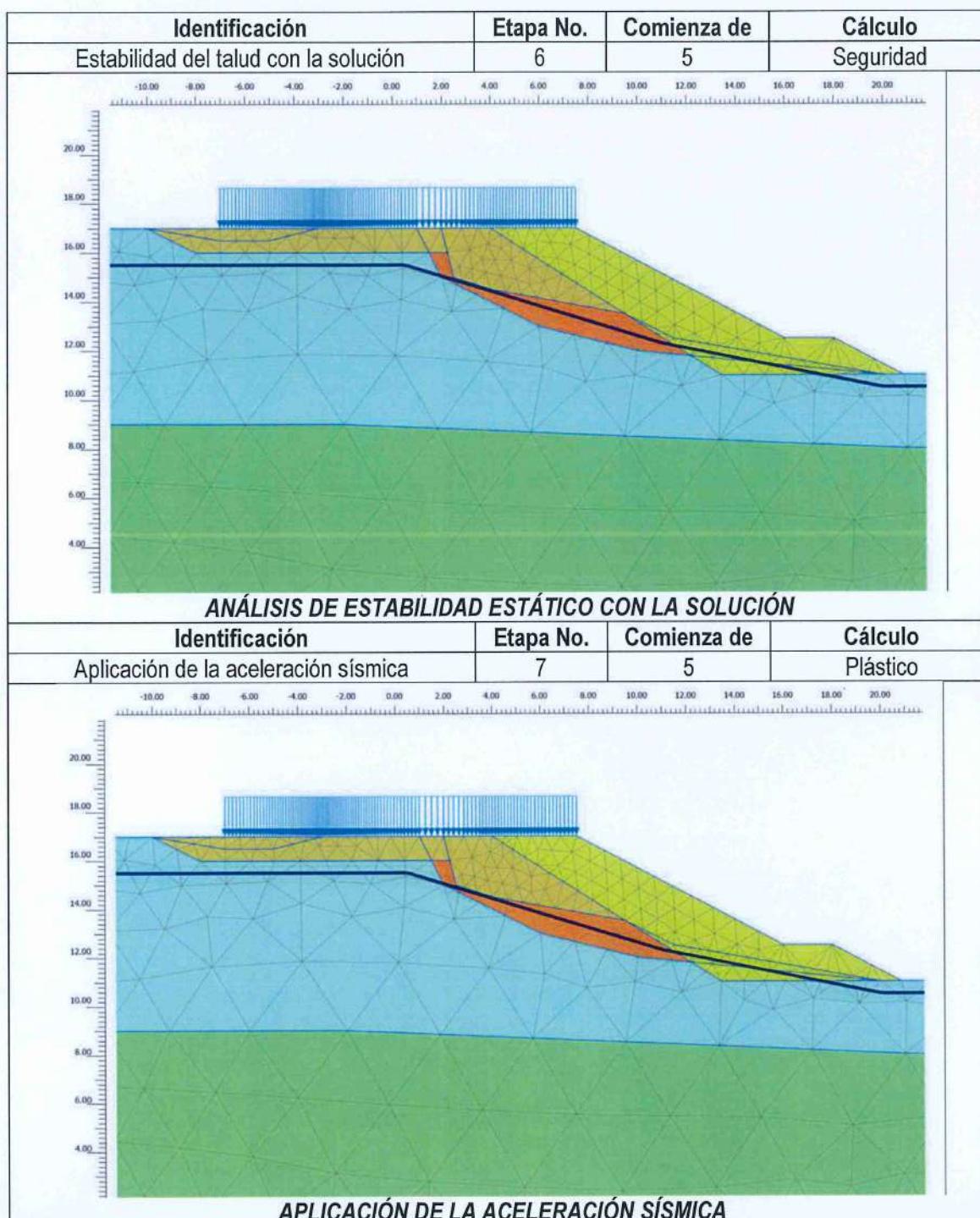


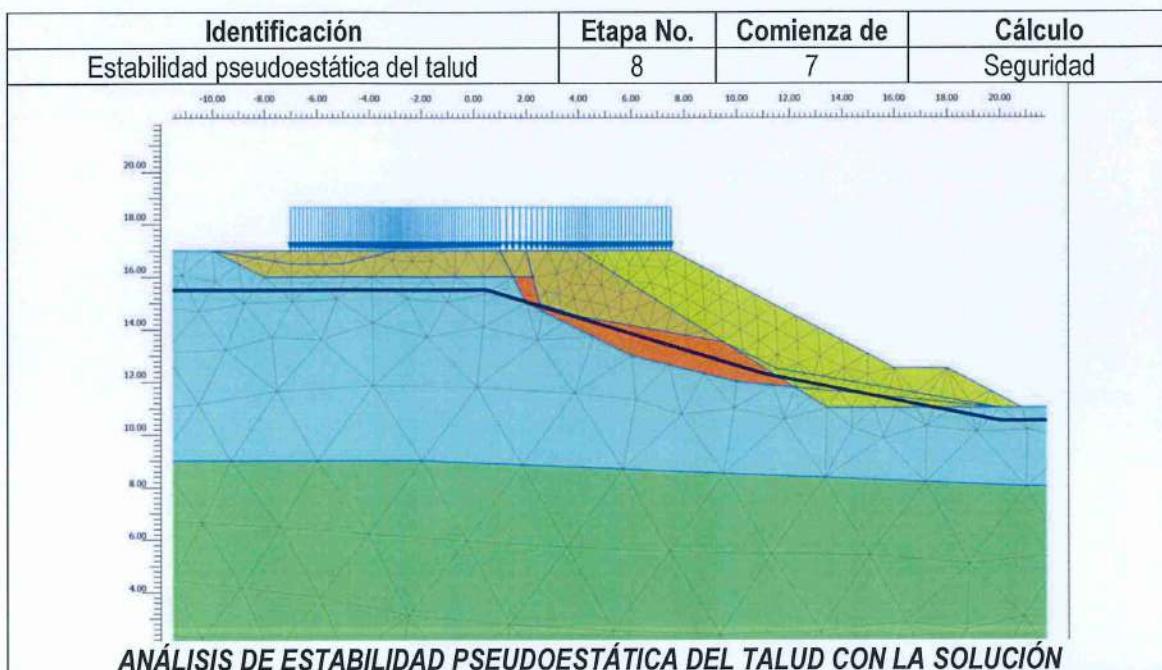
ANÁLISIS PLÁSTICO CON EL TALUD DE RELLENO GENERAL

Identificación	Etapa No.	Comienza de	Cálculo
Aplicar sobrecarga del alineamiento	5	4	Plástico

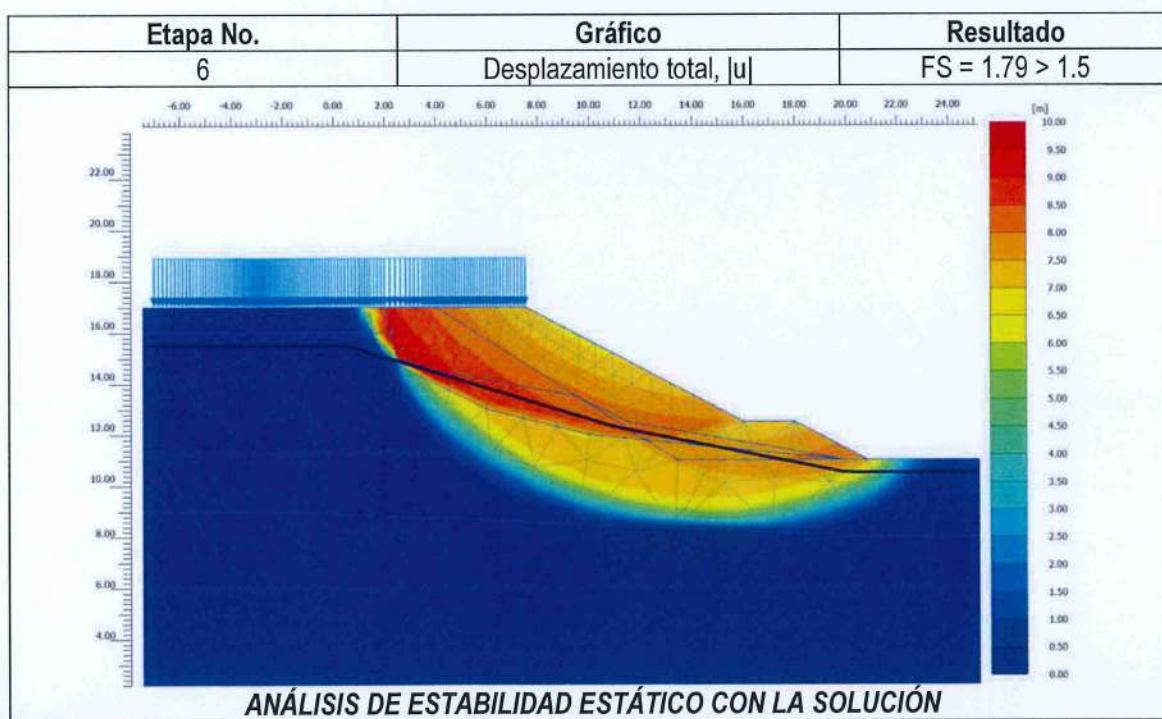


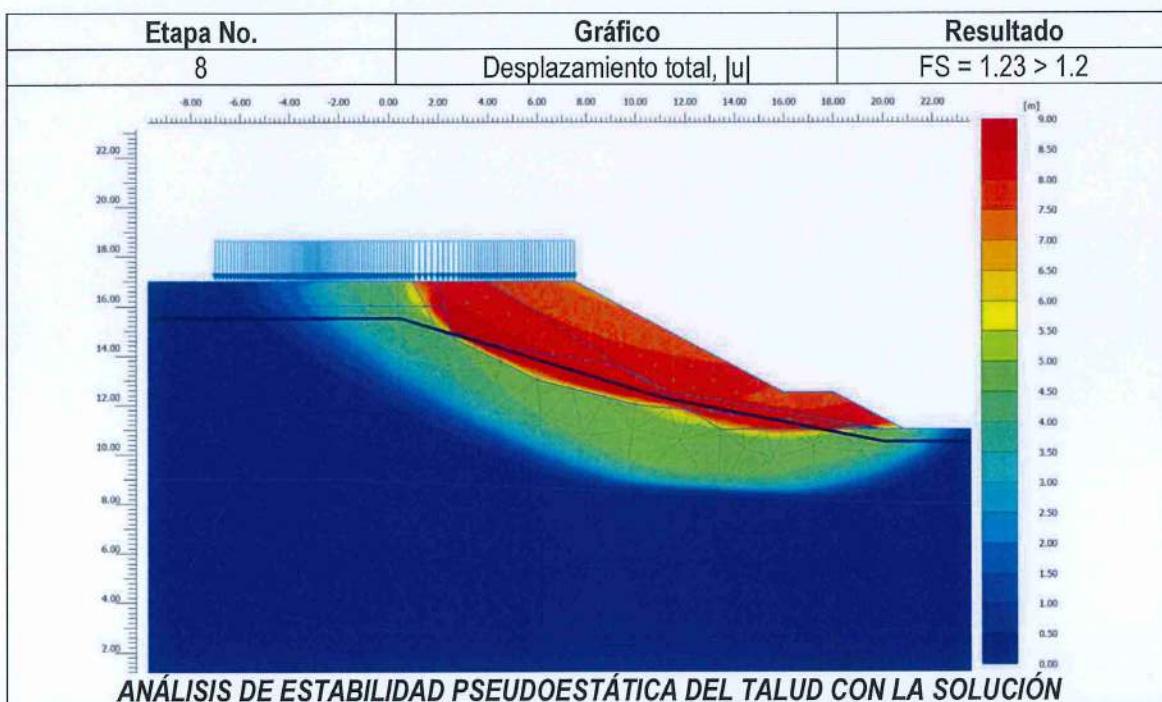
ANÁLISIS PLÁSTICO CON LA SOBRECARGA DEL ALINEAMIENTO





4.3.2. RESULTADOS





5. ANÁLISIS DE PUNTO CRÍTICO 3

5.1. CARACTERIZACIÓN DE ESTRATOS

Los principales estratos caracterizados relleno y roca meteorizada. Sólo se caracterizaron los materiales involucrados en la estabilidad del talud, por lo que la roca sana no se incluyó en el análisis.

Material de Relleno

El estrato de relleno corresponde a un estrato compuesto de limo y arcilla. Por lo tanto, se considera lo siguiente:

- Se considera que el modelo matemático que mejor representa el comportamiento mecánico de este material es SUELO ENDURECIDO (HARDENING SOIL).
- Las perforaciones realizadas muestran:

Tabla 6. Caracterización de estratos, Punto crítico 3.

Sondeo	Prof. (m)		N (SPT)	Descripción Visual
	Desde	Hasta		
H-06	1.50	2.10	3	Material de relleno. Arcilla limosa. Consistencia suave. OC: 3. Plasticidad alta. Resistencia en estado seco alta. Color marrón
	3.00	3.60	2	Material de relleno. Arcilla limosa. Consistencia suave. OC: 3. Plasticidad alta. Resistencia en estado seco alta. Color marrón.

Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

- En base a los registros de perforación y a proyectos con geología similar se estiman las siguientes propiedades:

Empirical values for γ , of cohesive soils based on the standard penetration number, (from Bowles, Foundation Analysis), se estima el peso específico seco, $\gamma_{unsat} = 16.0 \text{ kN/m}^3$ y saturado, $\gamma_{sat} = 17.0 \text{ kN/m}^3$

Según el Reglamento Estructural Panameño (REP 2014), Anexo A6: Figura 6.3.3 Capacidad de Soporte de Cimientos Superficiales; se estiman los valores del ángulo de fricción $\phi = 15^\circ$ y la cohesión, $c = 13 \text{ kN/m}^2$

De acuerdo a la velocidad de onda de corte estimada y la relación de Poisson de $\nu = 0.3$, se obtiene el valor del módulo de Young, $E_{50} \text{ ref} = 145,000 \text{ kN/m}^2$

- Con lo anterior, se presenta la lista de parámetros que describen las propiedades del estrato de manera completa:

Tabla 7. Propiedades de estrato de material de relleno, punto crítico 3.

Modelo:	HARDENING SOIL					
Estrato	$\gamma_{unsat} (\text{kN/m}^3)$	$\gamma_{sat} (\text{kN/m}^3)$	$E_{50} \text{ ref} (\text{kN/m}^2)$	ν	$\phi (^\circ)$	$c (\text{kN/m}^2)$
MRelleno	16	17	145,000	0.3	15	13

Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

Roca Meteorizada

La roca meteorizada corresponde a la misma caracterizada en el punto crítico 1 y 2. Se resume como:

Tabla 8. Propiedades de estrato de roca meteorizada, punto crítico 3.

Modelo: HARDENING SOIL						
Estrato	$\gamma_{\text{unsat}} (\text{kN/m}^3)$	$\gamma_{\text{sat}} (\text{kN/m}^3)$	$E_{50 \text{ ref}} (\text{kN/m}^2)$	ν	$\phi (^\circ)$	$c (\text{kN/m}^2)$
RMeteorizada	17	17	596,000	0.3	42	25

Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

5.2. DATOS DE ENTRADA DEL MODELO

Carga externa: la sobrecarga superior se tomó de acuerdo a, $Q = 15 \text{ kN/m/m}$, distribuido en la futura calle.

Materiales complementarios: se utilizaron materiales de suelo complementarios que hacen parte de la solución para mejorar la estabilidad del mismo. Los mismos fueron estimados en base a proyectos similares. Estos materiales son:

Tabla 9. Propiedades de materiales, Punto crítico 3.

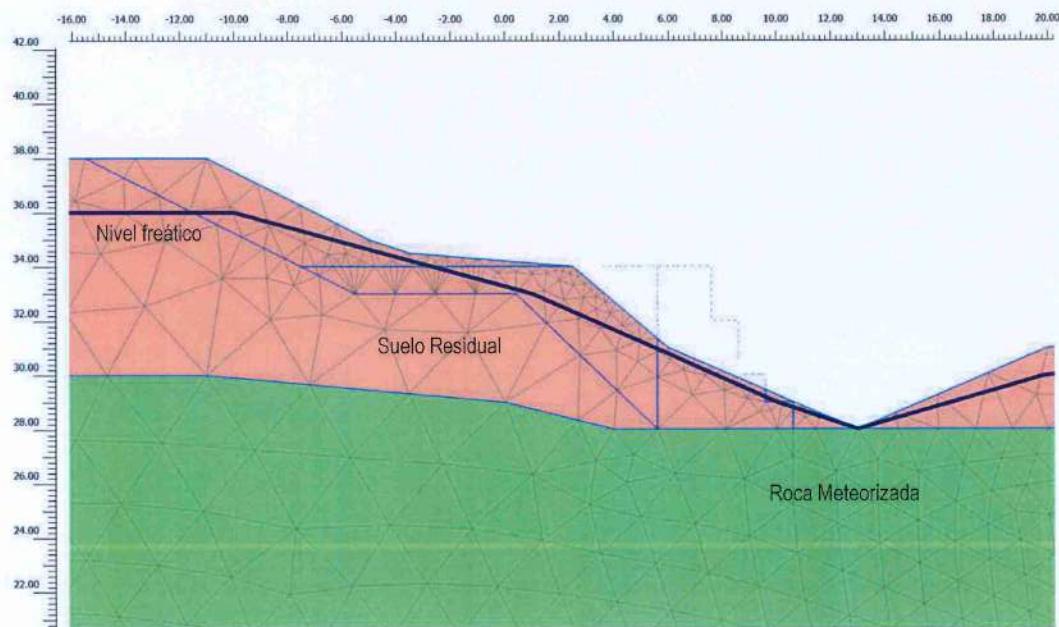
Modelo: HARDENING SOIL						
Estrato	$\gamma_{\text{unsat}} (\text{kN/m}^3)$	$\gamma_{\text{sat}} (\text{kN/m}^3)$	$E_{50 \text{ ref}} (\text{kN/m}^2)$	ν	$\phi (^\circ)$	$c (\text{kN/m}^2)$
Relleno Selecto	18	19	200,000	0.3	40	20
Gaviones	20	21	20,000	0.3	50	10

Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

5.3. MODELACIÓN

Para modelar la geometría, se tomó la sección transversal 3K+320 y la información de los estratos del sondeo H-06.

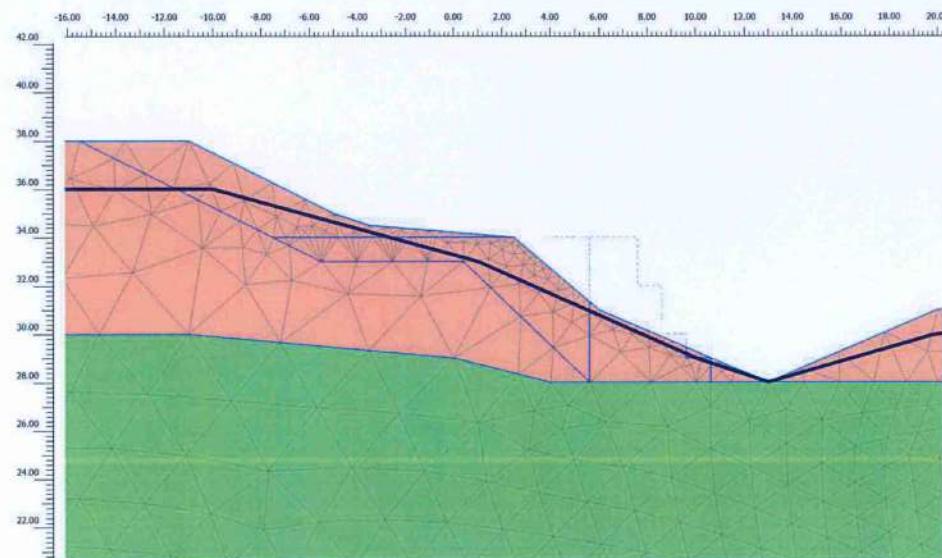
Ilustración 2. Sección Típica para Análisis de Estabilidad de Punto Crítico 3.



Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

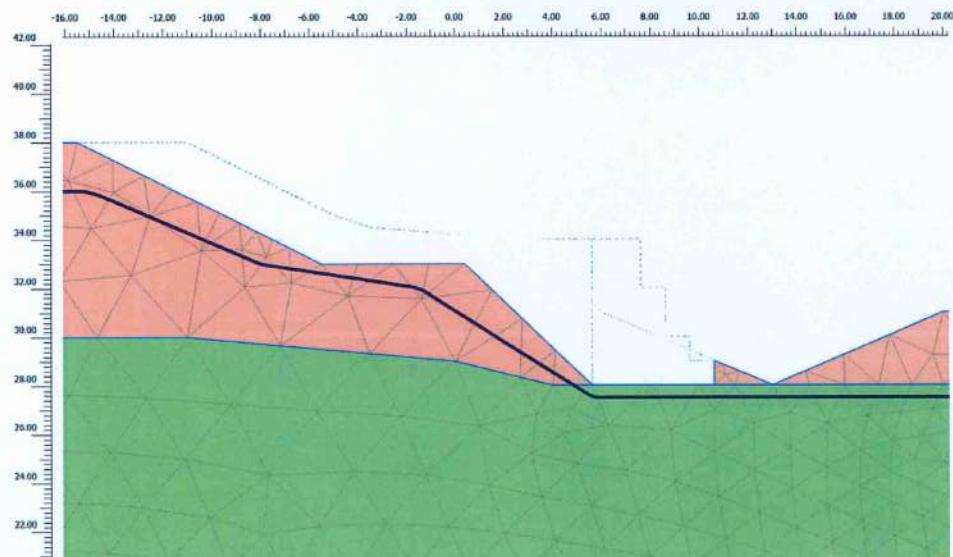
5.3.1. ETAPAS DEL CÁLCULO

Identificación	Etapa No.	Comienza de	Cálculo
Fase inicial	0	N/A	Seguridad, FS = 1.17



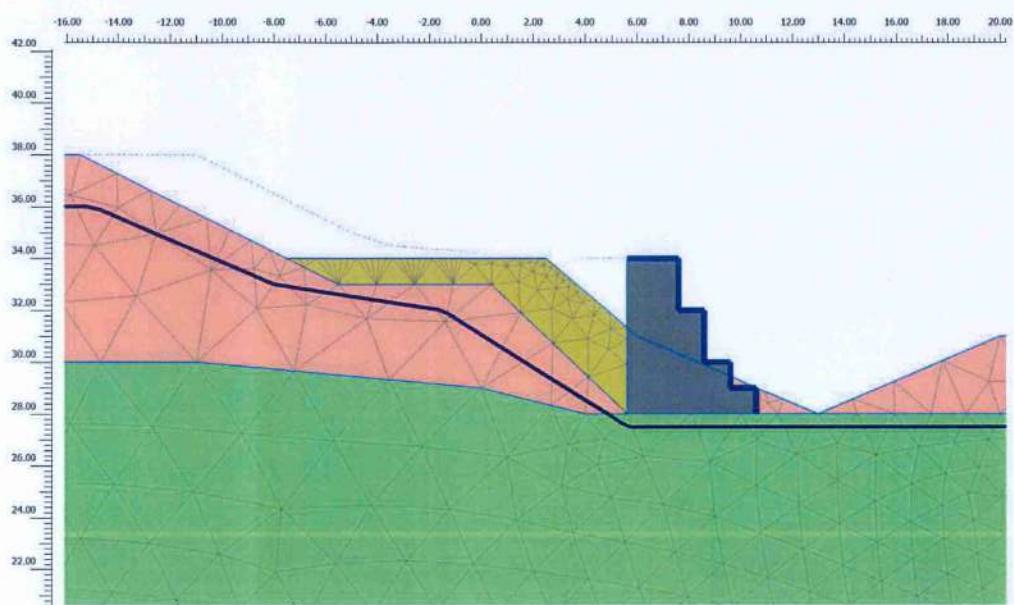
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD ACTUAL

Identificación	Etapa No.	Comienza de	Cálculo
Talud de corte	1	0	Plástico



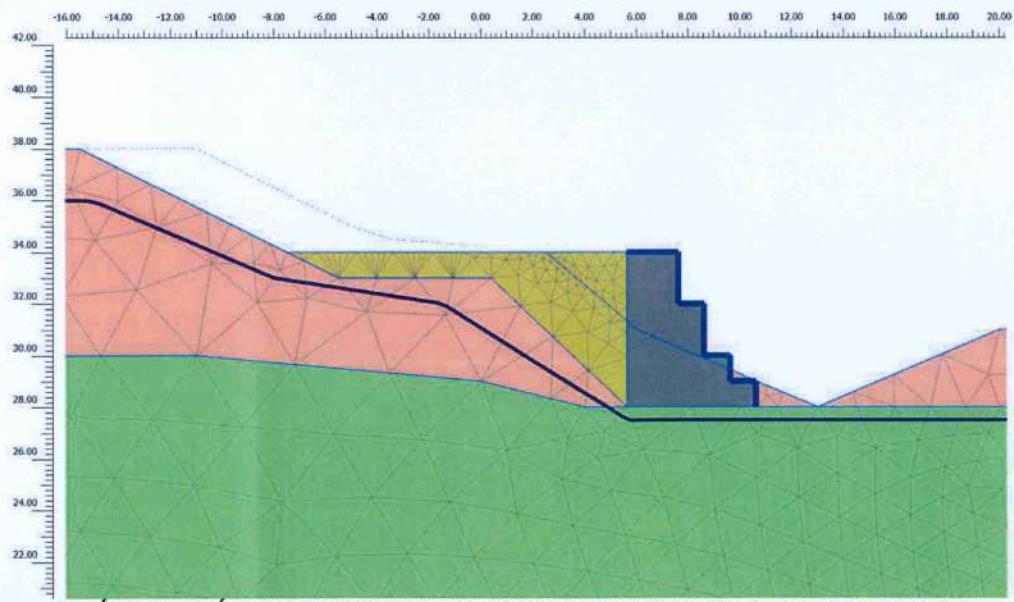
ANÁLISIS PLÁSTICO CON EL TALUD DE CORTE

Identificación	Etapa No.	Comienza de	Cálculo
Relleno y construcción de gaviones	2	1	Plástico



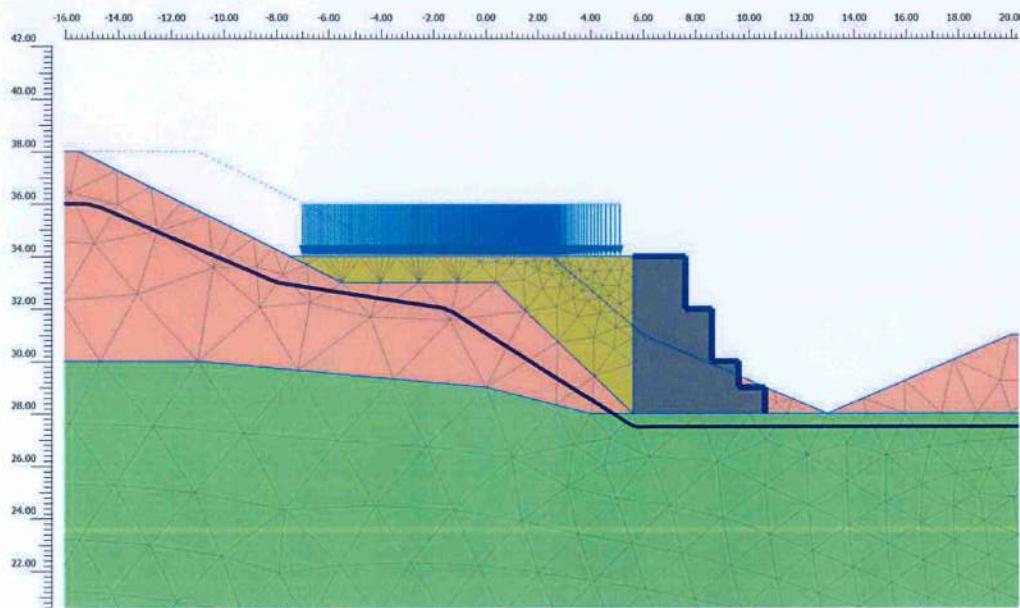
ANÁLISIS PLÁSTICO CON EL RELLENO Y MURO DE GAVIONES

Identificación	Etapa No.	Comienza de	Cálculo
Completar relleno y construcción de gaviones	3	2	Plástico



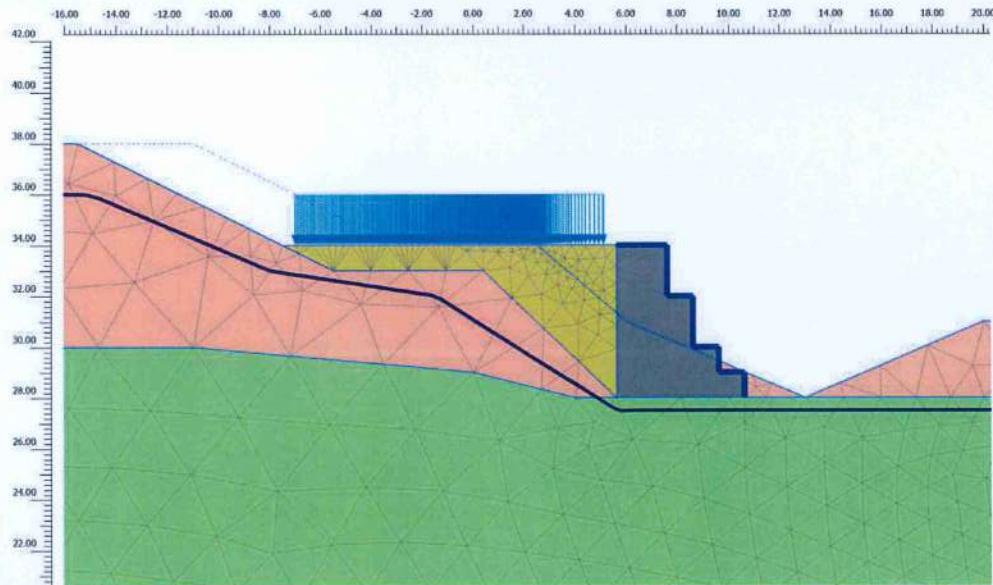
ANÁLISIS PLÁSTICO CON EL RELLENO COMPLETO Y MURO DE GAVIONES

Identificación	Etapa No.	Comienza de	Cálculo
Aplicar sobrecarga del alineamiento	4	5	Plástico



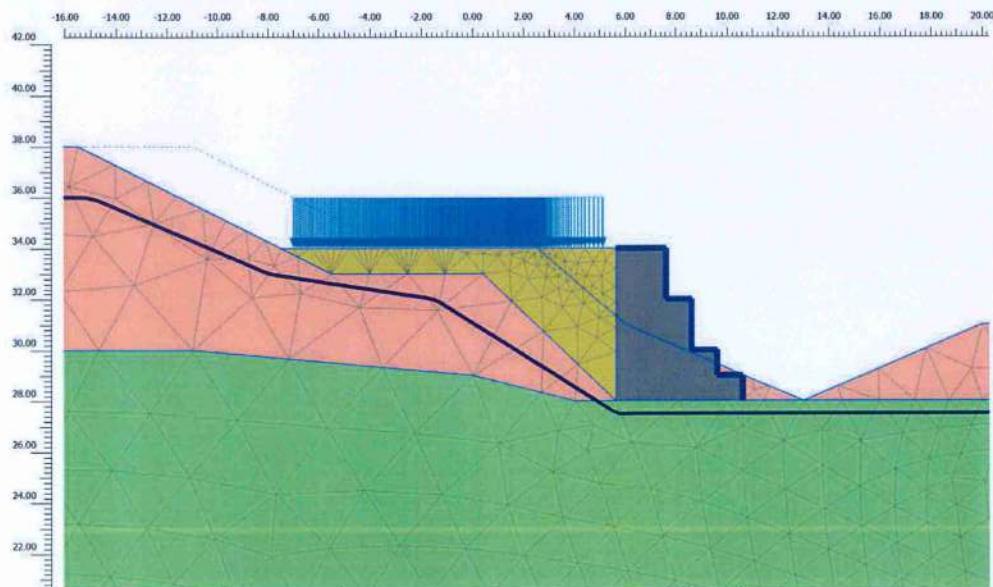
ANÁLISIS PLÁSTICO CON LA SOBRECARGA DEL ALINEAMIENTO

Identificación	Etapa No.	Comienza de	Cálculo
Estabilidad del talud con la solución	5	6	Seguridad



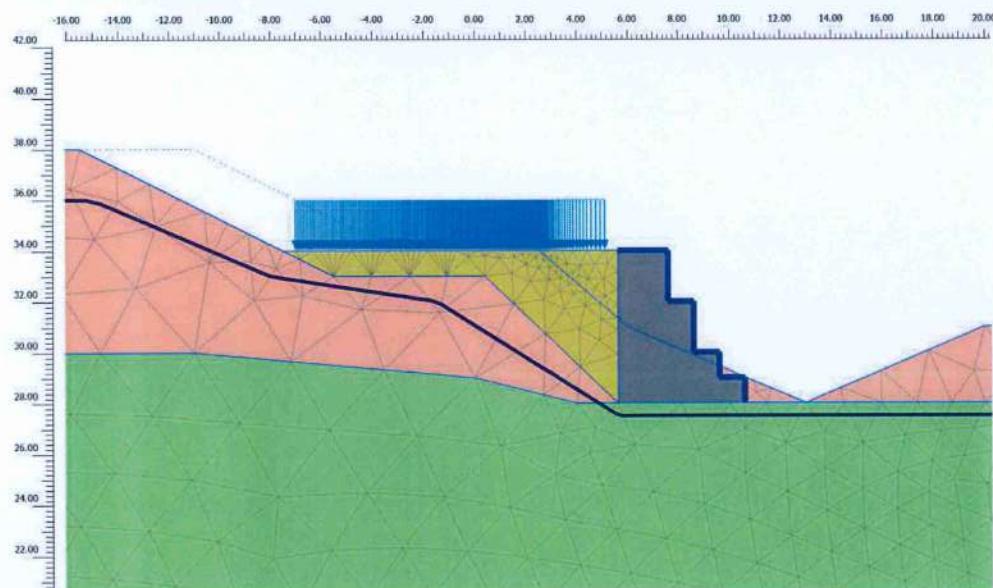
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD ESTÁTICO CON LA SOLUCIÓN

Identificación	Etapa No.	Comienza de	Cálculo
Aplicación de la aceleración sísmica	6	4	Plástico



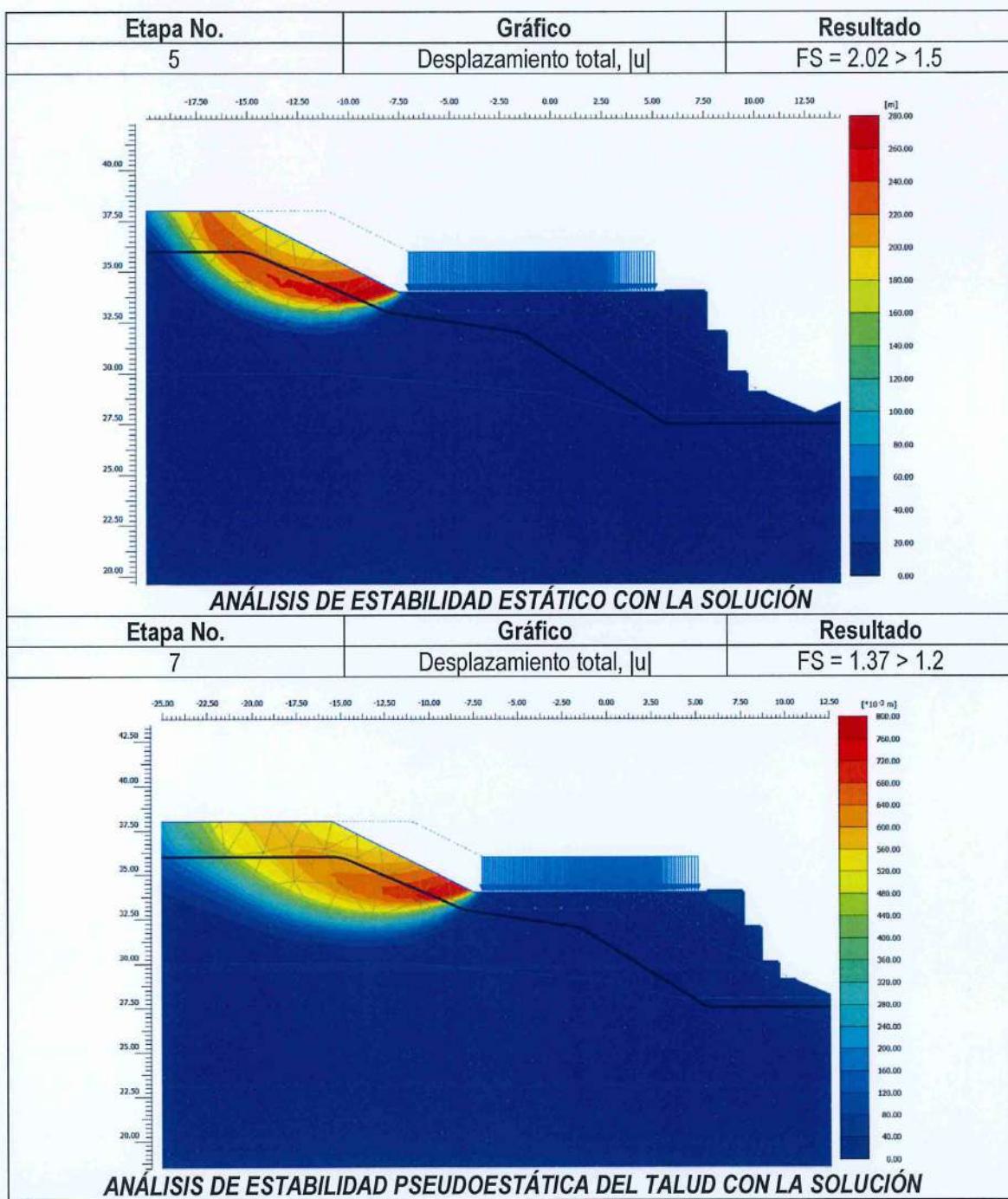
ANÁLISIS PLÁSTICO CON LA ACCELERACIÓN SÍSMICA

Identificación	Etapa No.	Comienza de	Cálculo
Estabilidad pseudoestático con la solución	7	6	Seguridad



ANÁLISIS DE ESTABILIDAD PSEUDOESTÁTICO CON LA SOLUCIÓN

5.3.2. RESULTADOS



6. ANÁLISIS DE PUNTO CRÍTICO 4

6.1. CARACTERIZACIÓN DE ESTRATOS

Los principales estratos caracterizados fueron suelo residual y roca meteorizada. Sólo se caracterizaron los materiales involucrados en la estabilidad del talud, por lo que la roca sana no se incluyó en el análisis.

Suelo Residual

El estrato de suelo residual corresponde a un estrato compuesto de limo y arcilla. Por lo tanto, se considera lo siguiente:

- Se considera que el modelo matemático que mejor representa el comportamiento mecánico de este material es SUELO ENDURECIDO (HARDENING SOIL).
- Las perforaciones realizadas muestran:

Tabla 10. Caracterización de estratos, Punto crítico 4.

Sondeo	Prof. (m)		N (SPT)	Descripción Visual
	Desde	Hasta		
H-07	1.50	2.10	3	Suelo residual. Arcilla limosa. Consistencia suave. OC: 2. Plasticidad alta. Resistencia en estado seco alta. Color crema
	3.00	3.60	12	Suelo residual. Arcilla limosa. Consistencia rígida. OC: 3. Plasticidad alta. Resistencia en estado seco alta. Color crema.
	4.50	5.10	16	Suelo residual. Limo arcilloso. Consistencia muy rígida. OC: 3. Plasticidad media. Resistencia en estado seco moderada. Color crema
	6.00	6.60	11	

Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

- En base a los registros de perforación y a proyectos con geología similar se estiman las siguientes propiedades:

Empirical values for γ , of cohesive soils based on the standard penetration number, (from Bowles, Foundation Analysis), se estima el peso específico seco, $\gamma_{unsat} = 16.0 \text{ kN/m}^3$ y saturado, $\gamma_{sat} = 17.0 \text{ kN/m}^3$

Según el Reglamento Estructural Panameño (REP 2014), Anexo A6: Figura 6.3.3 Capacidad de Soporte de Cimientos Superficiales; se estiman los valores del ángulo de fricción $\phi = 20^\circ$ y la cohesión, $c = 16 \text{ kN/m}^2$

De acuerdo a la velocidad de onda de corte estimada y la relación de Poisson de $\nu = 0.3$, se obtiene el valor del módulo de Young, $E_{50} \text{ ref} = 210,000 \text{ kN/m}^2$

- Con lo anterior, se presenta la lista de parámetros que describen las propiedades del estrato de manera completa:

Tabla 11. Propiedades de estrato de suelo residual, punto crítico 4.

Modelo:	HARDENING SOIL					
Estrato	$\gamma_{\text{unsat}} (\text{kN/m}^3)$	$\gamma_{\text{sat}} (\text{kN/m}^3)$	$E_{50} \text{ ref} (\text{kN/m}^2)$	ν	$\phi (^\circ)$	$c (\text{kN/m}^2)$
SResidual	16	17	210,000	0.3	20	16

Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

Roca Meteorizada

La roca meteorizada corresponde a la misma caracterizada en el punto crítico 1 y 2. Se resume como:

Tabla 12. Propiedades de estrato de roca meteorizada, punto crítico 4.

Modelo:	HARDENING SOIL					
Estrato	$\gamma_{\text{unsat}} (\text{kN/m}^3)$	$\gamma_{\text{sat}} (\text{kN/m}^3)$	$E_{50} \text{ ref} (\text{kN/m}^2)$	ν	$\phi (^\circ)$	$c (\text{kN/m}^2)$
RMeteorizada	17	17	596,000	0.3	42	25

Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

6.2. DATOS DE ENTRADA DEL MODELO

Se utilizaron materiales de suelo complementarios que hacen parte de la solución para mejorar la estabilidad del mismo. Los mismos fueron estimados en base a proyectos similares. Estos materiales son:

Tabla 13. Propiedades de materiales, Punto crítico 4.

Modelo:	HARDENING SOIL					
Estrato	$\gamma_{\text{unsat}} (\text{kN/m}^3)$	$\gamma_{\text{sat}} (\text{kN/m}^3)$	$E_{50 \text{ ref}} (\text{kN/m}^2)$	ν	$\phi (\text{°})$	$c (\text{kN/m}^2)$
Relleno Selecto	18	19	200,000	0.3	40	20
Relleno General	18	19	120,000	0.3	32	10
Mat. Desliz.	16	17	210,000	0.3	8	2

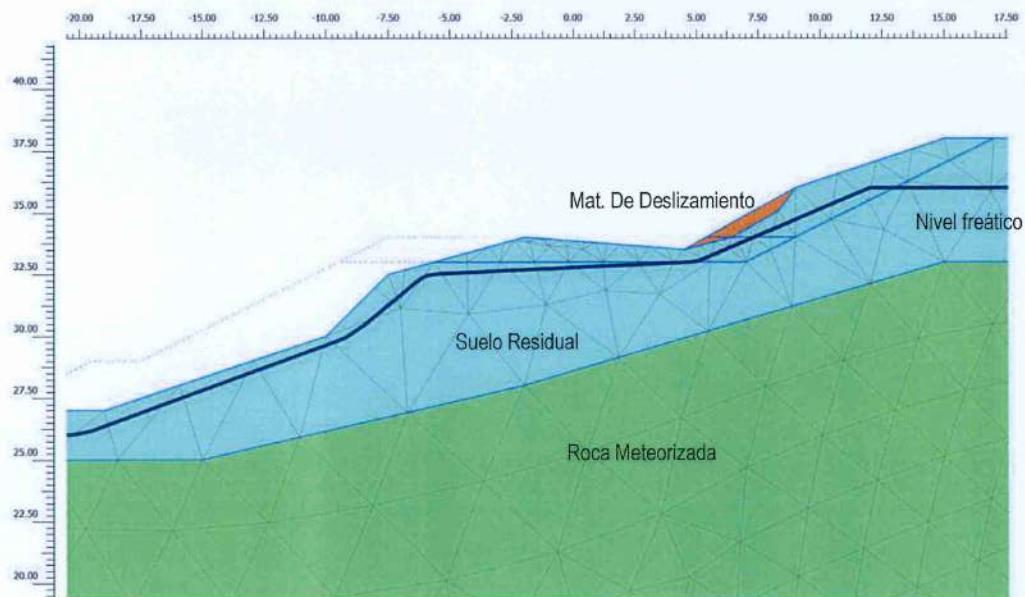
Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

6.3. MODELACIÓN

6.3.1. MODELACIÓN

Para modelar la geometría, se tomó la sección transversal 3K+740 y la información de los estratos del sondeo H-07.

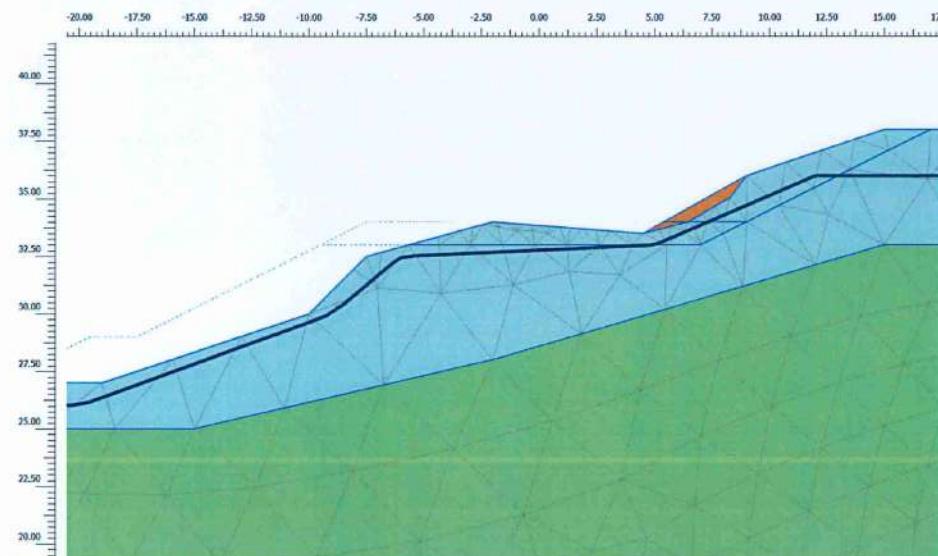
Ilustración 3. Sección Típica para Análisis de Estabilidad de Punto Crítico 4



Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec para el presente documento.

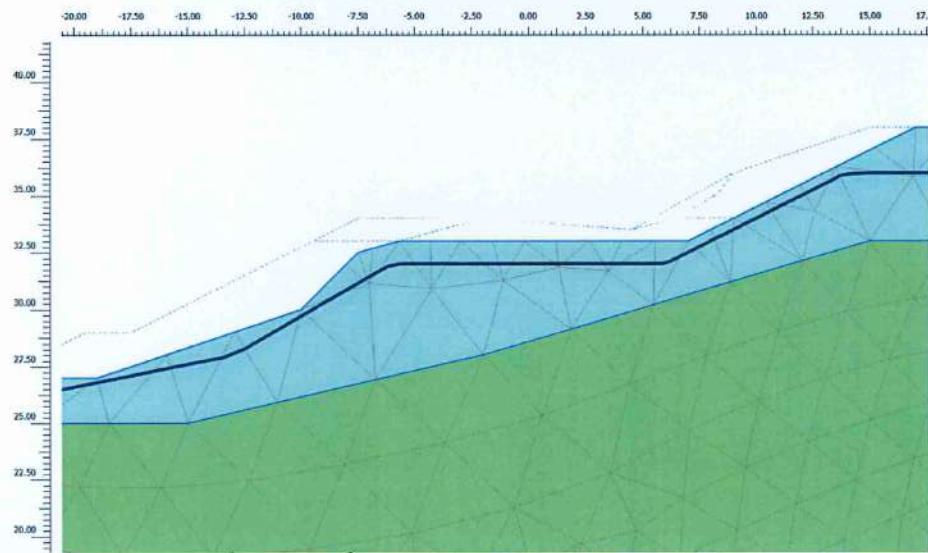
6.3.2. ETAPAS DEL CÁLCULO

Identificación	Etapa No.	Comienza de	Cálculo
Fase inicial	0	N/A	Seguridad, FS = 1.1

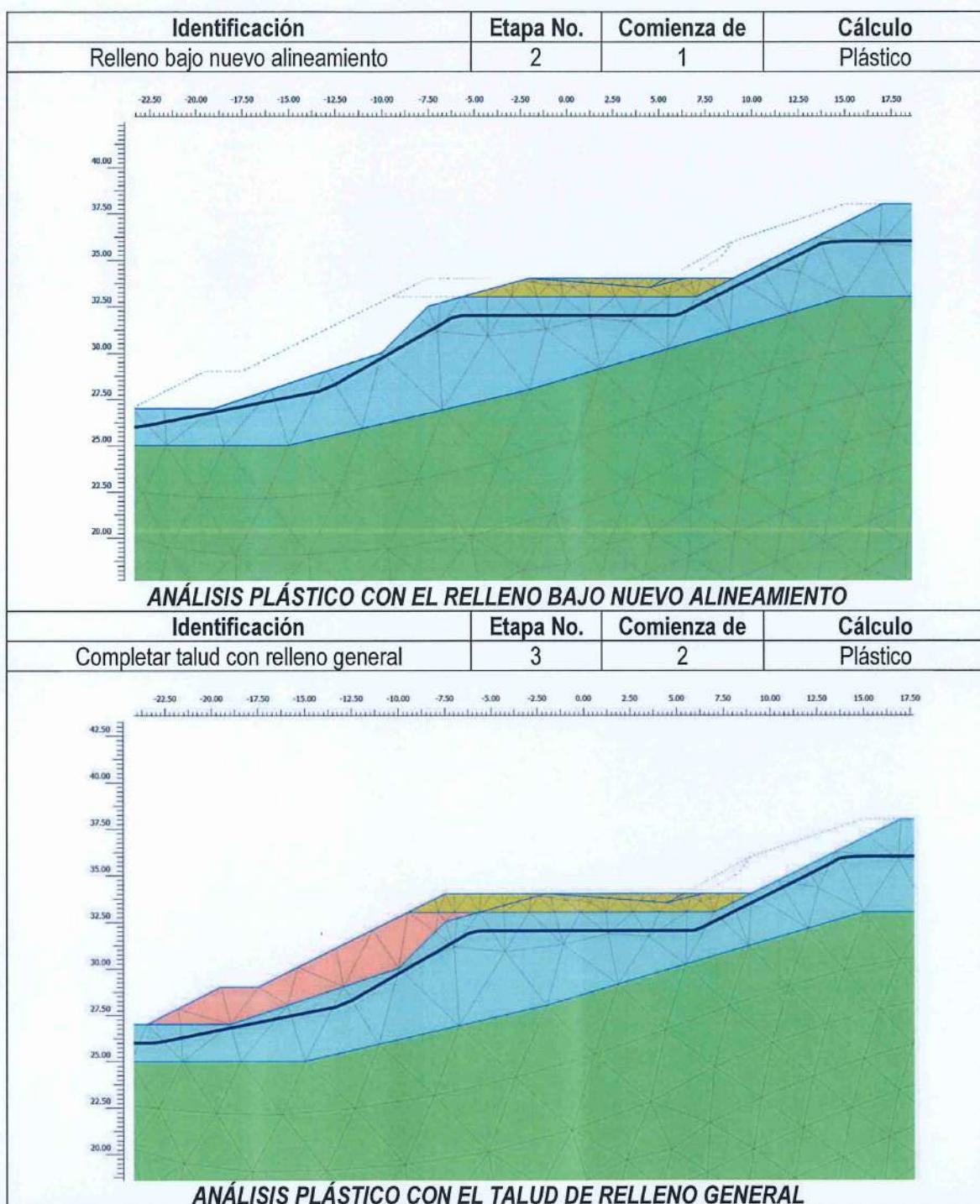


ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD ACTUAL

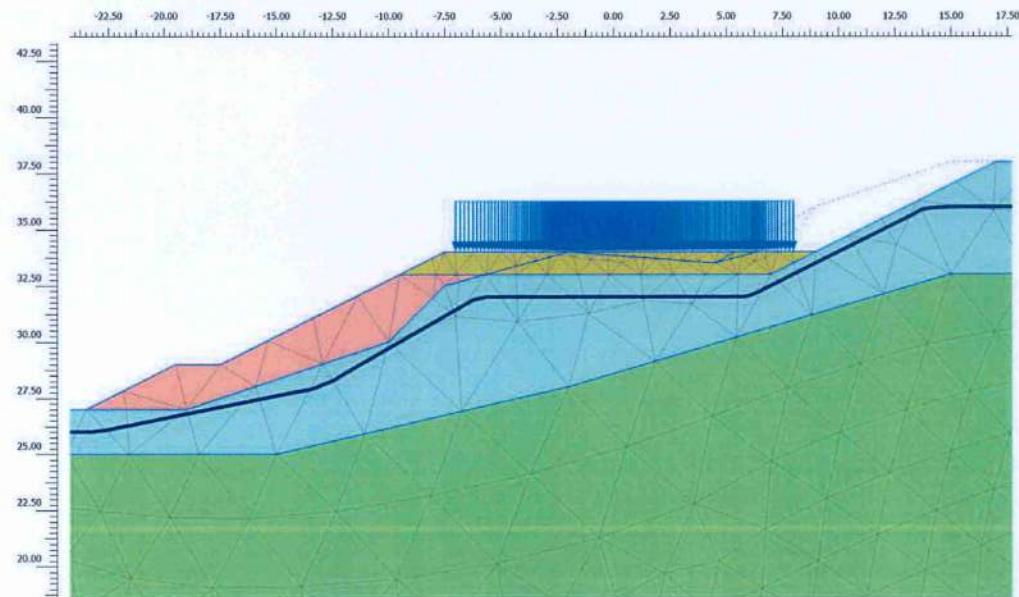
Identificación	Etapa No.	Comienza de	Cálculo
Talud de corte	1	0	Plástico



ANÁLISIS PLÁSTICO CON EL TALUD DE CORTE

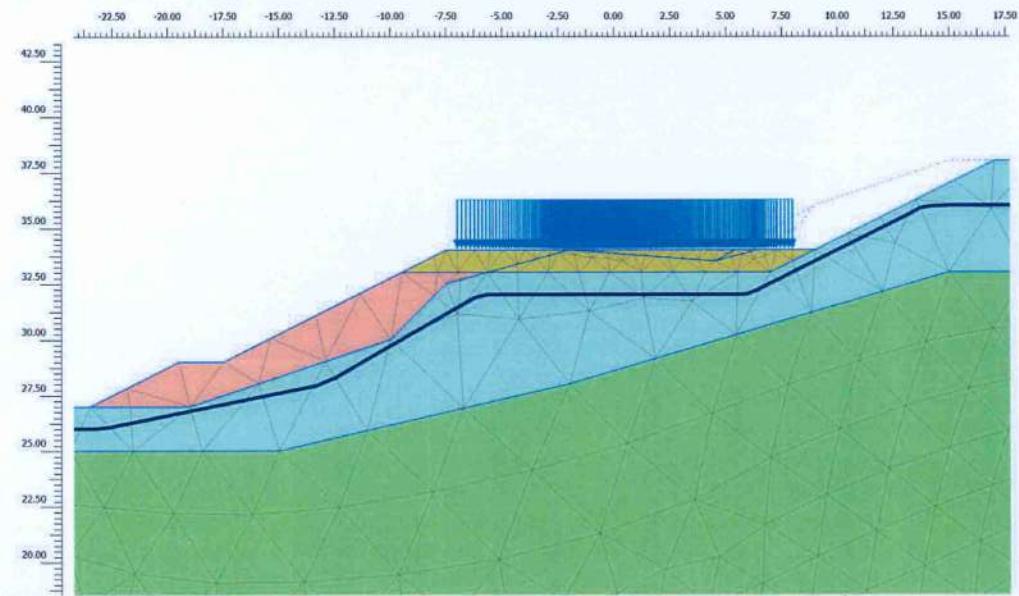


Identificación	Etapa No.	Comienza de	Cálculo
Aplicar sobrecarga	4	3	Plástico



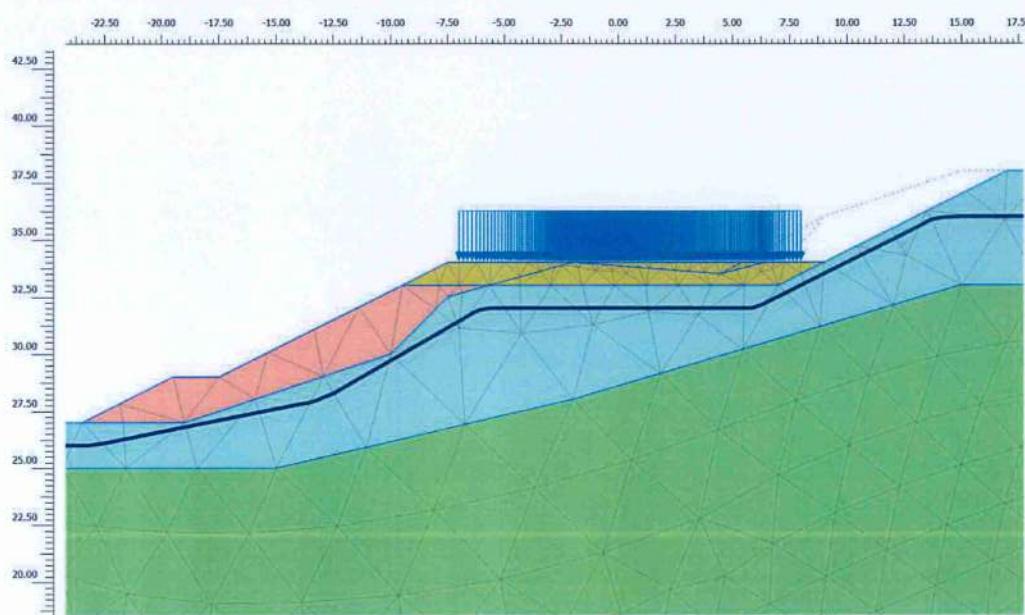
ANÁLISIS PLÁSTICO CON LA SOBRECARGA DEL ALINEAMIENTO

Identificación	Etapa No.	Comienza de	Cálculo
Estabilidad estática del talud	5	4	Seguridad



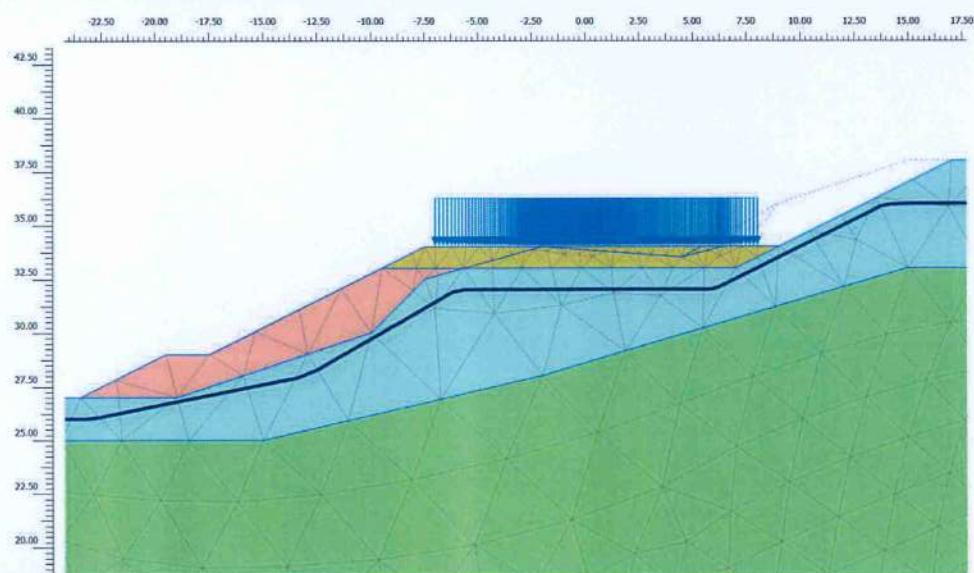
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD CON LA SOLUCIÓN

Identificación	Etapa No.	Comienza de	Cálculo
Aplicación de la aceleración sísmica	6	4	Plástico



ANÁLISIS PLÁSTICO CON LA APLICACIÓN DE LA ACCELERACIÓN SÍSMICA

Identificación	Etapa No.	Comienza de	Cálculo
Estabilidad pseudoestática del talud	7	6	Seguridad



ANÁLISIS DE ESTABILIDAD PSEUDO ESTÁTICO DEL TALUD CON LA SOLUCIÓN

6.3.3. RESULTADOS

Etapa No.	Gráfico	Resultado
5	Desplazamiento total, $ u $	$FS = 1.77 > 1.5$
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD ESTÁTICO CON LA SOLUCIÓN		
7	Desplazamiento total, $ u $	$FS = 1.21 > 1.2$
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD PSEUDOESTÁTICA DEL TALUD CON LA SOLUCIÓN		

7. ANÁLISIS DE CONTROL DE SISTEMA DE CONTENCIÓN Y PROTECCIÓN COSTERO

7.1. CARACTERIZACIÓN DE ESTRATOS

Los principales estratos caracterizados fueron suelo residual y roca meteorizada. Sólo se caracterizaron los materiales involucrados en la estabilidad del talud, por lo que la roca sana no se incluyó en el análisis.

Suelo Residual

El estrato de suelo residual corresponde a un estrato compuesto de limo con fragmentos de roca. Por lo tanto, se considera lo siguiente:

- Se considera que el modelo matemático que mejor representa el comportamiento mecánico de este material es SUELO ENDURECIDO (HARDENING SOIL).
- Las perforaciones realizadas muestran:

Tabla 14. Caracterización de estratos, costa.

Sondeo	Prof. (m)		N (SPT)	Descripción Visual
	Desde	Hasta		
H-02	1.50	2.10	7	Suelo residual saprolítico. Limo con fragmentos de meteorización. Consistencia firme. OC: 3. No plástico. Material afectado por la erosión marina (ha reducido su consistencia). Color crema
H-03	1.50	2.10	6	Suelo residual. Limo con fragmentos de meteorización. Consistencia firme. OC: 3. No plástico. Color crema

Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

- En base a los registros de perforación y a proyectos con geología similar se estiman las siguientes propiedades:

Empirical values for γ , of cohesive soils based on the standard penetration number, (from Bowles, Foundation Analysis), se estima el peso específico seco, $\gamma_{unsat} = 16.0 \text{ kN/m}^3$ y saturado, $\gamma_{sat} = 17.0 \text{ kN/m}^3$

Según el Reglamento Estructural Panameño (REP 2014), Anexo A6: Figura 6.3.3 Capacidad de Soporte de Cimientos Superficiales; se estiman los valores del ángulo de fricción $\phi = 20^\circ$ y la cohesión, $c = 16 \text{ kN/m}^2$

De acuerdo a la velocidad de onda de corte estimada y la relación de Poisson de $\nu = 0.3$, se obtiene el valor del módulo de Young, $E_{50} \text{ ref} = 210,000 \text{ kN/m}^2$

- Con lo anterior, se presenta la lista de parámetros que describen las propiedades del estrato de manera completa:

Tabla 15. Propiedades de estrato de suelo residual, costa.

Modelo:	HARDENING SOIL					
Estrato	$\gamma_{\text{unsat}} (\text{kN/m}^3)$	$\gamma_{\text{sat}} (\text{kN/m}^3)$	$E_{50} \text{ ref} (\text{kN/m}^2)$	ν	$\phi (^\circ)$	$c (\text{kN/m}^2)$
SResidual	16	17	210,000	0.3	20	16

Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

Roca Meteorizada

La roca meteorizada del área corresponde a la descomposición de la roca predominante en el sitio: arenisca de grano fino de la Formación Gatún Uscari. Por lo tanto, se considera lo siguiente:

Se considera que el modelo matemático que mejor representa el comportamiento mecánico de este material es SUELO ENDURECIDO (HARDENING SOIL). Primero se estimaron parámetros iniciales del modelo "Hoek-Brown" para un tipo de roca "arenisca". Luego, según el ajuste Mohr-Coulomb por Hoek,B. (2007), se obtuvieron parámetros de resistencia que permitieron definir el material equivalente dentro del modelo "Hardening-Soil". Para obtener la equivalencia se utilizó la referencia: RocLab© de 2012-2013 Rocscience por Evert Hoek.

- Las perforaciones o ensayos de laboratorio realizados para este proyecto muestran:

Tabla 16. Caracterización de estratos, costa.

Sondeo	Prof. (m)		Recobro (%)	Descripción Visual
	Desde	Hasta		
H-02	4.50	5.10	50	Formación de roca. Arenisca de grano fino. Roca ligeramente meteorizada, consistencia dura. OC: 5. No plástico. Color gris/marrón.
H-03	3.00	3.60	50	Formación de roca meteorizada. Consistencia dura. OC: 5. No plástico. Color marrón/gris

Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

- Por referencia a los ensayos de compresión simple en el sitio y a proyectos con geología similar se obtienen los siguientes parámetros:

El valor del peso específico no saturado, el $\gamma_{unsat} = 17 \text{ kN/m}^3$ y saturado, $\gamma_{sat} = 17 \text{ kN/m}^3$

El valor de la resistencia a la compresión simple estimada, $\sigma_c = 5,300 \text{ KN/m}^2$

De acuerdo a la velocidad de onda de corte estimada y la relación de Poisson, $v = 0.20$, se obtiene el valor del módulo inicial de la masa de roca, $E_i = 1,084,000 \text{ kN/m}^2$. De estos datos, se obtiene el módulo $E_{50} = 596,000 \text{ kN/m}^2$.

El coeficiente $m_i = 17$, de acuerdo al tipo de roca; el índice de resistencia geológico, $GSI = 60$ y el factor perturbación mínima, $D = 0$.

Datos de Entrada

Clasificación Hoek-Brown

Hoek-Brown Classification	
sigi	0.53 MPa
GSI	60
mi	17
D	0
<input checked="" type="radio"/> Ei	1084 MPa
<input type="radio"/> MR	

Resultados

Criterio Hoek-Brown

Hoek-Brown Criterion	
mb	4.074
s	0.0117
a	0.503
Failure Envelope Range	
Application:	Slopes
sig3max	0.0782 MPa
Unit Weight	0.017 MN/m ³
Slope Height	6.2 m

Resultados

Ajuste Mohr-Coulomb

Mohr-Coulomb Fit	
c	0.025 MPa
phi	42.51 deg
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.002 MPa
sigc	0.057 MPa
sigcm	0.147 MPa
Erm	563.68 MPa

Con lo anterior, se presenta la lista de parámetros que describen las propiedades del estrato de manera completa:

Tabla 17. Propiedades de estrato de roca meteorizada, costa.

Modelo:	HARDENING SOIL					
Estrato	γ_{unsat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	E_{50} ref (kN/m ²)	v	ϕ (°)	c (kN/m ²)
RMeteorizada	17	17	596,000	0.3	42	25

Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

7.2. DATOS DE ENTRADA DEL MODELO

La sobrecarga superior se tomó de acuerdo a, $Q = 15 \text{ kN/m/m}$, distribuido en la futura calle.

Se utilizaron materiales de suelo complementarios que hacen parte de la solución para mejorar la estabilidad del mismo. Los rellenos fueron estimados en base a proyectos similares. Estos materiales son:

Tabla 18. Propiedades de materiales.

Modelo:	HARDENING SOIL					
Estrato	γ_{unsat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	E_{50} ref (kN/m ²)	v	ϕ (°)	c (kN/m ²)
Enrocado	26.00	26.00	1,000,000	0.2	50	0
Relleno Arena	17.00	19.80	70,000	0.2	38	5

Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

Tabla 19. Propiedades de materiales, tablestaca.

Modelo:	ELÁSTICO				
Identificación	Material	EA (kN/m ²)	EI (kN/m ²)	w (kN/m/m)	v
Tablestaca	Placa	361,300	572	1.931	0.4

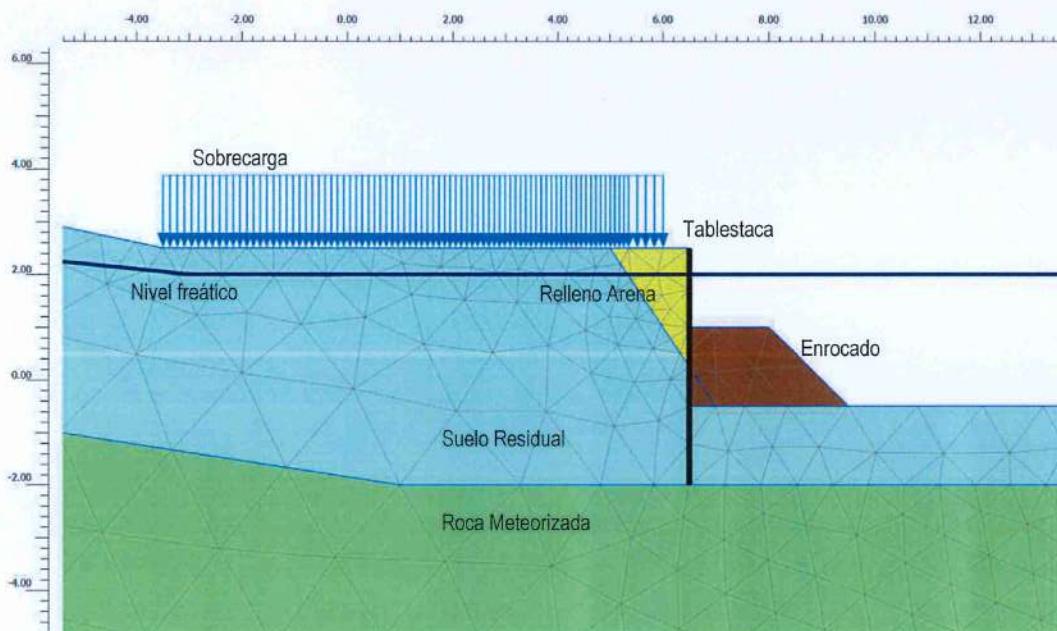
Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

Nivel de agua: se consideró la condición de nivel de agua más crítica, a una profundidad de 50cm.

7.3. MODELACIÓN

Perfil: para modelar la geometría, se tomó la sección transversal 1K+340 y la información de los estratos de los sondeos H-02 y H-03.

Ilustración 4. Sección Típica para Análisis de Control de Erosión



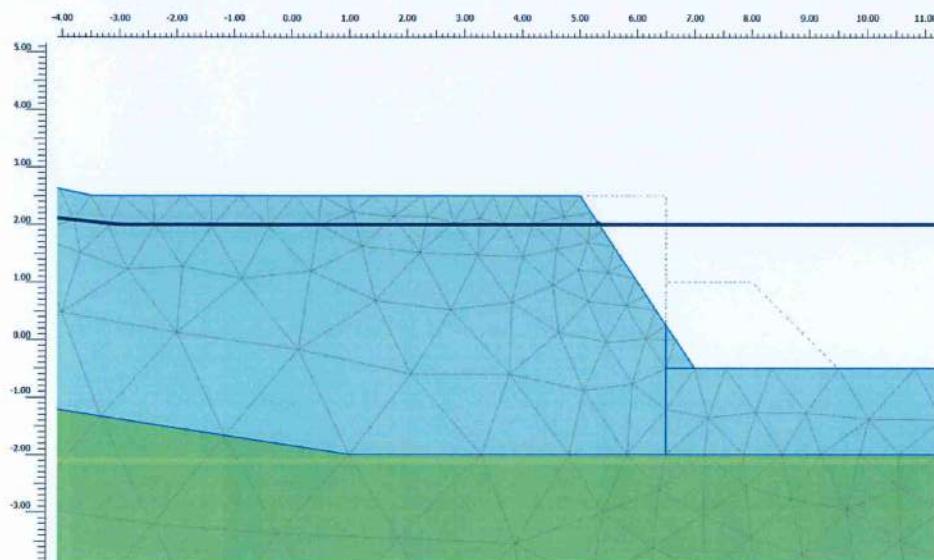
Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec para el presente documento.

7.3.1. ETAPAS DEL CÁLCULO

El control de erosión se analizó para dos condiciones. La primera condición supone que se podrá hincar la tablestaca hasta rechazo, aproximadamente de 1.50 a 2.50m de profundidad de desplante. La segunda condición supone que el rechazo se encontrará superficial con casi poco desplante. Cada condición tiene su etapa de construcción, las cuales se presentan en los siguientes cálculos.

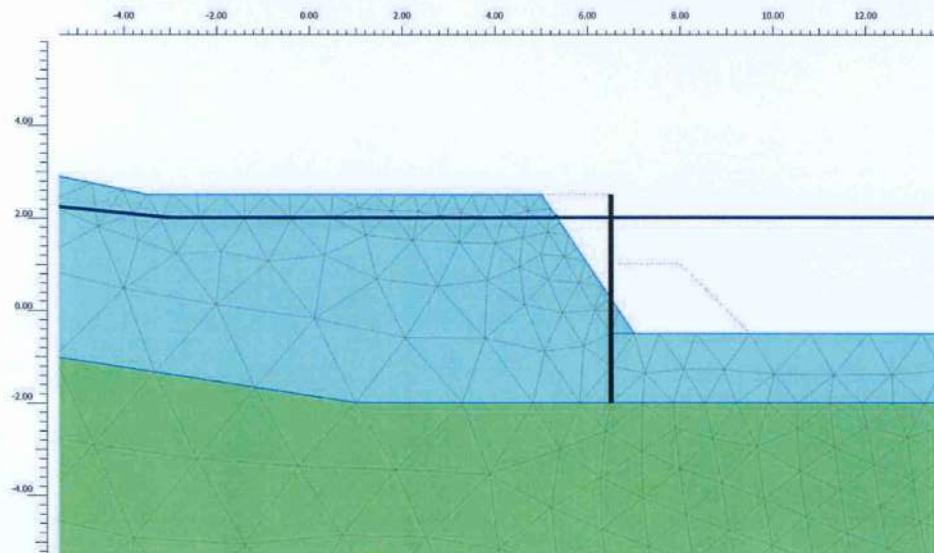
7.3.1.1. CONDICIÓN 1: HINCADO HASTA LOGRAR DESPLANTE

Identificación	Etapa No.	Comienza de	Cálculo
Fase inicial	0	N/A	Seguridad, FS > 3

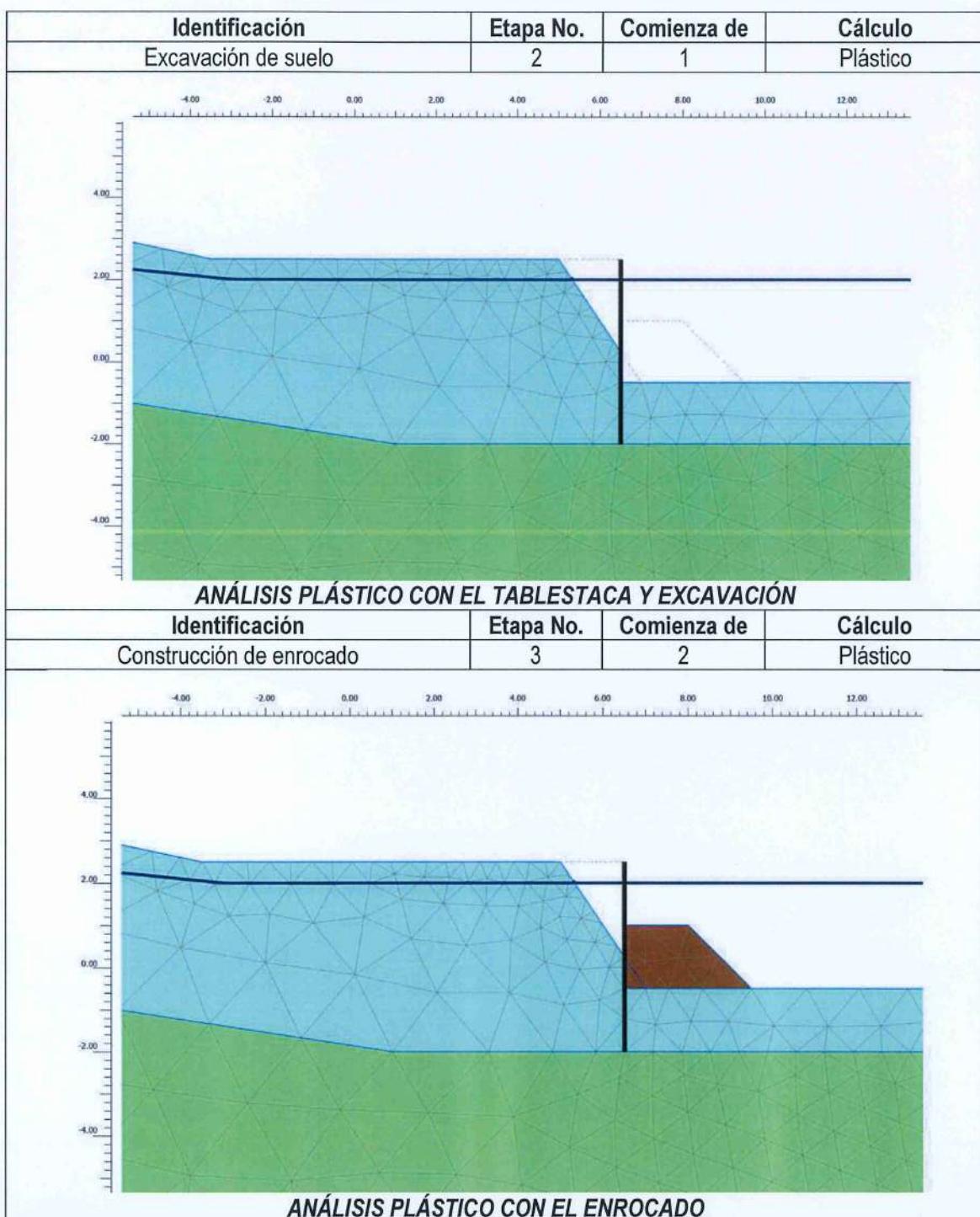


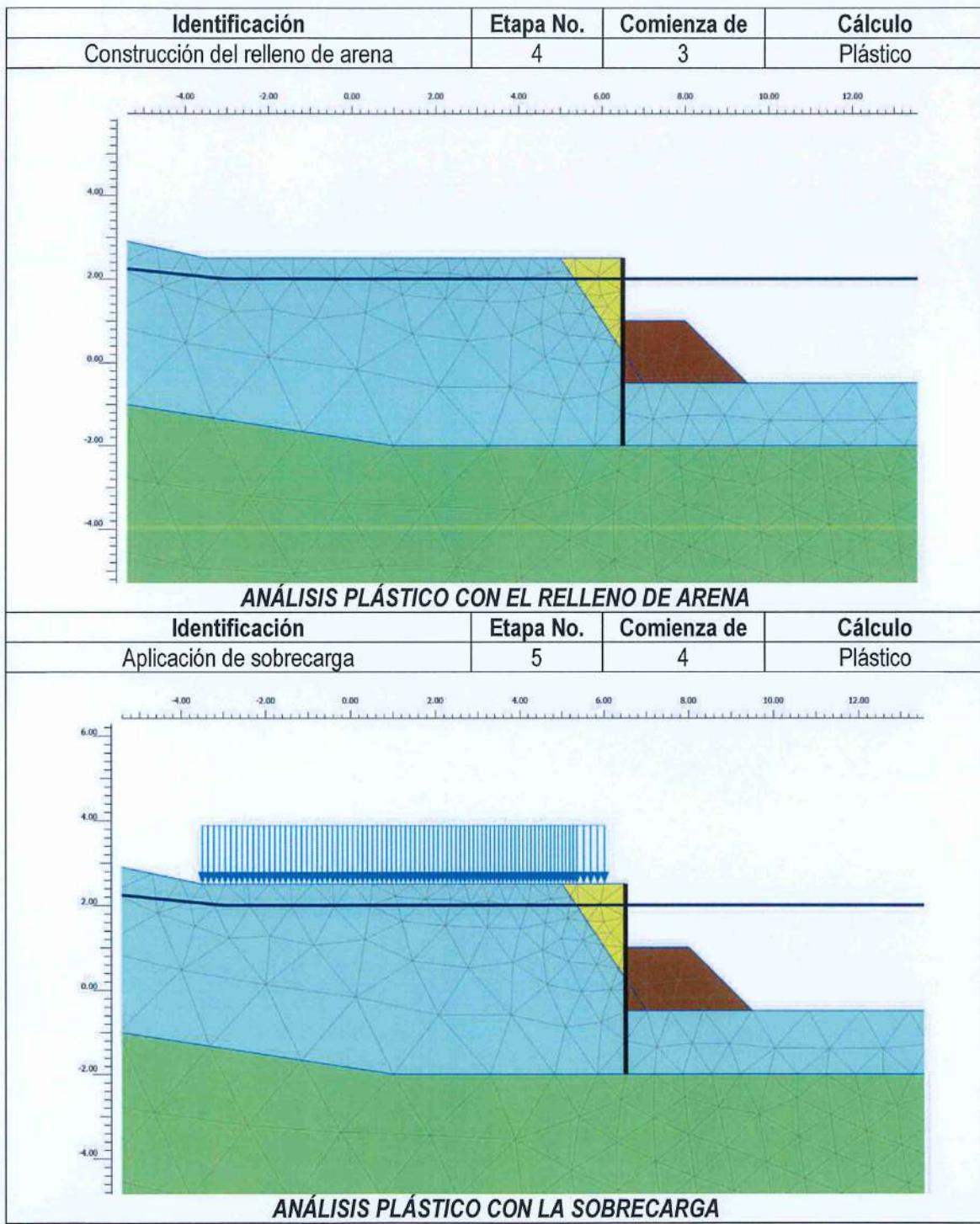
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD ACTUAL

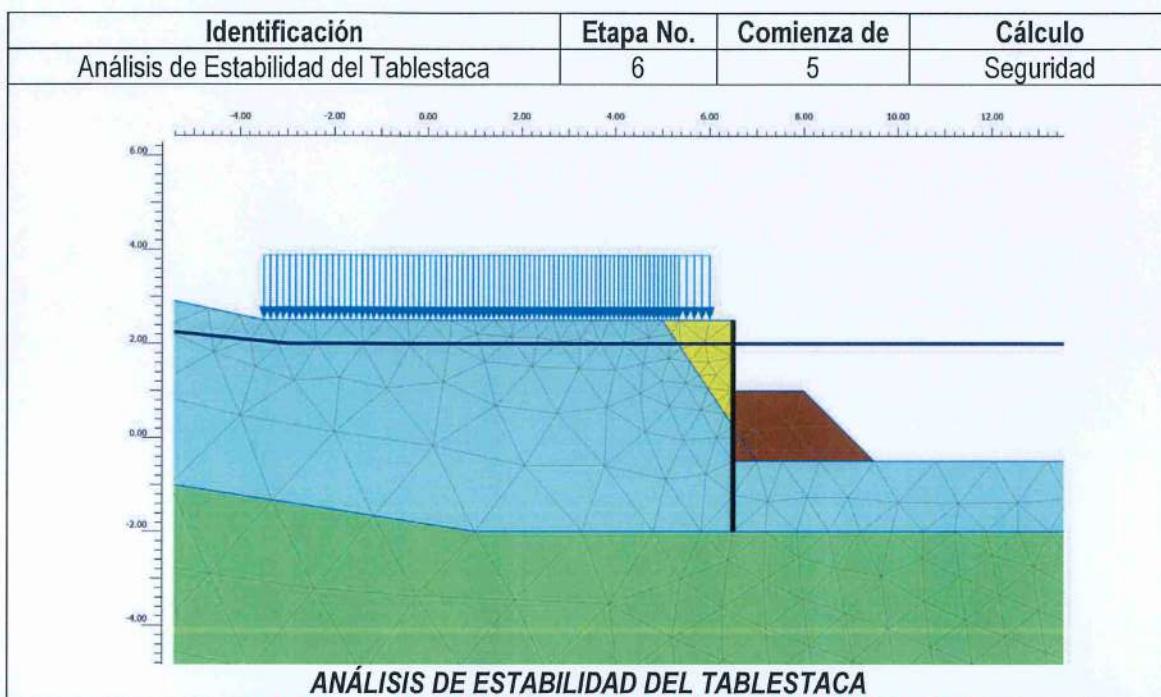
Identificación	Etapa No.	Comienza de	Cálculo
Hincado de tablestaca	1	0	Plástico



ANÁLISIS PLÁSTICO CON EL TABLESTACA







7.3.1.2. CONDICIÓN 2: HINCADO SIN LOGRAR DESPLANTE

