

República de Panamá



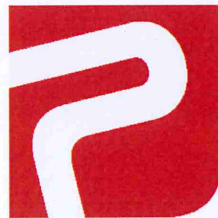
MINISTERIO DE
OBRAS PÚBLICAS

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

8. ESTUDIO DE SUELOS

Versión 01

Enero, 2021

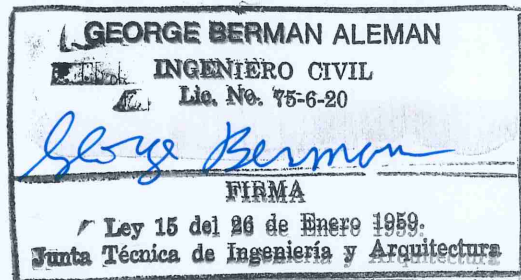


TABLA DE CONTENIDO

| | | |
|------|--|----|
| 1 | INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2 | OBJETIVO | 1 |
| 3 | RECOMENDACIONES | 1 |
| 3.1 | CIMENTOS | 2 |
| 3.2 | CONSIDERACIONES SÍSMICAS | 2 |
| 4 | DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO | 2 |
| 5 | UBICACIÓN DE PERFORACIONES | 5 |
| 6 | REGISTROS DE PERFORACIÓN | 6 |
| 7 | RESULTADOS DE LABORATORIO | 8 |
| 8 | SECCIÓN GEOLÓGICA | 10 |
| 9 | DESCRIPCIÓN DE ESTRATOS | 11 |
| 10 | ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES PARA DISEÑO DE TERRACERÍA | 11 |
| 10.1 | TALUD DE RELLENO | 15 |
| 10.2 | TALUD DE CORTE | 20 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|--|----|
| Ilustración 1. Localización del proyecto. | 3 |
| Ilustración 2. Ubicación del Proyecto en el Mapa Geológico. | 4 |
| Ilustración 3. Ubicación de perforaciones, Mimitimbi, Tramo Nuevo Boca de Drago – Playa Bluff – Playa Paunch..... | 5 |
| Ilustración 4. Sección geológica, Mimitimbi, Tramo Nuevo Boca de Drago – Playa Bluff – Playa Paunch. | 10 |
| Ilustración 5. Sección Típica para Análisis de Estabilidad del Talud de Relleno..... | 16 |
| Ilustración 6. Sección Típica para Análisis de Estabilidad del Talud de Corte | 21 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Descripción de la Geología del Proyecto. | 4 |
| Tabla 2. Resumen de Propiedades de Estrato de Suelo Complementario | 11 |
| Tabla 3. Resumen de Propiedades de Estrato de Suelo Residual | 13 |
| Tabla 4. Resumen de Propiedades de Estrato de Roca Meteorizada | 15 |

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 presenta el estudio de suelo para el diseño y construcción de puentes vehiculares y, los análisis de estabilidad de los taludes en corte y relleno del alineamiento de la Fase B del proyecto en referencia, el cual abarca la siguiente zona:

- Tramo Nuevo Boca de Drago – Playa Bluff – Playa Paunch

El mismo, presenta la metodología y resultados obtenidos para el diseño y construcción de puentes vehiculares sobre la Fase B.

2 OBJETIVO

El objetivo del mismo, es determinar las características de los materiales geológicos en el sitio, de manera que se pueda diseñar la estructura propuesta de modo confiable.

El alcance de este informe contempla el estudio del recorrido del Tramo Nuevo Boca de Drago – Playa Bluff – Playa Paunch.

En total, para este tipo de estructura se realizaron dos (2) perforaciones con equipo mecánico.

Las perforaciones fueron ubicadas uno en cada futuro estribo y se extendieron hasta 5.00m de profundidad. En el punto **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se muestra la ubicación de las perforaciones.

Las perforaciones fueron ejecutadas a la profundidad requerida para obtener muestras para realizar ensayos en fragmentos de roca según el especialista geotécnico del proyecto.

3 RECOMENDACIONES

La estructura propuesta consiste en un (1) puente vehicular, ubicado sobre el Río Mimitimbi, Tramo Nuevo Boca de Drago – Playa Bluff – Playa Paunch. A continuación, se presentan la recomendación para los cimientos:

3.1 CIMIENTOS

Se puede considerar el uso de zapatas para soportar la estructura propuesta, cimentados dentro del estrato de roca coral, mínimo 3m por debajo del lecho del río.

Las zapatas deben ser desplantadas a una profundidad de 2.00 metros bajo la superficie actual del terreno y se deben dimensionar para una capacidad de soporte admisible de 200,000 kg/m².

El fondo de las excavaciones para las zapatas deberá ser completamente horizontal, encontrarse en un solo material geológico y estar libre de escombros y suelos reblandecidos, antes del vaciado.

3.2 CONSIDERACIONES SÍSMICAS

La caracterización del Riesgo Sísmico en el sitio se obtuvo del Reglamento Estructural de Panamá (REP-2014). La carga sísmica se caracteriza por la aceleración máxima del terreno (pga), la aceleración de respuesta espectral para estructuras de período corto (Ss) y la aceleración de respuesta espectral para estructuras de período largo (S1).

La aceleración espectral (Ss) en el sitio de Almirante, Bocas del Toro 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:

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

Los valores correspondientes al sitio son:

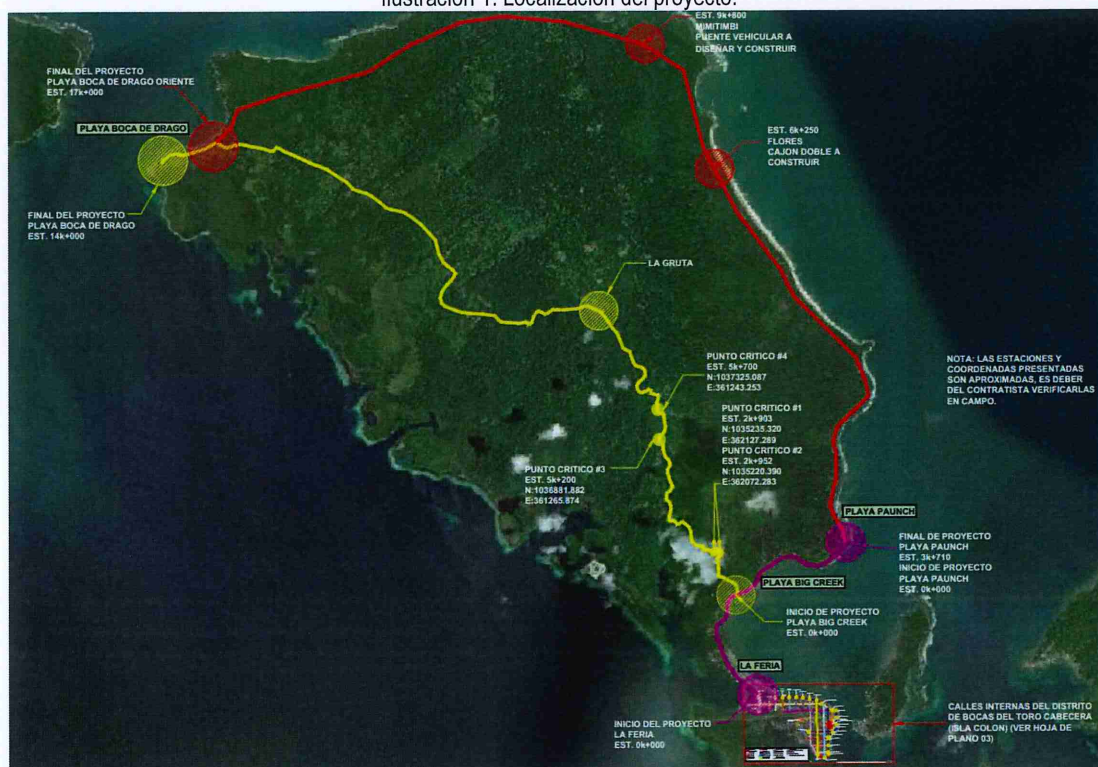
$$PGA = 0.54g; Ss (0.2s) = 1.282; S1 (1.0s) = 0.517$$

4 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se encuentra ubicado en Isla Colón, Provincia de Bocas del Toro.

665

Ilustración 1. Localización del proyecto.



Fuente: Ministerio de Obras Públicas.

A continuación, se presenta una descripción de la formación encontrada en sitio.


Galique (TO – SEga)

Período Terciario. Grupo Sensori-Uscari. Arenisca, lutitas, tobas, limolitas, arenisca con fósiles.

Estos materiales se encuentran en diversos grados de meteorización. El sitio presenta un perfil de meteorización gradual, típica en áreas de clima tropical: las rocas sanas a cierta profundidad se van convirtiendo en rocas cada vez más meteorizadas hacia la superficie, donde usualmente se presentan como suelos residuales completamente meteorizados.

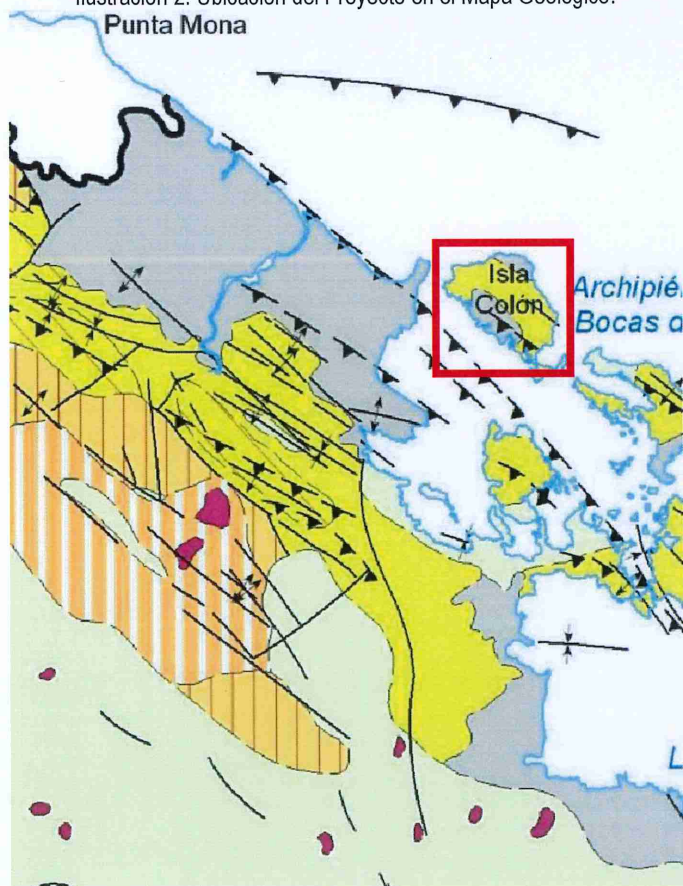
666

Tabla 1. Descripción de la Geología del Proyecto.

| Período | Grupo | Color | Formación | Descripción |
|-----------|--------------------|---|-----------|--|
| TERCIARIO | SENSORI- USCARI |  | Galique | Arenisca, lutitas, tobas, limolitas, arenisca con fósiles. |

Fuente: "GEOLOGÍA". Dirección General de Recursos Minerales (DGRM). Mapa Geológico. Escala 1:250,000. Mapa Geológico. Escala 1:1,000,000. (Atlas Nacional de Panamá).

Ilustración 2. Ubicación del Proyecto en el Mapa Geológico.

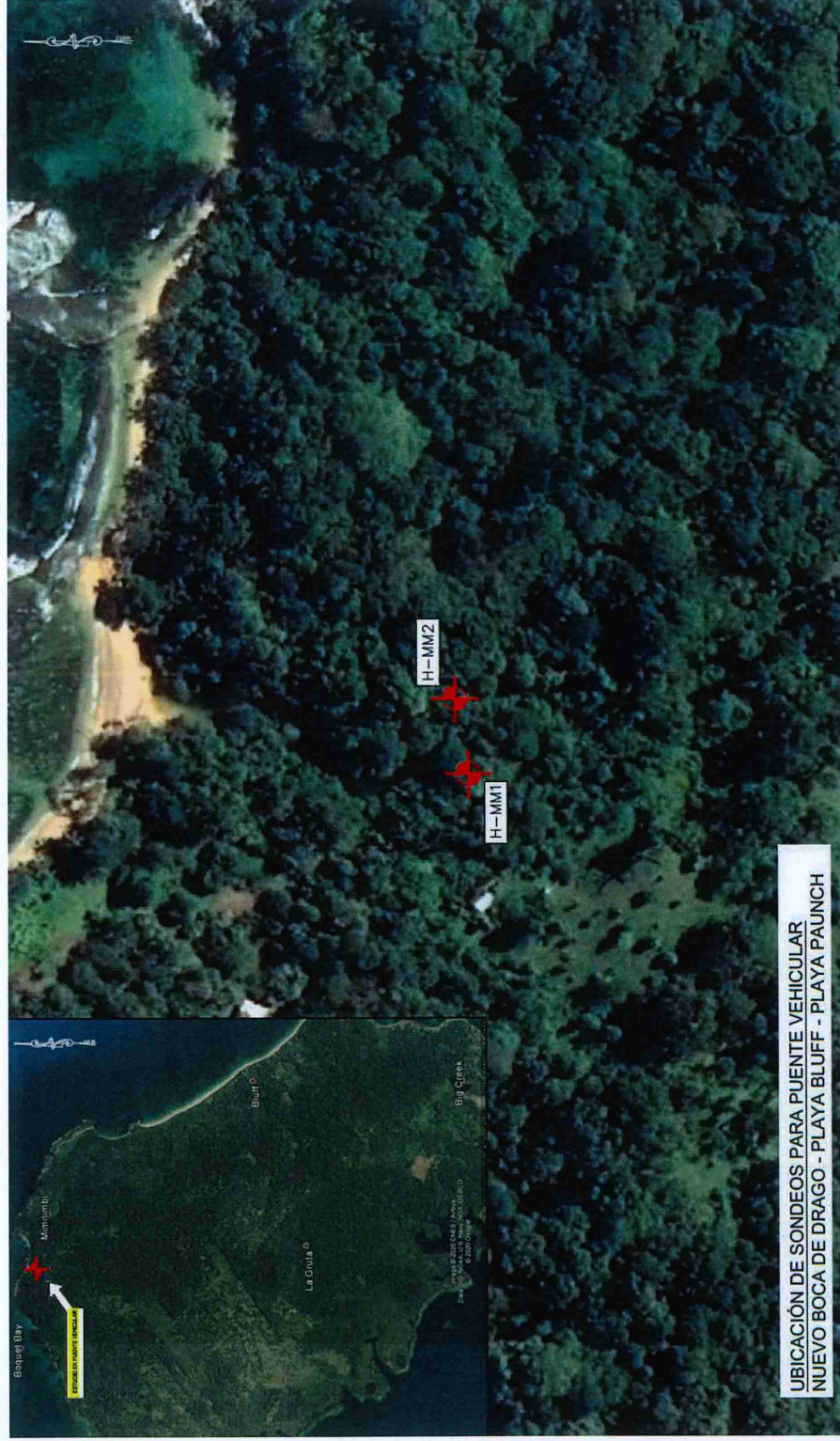


Fuente: "GEOLOGÍA". Dirección General de Recursos Minerales (DGRM). Mapa Geológico. Escala 1:250,000. Mapa Geológico. Escala 1:1,000,000. (Atlas Nacional de Panamá).

667

5 UBICACIÓN DE PERFORACIONES

Ilustración 3. Ubicación de perforaciones, Mimitimbí, Tramo Nuevo Boca de Drago – Playa Bluff – Playa Paunch.



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

6 REGISTROS DE PERFORACIÓN

| Ingenieros Geotécnicos, S.A. Ave. Ricardo J. Alfaro, Plaza Edison, 3 piso, Ofic. 37-38 Teléfono: +(507) 2790014 ó 2790413 Fax: +(507) 2790365 | | PERFORACION H-MM-1 | | | | | | | | | |
|---|---------------------|---|----------------|-------------|---------|------------------------------|---------------|-----------------------------------|--|--|--|
| CLIENTE MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS | | PROYECTO CALLES DE ISLA COLÓN, CIRCUNVALACIÓN COSTERA | | | | | | | | | |
| CODIGO DE PROYECTO 2000-es-IslaColón | | LOCALIZACION ISLA COLÓN, BOCAS DEL TORO | | | | | | | | | |
| INICIADA 11/12/20 NORTE 1043458 | | REGISTRADO POR DAVID RODRIGUEZ | | | | | | | | | |
| TERMINADA 11/12/20 ESTE 359345 | | REVISADO POR ING. GEORGE BERMAN | | | | | | | | | |
| ESTACION ELEVACION | | NIVEL FREATICO | | | | | | | | | |
| PROFUNDIDAD (m) | GRAFICO DE MATERIAL | DESCRIPCION DE MATERIAL | MUESTRA NUMERO | RECUBRO (%) | ROD (%) | DENSIDAD (t/m ³) | VALOR SPT (N) | ▲ NUMERO SPT (N) ▲ 10 20 30 40 | | | |
| 1 | | SEDIMENTO FLUVIAL. PRIMEROS 5 CM CAPA VEGETAL (HOJAS/RAICES), CONTINUA ARCILLA LIMOSA CON FRAGMENTOS DE CORAL. COLOR MARRÓN OSCURO. | T 1 | 100 | | | | | | | |
| | | 0.50 m. SEDIMENTO FLUVIAL. ARCILLA CON FRAGMENTOS DE CORAL. COLOR MARRÓN-GRIS CLARO. | T 2 | 100 | | | | | | | |
| 2 | | 1.10 m. CORAL. OTRORA UN ARRECIFE DE CORAL. MATERIAL MUY CONSISTENTE. COLOR BLANCO/CREMA. | RC 3 | 100 | | | | | | | |
| 3 | | | RC 4 | 100 | | | | | | | |
| 4 | | | RC 5 | 100 | | | | | | | |
| 5 | | Fin del sondeo a 5.0 m. | | | | | | | | | |
| | | REALIZADA A UN COSTADO DEL RÍO, MARGEN IZQUIERDO. | | | | | | | | | |

| Ingenieros Geotécnicos, S.A. Ave. Ricardo J. Alfaro, Plaza Edison, 3 piso, Ofic. 37-38 Teléfono: +(507) 2790014 ó 2790413 Fax: +(507) 2790365 | | PERFORACION H-MM-2 | | | | | | | | | |
|---|---------------------|---|----------------|-------------|---------|-------------------------------|---------------|---------------------------------|--|--|--|
| CLIENTE MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS | | PROYECTO CALLES DE ISLA COLÓN, CIRCUNVALACIÓN COSTERA | | | | | | | | | |
| CODIGO DE PROYECTO 2000-es-IslaColón | | LOCALIZACION ISLA COLÓN, BOCAS DEL TORO | | | | | | | | | |
| INICIADA 11/13/20 NORTE 1043463 | | REGISTRADO POR DAVID ROGRIGUEZ | | | | | | | | | |
| TERMINADA 11/13/20 ESTE 359373 | | REVISADO POR ING. GEORGE BERMAN | | | | | | | | | |
| ESTACION ELEVACION | | NIVEL FREATICO 2.10 m | | | | | | | | | |
| PROFUNDIDAD (m) | GRAFICO DE MATERIAL | DESCRIPCION DE MATERIAL | MUESTRA NUMERO | RECUBRO (%) | ROD (%) | DENSIDAD (g/cm ³) | VALOR SPT (N) | NUMERO SPT (N) ▲ 10 20 30 40 | | | |
| 1 | | SEDIMENTO FLUVIAL. PRIMEROS 5 CM CAPA VEGETAL (HOJAS/RAICES), CONTINUA ARCILLA LIMOSA CON FRAGMENTOS DE CORAL. COLOR MARRÓN OSCURO. | T 1 | 100 | | | | | | | |
| | | 0.50 m. SEDIMENTO FLUVIAL. FRAGMENTOS DE CORAL CON ARCILLA, PRESENCIA DE RAÍCES. COLOR MARRÓN/GRIS CLARO. | T 2 | 100 | | | | | | | |
| | | 1.00 m. SEDIMENTO FLUVIAL. ARCILLA CON FRAGMENTOS DE CORAL, RAÍCES. COLOR MARRÓN CLARO. | T 3 | 100 | | | | | | | |
| 2 | | 1.50 m. CORAL. OTRORA UN ARRECIFE DE CORAL. MATERIAL MUY CONSISTENTE. COLOR BLANCO/CREMA. | RC 4 | 100 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | RC 5 | 100 | | | | | | | |
| 5 | | | RC 6 | 100 | | | | | | | |
| | | Fin del sondeo a 5.0 m. | | | | | | | | | |

7 RESULTADOS DE LABORATORIO

**Ingenieros Geotécnicos, S. A.**

Carga Puntual (Point Load Test) (ASTM D5731-02)

| | |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| Calles de Isla Colón y Circ. Costera | Proyecto (Project) |
| Isla Colón, Bocas del Toro | Ubicación (Location) |
| José Pérez | Tecnico (Technician) |
| 24/11/2020 | Fecha de Prueba (Test Date) |

| Datos de la Muestra (Sample Data) | |
|-----------------------------------|--------------------|
| Muestra | H-MM-1 |
| Formación (Formation): | |
| Profundidad (depth) | 1.50-2.00 m |
| Descripción: (Description) | Coral color crema. |

| Fragmento No | Carga (Load) [KN] | Diametro (Diameter) [mm] | Ancho (Width) [mm] | Area (mm ²) | De | Factor Cc | Is | Is ⁽⁵⁰⁾ [Mpa] | UC [kg/cm ²] |
|---|-------------------|--------------------------|--------------------|-------------------------|-------|------------------------|-----------|---------------------------|--------------------------|
| 1 | 3.00 | 20 | 32 | 640 | 28.55 | 0.777 | 3.682 | 2.86 | 700 |
| 2 | 3.10 | 26 | 48.5 | 1261 | 40.07 | 0.905 | 1.931 | 1.75 | 428 |
| 3 | 1.10 | 20 | 43 | 860 | 33.09 | 0.830 | 1.005 | 0.83 | 204 |
| 4 | 2.30 | 28 | 31 | 868 | 33.24 | 0.832 | 2.081 | 1.73 | 424 |
| 5 | 2.00 | 33 | 34 | 1122 | 37.80 | 0.882 | 1.400 | 1.23 | 302 |
| 6 | 2.60 | 37 | 42 | 1554 | 44.48 | 0.949 | 1.314 | 1.25 | 305 |
| 7 | 2.00 | 42 | 47 | 1974 | 50.13 | 1.001 | 0.796 | 0.80 | 195 |
| 8 | 3.00 | 37 | 52 | 1924 | 49.49 | 0.995 | 1.225 | 1.22 | 298 |
| 9 | 5.20 | 50 | 54 | 2700 | 58.63 | 1.074 | 1.513 | 1.63 | 398 |
| 10 | 1.50 | 25 | 35 | 875 | 33.38 | 0.834 | 1.346 | 1.12 | 275 |
| 11 | 2.20 | 36 | 40.5 | 1458 | 43.09 | 0.935 | 1.185 | 1.11 | 271 |
| 12 | 3.00 | 35 | 49.5 | 1733 | 46.97 | 0.972 | 1.360 | 1.32 | 324 |
| 13 | 2.70 | 37 | 43.5 | 1610 | 45.27 | 0.956 | 1.318 | 1.26 | 308 |
| 14 | 1.50 | 21 | 23.5 | 494 | 25.07 | 0.733 | 2.387 | 1.75 | 428 |
| 15 | 2.00 | 31 | 27.5 | 853 | 32.95 | 0.829 | 1.843 | 1.53 | 374 |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 1.43 | 349 |
| Valor estimado de la resistencia última a la compresión simple (Estimated unconfined compressive strenath) | | | | | | 337 kg/cm ² | 4,793 psi | 3369.498 t/m ² | |



Carga Puntual (Point Load Test) (ASTM D5731-02)

Calles de Isla Colón y Circ. Costera

| |
|-----------------------------------|
| Proyecto (Project) |
| <i>Isla Colón, Bocas del Toro</i> |
| Ubicación (Location) |
| <i>José Pérez</i> |
| Técnico (Technician) |
| <i>24/11/2020</i> |
| Fecha de Prueba (Test Date) |

Datos de la Muestra (Sample Data)

| | |
|-------------------------------|---------------------------|
| Muestra | <i>H-MM-2</i> |
| Formación (Formation): | |
| Profundidad (depth) | <i>2.00-2.50 m</i> |
| Descripción: (Description) | <i>Coral, color crema</i> |

| Fragmento No | Carga (Load) [KN] | Diametro (Diameter) [mm] | Ancho (Width) [mm] | Area (mm ²) | De | Factor Cc | Is | Is ₍₅₀₎ [Mpa] | UC [kg/cm ²] |
|--------------|-------------------|--------------------------|--------------------|-------------------------|-------|-----------|-------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 2.90 | 29 | 44.5 | 1291 | 40.54 | 0.910 | 1.765 | 1.61 | 393 |
| 2 | 2.40 | 39 | 37 | 1443 | 42.86 | 0.933 | 1.306 | 1.22 | 298 |
| 3 | 0.90 | 27 | 29 | 783 | 31.57 | 0.813 | 0.903 | 0.73 | 180 |
| 4 | 3.10 | 46 | 35.5 | 1633 | 45.60 | 0.959 | 1.491 | 1.43 | 350 |
| 5 | 1.70 | 22 | 32.5 | 715 | 30.17 | 0.797 | 1.867 | 1.49 | 364 |
| 6 | 1.10 | 36 | 36 | 1296 | 40.62 | 0.911 | 0.667 | 0.61 | 149 |
| 7 | 2.80 | 28 | 47.5 | 1330 | 41.15 | 0.916 | 1.653 | 1.51 | 371 |
| 8 | 1.10 | 31 | 37 | 1147 | 38.22 | 0.886 | 0.753 | 0.67 | 163 |
| 9 | 3.50 | 45 | 53 | 2385 | 55.11 | 1.045 | 1.153 | 1.20 | 295 |
| 10 | 3.00 | 36 | 44.5 | 1602 | 45.16 | 0.955 | 1.471 | 1.40 | 344 |
| 11 | 2.80 | 34 | 36 | 1224 | 39.48 | 0.899 | 1.797 | 1.62 | 395 |
| 12 | 2.10 | 31 | 47.5 | 1473 | 43.30 | 0.937 | 1.120 | 1.05 | 257 |
| 13 | 2.50 | 42 | 42 | 1764 | 47.39 | 0.976 | 1.113 | 1.09 | 266 |
| 14 | 1.60 | 28 | 25 | 700 | 29.85 | 0.793 | 1.795 | 1.42 | 348 |
| 15 | 2.70 | 28 | 41 | 1148 | 38.23 | 0.886 | 1.847 | 1.64 | 401 |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|------------------------|---------------------------|--|------|-----|
| | | | | | | | | 1.25 | 305 |
| Valor estimado de la resistencia última a la compresión simple | | | | | 315 kg/cm ² | 4,481 psi | | | |
| (Estimated unconfined compressive strength) | | | | | | 3150.489 t/m ² | | | |

672



REPÚBLICA DE PANAMÁ
GOBIERNO NACIONAL

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

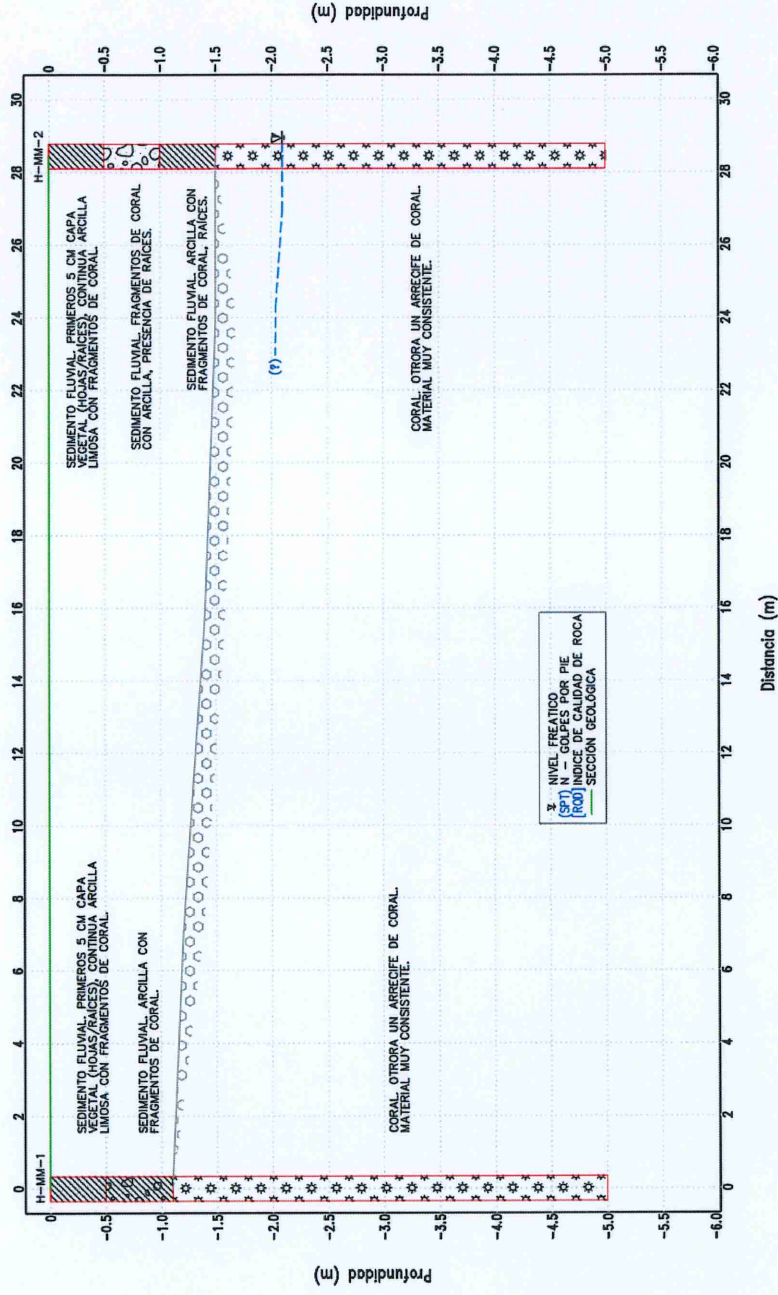
Ministerio de Obras Públicas



Consortio Proyecco-Ingeotec

8 SECCIÓN GEOLÓGICA

Ilustración 4. Sección geológica, Mimitimbi, Tramo Nuevo Boca de Drago – Playa Bluff – Playa Paunch.



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

9 DESCRIPCIÓN DE ESTRATOS

Los principales estratos encontrados en el sitio fueron los siguientes; sedimento y roca coral.

Sedimento Fluvial

El sedimento fluvial del sitio corresponde a arcilla con fragmentos de coral con espesores entre 1.10 y 1.50 m. Este estrato se caracteriza por su color marrón y gris claro.

Roca Coral

La roca del área corresponde al coral de la Formación Galique, la cual se caracteriza por ser de color blanco y crema. Este estrato se alcanzó en ambas perforaciones a los 1.10 a 1.50 metros de profundidad, bajo la superficie actual del terreno.

10 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES PARA DISEÑO DE TERRACERÍA

DATOS DE ENTRADA

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 del diseño final. Este material fue estimado en base a proyectos similares, que resulta en:

Tabla 2. Resumen de Propiedades de Estrato de Suelo Complementario

| 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 | 17 | 18 | 900,000 | 0.3 | 32 | 25 |

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

Análisis sísmico: la caracterización del Riesgo Sísmico en el sitio se obtuvo del Reglamento Estructural de Panamá (REP-2014). La aceleración espectral (S_s) en el sitio de Almirante, Bocas del Toro es de 1.282. De la ecuación 3.1 de Z.A. Lubkowsky & B. Aluisi ("Deriving S_s and S_1 Parameters from PGA Maps"), se obtiene el PGA:

$$S_s/\text{PGA} = 0.3386 \cdot \text{PGA} + 2.1696, \text{ resultando } \text{PGA} = 0.54g$$

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:

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

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:

| 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 | |
| H-04 | 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. |

| Sondeo | Prof. (m) | | N (SPT) | Descripción Visual |
|--------|-----------|-------|---------|--|
| | Desde | Hasta | | |
| 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. |

- 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, $\gamma_{\text{unsat}} = 16.0 \text{ kN/m}^3$ y saturado, $\gamma_{\text{sat}} = 17.0 \text{ kN/m}^3$

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 3. Resumen de Propiedades de Estrato de Suelo Residual

| 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 |

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 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:

| 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. |

- 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 $\gamma_{\text{unsat}} = 17 \text{ kN/m}^3$ y saturado, $\gamma_{\text{sat}} = 17 \text{ kN/m}^3$

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, $\nu = 0.20$, 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

sigci 0.53 MPa

GSI 60

mi 17

D 0

Ei 1084 MPa

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/m3

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:

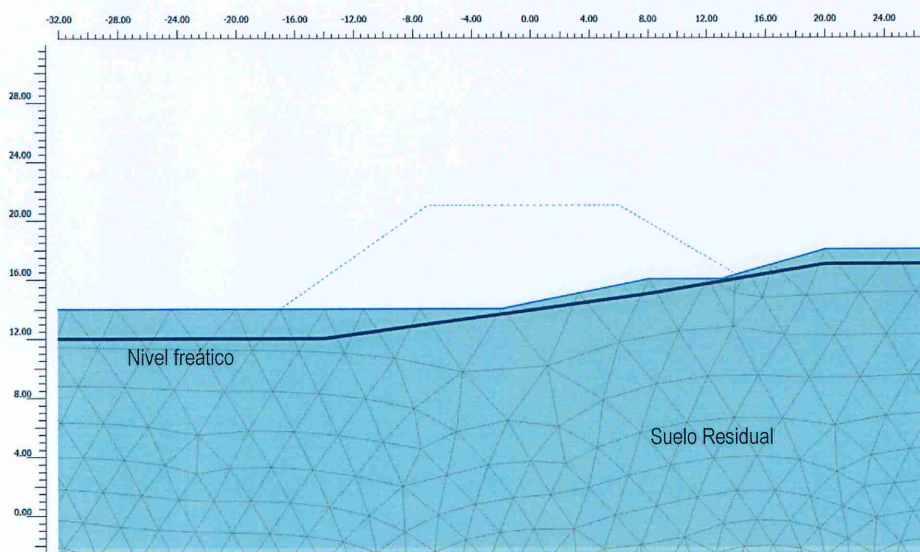
Tabla 4. Resumen de Propiedades de Estrato de Roca Meteorizada

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

10.1 TALUD DE RELLENO

Perfil: para modelar la geometría, se tomó la sección transversal 17K+120, con pendiente de talud de relleno de 1.5:1 y la información de los estratos de los sondeos C-69, H-04 y H-05.

Ilustración 5. Sección Típica para Análisis de Estabilidad del Talud de Relleno

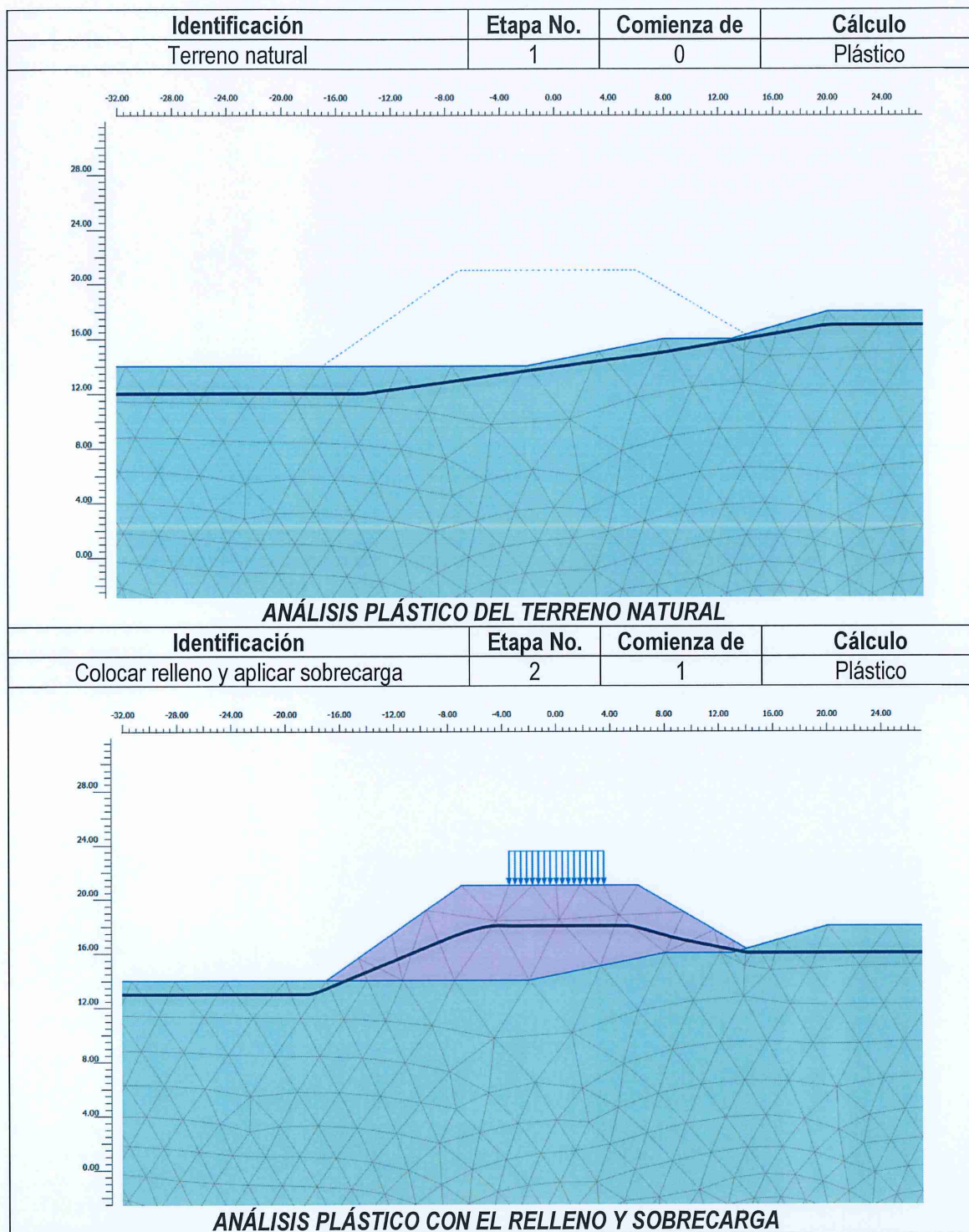


Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec para el presente documento.

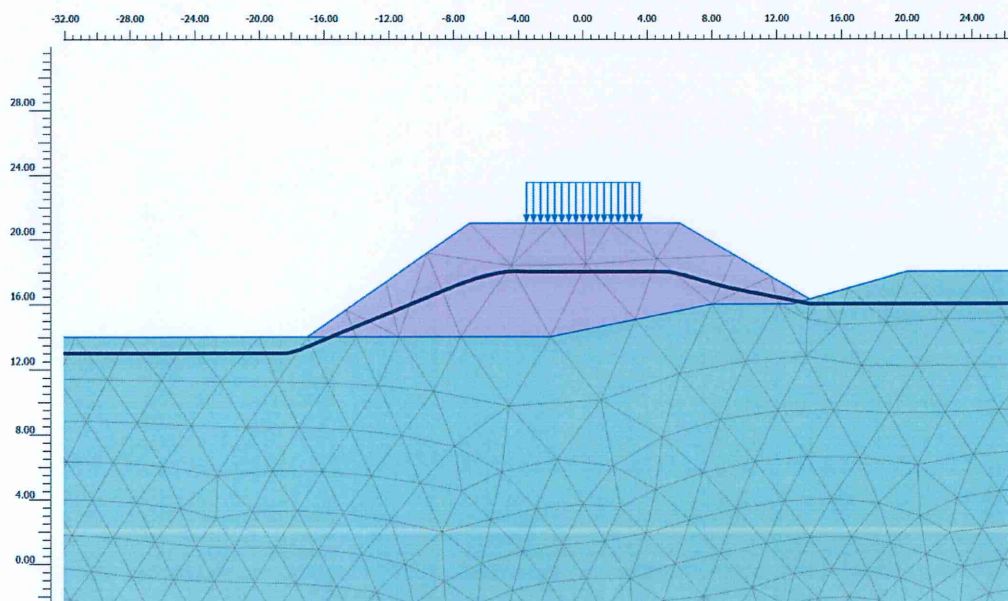
ETAPAS DEL CÁLCULO

| Identificación | Etapas No. | Comienza de | Cálculo |
|----------------|------------|-------------|----------|
| Fase inicial | 0 | N/A | Plástico |

ANÁLISIS CON CARGA DE GRAVEDAD

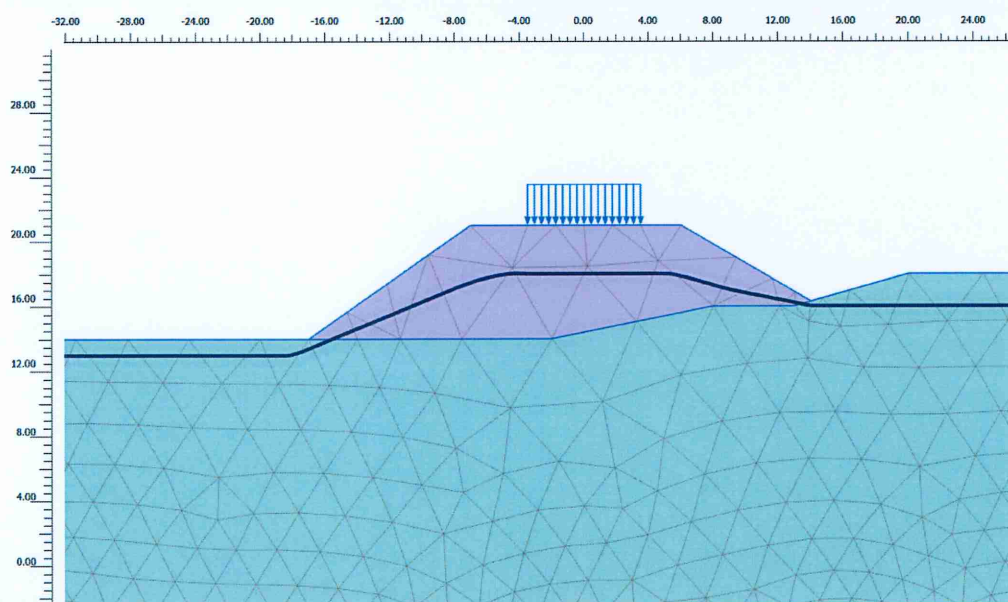


| Identificación | Etapla No. | Comienza de | Cálculo |
|----------------------------------|------------|-------------|-----------|
| Estabilidad del talud en relleno | 3 | 2 | Seguridad |

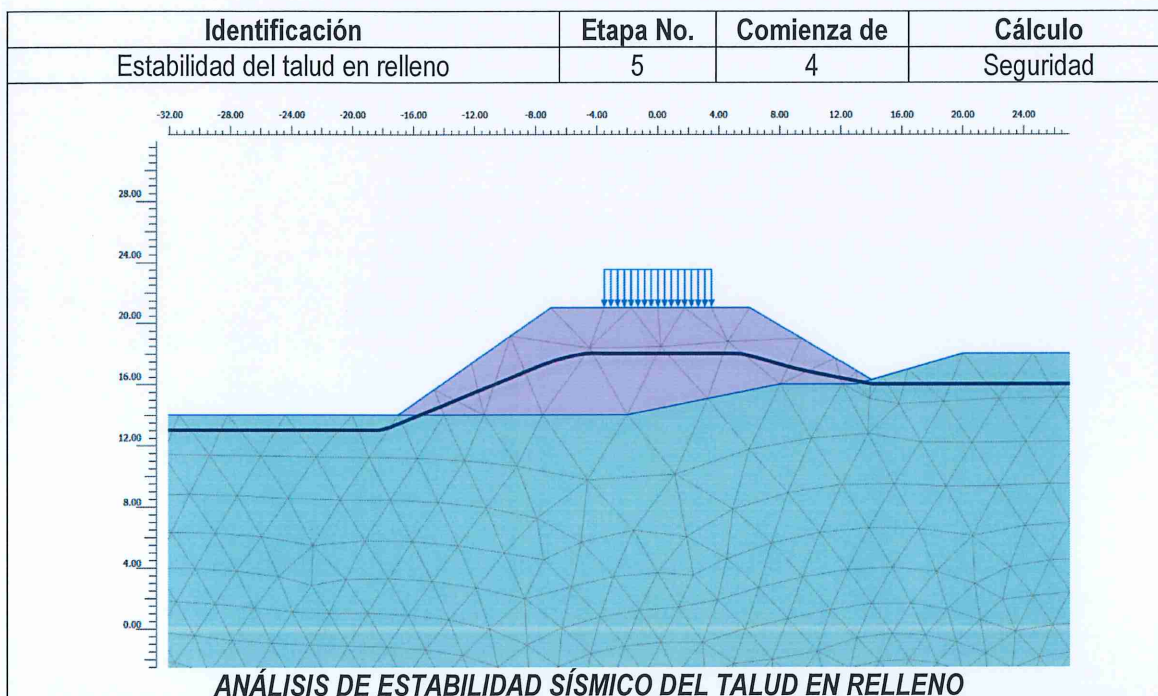


ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD EN RELLENO

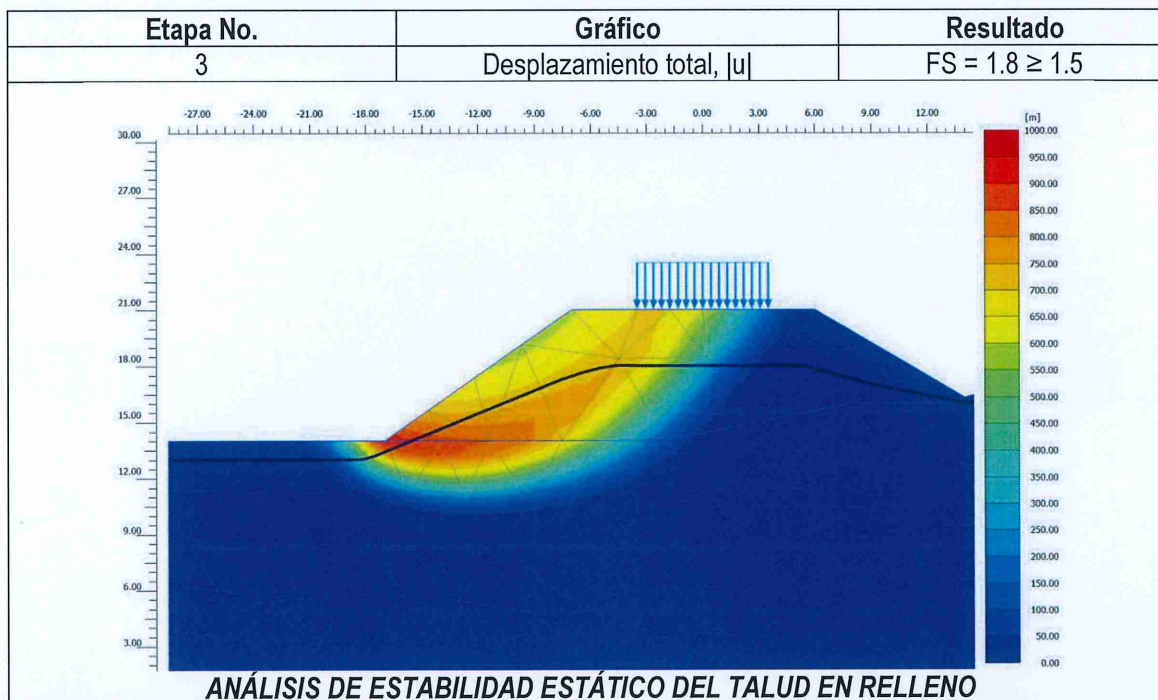
| Identificación | Etapla No. | Comienza de | Cálculo |
|--------------------------------------|------------|-------------|----------|
| Aplicación de la aceleración sísmica | 4 | 2 | Plástico |

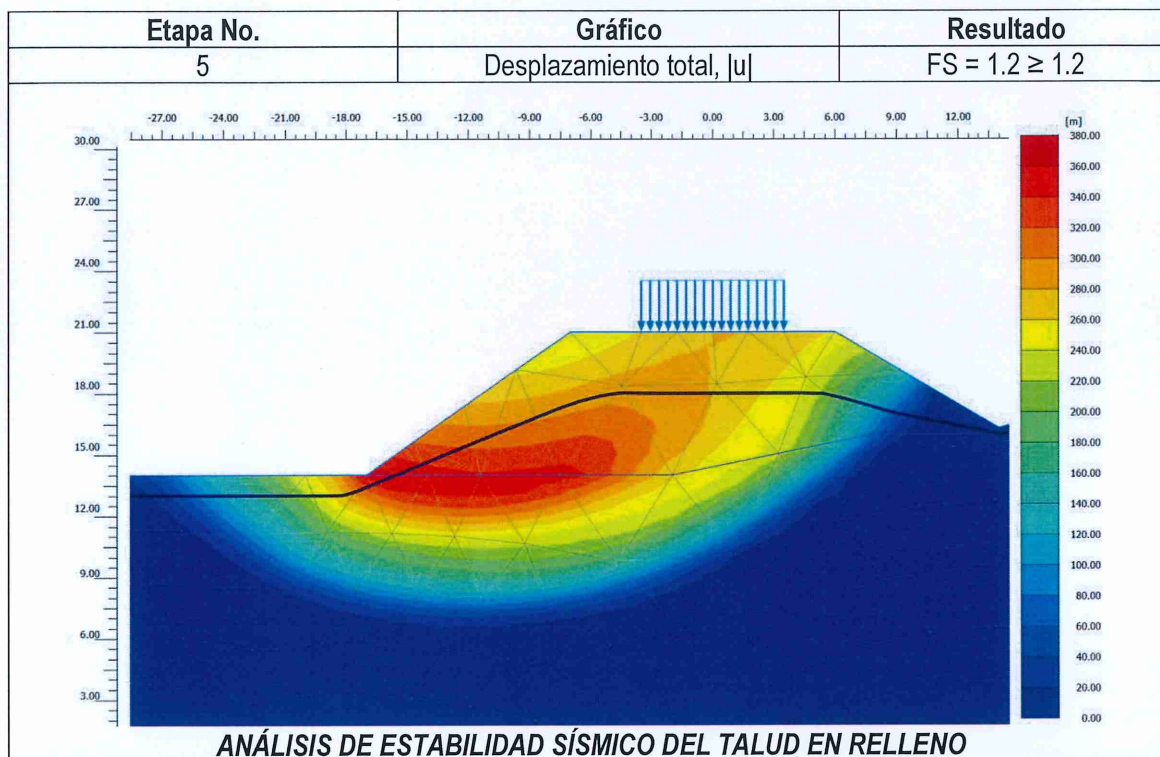


APLICACIÓN DE LA ACELERACIÓN SÍSMICA



RESULTADOS



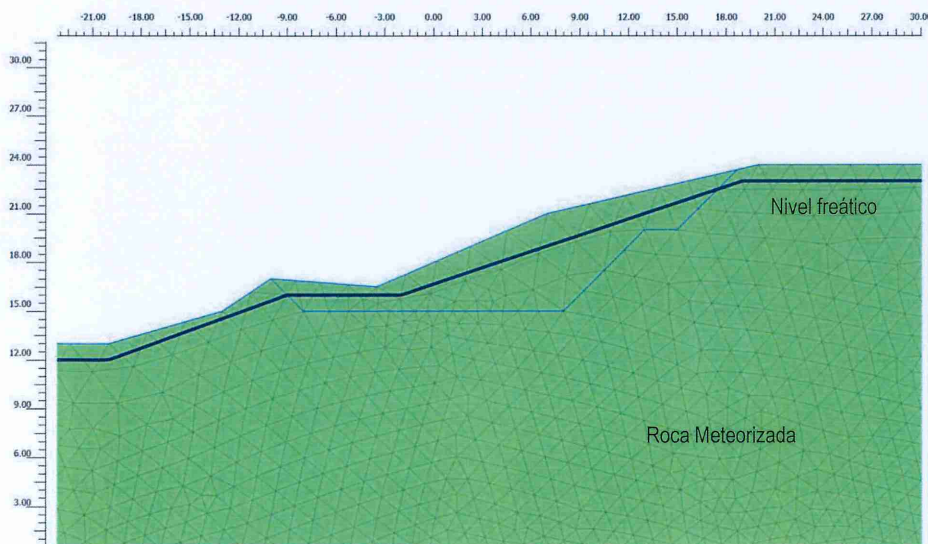


10.2 TALUD DE CORTE

Perfil: para modelar la geometría, se tomó la sección transversal 17K+380, con pendiente de talud de corte de 1:1 y la información de los estratos de los sondeos C-70, H-04 y H-05.

683

Ilustración 6. Sección Típica para Análisis de Estabilidad del Talud de Corte



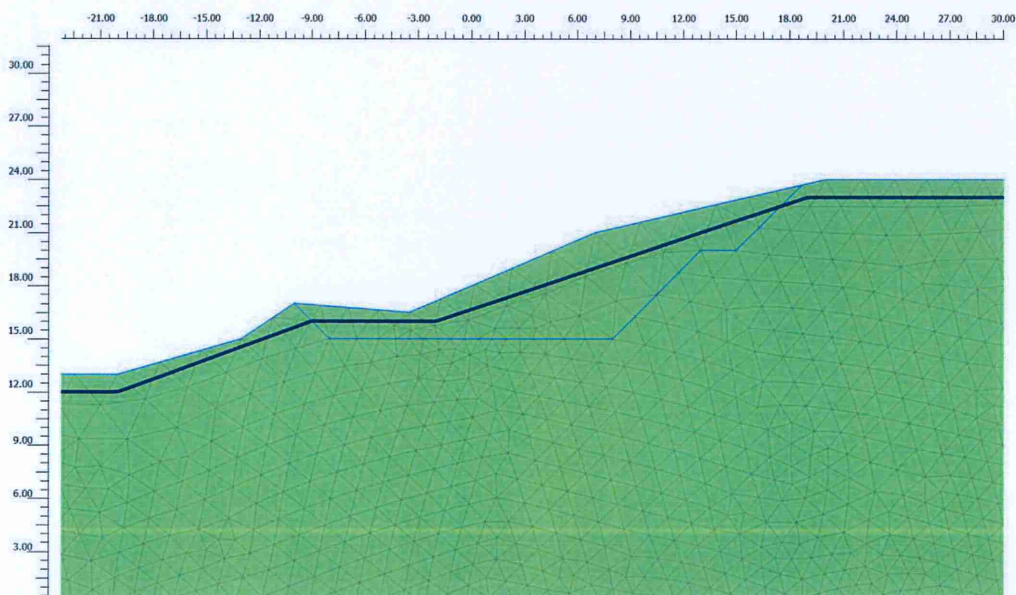
Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec para el presente documento.

ETAPAS DEL CÁLCULO

| Identificación | Etapas No. | Comienza de | Cálculo |
|----------------|------------|-------------|----------|
| Fase inicial | 0 | N/A | Plástico |

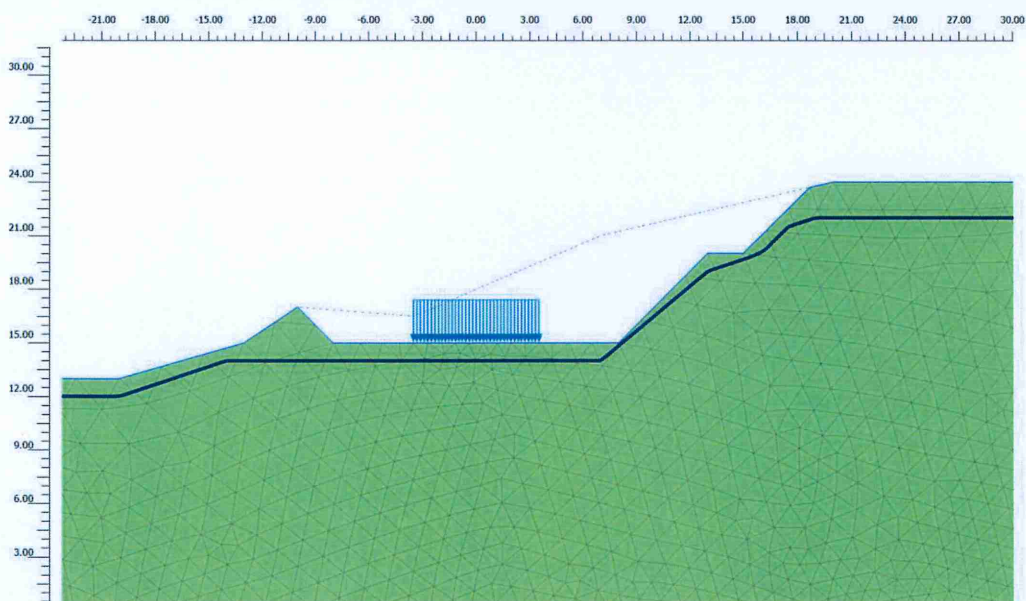
ANÁLISIS CON CARGA DE GRAVEDAD

| Identificación | Etapla No. | Comienza de | Cálculo |
|-----------------|------------|-------------|----------|
| Terreno natural | 1 | 0 | Plástico |



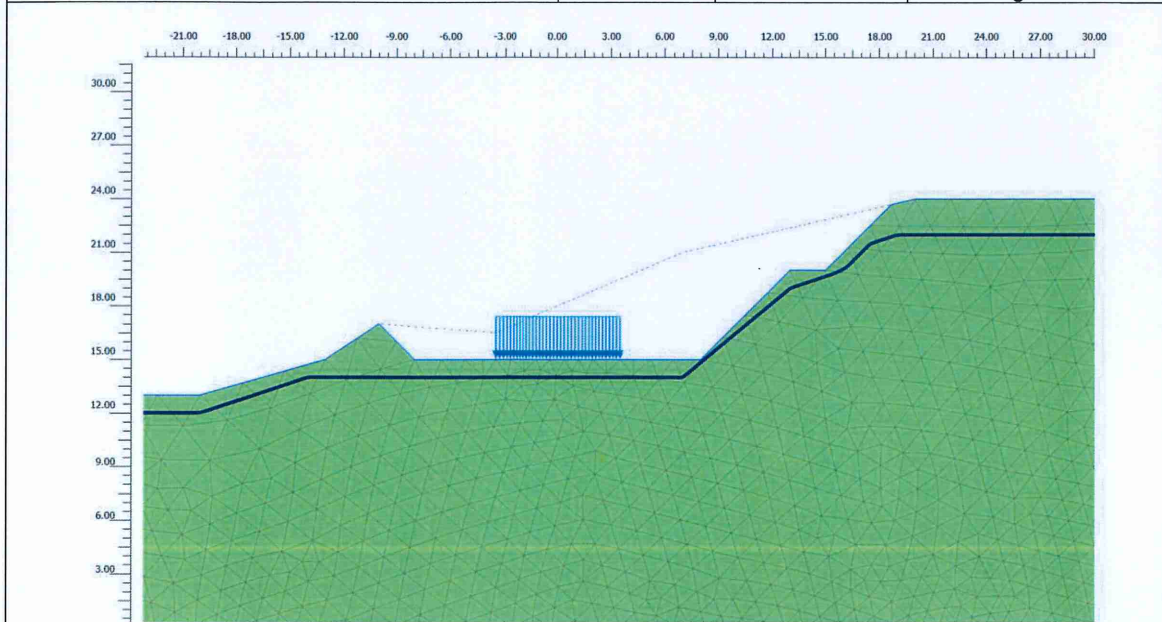
ANÁLISIS PLÁSTICO DEL TERRENO NATURAL

| Identificación | Etapla No. | Comienza de | Cálculo |
|-------------------------------------|------------|-------------|----------|
| Realizar corte y aplicar sobrecarga | 2 | 1 | Plástico |



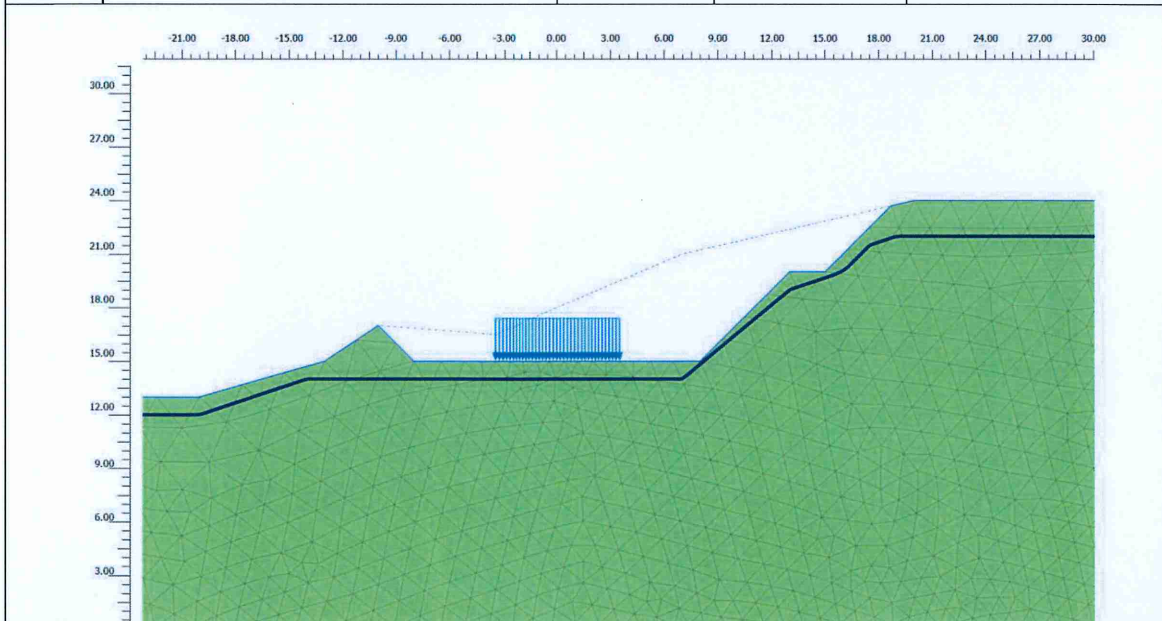
ANÁLISIS PLÁSTICO CON EL CORTE Y SOBRECARGA

| Identificación | Etapla No. | Comienza de | Cálculo |
|--------------------------------|------------|-------------|-----------|
| Estabilidad del talud en corte | 3 | 2 | Seguridad |

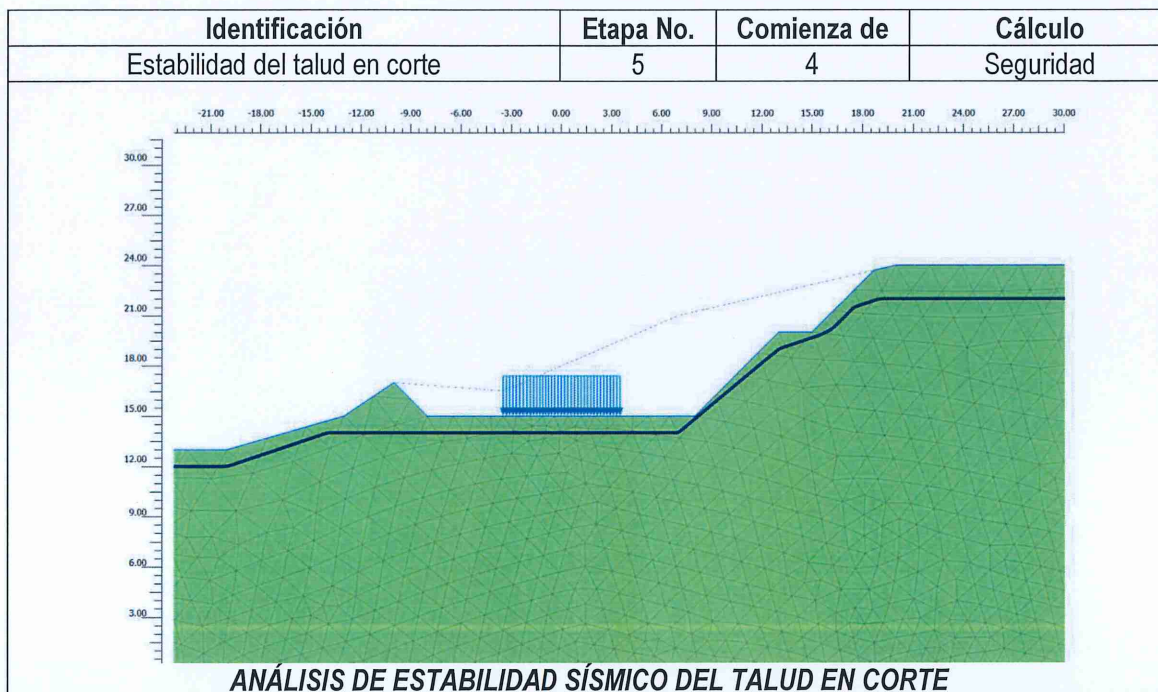


ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD EN CORTE

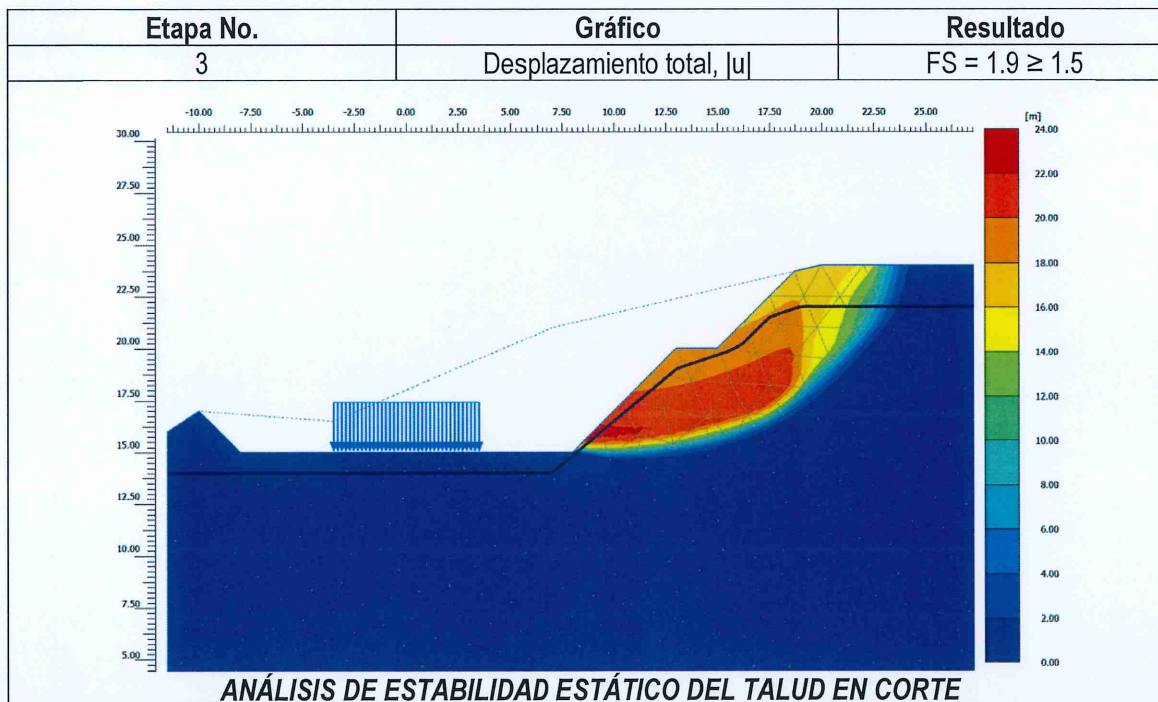
| Identificación | Etapla No. | Comienza de | Cálculo |
|--------------------------------------|------------|-------------|----------|
| Aplicación de la aceleración sísmica | 4 | 2 | Plástico |

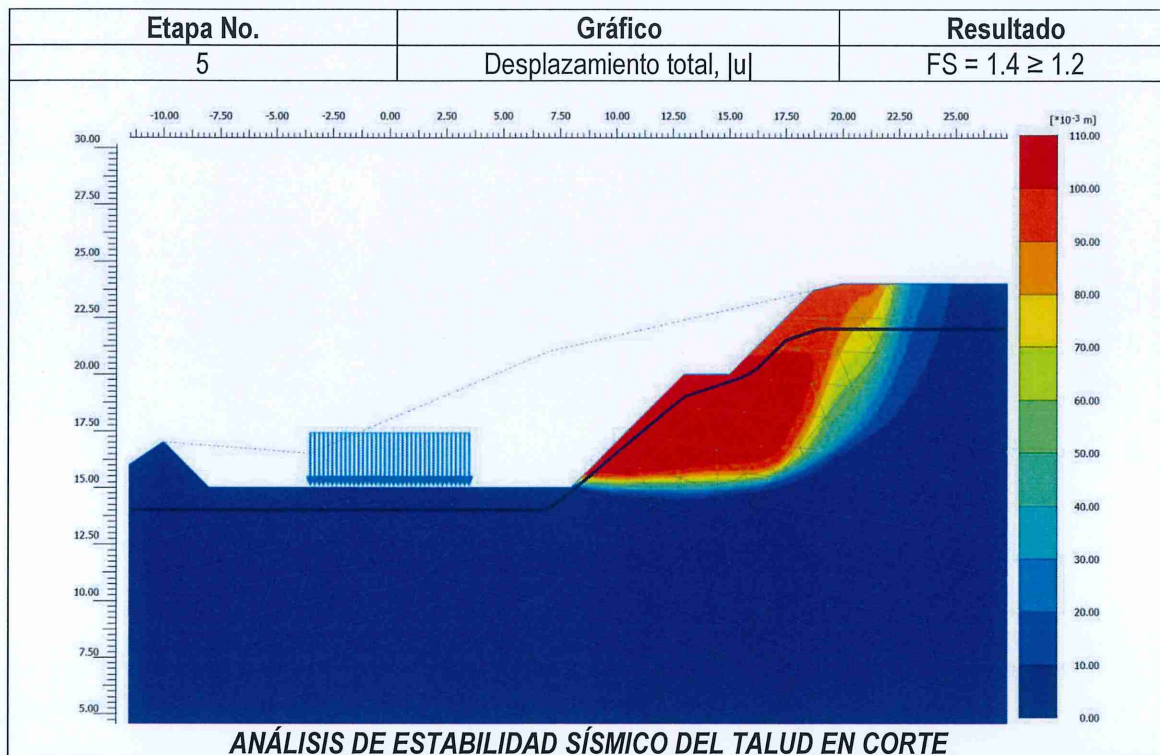


APLICACIÓN DE LA ACCELERACIÓN SÍSMICA



RESULTADOS





688