

# Producto 11.

## Ingeniería de detalle 100% - Geotecnia

Agosto de 2016



### Anexo 10. Movimiento de Tierras



Contrato No.  
1-02-25500-0690-2011

Fecha: Agosto de 2016

REALIZAR EL DISEÑO A NIVEL DE INGENIERÍA DE DETALLE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE "CANOAS" EN LOS COMPONENTES ASOCIADOS AL SISTEMA DE TRATAMIENTO PRIMARIO CON ASISTENCIA QUÍMICA



**CONTROL DE REVISIONES**

TITULO DEL DOCUMENTO: <b>Informe Producto No.11 – Versión Final “Anexo 10: Movimiento de Tierras”</b>	
CLIENTE: <b>ACUEDUCTO DE BOGOTA</b>	
PROYECTO: PTAR CANOAS	No. 89244
PROPUESTA:	No.

**DESCRIPCION DE REVISIONES.**

VERSION	DESCRIPCION Y/O ESTADO	FECHA DE APROBACION	OBSERVACIONES
0	Movimiento de Tierras	13-05-2016	Versión preliminar para revisión de Interventoría y del Cliente
1	Movimiento de Tierras, Versión 1	01-18-2016	Incluye la información complementaria a la versión 0, del 13 de Mayo de 2016.

**DESCRIPCIÓN DE ANEXOS.**

--

**CONTROL DE REVISION Y APROBACION.**

REVISADO POR: (AREA/CARGO/FIRMA)          <p align="center">Solomon Abel Asistente Co-director Nacional Consortio CDM Smith - INGESAM</p>	APROBADO POR: (AREA/CARGO/FIRMA)          <p align="center">Robert Gaudes Director Internacional de la Consultoría Consortio CDM Smith - INGESAM</p>
---	--



©2016 CDM SMITH. TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS, REUTILIZACIÓN DE DOCUMENTOS: DOCUMENTOS Y DISEÑOS SUMINISTRADOS POR EL SERVICIO PROFESIONAL, INCORPORADOS EN ESTE DOCUMENTO, SON PROPIEDAD DE CDM SMITH Y EAB, NO SERÁN UTILIZADOS, NI TOTAL NI PARCIALMENTE, PARA CUALQUIER OTRO PROYECTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DE CDM SMITH Y/O EAB.

**PRODUCTO 11. ANEXO 10: MOVIMIENTO DE TIERRAS**

**APROBACIÓN DEL INFORME**

<p>Robert Gaudes Director Internacional de la Consultoría Consortio CDM Smith - INGESAM</p>	<p>Fernando Silva Director de la Interventoría Unión Temporal Canoas</p>
<p>Reinaldo Pulido Supervisor del Contrato de Consultoría N° 1-02-25500-0690-2011 Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá</p>	





**EMPRESA DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO DE  
BOGOTÁ E.S.P.**

**CONTRATO No. 1-02-25500-0690-2011**

**REALIZAR EL DISEÑO A NIVEL DE INGENIERÍA DE DETALLE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES DE “CANOAS” EN LOS COMPONENTES ASOCIADOS AL SISTEMA DE  
TRATAMIENTO PRIMARIO CON ASISTENCIA QUÍMICA**

**PRODUCTO No. 11  
ANEXO 10**

**MOVIMIENTO DE TIERRAS  
Versión Final**

Preparado por:  
CONSORCIO  
CDM Smith - INGESAM SAS

Agosto de 2016





## Tabla de contenido

Sección 1	Introducción .....	1-2
Sección 2	Excavaciones – procedimiento constructivo preliminar .....	2-2
2.1	Procedimiento constructivo .....	2-2
2.1.1	Actividades preliminares.....	2-2
2.1.2	Excavaciones .....	2-3
2.1.3	Disposición del material proveniente de la excavación .....	2-4
2.1.4	Manejo del agua .....	2-5
2.2	Estabilidad de taludes.....	2-5

## Lista de Figuras

Figura 2-1	Imagen del modelo analizado por el método de Bishop con superficie de falla circular .....	2-7
Figura 2-2	Factor de seguridad obtenido por el método de Bishop con superficie de falla circular bajo condiciones dinámicas, saturado y con sobrecarga.....	2-8

## Lista de tablas

Tabla 2-1	Factores de seguridad (FS) básicos mínimos directos para el análisis de capacidad portante y estabilidad de taludes.....	2-5
Tabla 2-2	Parámetros característicos promedio de las capas 1,2 y 3.....	2-6
Tabla 2-3	Parámetros asignados en la modelación de estabilidad de taludes, con $\phi=0$ .....	2-7
Tabla 2-4	Factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad de taludes bajo condiciones críticas. ....	2-8
Tabla 2-5	Factores de seguridad para taludes 1,5 H: 1,0V y altura de 7 m. ....	2-9

## Sección 1

### Introducción

Como parte del desarrollo de la ingeniería para diseño de detalle preliminar de la Fase I de la PTAR Canoas se presentan la definición de las actividades requeridas para la construcción de las estructuras que componen el proyecto, el cálculo del volumen de material a excavar y del material a ser utilizado como relleno, la técnica y los procedimientos necesarios para ejecutar las actividades en mención.

Las excavaciones requeridas para el desplante de estructuras con frecuencia suponen grandes profundidades sobre materiales cuyas características no siempre resultan ser las mejores desde el punto de vista de la estabilidad. Debido a la condicionante del suelo a excavar, es necesario acometer dichas excavaciones con técnicas o procedimientos que permitan ejecutar las actividades con factores de seguridad que garanticen su estabilidad y que no representen riesgos tanto para los trabajadores como para los equipos que se utilicen.

Las principales amenazas o riesgos en excavaciones las constituyen la inestabilidad de la pared de la excavación o de los taludes de corte, y las fallas de fondo, originadas en parte por la presencia de estratos de suelo blandos cuyas características geomecánicas no permiten el soporte de los mismos, los suelos degradables o colapsables, la presencia de agua (nivel freático), etc.

## Sección 2

# Excavaciones – procedimiento constructivo preliminar

En la presente sección se abordan cada uno de los elementos contemplados en la ejecución de las excavaciones, definidos a partir de la experiencia de la firma y en criterios básicos para minimizar los volúmenes de excavación y relleno. Sin embargo, aun cuando se indique o se den pautas acerca del procedimiento requerido para tal fin, será responsabilidad final del CONTRATISTA de la obra, basado en estas directrices, emplear la técnica y el procedimiento adecuado para la materialización de las estructuras que componen el Proyecto; “*know how*” del CONTRATISTA.

## 2.1 Procedimiento constructivo

Será responsabilidad del CONTRATISTA la coordinación y desarrollo de actividades con los demás contratistas que puedan intervenir en la construcción de las obras con el fin de minimizar posibles interferencias o afectaciones derivadas del uso de técnicas específicas relacionadas con las excavaciones, la utilización de vías de acceso y el transporte de material hacia las zonas de depósito.

En el presente numeral se definen algunas pautas generales que deben ser tenidas en cuenta para adelantar las actividades de excavación y construcción de las obras, sin embargo esto no exime al CONTRATISTA de presentar, con anterioridad al inicio de obra, una memoria técnica detallada en la que describa el sistema de accesos industriales, los métodos y la secuencia constructiva que utilizará para acometerlas.

El procedimiento presentado por el CONTRATISTA deberá garantizar que en ningún momento se ponga en peligro la estabilidad de taludes naturales, temporales o definitivos conformados por él mismo o por otros contratistas, de estructuras y demás obras ejecutadas con anterioridad.

El procedimiento presentado por el CONTRATISTA deberá ser aprobado por la EAB.

### 2.1.1 Actividades preliminares

Con antelación al inicio de las actividades de excavación para la fundación de las estructuras, tema objeto de la presente sección, el CONTRATISTA deberá acometer una serie de actividades encaminadas a garantizar la seguridad de la obra, del personal, de los equipos y maquinaria, y demás elementos necesarios para la construcción de la Planta.

La primera actividad a realizar será el desmonte y limpieza de las zonas a intervenir: obras principales, vías de acceso y circulación, las zonas de depósito, campamentos, etc. Esta actividad se realizará en áreas cubiertas por rastrojos, bosque, pasto o cultivos previamente autorizadas por la EAB. El desmonte y la limpieza hacen referencia a la remoción de toda la vegetación o material no deseable hasta el nivel del terreno natural de forma que la superficie quede despejada.

Las excavaciones no podrán ir más allá de los límites mostrados en los planos o definidos por la EAB, y el CONTRATISTA no podrá arrojar al cauce del río Bogotá ramas, raíces, madera o cualquier material

proveniente de las actividades de limpieza y desmonte. El material que no se utilice deberá ser depositado en los sitios definidos para tal fin aprobados por la EAB.

Otras actividades previas a la excavación que son responsabilidad del CONTRATISTA se enumeran a continuación:

1. Cerramiento de la zona de obra y señalización de la misma
2. Vías de acceso y circulación vehicular, así como vías peatonales para la libre y segura movilización de los trabajadores
3. Zonas de acopio de material y equipos, y demás logística necesaria
4. Campamentos con sus respectivos baños

Si bien algunas de estas actividades se contemplan como procedimiento constructivo, algunas otras son inherentes a las cualificaciones del CONTRATISTA y deberán estar inmersas dentro de sus políticas de buenas prácticas constructivas y dentro de su sistema de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional, por tal razón no ahondaremos en las mismas.

## 2.1.2 Excavaciones

Las excavaciones necesarias para la construcción de la Fase I de la PTAR Canoas se clasifican como *EXCAVACIONES A CIELO ABIERTO* sobre terrenos blandos a firmes, por lo que no será necesario el uso de elementos de alto impacto como explosivos o ripados, aunque no se descarta del todo el empleo de este último elemento. Las excavaciones se harán de manera mecánica dada la magnitud de la obra, y se estima que al menos se empleen Bulldozers para las explanaciones mayores, complementadas con retroexcavadoras que ayuden en la conformación de taludes; ambos equipos deberán estar apoyados sobre orugas dadas las condiciones del material y la posible presencia de agua en la zona. Será responsabilidad del CONTRATISTA asegurar la estabilidad de la maquinaria a emplear para la ejecución de las actividades de excavación para lo cual deberá adoptar las medidas que considere pertinentes como el uso de rajón como apoyo de las máquinas. Para detalles remitirse a la Especificación 02200.

En términos generales la excavación para la cimentación de las estructuras se ha definido en dos etapas principales. En la primera etapa (Etapla I) se conformarán terrazas por grupos de estructuras con el fin de evitar sobre-excavaciones y movimientos de tierra mayores que se a su vez disminuirán el volumen de material de relleno requerido para conformar la terraza final de diseño o de terreno terminado y la necesidad de soporte de las vías internas de la PTAR durante el tiempo de construcción. En esta primera etapa de excavación se definirán plataformas entre el terreno natural y las siguientes zonas de estructuras, ver Planos C-00-102 a C-00-118:

1. Tratamiento preliminar, zona norte
2. Sedimentadores primarios, zona centro
3. Espesadores, digestores, edificios de control y demás estructuras localizadas entre los sedimentadores y el límite sur de la PTAR

La primera terraza varía en transición entre el nivel del terreno natural hasta la cota promedio 2550,50 aproximadamente; desde el límite con la zona de sedimentadores se desarrollará un talud 1,5H:1,0V hasta la cota 2545,00 manteniéndose horizontal hasta el límite con la tercera terraza en donde

nuevamente se desarrolla un talud 1,5H:1,0V hasta la cota promedio 2550,50. La última terraza varía entre las cotas 2550,50 y 2552,50 aproximadamente.

La segunda etapa de excavación (Etapa II) se refiere a las excavaciones que se requieren para la fundación de las diferentes estructuras; en donde aplique estas excavaciones igualmente se harán con taludes 1,5:1,0 para las de mayor profundidad, y excavaciones verticales para las de menor profundidad. Estas excavaciones implicarán movimientos de tierra menores desde las terrazas definidas en la Etapa I. El CONTRATISTA preliminarmente deberá verificar y respetar las cotas mostradas en los planos de excavación, ver Planos C-00-119 a C-00-129.

El nivel de las terrazas se estableció en función de las necesidades constructivas de las estructuras, de las condiciones del terreno y del nivel freático presente en el terreno. Del grupo de estructuras definidas, son los sedimentadores primarios las de mayor tamaño y las que se localizarán a mayor profundidad de cimentación, es así como para la zona en la que se encuentran estos 16 tanques se estableció que la cota 2545 es la que ofrece las mayores ventajas desde el punto de vista de la estabilidad y del proceso constructivo, además de representar los menores volúmenes de excavación y posterior relleno hasta el nivel de terreno conformado.

Pese a lo mencionado antes, existen algunas estructuras que por su tipología van a requerir para su fundación excavaciones verticales con profundidades mayores a 1,5 m que será necesario realizar al amparo de tablestacas. Lo más común en el empleo de este sistema es hincar las tablestacas hasta una profundidad determinada y trabarlas para posteriormente retirar el material del interior.

Todos los taludes definidos en estas etapas de excavación con inclinación 1,5H:1,0V son temporales y como tales se ha analizado la estabilidad de esas excavaciones. Por esta razón en principio no se recomienda la implementación de algún sistema de protección de taludes o de soporte puesto que se considera que aunque se pueda presentar degradación de material debido al intemperismo al que se verá sometido, el tiempo de construcción no expondrá excesivamente los taludes a estos procesos. Sin embargo esto no exime al CONTRATISTA de adelantar los trabajos que considere necesarios para asegurar la estabilidad de los taludes, ya sean temporales o permanentes, que se generen durante la excavación de las obras. Estas actividades incluyen, entre otros, el manejo del agua superficial y subterránea con los sistemas de drenaje y/o bombeo que puedan requerirse para tal fin.

A medida que vaya finalizando la construcción de las diferentes estructuras de la PTAR Canoas se irá reconformando el terreno hasta una elevación definida paisajísticamente que se desarrollará de forma transitoria desde el nivel actual del terreno. El material a emplear para la conformación de estos rellenos será seleccionado y deberá cumplir con las características mínimas señaladas en la Especificación 02222.

Los taludes de relleno para la conformación de terraplenes para las vías tendrán una inclinación 3H:1V. Se definirán las tongadas o espesor de las capas a ser compactadas, el porcentaje de compactación, la humedad natural de la mezcla, el equipo requerido para tal fin, la frecuencia de vibración y todos los demás elementos que deben ser objeto de análisis para llegar a las densidades requeridas.

### 2.1.3 Disposición del material proveniente de la excavación

El material proveniente de las diferentes etapas de excavación se acopiará en un sitio definido dentro del lote Canoas para tal fin mientras se realiza la disposición final; un porcentaje de este material podría ser reutilizado para rellenos.

El material remanente se dispondrá adecuadamente en un botadero seleccionado para tal fin, previamente aprobado.

Las proporciones de material destinado como relleno así como el destinado a botadero se establecerán en función de los análisis realizados en función del comportamiento esperado. Como mínimo se reutilizará la capa vegetal que se haya retirado.

### 2.1.4 Manejo del agua

Como parte de las adecuaciones requeridas durante las excavaciones definidas en las Etapas I y II, será necesario implementar sistemas y/o elementos que faciliten el manejo del agua superficial y sub-superficial. Para esto se deberá contemplar la construcción de zanjas o canales con una pendiente adecuada para la evacuación del agua de escorrentía, así como la implementación de zonas inundables desde las que se pueda bombear el agua proveniente de lluvias e infiltraciones del terreno en caso de ser necesario.

Como se mencionó en numerales anteriores, la definición de las elevaciones de las terrazas se hizo teniendo en cuenta, entre otros, el nivel freático en el terreno. Este nivel se estableció a partir del programa de lectura de los piezómetros distribuidos en la zona de la PTAR, los cuales fueron instalados en la etapa de trabajos de campo para ingeniería preliminar y etapa de detalle.

De las lecturas de los piezómetros se ha podido determinar que el nivel de agua subterránea fluctúa entre las cotas 2545 y 2540 aproximadamente; para efectos de análisis y definición de condiciones del subsuelo se asumió el nivel máximo registrado a la fecha (2545).

El CONTRATISTA es libre de implementar las técnicas que considere necesarias para el control del agua superficial y subterránea que pueda aflorar en las superficies excavadas. En caso de ser necesario el uso de sistemas de bombeo o cualquier otro sistema drenaje, el CONTRATISTA será el responsable de suministrarlos, mantenerlos y operarlos.

## 2.2 Estabilidad de taludes

La máxima altura de talud de corte temporal que se tendrá estará entre 5,0 y 6,0 m. Dadas las características del material depositado en la zona de la PTAR Canoas se estableció la conformación de taludes con pendientes 1,5H:1,0V con la finalidad de evitar la implementación de algún sistema de estabilización o protección durante construcción. Bajo estas disposiciones se hicieron modelaciones con el software Geostudio 2012- Slope/W, y con las diferentes combinaciones de escenarios modelados se pudo corroborar que efectivamente con una inclinación 1,5H:1,0V los taludes permanecen estables. Todo esto acorde con lo dispuesto en el código NSR-10, Capítulo H.5. En la Tabla 2-1 se presentan los factores de seguridad básicos mínimos para taludes durante construcción y diseño; los factores de seguridad de los taludes temporales cumplen con los valores mínimos indicados en esta tabla.

**Tabla 2-1 Factores de seguridad (FS) básicos mínimos directos para el análisis de capacidad portante y estabilidad de taludes.**

Condición	FSBM		FSBMU	
	Diseño	Construcción	Diseño	Construcción
Carga muerta + carga viva normal	1,50	1,25	1,80	1,40
Carga muerta + carga viva máxima	1,25	1,10	1,40	1,15

Condición	F <sub>SBM</sub>		F <sub>SBMU</sub>	
	Diseño	Construcción	Diseño	Construcción
Carga muerta + carga viva normal + sismo de diseño pseudo-estático	1,10	1,00 (*)	No se permite	No se permite
Taludes – condición estática y agua subterránea normal	1,50	1,25	1,80	1,40
Taludes – condición pseudo-estática con agua subterránea normal y coeficiente sísmico de diseño	1,05	1,00 (*)	No se permite	No se permite

(\*) Nota: Los parámetros sísmicos pseudo-estáticos de construcción serán el 50% de los de diseño

Fuente: NSR-10 Capítulo H, estudios geotécnicos. NSR -10. Tabla H.2.4-1

Para la modelación se definieron parámetros geotécnicos característicos obtenidos a partir de los resultados de los ensayos de laboratorio ejecutados, se identificaron las capas de suelo que intervendrán en las secciones de corte y se definieron las propiedades más representativas para las condiciones de exposición del material. Posteriormente se realizó el análisis de estabilidad evaluando que el Factor de Seguridad cumpliera con los valores mínimos indicados en la NSR-10 (ver la Tabla 2-2 Parámetros característicos promedio de las capas 1,2 y 3.).

Los materiales que intervendrán en los cortes son: Capa 1, 2 y 3. La resistencia al corte asignada a las capas de suelos 1, 2 y 3 en toda la Fase I se obtuvo mediante el análisis por percentiles, empleando la base de datos de todos los resultados de corte directo y compresión simple realizados en todo el área de la Fase I para las capas de interés.

**Tabla 2-2 Parámetros característicos promedio de las capas 1,2 y 3.**

Material	Profundidad (m)	$\gamma_t$ (ton/m <sup>3</sup> )	$\phi'$ (°)	C' (kPa)
Capa 1: Limo arcilloso con presencia de raíces y oxidaciones y fuertemente consolidado	0,0 – 3,0	1,363	24	26
Capa 2: Arcilla limosa gris habana de alta plasticidad sobreconsolidada con presencia de planos de óxido y lentes areno limosos	3,0 – 7,0	1,640	23	27
Capa 3: Arcilla limosa habana de alta plasticidad ligeramente sobreconsolidada con lentes de arena limosa y concreciones de óxido de hierro	7,0 – 11,0	1,917	22	26

Estos valores corresponden a los mejores estimados mediante análisis de percentiles. Sin embargo, se evaluó el comportamiento carga deformación en las muestras ensayadas a compresión simple observando que estas capas superficiales presentan fisuras, que las propiedades de resistencia al corte disminuyen en estas muestras, y que al estar expuesto este material tenderá a presentar fisuramiento por exposición y cambio de humedades. Bajo estas contemplaciones se reasignaron los valores de las propiedades del suelo a intervenir en los cortes. La Tabla 2-3 presenta la resistencia al corte empleada en cada material.

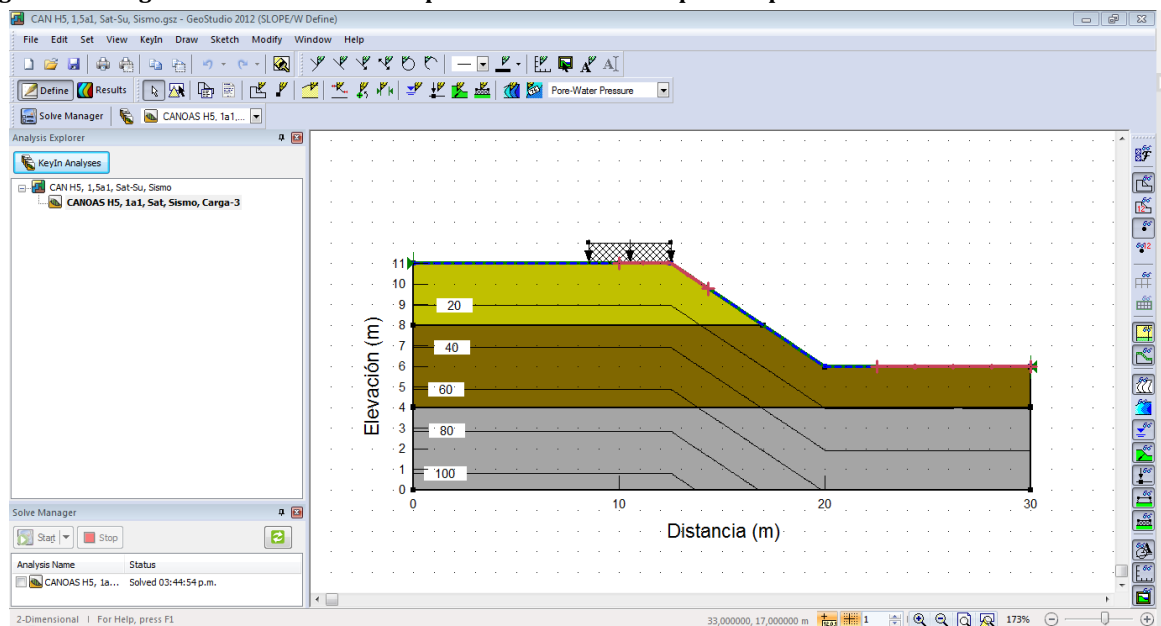
**Tabla 2-3 Parámetros asignados en la modelación de estabilidad de taludes, con  $\phi=0$** 

Material	Profundidad (m)	$\gamma_t$ (ton/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)
Capa 1: Limo arcilloso con presencia de raíces y oxidaciones y fuertemente consolidado	0,0 – 3,0	1,363	17,9
Capa 2: Arcilla limosa gris habana de alta plasticidad sobreconsolidada con presencia de planos de óxido y lentes areno limosas	3,0 – 7,0	1,640	37
Capa 3: Arcilla limosa habana de alta plasticidad ligeramente sobreconsolidada con lentes de arena limosa y concreciones de óxido de hierro	7,0 – 11,0	1,917	40

Las condiciones del análisis han contemplado cuatro escenarios distintos:

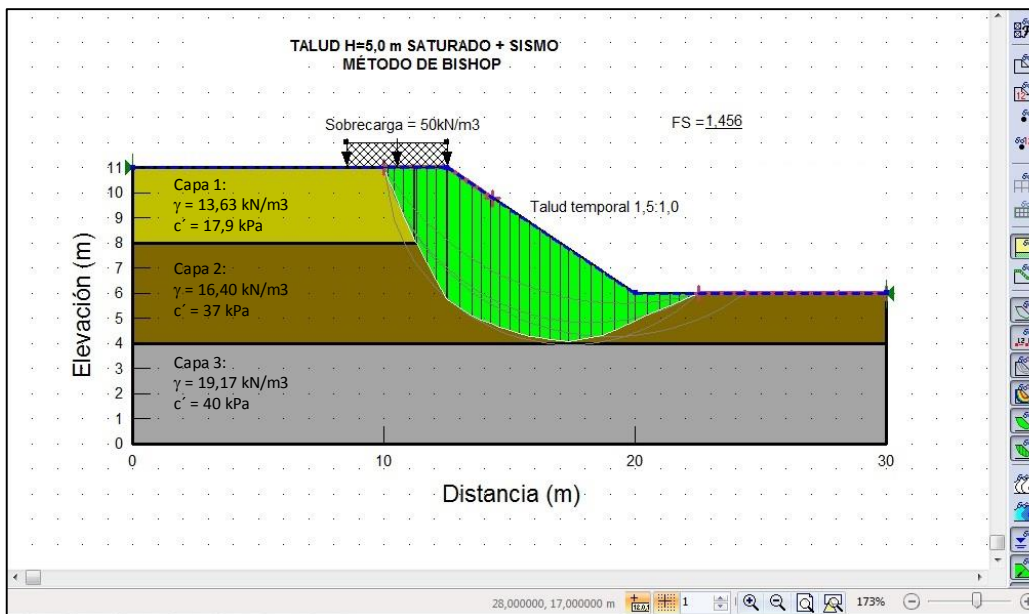
- Talud de 5 m de altura, con inclinación 1,5:1,0 y en condición saturada.
- La misma situación anterior adicionando una sobrecarga de 50 kN/m<sup>3</sup>.
- La situación inicial bajo condiciones dinámicas,  $a_a = 0,15$ ,  $a_v = 0,02$ .
- Por último la combinación de las dos últimas condiciones.

Bajo las condiciones mencionadas antes, el Factor de Seguridad para los taludes siempre fue superior a los valores establecidos en la Norma para taludes temporales, siendo mayor en la condición inicial y el mínimo en la condición final. Los análisis se realizaron con el método Bishop; se muestran los resultados de los análisis derivados por este método en condición dinámica saturada + sobrecarga. Ver Figura 2-1 y Figura 2-2.

**Figura 2-1 Imagen del modelo analizado por el método de Bishop con superficie de falla circular**




**Figura 2-2 Factor de seguridad obtenido por el método de Bishop con superficie de falla circular bajo condiciones dinámicas, saturado y con sobrecarga**



**Tabla 2-4 Factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad de taludes bajo condiciones críticas.**

Condición de análisis del talud	Factor de seguridad obtenido talud 1,5H: 1,0V	NSR -10 Factor de seguridad básico mínimo directo (diseño)
Seudo-estática con agua subterránea y coeficiente sísmico de diseño.	1,46	1,0

Como ejercicio de verificación se realizaron análisis para taludes de altura hasta de 7 m y bajo los escenarios indicados; los resultados mostraron que con una inclinación de talud 1,5H:1,0V estos presentan factores de seguridad superiores a los solicitados en la normatividad. Sin embargo se reitera que los análisis realizados se hicieron asumiendo cortes con altura máxima de siete metros e inclinación 1,5H: 1,0V, y que de ser necesarios cortes de mayor altura o mayor inclinación estos deberán diseñarse por cuenta del CONTRATISTA para garantizar la estabilidad de los mismos.

En la Tabla 2-5 se muestran los factores de seguridad obtenidos con el software GeoSlope/W y los factores de seguridad mínimos según la NSR-10. Sin embargo, dadas las condiciones del material se recomienda que para los taludes que superen los 7 m de altura se adopten algunas medidas adicionales como por ejemplo la conformación de bermas intermedias. En este sentido el Contratista deberá realizar los análisis de estabilidad respectivos.

**Tabla 2-5 Factores de seguridad para taludes 1,5 H: 1,0V y altura de 7 m.**

Altura del talud (m)	Inclinación (H:V)	Saturado	Sismo a=0,15	Sobrecarga a 50kPa	Método de análisis	Factor de seguridad	Factor de seguridad NSR-10
5	1,5:1	X	X	X	Bishop	1.46	1.0
5	1,5:1	X		X	Bishop	1.73	1.25
7	1,5:1	X	X	X	Bishop	2.14	1.05
7	1,5:1	X		X	Bishop	2.8	1.5