ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTENCIÓN DE LA ESQUINA SUR OCCIDENTAL DEL MURO DE CERRAMIENTO PERIMETRAL DEL COLEGIO INEM MANUEL MURILLO TORO

IBAGUÉ - TOLIMA

ELABORADO POR:

HÉCTOR ANDRÉS GARCÍA MANCHOLA

MARÍA LUCÍA RAMÍREZ BONILLA

SOLICITANTE:

BENJAMIN SANJUANES ROMERO

VERSIÓN 0

AGOSTO DE 2024

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO ..... - 1 -

1 GENERALIDADES ..... - 5 -

1.1 INTRODUCCIÓN ..... - 5 -
1.2 OBJETIVOS ..... - 6 -
OBJETIVO GENERAL ..... - 6 -
OBJETIVO ESPECÍFICOS ..... - 6 -
2 GEOLOGÍA ..... - 7 -

2.1 GEOLOGÍA GENERAL ..... - 7 -
2.2 ESTRATIGRAFÍA Y LITOLOGÍA ..... - 8 -
2.3 INFORMACIÓN GENERAL DE IBAGUÉ-POT ..... - 8 -
3 ESTRUCTURA DEL ESTUDIO ..... - 10 -

3.1 CONDICIONES ACTUALES DEL TERRENO. ..... - 12 -
3.2 ASPECTOS SÍSMICOS ..... - 15 -
AMPLIFICACIÓN DEL SUELO (FA) ..... - 17 -
COEFICIENTE DE IMPORTANCIA (I) ..... - 17 -
3.3 COEFICIENTE SÍSMICO DE DISEÑO PARA ANÁLISIS PSEUDOESTÁTICOS PARA TALUDES (KST) ..... - 18 -
4 ANÁLISIS GEOTÉCNICO ..... - 19 -

4.1 MODELO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO ..... - 19 -
4.2 PERFIL TÍPICO DEL PROYECTO ..... - 20 -
4.3 SUELOS CON CARACTERÍSTICAS ESPECIALES ..... - 24 -
4.4 NIVEL FREÁTICO ..... - 24 -
4.5 PRESIONES DE TIERRA Y SISTEMAS DE CONTENCIÓN ..... - 25 -
4.6 CAPACIDAD DE CARGA DE CIMENTACIONES SUPERFICIAL ..... - 29 -
CAPACIDAD DE CARGA CIMENTACIÓN SUPERFICIAL TIPO ZAPATA PARA MUROS DE CONTENCIÓN .. - 29 -
4.7 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA ..... - 32 -
4.8 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS MATERIALES DE RELLENO ..... - 34 -
5 TOPOGRAFÍA ..... - 36 -

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... - 39 -

7 BIBLIOGRAFÍA ..... - 42 -

8 ANEXOS ..... - 43 -

ANEXO A. MEMORIA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD LADERA ..... - 44 -
ANEXO B. ENSAYOS DE LABORATORIO ..... - 45 -
ANEXO C. PERFILES ESTRATIGRÁFICOS DE LOS SONDEOS ..... - 46 -
ANEXO D. UBICACIÓN DE LOS SONDEOS ..... - 47 -
ANEXO E. REGISTRO FOTOGRÁFICO ..... - 48 -
ANEXO F. PLANO DE TOPOGRAFÍA ..... - 51 -
ANEXO G. PLANO DE DISEÑO SISTEMA DE CONTENCIÓN ..... - 52 -
ANEXO H. COPNIA Y TARJETA PROFESIONAL ..... - 53 -

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1 Leyenda geológica Plancha 244 Ibagué - INGEOMINAS ..... - 7 -
Gráfica 2 Amenaza y riesgo del proyecto según POT Ibagué 2014 ..... - 9 -
Gráfica 3 Microzonificación sísmica - POT Ibagué 2014 ..... - 9 -
Gráfica 4 Ubicación general del Proyecto ..... - 10 -
Gráfica 5 Estado actual de la zona de análisis – Esquina sur occidental del muro perimetral ..... - 11 -
Gráfica 6 Condición actual muro perimetral. Vista desde la portería ..... - 12 -
Gráfica 7 Condición actual muro perimetral. Vista sección intermedia ..... - 13 -
Gráfica 8 Condición actual muro perimetral. Vista vértice final sur-occidental ..... - 13 -
Gráfica 9 Patología actual muro perimetral. Vista vértice final sentido oriente-occidente ..... - 14 -
Gráfica 10 Zona de estudio - Vista interna desde la Institución educativa ..... - 15 -
Gráfica 11 Mapa sísmico Municipio de Ibagué. Fuente:SGC ..... - 16 -
Gráfica 12 Análisis ensayo de Campo SPT ..... - 19 -
Gráfica 13 Perfil Geológico - Geotécnico ..... - 20 -
Gráfica 14 Clasificación de la fracción fina ..... - 20 -
Gráfica 15 Distribución Granulométrica de las muestras obtenidas ..... - 21 -
Gráfica 16 Exploración manual ..... - 23 -
Gráfica 17 Presiones Activas Rankine ..... - 25 -
Gráfica 18 Análisis de Estabilidad - Volcamiento ..... - 25 -
Gráfica 19 Análisis de Estabilidad - Deslizamiento ..... - 26 -
Gráfica 20 Diagrama Análisis de Estabilidad Capacidad de carga ..... - 26 -
Gráfica 21 Distribución de Presiones Análisis Pseudo-estatico ..... - 27 -
Gráfica 22 Esquema Sistema de Contención propuesto ..... - 28 -
Gráfica 23 Método Equilibrio Limite ..... - 32 -
Gráfica 24 Análisis de estabilidad de la ladera condiciones iniciales ..... - 33 -
Gráfica 25 Ubicación general Delta #1 de topografía ..... - 36 -
Gráfica 26 Detalle Delta #1 de topografía ..... - 37 -
Gráfica 27 Ubicación general Delta #2 de topografía ..... - 37 -
Gráfica 28 Detalle Delta #2 de topografía ..... - 38 -
Gráfica 29 Planta, Perfil y detalles del sistema de contención propuesto ..... - 39 -

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Tipo de exploraciones desarrolladas y Muestras obtenidas ..... - 12 -
Tabla 2 Ensayos realizados ..... - 12 -
Tabla 3 Clasificación de perfil de suelos ..... - 16 -
Tabla 4 Valores del coeficiente Fa, para la zona de periodos cortos del espectro ..... - 17 -
Tabla 5 Valores de coeficiente de importancia. ..... - 17 -
Tabla 6 Clasificación general de las condiciones sísmicas de la zona y clasificación de acuerdo a NSR10 ..... - 17 -
Tabla 7 Valores de KST/a_{max} Mínimos para análisis pseudoestáticos de taludes Tabla H.5.2-1 NSR10 ..... - 18 -
Tabla 8 Análisis prueba de campo SPT ..... - 19 -
Tabla 9 Parámetros de Resistencia Terreno Natural ..... - 19 -
Tabla 10 Resumen ensayos de laboratorio - Sondeos ..... - 22 -
Tabla 11 Variación Estadística Caracterización Física ..... - 22 -
Tabla 12 Clasificación de Suelos Expansivos ..... - 24 -
Tabla 13 Análisis de Estabilidad sistema de contención H=6.0m ..... - 27 -
Tabla 14 Parámetros de Resistencia y Deformación de la masa de suelo ..... - 30 -
Tabla 15 Análisis Estado Limite de Servicio ..... - 30 -
Tabla 16 Análisis Estado Limite de Falla ..... - 31 -
Tabla 17 Parámetros Material Granular para rellenos ..... - 34 -
Tabla 18 Coordenadas de los Deltas topográficos ..... - 36 -
Tabla 19 Coordenadas de los sondeos ..... - 47 -

CONTROL DEL DOCUMENTO

Código del Documento:			Interno:	IGT – 132 – 24		Externo:	
Tipo:	Informe	X	Memoria de calculo			Especificación Técnica	

RESPONSABLES			
Nombres y Apellidos		**Cargo**	**Firma**
Elaboró	HÉCTOR ANDRÉS GARCÍA MANCHOLA		
Reviso:	MARÍA LUCÍA RAMÍREZ BONILLA		
Supervisor:			

REVISIONES			
Rev.	**Sección Modificada**	**Fecha** (dd/mm/aaaa)	**Descripción**
0	General	30/08/2024	Versión inicial

DISTRIBUCIÓN	
Dependencia	**Copias**
BENJAMIN SANJUANES ROMERO	1

1 GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Dentro del marco del desarrollo del contrato de consultoría No. 13 - 2024 celebrado entre la Institución educativa INEM “Manuel Murillo Toro” de Ibagué y el ingeniero Benjamín Sanjuanes Romero, se desarrolla el siguiente informe que presenta un resumen de la caracterización geotécnica y la estimación de la estabilidad de la esquina sur occidental del muro de perimetral de cerramiento que actualmente presenta colapso, del colegio INEM Manuel Murillo Toro sede principal de la ciudad de Ibagué , Departamento del Tolima. Esta consultoría busca analizar y proponer una intervención únicamente en el área esquinera del muro de cerramiento que actualmente presenta inestabilidad de la ladera.

Se realizó una caracterización geológica general del sector contemplando la memoria explicativa de la plancha no. 224 – Ibagué y el Mapa geológico del Departamento del Tolima generado por el Servicio geológico Colombiano. Adicionalmente, se presenta un resumen de la caracterización geotécnica por medio de tablas que permiten el mejor entendimiento del perfil estratigráfico encontrado, determinando parámetros de esfuerzo y deformación del suelo y finalmente se proponen estructuras de contención que permiten garantizar la estabilidad del proyecto. Por último, en las conclusiones y recomendaciones se enumeran diferentes aspectos a tener en cuenta para la construcción de las obras de contención propuestas y las soluciones complementarias para la estabilización de la zona.

(Este análisis es válido para la zona en la cual la evaluación geotécnica es representativa).

1.2 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Elaborar un informe geotécnico que evalúe la estabilidad general del sector sur occidental del muro perimetral del colegio INEM Manuel Murillo Toro sede principal de la ciudad de Ibagué, Departamento del Tolima.

OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Desarrollar una caracterización geológica general de la zona donde se proyecta la construcción de un sistema de contención en el sector sur occidental del muro perimetral del colegio INEM Manuel Murillo Toro sede principal de la ciudad de Ibagué , Departamento del Tolima.
- Realizar un trabajo de campo por medio de equipos de exploración geotécnica que garanticen la obtención de muestras representativas para su respectiva caracterización física y mecánica, cumpliendo con la Normatividad actual NSR 10.
- Realizar el análisis de estabilidad del talud del proyecto donde se planea un sistema de contención en el sector sur occidental del muro perimetral del colegio INEM Manuel Murillo Toro sede principal de la ciudad de Ibagué, Departamento del Tolima.
- Presentar por medio de tablas resumen la caracterización física y mecánica desarrollada a las muestras extraídas en la exploración de campo, verificando su susceptibilidad a presentar características especiales tales como, expansividad, dispersividad o colapsabilidad.
- Desarrollar análisis geotécnicos que permitan garantizar la estabilidad de las estructuras existentes y proyectadas, contemplando su proceso constructivo.
- Presentar recomendaciones y conclusiones a los análisis geotécnicos desarrollados.

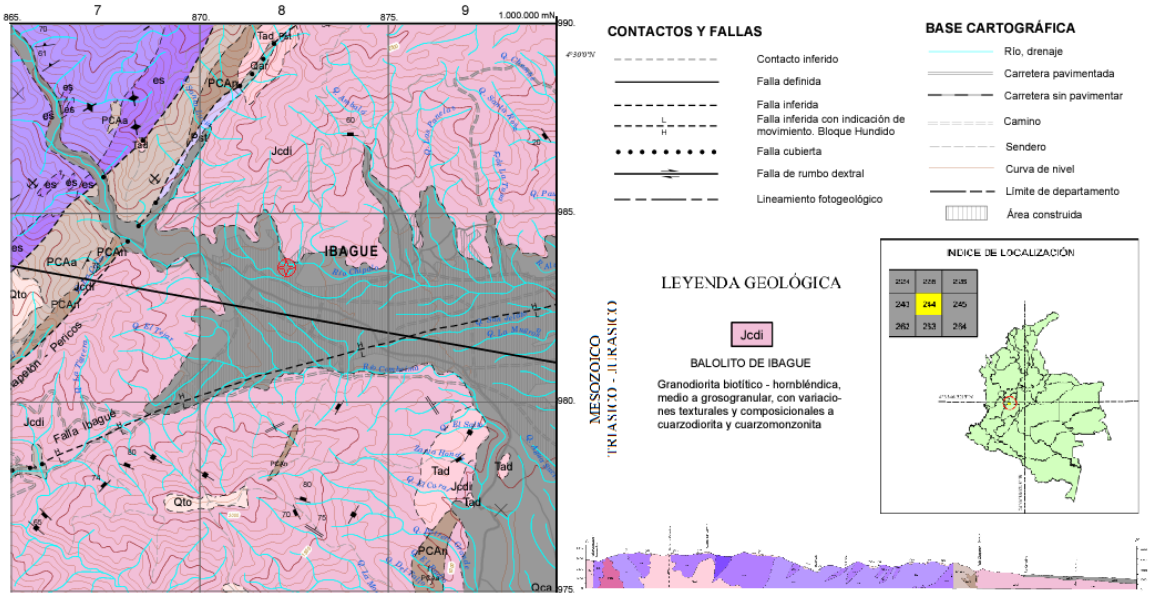
2 GEOLOGÍA

2.1 GEOLOGÍA GENERAL

Abanico de Ibagué (Qac). Es uno de los depósitos cuaternarios más extensos del departamento del Tolima: su origen se relaciona con múltiples episodios de actividad volcánica y aluvio-torrencial en la Cordillera Central, especialmente en la zona del Nevado del Tolima. Los materiales que lo conforman descendieron por el río Combeima. Su nombre se debe a Barrero (1969); Etherington (1942, en PORTA, 1974) lo había denominado, con anterioridad, como Cono de Ibagué. El depósito está expuesto sobre las carreteras Ibagué - Rovira, en el cruce del río Combeima, Ibagué - Payandé, cerca al río Coello, Ibagué - Alvarado en el paso del río Alvarado y en la carretera entre el Alto de Gualanday y el caserío de Gualanday.

De forma general los abanicos de Ibagué, Espinal y Guamo se han presentado por eventos de carácter Volcánico alimentados por el Volcán Nevado del Tolima y Machi respectivamente a continuación se citan los principales aportes de la memoria técnica de la Plancha 244 de Ingeominas.

Gráfica 1 Leyenda geológica Plancha 244 Ibagué - INGEOMINAS



El depósito tiene espesores que superan los 150 m, aunque normalmente se estima entre 25 y 50 m. De acuerdo con Moreno y Vergara (1991) e INGEOMINAS (1992), el Abanico de Ibagué está constituido por intercalaciones de depósitos de lahares, aluviales, glaciares, aluviotorrenciales y flujos piroclásticos con pequeñas zonas con depósitos de cenizas volcánicas de caída (SOETERS, 1976). La fracción gruesa está representada por cantos de rocas volcánicas, intrusivas y metamórficas, predominando casi siempre las primeras en proporciones muy variables. Se trata casi siempre de gravas clasto y matriz soportados, con diferente grado de cementación y compactación, dependiendo del fenómeno que dio origen al depósito.

2.2 ESTRATIGRAFÍA Y LITOLOGÍA

Descripción litológica. Los depósitos reconocidos dentro del Abanico de Ibagué han sido considerados de alta energía y corresponden a lahares, intercalados en menor proporción con flujos piroclásticos y flujos de canales de corriente.

Cuando estas masas heterogéneas y heteromícticas emergen de la parte alta y experimentan un cambio brusco de pendiente, se produce una dispersión de energía, que hacen que el material se deposite y se extienda sobre un área en diferentes direcciones o brazos, a semejanza de una forma de cono; definidos como cono aluvial o de deyección.

Debido a las condiciones de la serie sucesiva de eventos volcánicos que se presentaron a continuación se cita las características de los eventos que pueden generar los depósitos donde se adelantara el proyecto. De alta viscosidad: distales, en forma de capas gruesas a muy gruesas (< 15 m de espesor), onduladas a planas, no paralelas, constituidos por limos arenosos o arenas limosas levemente gravosas, que van gradando hacia la base a gravas heterométricas, con fragmentos hasta de 2 m de diámetro, en matriz limo arenosa y areno limosa. Cada una de estas capas representa un pulso u oleada del evento, cuyos contactos son ligeramente diferenciados en la base y techo, y evidencian una serie de pulsos sucesivos.

La compactación, en general en este tipo de capas, presenta algunas variaciones por su diferenciación vertical, es decir, puede ser moderada en las partes constituidas por material fino, y aumentar hacia la base donde están los materiales más gruesos.

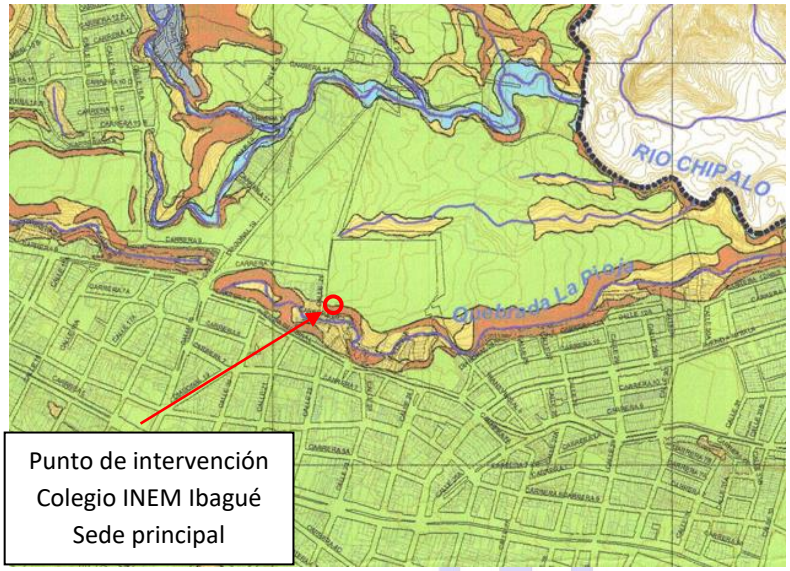
La fracción gruesa se compone aproximadamente de 85% de fragmentos de roca de composición andesítica, 10% de rocas metamórficas, generalmente esquistos, y 5% de rocas ígneas intrusivas de tipo granodioritas.

2.3 INFORMACIÓN GENERAL DE IBAGUÉ-POT

Considerando las condiciones del proyecto y la información definida en el POT de la Ciudad de Ibagué se cita el plano de Amenaza y riesgo (U6), como se muestra en la Gráfica 2 Amenaza y riesgo del proyecto según POT Ibagué 2014 la zona en la cual se encuentra el proyecto, es una zona de baja remoción en masa.

Adicionalmente, dentro de la Microzonificación sísmica (plano U6.3) de la Ciudad de Ibagué, se encuentran factores de aceleración pico efectiva (Fa) y velocidad pico efectiva (Fv), con valores de Fa iguales a 1.15 y Fv iguales a 1.25, como se muestra en la Gráfica 3 Microzonificación sísmica - POT Ibagué .

Gráfica 2 Amenaza y riesgo del proyecto según POT Ibagué 2014

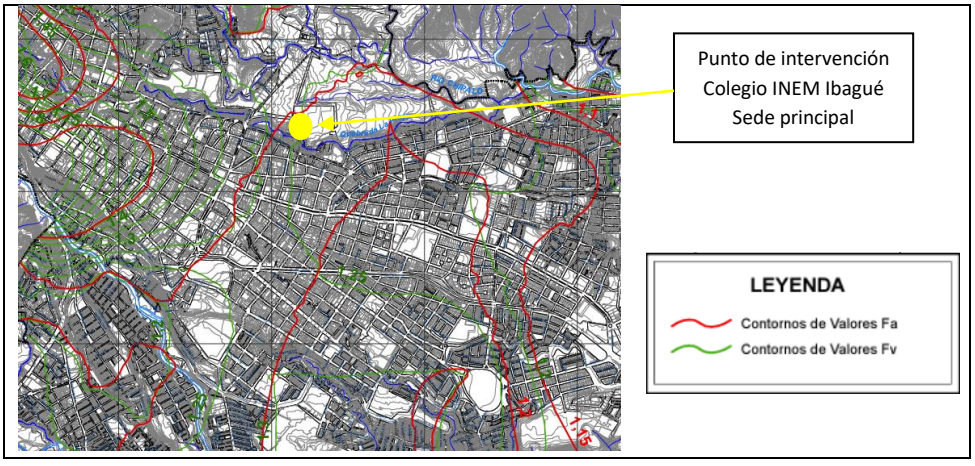


AMANAZA POR REMOCIÓN EN MASA E INUNDACIÓN

LEYENDA

GRADO Y CLASE DE AMENAZA	*SIMBOLO*	*CARACTERÍSTICAS*
ALTA POR REMOCIÓN EN MASA	**ARM**	Laderas periféricas al casco urbano conformadas por suelos finos y granulares finos derivados de roca ígnea del batolito de Ibagué, alta a moderadamente meteorizada, y taludes bordeando las principales corrientes fluviales integrados por materiales fluvio-volcánicos, del abanico de Ibagué, compuestos por depósitos de gravas arenosas y arenas gravosas, con matriz intersticial fina. Las laderas y taludes presentan pendientes mayores del 59% (>30°), alturas entre 5 y 80 metros, en muchos sectores han sido objeto de cortes, rellenos y vertimientos, siendo la zona de más alta susceptibilidad a procesos morfo dinámicos con el mayor número de procesos de inestabilidad asociados.
BAJA POR REMOCIÓN EN MASA	**BRM**	Área plana a suavemente ondulada, con pendiente hasta del 18% (10°), construida en superficie por suelos finos y arenas limosas arcillosas de 1,0 a 15,0 m de profundidad, en donde se asienta la mayor parte de la población urbana, estable por procesos de remoción en masa.

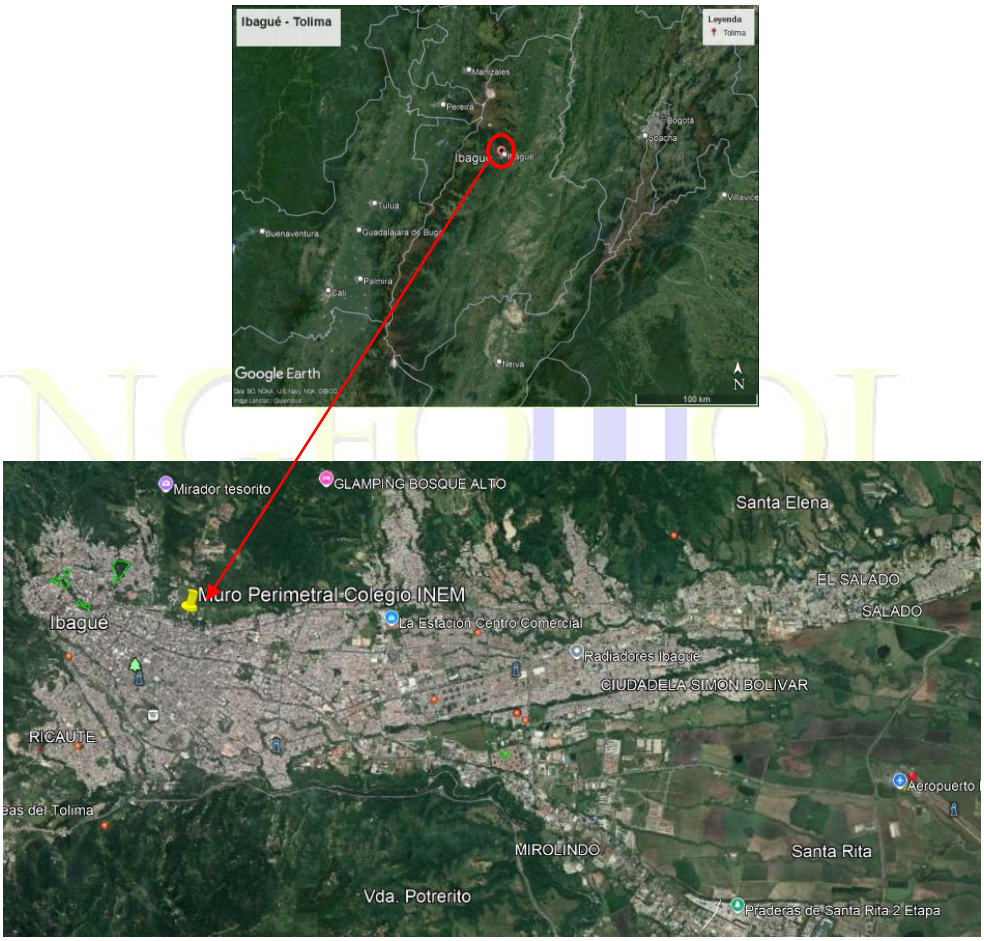
Gráfica 3 Microzonificación sísmica - POT Ibagué 2014



3 ESTRUCTURA DEL ESTUDIO

En este informe se presenta un resumen de las características geotécnicas y el análisis de estabilidad del talud en la esquina sur occidental del muro de cerramiento perimetral de la Institución educativa INEM Manuel Murillo Toro sede principal, ubicado en la calle 22 No. 9-02, comuna 3 de la ciudad de Ibagué en el Departamento del Tolima.

Gráfica 4 Ubicación general del Proyecto





Gráfica 5 Estado actual de la zona de análisis – Esquina sur occidental del muro perimetral



Este informe busca estimar la estabilidad en la zona de la esquina sur occidental de la institución educativa Manuel Murillo Toro sede principal de la ciudad de Ibagué que presentó deslizamiento de tierra.
Teniendo en cuenta las implicaciones del proyecto y buscando realizar una caracterización geotécnica adecuada se realizaron tres exploraciones con equipo de percusión y una exploración manual tipo apique.

Cada una de las muestras recobradas por medio de la prueba de SPT fueron clasificadas según el método SUCS, por medio de ensayos de granulometría y límites de Atterberg, adicionalmente se determinó la humedad natural de la masa de suelo encontrándose con una humedad media a alta, los parámetros de resistencia se realizaron a través de correlaciones con los datos obtenidos del ensayo SPT.

A continuación, en la Tabla 1Tabla 1 Tipo de exploraciones desarrolladas y Muestras obtenidas se presenta un resumen con las profundidades de las exploraciones geotécnicas desarrolladas, en la

Tabla 2 Ensayos realizados se describen los ensayos realizados y el tipo de muestras a las cuales se les ejecutaron. La topografía para desarrollar los análisis estuvo también a cargo de esta consultoría.

Tabla 1 Tipo de exploraciones desarrolladas y Muestras obtenidas

Tipo de exploración	Cantidad	Profundidad Alcanzada (m)	Numero de Muestras	Tipo de Muestras
Apique	1	1.0	0	-
Percusión	1	5.4	5	Alteradas – SS
Percusión	1	7.5	7	Alteradas – SS
Percusión	1	6.3	6	Alteradas – SS

Tabla 2 Ensayos realizados

Ensayo de Laboratorio	Norma Utilizada	Cantidad	Tipo de Muestras
Humedad Natural	INVE 122	18	Remoldeadas - SS
Limite Liquido y Plástico	INVE 125 - 126	18	Remoldeadas - SS
Granulometría Lavado Tamiz No. 200	INVE 123	18	Remoldeadas - SS

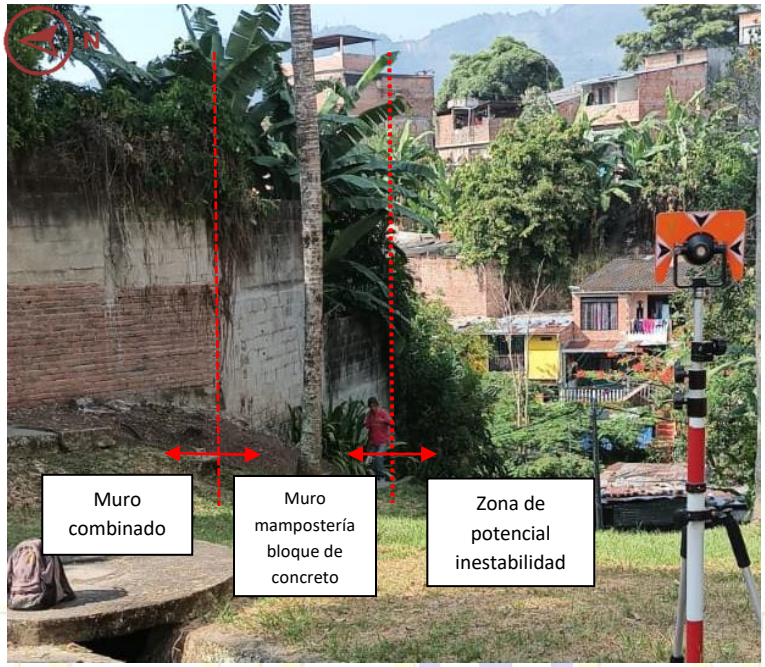
3.1 CONDICIONES ACTUALES DEL TERRENO.

Partiendo desde la portería del colegio y desplazándose en sentido norte-sur, el muro perimetral de cerramiento presenta diferentes tipos de materiales. En ese orden, contiguo a la portería se cuenta con muro en mampostería sin elementos estructurales, seguido por un tramo de 13.7m de muro *combinado* construido en la parte inferior con ladrillo y la parte superior con bloque de concreto con columnas medianeras de altura variable que en algunos casos inician sobre ladrillos, después un tramo de 7.9m de muro en mampostería de concreto a doble altura con viga intermedia y columnas, finalmente, 13.19m sin ningún tipo de elemento que corresponde al deslizamiento de tierra presentado. Desde el vértice esquinero en el sentido oriente-occidente existe muro en mampostería de bloque de concreto con elementos estructurales (columnas y viga a media altura).

Gráfica 6 Condición actual muro perimetral. Vista desde la portería



Gráfica 7 Condición actual muro perimetral. Vista sección intermedia



Gráfica 8 Condición actual muro perimetral. Vista vértice final sur-occidental



Gráfica 9 Patología actual muro perimetral. Vista vértice final sentido oriente-occidente



En entrevistas desarrolladas a funcionarios de la institución educativa y a algunos habitantes de la zona se expresa que el colapso del muro se dio hace meses atrás y que el tramo que permanece en pie presenta filtraciones de agua en medio de la mampostería que se hacen muy evidentes en momentos de lluvia.

El proyecto a desarrollar presenta patologías claramente definidas, deformaciones laterales en el muro que parte del vértice sur occidental en sentido oriente-occidente y que colinda con una vivienda.

Dado el tipo de material y el sistema constructivo, es posible considerar que el muro servía como muro de cerramiento perimetral y no como una estructura de contención, por tal motivo, los rellenos de carácter antrópico (material de la zona con expresiones de suelo orgánico) generaron presiones sobre el muro que llevaron al colapso del mismo en el sentido norte-sur y a deformaciones laterales y potencial colapso en el sentido oriente-occidente. La mampostería que inicialmente funcionó como un sistema de separación del predio con las invasiones vecinas se encuentra sometida a cargas laterales.

Desde la parte interna del predio de la institución educativa se evidencia que el terreno de la zona de estudio está actualmente ocupado por una vivienda y una huerta casera, en la que se cultivan plantas de producción como plátano, caña de azúcar y hierbas aromáticas.

Gráfica 10 Zona de estudio - Vista interna desde la Institución educativa



3.2 ASPECTOS SÍSMICOS

A continuación, se presentan los coeficientes de aceleración sísmica, De acuerdo al plano de zonificación de amenaza según NSR-10 en función de Aa y Av, municipio de Ibagué, Tolima se encuentra ubicada en el Muro Perimetral del INEM en la Ciudad de Ibagué.

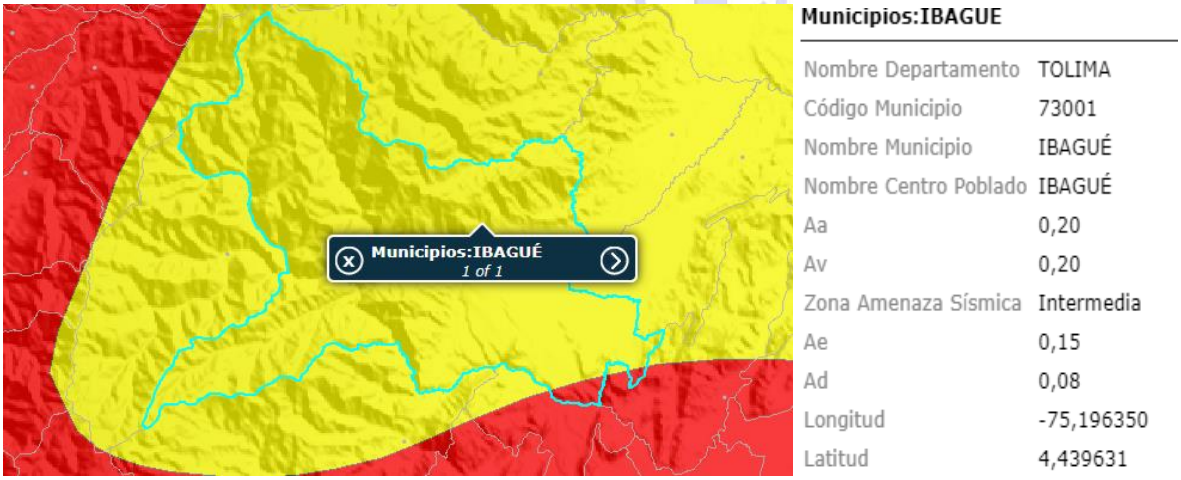
$$\overline{N_{SPT}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{N_{spt}}} = \frac{30}{\left(\frac{1}{5}+\frac{1}{6}+\frac{1}{8}+\frac{1}{6}+\frac{1}{6}+\frac{25}{60}\right)} = 24.2 \cong 24$$

Teniendo en cuenta las condiciones geológicas de la zona y de acuerdo a lo definido en la NSR 10 para la Ciudad de Ibagué se debe considerar una zona de amenaza sísmica Intermedia, con un perfil de suelo tipo D y un coeficiente de importancia de 1.25.

Tabla 3 Clasificación de perfil de suelos

Tipo de Perfil de Suelo	Características del perfil
A	Roca competente con velocidad medida de onda de cortante, Vs ≥ 1500 m/s.
B	Perfil de roca de rigidez media con Vs en el intervalo 1500 m/s ≥ vs ≥ 760 m/s.
C	Perfiles de suelo muy densos o roca blanda con velocidad medida de onda de cortante, Vs en el intervalo 760 m/s ≥ 360 m/s, o
	Perfiles que cumplan con cualquiera de los dos criterios siguientes: N ≥ 50 golpes/pie, o Su > 100 kPa (≈ 1 kgf/cm2)
D	Perfiles de suelos rígidos con velocidad medida de onda de cortante Vs en el intervalo 360 m/s ≥ 180 m/s, o
	Perfiles que cumplan con cualquiera de los dos criterios siguientes: N en el intervalo 50 golpes/pie ≥ N ≥ 15 golpes/pie, o Su en el intervalo 100 kPa (≈ 1 kgf/cm2) > Su > 50 kPa (≈ 0.5 kgf/cm2).
E	Perfil de suelo con velocidad medida de onda de cortante, Vs < 180 m/s, o
	Perfiles que cumplan con cualquiera de los dos criterios siguientes: N < 15 golpes/pie, o Su < 50 kPa (≈ 0.5 kgf/cm2), o
	Cualquier perfil con H = 3 m de arcilla blanda, definida como un suelo con IP > 20, w > 40% y Su < 25kPa (≈ 0.25 kgf/cm2) (véase la Nota al final de la Tabla).
F	Suelos que requieren evaluación particular de sitio, tales como: • Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. • Turbas o arcillas altamente orgánicas (H > 3 m de turba o arcillas altamente orgánicas donde H = espesor del suelo) • Arcillas de alta plasticidad (H > 7.5 m con IP > 75) • Estratos de arcillas con rigidez de media a blanda de gran espesor (H > 36 m)

Gráfica 11 Mapa sísmico Municipio de Ibagué. Fuente:SGC



AMPLIFICACIÓN DEL SUELO (FA)

Siguiendo los lineamientos establecidos por la normativa sismo resistente (NSR – 10), se ha establecido el coeficiente de amplificación del suelo para el perfil de suelo obtenido mediante el perfil de suelo permitiendo estimar los Valores del coeficiente Fa, para la zona de periodos cortos del espectro Tabla 4 finalmente, el factor de amplificación del suelo adoptado es de 1.15.

Tabla 4 Valores del coeficiente Fa, para la zona de periodos cortos del espectro

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	Aa ≤ 0.1	Aa = 0.2	Aa = 0.3	Aa = 0.4	Aa ≥ 0.5
A	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
B	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C	1.20	1.20	1.10	1.00	1.00
D	1.60	1.40	1.20	1.10	1.00
E	2.50	1.70	1.20	0.90	0.90
F	véase nota	véase nota	véase nota	véase nota	véase nota

COEFICIENTE DE IMPORTANCIA (I)

En el área de estudio se clasifica como: Grupo III — Edificaciones de Atención a la Comunidad, Son aquellas edificaciones, y sus accesos, que son indispensables después de un temblor para atender la emergencia y preservar la salud y la seguridad de las personas. d) Guarderías, Escuelas, Colegios, Universidad es y otros centros de enseñanza

Por lo tanto, el coeficiente de importancia es igual 1.25

Tabla 5 Valores de coeficiente de importancia.

Grupo de Uso	Coeficiente de Importancia
IV	1.50
III	1.25
II	1.10
I	1.00

Tabla 6 Clasificación general de las condiciones sísmicas de la zona y clasificación de acuerdo a NSR10

Zona de Amenaza Sísmica	Intermedia
Coef. de aceleración horizontal	0.20
Coef. de velocidad horizontal	0.20
Coef. De ampliación aceleración periodos cortos - Fa	1.40
VCoef. De ampliación aceleración periodos intermedios - Fv	2.00
Grupo de Uso	Grupo III – Edificaciones de Atención a la Comunidad
Coef. De Importancia	1.25
Perfil de Suelo	D

Sin embargo y manteniendo lo definido en de la Microzonificación sísmica (plano U6.3) de la Ciudad de Ibagué, se encuentran factores de aceleración pico efectiva (Fa) y velocidad pico efectiva (Fv), con valores de Fa iguales a 1.15 y Fv iguales a 1.25, como se muestra en la Gráfica 3 Microzonificación sísmica - POT Ibagué

3.3 COEFICIENTE SÍSMICO DE DISEÑO PARA ANÁLISIS PSEUDOESTÁTICOS PARA TALUDES (KST)

Este valor es menor o igual a la aceleración máxima ($a_{máx}$) y se admiten valores mínimos de KST/$a_{máx}$, dependiendo del tipo de material térreo (reforzado o no) y del tipo de análisis.

Tabla 7 Valores de KST/a_{max} Mínimos para análisis pseudoestáticos de taludes

Tabla H.5.2-1 NSR10

Material	*KST/a_{max} mínimo*	*Análisis de amplificación mínimo*
Suelos, enrocados y macizos rocosos muy fracturados (RQD < 50%)	0.80	Ninguno
Macizos Rocosos (RQD >50%)	1.00	Ninguno
Todos los materiales térreos	0.67	Amplificación de Onda Unidimensional en dos columnas promediar
Todos los materiales térreos	0.50	Amplificación de onda bidimensional

Debido a que no se realizó ningún tipo de análisis de amplificación y el tipo de material aplicado corresponde a los suelos, enrocados y macizos fracturados (RQD < 50%), la relación KST/$a_{máx}$ es igual a 0.80.

La aceleración pico del suelo se ha estimado para el caso de taludes, como

$$S_a = A_a F_a I = 0.2 * 1.4 * 1.25 = 0.35$$

$$\frac{K_{st}}{a_{max}} = 0.80\ (Suelos)$$

$$K_{st} = 0.28$$

Sin embargo, acogiendo un concepto igual de conservador y ajustado a las condiciones finales del proyecto se adopta el criterio de Marcuson y Franklin en donde es posible aplicar un análisis como un factor pico de 0.5 de la aceleración pico superficial.

$$K_{st} = 0.35 * 0.5 = 0.175 \approx 0.18$$

4 ANÁLISIS GEOTÉCNICO

4.1 MODELO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO

Para desarrollar el análisis de estabilidad se determinaron los parámetros de resistencia en la masa de suelo por medio del sistema Mohr Coulomb, específicamente por medio de los ensayos de SPT desarrollados en campo. Se utilizaron metodologías mundialmente conocidas ajustadas a las condiciones finales del proyecto.

Tabla 8 Análisis prueba de campo SPT

Prof. (m)	N 60	σ't (Ton/m²)	U (Ton/m²)	σ'o (Ton/m²)	CN Selección	N corr	Dr (%)	ϕ P, H & T	ϕ Schmert.	ϕ Hat. & Uch.	ϕ	τ (Ton/m²)
1	5	1.6	0	1.6	2.50	13	79%	31	43	36	31	0.96
2	6	3.2	0	3.2	1.77	11	67%	30	40	35	30	1.87
3	8	4.8	0	4.8	1.44	12	65%	31	39	35	31	2.84
4	6	6.4	0	6.4	1.25	8	50%	29	34	33	29	3.62
5	6	8	0	8	1.12	7	44%	29	32	32	29	4.47

Gráfica 12 Análisis ensayo de Campo SPT

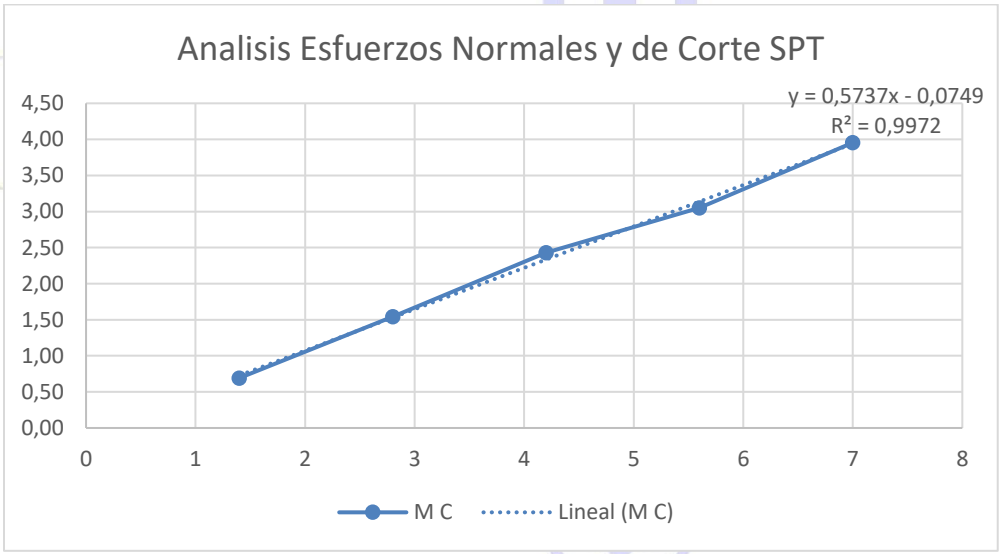


Tabla 9 Parámetros de Resistencia Terreno Natural

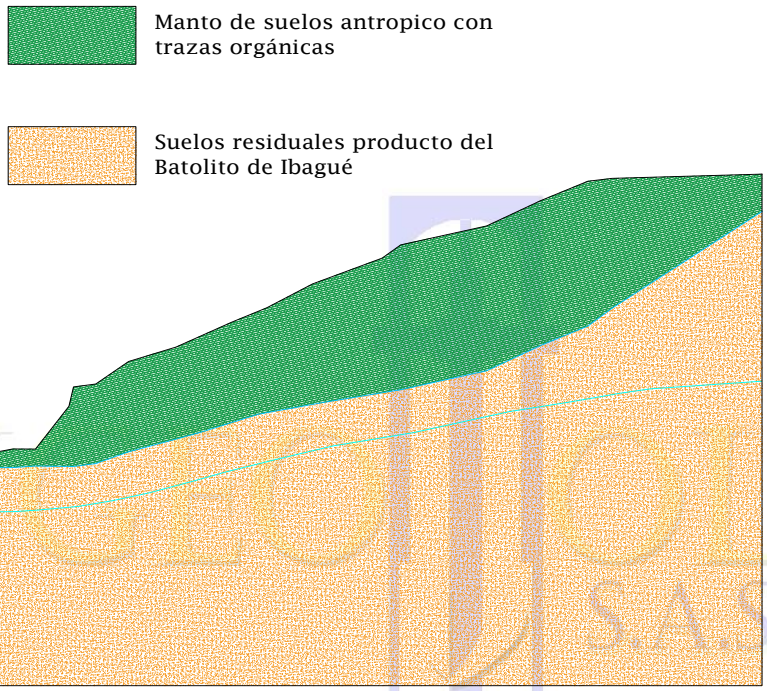
Material	Valor Promedio
Cohesión (T/m²)	0.12
Angulo de Fricción	28.7
Peso Unitario (T/m³)	1.70

$$\tau' = c' + \sigma' \tan \emptyset$$

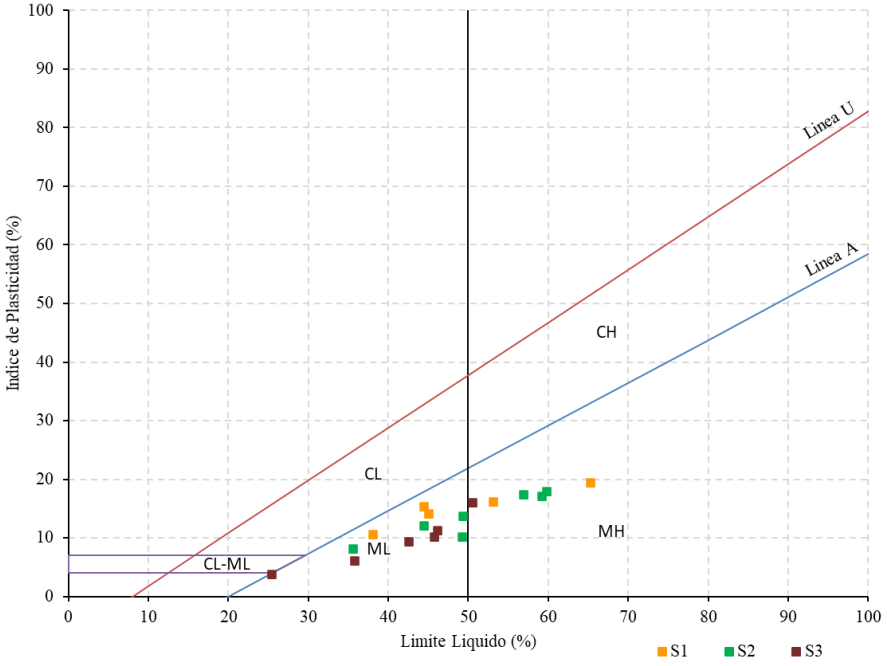
4.2 PERFIL TÍPICO DEL PROYECTO

De forma general y considerando las exploraciones desarrolladas se reportaron mantos de baja resistencia hasta una profundidad de 6.0 m de profundidad desde el pie del talud, en la zona donde se proyectará el sistema de contención.

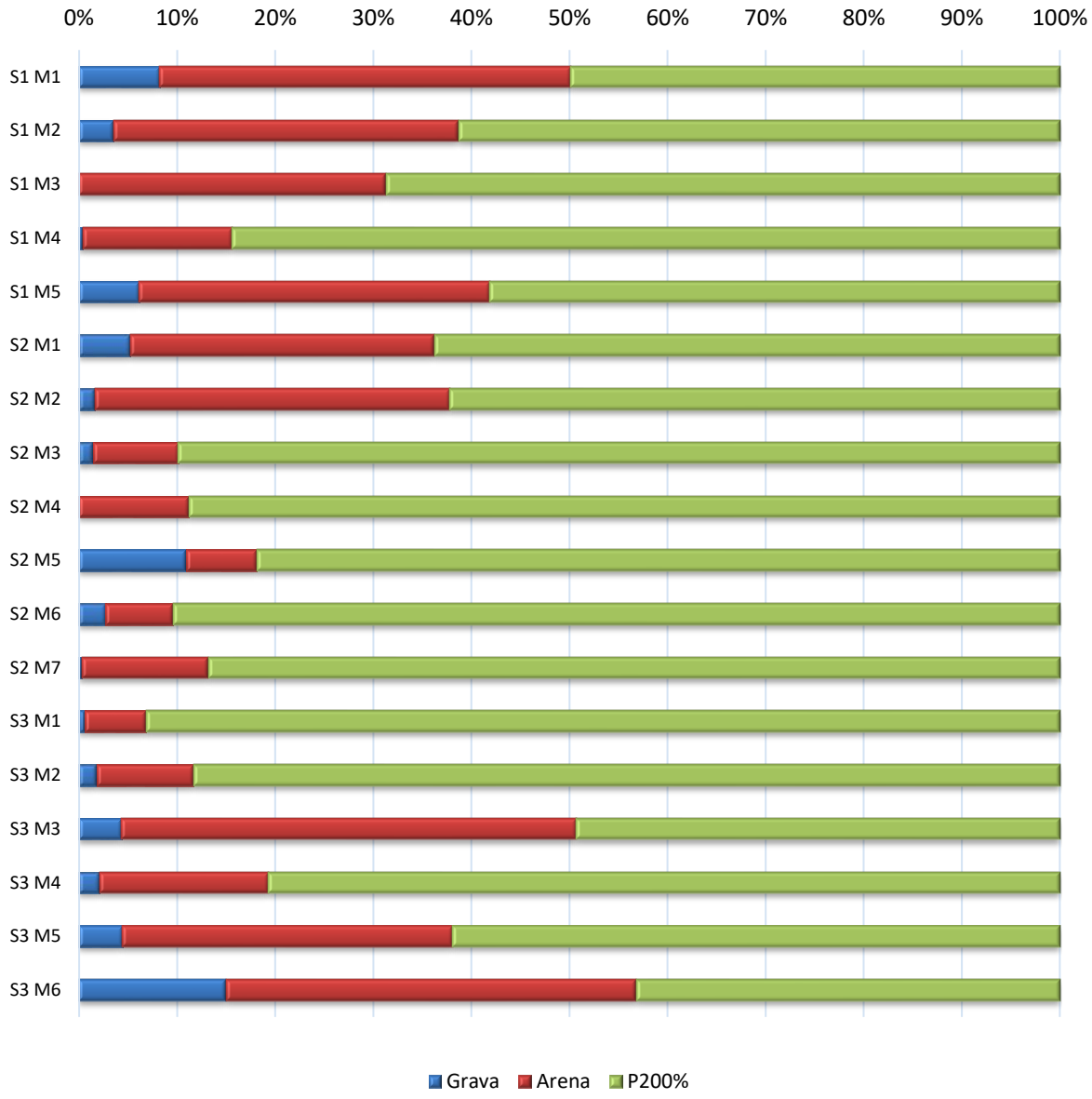
Gráfica 13 Perfil Geológico - Geotécnico



Gráfica 14 Clasificación de la fracción fina



Gráfica 15 Distribución Granulométrica de las muestras obtenidas



La disposición granulométrica presenta pequeñas variaciones en profundidad principalmente en la relación entre la proporción de arena y de fracción fina, sin embargo, es una constante encontrarse con un suelo predominantemente fino con algún contenido de arena, condiciones asociadas a la procedencia geológica de la zona.

De otro lado, los sondeos realizados desde la parte alta del talud (sondeo 1 y sondeo 2), evidencian contenido de materia orgánica en los primeros metros de exploración y características de heterogeneidad propias de suelos que han sufrido transporte antrópico no organizado ni compactado. Para el modelo de estabilidad de talud, este suelo se consideró como una capa superior de 3m de espesor.

Tabla 10 Resumen ensayos de laboratorio - Sondeos

PROFUNDIDAD	Muestra	$W_{nat.}$	LL	IP	GRANULOMETRIA			SUCS	N1	N2	N3	N_{SPT}	N_{60}	Desripción	Su (T/m^2)	Su (T/m^2)	Su (T/m^2)
(m)		(%)	(%)		GRAVA	ARENA	(%)P200							Consistencia	Stroud (1974)	Sowers et all (1979)	Promedio
SONDEO 1																	
1	1	27.96%	44.48%	15.27%	8.2%	41.9%	49.9%	SM	1	2	5	7	5	Blanda	3.25	1.88	2.56
2	2	24.70%	45.04%	14.10%	3.5%	35.2%	61.3%	ML	2	3	3	6	5	Blanda	3.25	1.875	2.5625
3	3	30.80%	38.05%	10.60%	0.0%	31.3%	68.7%	ML	3	3	4	7	5	Blanda	3.25	1.875	2.5625
4	4	56.75%	65.30%	19.43%	0.4%	15.2%	84.4%	MH	3	4	5	9	7	Blanda	4.55	2.625	3.5875
5	5	36.67%	53.18%	16.13%	6.1%	35.8%	58.1%	MH	5	6	R	R	R	Muy Firme	-	-	-
SONDEO 2																	
1	1	28.98%	49.38%	13.72%	5.2%	31.0%	63.8%	ML	1	1	2	3	2	Blanda	1.3	0.75	1.025
2	2	26.47%	44.44%	12.01%	1.6%	36.2%	62.2%	ML	2	3	3	6	5	Blanda	3.25	1.875	2.5625
3	3	35.56%	56.93%	17.32%	1.4%	8.7%	89.9%	MH	3	5	7	12	9	Media	5.85	3.375	4.6125
4	4	56.45%	59.21%	17.13%	0.0%	11.2%	88.8%	MH	3	3	3	6	5	Blanda	3.25	1.875	2.5625
5	5	47.16%	35.62%	8.06%	10.9%	7.2%	81.9%	ML	4	5	6	11	8	Blanda	5.2	3	4.1
6	6	78.08%	49.29%	10.09%	2.7%	6.9%	90.4%	ML	5	3	4	7	5	Blanda	3.25	1.875	2.5625
7	7	66.76%	59.86%	17.85%	0.3%	12.9%	86.8%	MH	4	5	8	13	10	Media	6.5	3.75	5.125
SONDEO 3																	
1	1	50.87%	50.59%	16.05%	0.6%	6.2%	93.2%	MH	2	3	3	6	5	Blanda	3.25	1.875	2.5625
2	2	51.63%	46.16%	11.29%	1.8%	9.9%	88.3%	ML	2	3	5	8	6	Blanda	3.9	2.25	3.075
3	3	61.57%	45.81%	10.15%	4.3%	46.4%	49.3%	SM	3	5	6	11	8	Blanda	5.2	3	4.1
4	4	45.95%	42.58%	9.40%	2.1%	17.2%	80.7%	ML	1	3	5	8	6	Blanda	3.9	2.25	3.075
5	5	37.60%	35.77%	6.10%	4.4%	33.7%	61.9%	ML	3	3	5	8	6	Blanda	3.9	2.25	3.075

$$N1 = Primer\ proceso\ de\ hincado\ de\ SPTa\ 6"$$
$$N2 = Segundo\ proceso\ de\ hincado\ de\ SPTa\ 6"$$
$$N3 = Tercer\ proceso\ de\ hincado\ de\ SPTa\ 6"$$

Se correlacionan parámetros de resistencia no drenados estimados por medio del ensayo de SPT que serán considerados dentro de los análisis geotécnicos desarrollados debido a que la cantidad de gravas es baja, se considera que existe representatividad de la prueba.

De manera general las condiciones de la zona presentan una tendencia general a reportar suelos con índices de plasticidad medios y una fracción pasa 200 significativa superior a un 50%. En la Tabla 11 Variación Estadística Caracterización Física se presenta un resumen de las variaciones de la caracterización física.

Tabla 11 Variación Estadística Caracterización Física

Valores	$W_{nat.}$ (%)	LL	IP	GRAVA	ARENA	(%)P200
Máximo	78.08%	65.30%	19.43%	15.00%	46.40%	93.20%
Medio	43.45%	47.06%	12.69%	3.81%	23.82%	72.38%
Mínimo	18.21%	25.43%	3.77%	0.00%	6.20%	43.20%
Desviación Estandar	16.43%	9.85%	4.35%	4.09%	14.31%	16.48%

Se realizó una exploración manual en el pie del talud sobre el costado norte-sur en donde actualmente no hay ningún tipo de cerramiento. La profundidad de exploración alcanzo 2.3 metros medidos desde la corona del talud, entendiéndose como punto de referencia el material que quedó depositado sobre ese costado después de evento que termino con el colapso. Desde el nivel del andén colindante, a una profundidad de 0.5m se encontró un suelo principalmente orgánico muy contaminado con desechos de basura. Dada esta condición se descartó el análisis de esta muestra en laboratorio.

Gráfica 16 Exploración manual



4.3 SUELOS CON CARACTERÍSTICAS ESPECIALES

Suelos Expansivos
Los suelos que se presentan en la zona de análisis, presentan un potencial de expansión de medio a bajo de acuerdo a la tabla H.9.1-1 “Clasificación de suelos expansivos”.

Esta clasificación se soporta por medio de las pruebas de Límites de consistencia desarrolladas a las muestras obtenidas a lo largo de las exploraciones.

Tabla 12 Clasificación de Suelos Expansivos

Potencial de Expansión	Expansión(%) medida en consolidometro bajo presión vertical de 0.07 Kgf/cm2	Limite Liquido L.L. en (%)	Límite de Contracción en (%)	Índice de plasticidad IP. en(%)	Porcentaje de partículas menores de una micra (μ)	Expansión libre EL. En (%), medida en probeta
Muy Alto	>30	>63	<10	>32	>37	>100
Alto	20-30	50-63	6-12	23-45	18-27	>100
Medio	10-20	39-50	8-18	12-34	12-27	50-100
Bajo	<10	<39	>13	<20	<17	<50

Suelos Dispersivos o Erodables
Las características geológicas y geotécnicas permiten considerar que la masa de suelo presenta potencial de dispersión bajo.

Suelos Colapsables
Las características geológicas y geotécnicas permiten considerar que la masa de suelo presenta potencial de hidrocolapsabildiad bajo.

Cuerpos Cercanos de Agua
No se presentan cuerpos de agua que afecten la estabilidad del proyecto.

Suelos Licuables
Considerando las características generales del no presenta licuación.

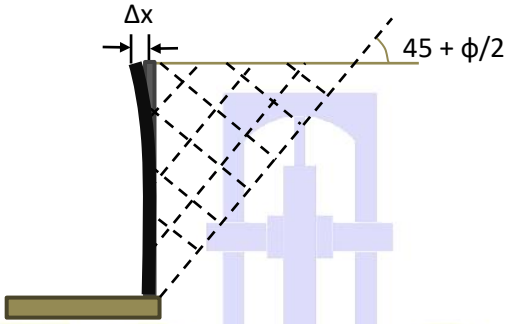
4.4 NIVEL FREÁTICO

En el sondeo 3, realizado desde el pie del talud se evidenció variación significativa del contenido de humedad a partir de los 3m, lo que sugiere nivel freático. En los sondeos realizados desde la parte alta, se evidenció cambio significativo de humedad a profundidad aproximada de 4m. Por lo anterior, como una condición crítica, se adoptó nivel freático a 3m a lo largo del perfil de análisis.

4.5 PRESIONES DE TIERRA Y SISTEMAS DE CONTENCIÓN

A continuación, se presentan los parámetros geotécnicos de empujes contemplando los materiales recomendados para la construcción, identificando así el coeficiente de presión activa que se presentara sobre el muro de contención en concreto reforzado además de la metodología de empujes propuestos por el sistema de contención.

Gráfica 17 Presiones Activas Rankine



El material granular utilizado para la elaboración de los rellenos laterales debe ser clasificado y limpio con un ángulo de resistencia interna Ø = 30° asegurando un coeficiente de presión activa igual a:

$$K_a = \frac{1 - \sin \emptyset}{1 + \sin \emptyset} = 0.333$$

Teniendo en cuenta el material propuesto el ángulo de inclinación del relleno debe ser de 45 + Ø/2, asegurando el cumplimiento del teorema de Rankine, el material de relleno debe ser debidamente compactado y determinar por pruebas de laboratorio el peso unitario del material, permitiendo calcular el empuje final, por medio de la ecuación:

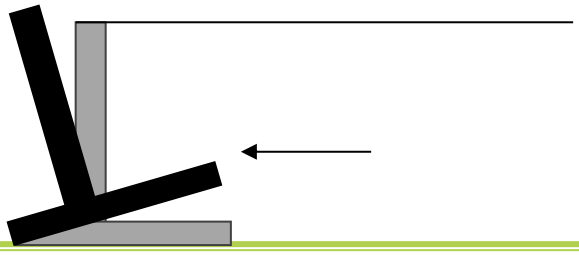
$$\sigma_a = \gamma_m H K_a - 2c\sqrt{K_a} = \gamma_m H K_a$$

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma_m H^2 K_a = 0404 * H^2$$

Análisis de estabilidad por volcamiento

Este se desarrolla considerando la fuerza activa como una carga longitudinal aplicada al tercio de la profundidad del relleno, la cual genera un momento en la punta externa del sistema de contención.

Gráfica 18 Análisis de Estabilidad - Volcamiento

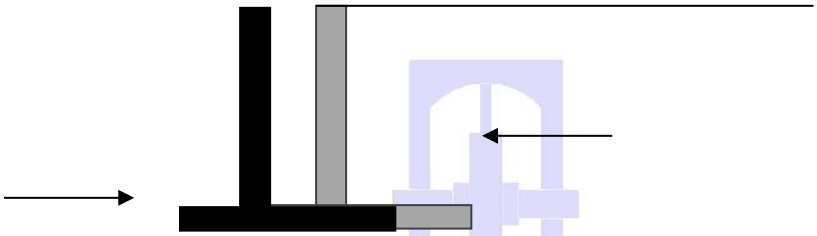


$$FS = \frac{Mr}{Mm}$$

Análisis de estabilidad por deslizamiento

Este se desarrolla considerando las fuerzas activas como las fuerzas motoras y las fuerzas resistentes que impiden que el muro se deslice sobre su base, tal como lo muestra la gráfica.

Gráfica 19 Análisis de Estabilidad - Deslizamiento

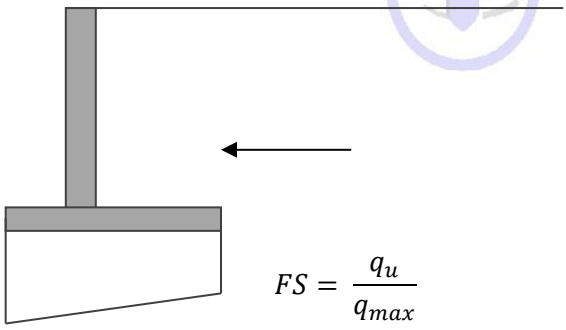


$$FS = \frac{Fr}{Fm}$$

Análisis de estabilidad por capacidad de carga

Teniendo en cuenta que el sistema de contención presenta cargas horizontales que generan momentos la distribución de esfuerzos en la base del muro no será uniformemente, generando que la evaluación de la capacidad de carga sea sobre la aplicación de carga más crítica, para esta condición se tendrán en cuenta los parámetros de resistencia del suelo y la teoría de capacidad de carga general.

Gráfica 20 Diagrama Análisis de Estabilidad Capacidad de carga



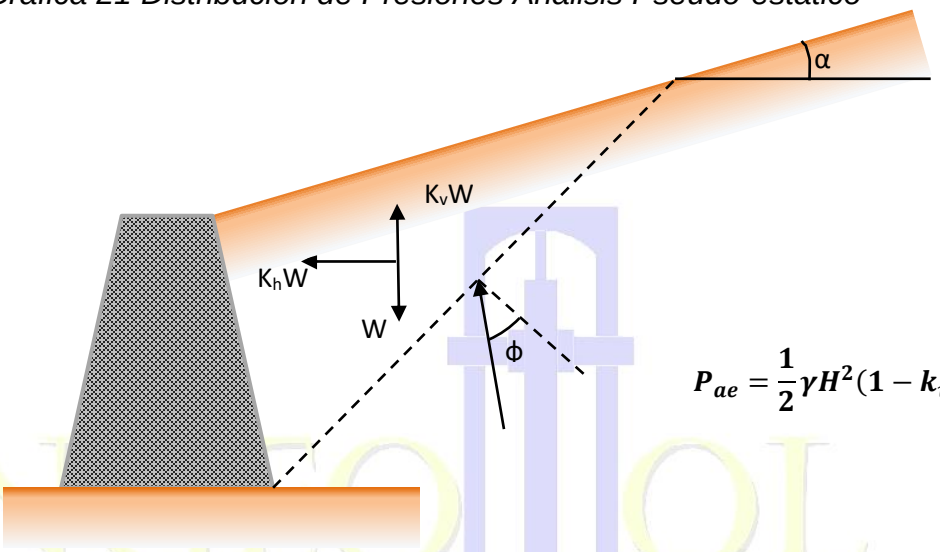
$$FS = \frac{q_u}{q_{max}}$$

Partiendo de la ecuación propuesta por Harr y adicionalmente por Terzaghi (Schleicher) se determina el asentamiento inmediato para cada una de las cimentaciones propuestas, tomando módulos de elasticidad bajo condiciones no drenadas.

$$S_e = \frac{qoB}{E}(1-\mu^2)\left[A' - \left(\frac{1-2\mu}{1-\mu}\right)B'\right] \qquad S_e = qoB\frac{1-\mu^2}{E}I_p$$

Reconociendo las implicaciones geológicas del sector se desarrollaron Análisis de estabilidad considerando la teoría pseudo estática Mononobe – Okabe la se presenta a continuación:

Gráfica 21 Distribución de Presiones Análisis Pseudo-estatico



$$P_{ae} = \frac{1}{2}\gamma H^2(1 - k_v)K_{ae}$$

En las memorias adjuntas al informe se presentan todos los análisis de los sistemas de contención considerados dentro el diseño, estos buscaron la recuperación del sector que colapsó y el reemplazo de la zona de muro desde el vértice sur-occidental hasta el límite donde inicia la vivienda en sentido oriente-occidente.

Tabla 13 Análisis de Estabilidad sistema de contención H=6.0m

Dimensiones del Muro		
Altura Muro	6.00 m	
Base de Muro	4.20 m	4.80 m
Ancho Muro Sup.	0.20 m	
Ancho Muro Inf.	0.60 m	0.60 m
Base Muro inicial	0.60 m	1.10 m
Espesor Base Muro	0.60 m	0.60 m
Base Muro Final	3.10 m	

Analisis de Carga		
Peso Unitario Muro	2.40	Ton/m^3
Peso Muro	5.18	Ton/m
Peso Base	6.91	Ton/m
Peso del Relleno 1	33.48	Ton/m
Peso del Relleno 2	0.00	Ton/m
Fv	45.58	Ton/m
Mr	132.66	Ton.m/m

Suelo de Fundacion		
Peso Unitario	1.7	Ton/m^3
Angulo Friccion	0	grados
Cohesion	4.33	Ton/m^2
Prof. de Cimentacion	2.00	m
Coef. Presion Pasiva	1.00	Kp
Fuerza Pasiva	29.58	Ton/m
Momento Pasivo	19.59	Ton.m/m

Sobrecargas		
Carga Distribuida total	1.00	Ton/m^2
Pah	2.23	Ton/m
Carga Dist. Area Unit.	0.00	Ton/m^2
b'	0.00	m
a'	0.00	m
Pa	0.00	Ton/m
Mpa	0	Ton.m/m

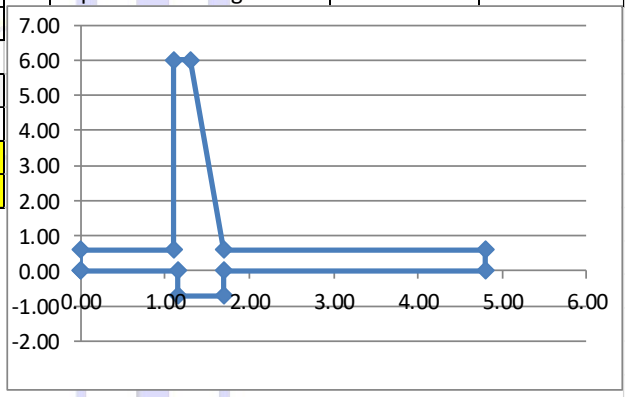
Suelo de Relleno		
Peso Unitario	2.00	Ton/m^3
Angulo Friccion	30.00	grados
Cohesion	0.00	Ton/m^2
Inclinacion del terreno	0.00	grados
Coef. Presion Activa	0.33	Ka
Fah	14.96	Ton/m
Fav	0.00	Ton/m
Ma	22.94	Ton.m/m

Esfuerzos en el suelo		
Mneto	102.23	
excentricidad	0.16	OK
qmax	11.36	Ton/m
qmin	7.63	Ton/m
Analisi Estabilidad		
Volcamiento	4.46	OK
Deslizamiento	1.87	OK
Capacidad de Carga	3.06	OK

Presion Activa para condiciones sismicas		
a max	0.20	
Coef. Sismico Kh	0.13	
Kv	0.01	
Θ	0.13	
Kae	0.70	
Pae	24.81	Ton/m
ΔPae	9.84	
resultante Z	2.63	m
MPae	65.36	Ton.m/m

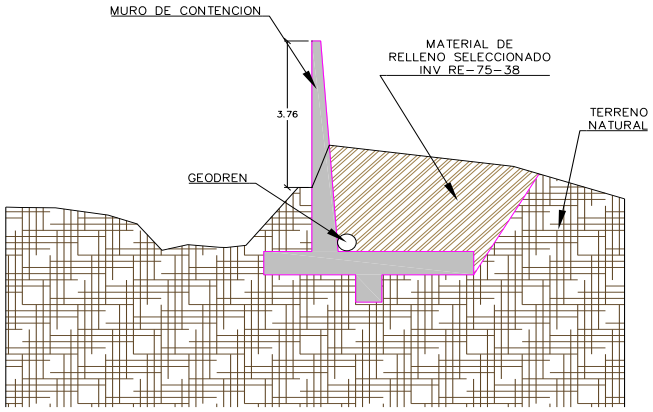
Esfuerzos en el suelo		
Mneto	60.60	
excentricidad	1.07	OK
qmax	22.85	Ton/m
qmin	-3.21	Ton/m
Analisi Estabilidad		
Volcamiento	1.38	
Deslizamiento	0.77	
Capacidad de Carga	1.52	OK

Dimensiondes Dentellon		
h dentellon	0.70 m	
Espesor Sup.	0.60 m	0.55 m
Espesor inf.	0.20 m	0.55 m



Para este caso se realizó el análisis del muro de contención en concreto reforzado con altura de 6.0 m y embebido 2m en el suelo.

Gráfica 22 Esquema Sistema de Contención propuesto



4.6 CAPACIDAD DE CARGA DE CIMENTACIONES SUPERFICIAL

CAPACIDAD DE CARGA CIMENTACIÓN SUPERFICIAL TIPO ZAPATA PARA MUROS DE CONTENCIÓN

El valor de la capacidad de carga se presenta a continuación considerando un factor de seguridad de tres (3.0) únicamente para las cargas de servicio, y de 1.5 para cargas pseudo estáticos, la capacidad de carga reportada considera las condiciones de consistencia del suelo y la clasificación, los parámetros de resistencia adoptados corresponden a los valores determinados a partir de correlaciones con el ensayo de SPT. Es importante resaltar que estas capacidades de carga son estimadas al nivel de desplante propuesto para el muro que es 2m. Dicha profundidad de empotramiento obedece a las bajas características de resistencia encontradas en las exploraciones.

Teniendo en cuenta lo anterior se define los siguientes parámetros de resistencia al corte de la masa de suelo C = 0.02 Kg/cm^2 Modulo degradado posterior a procesos de saturación y un ángulo de resistencia interna de la masa de suelo igual a 28°. Se asume un nivel freático crítico a una profundidad de 3.0 m. Para determinar la capacidad de carga por estado límite de falla se utilizaron las metodologías “Ecuación de capacidad de carga general” y la propuesta de “Terzaghi”

$$q_u = CN_cF_{cs}F_{cd}F_{ci}F_{cc} + \gamma DfN_qF_{ss}F_{qd}F_{qi}F_{qc} + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma F_{\gamma s}F_{\gamma d}F_{\gamma i}F_{\gamma c}$$

Ecuación de Capacidad de Carga General

$$q_u = CN_c + \gamma DfN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma$$

Ecuación de Capacidad de Carga Terzaghi

Partiendo de la ecuación propuesta por Harr y adicionalmente por Terzaghi (Schleicher) se determina el asentamiento inmediato para cada una de las cimentaciones propuestas, tomando módulos de elasticidad bajo condiciones no drenadas.

$$S_e = \frac{qoB}{E}(1-\mu^2)\left[A' - \left(\frac{1-2\mu}{1-\mu}\right)B'\right] \qquad S_e = qoB\frac{1-\mu^2}{E}I_p$$

De forma adicional se presenta el análisis debido a procesos de consolidación en la masa de suelo, de forma general se utiliza la siguiente formula.

$$\Delta H = \frac{H_0}{1+e_0}Cr\log\left(1+\frac{\Delta\sigma}{\sigma_0}\right)$$

Teniendo en cuenta el sistema de contención proyectado se propone analizar por estado límite de falla y estado límite de servicio la cimentación del sistema de contención propuesto.

Tabla 14 Parámetros de Resistencia y Deformación de la masa de suelo

c	Cohesión	4.33	Ton/m^2
φ	Angulo de Resistencia Interna	0	°
E	Módulo de Elasticidad	1515.5	Ton/m^2
ų	Relacion de Poisson	0.356875	
Cc	Coef de Compresión	0.338	
Cr	Coef de Recompresión	0.05633333	
e	Relación de Vacios	1.34	
Df	Profundidad de desplante	2	m
Nf	Nivel Freático	3	m
β	Angulo de inclinación de la carga	0	°
eB	Excentricidad en B	0	m
eL	Excentricidad en L	0	m
Ym$_1$	Peso esp. De la muestra	1.7	Ton/m^3
Ym$_2$	Peso esp. De la muestra despues de N.F.	1.9	Ton/m^3
H	Espesor manto compresible o deformable	4	m
FS	Factor de Seguridad	3	

Tabla 15 Análisis Estado Limite de Servicio

ANALISIS ASENTAMIENTO POR CONSOLIDACIÓN PRIMARIA

Prof. Inicial	*Prof. Final*	*Profundidad*	*Iz*	*RSC*	*σ't*	*U*	*σ'o*	*σ'p*	*Δσ*	*Scp*	*Scp*	*Scp*
(m)	*(m)*	*(m)*			*(Ton/m^2)*	*(Ton/m^2)*	*(Ton/m^2)*	*(Ton/m^2)*	*(Ton/m^2)*	*(m)*	*(m)*	*(m)*
2.00 m	2.20 m	2.1	0.25	6.82	3.57	0	3.57	24.33	2.84	0.001224	0.001224	0.001224
2.20 m	2.40 m	2.3	0.25	6.82	3.91	0	3.91	26.65	2.84	0.001141	0.001141	0.001141
2.40 m	2.60 m	2.5	0.249	6.82	4.25	0	4.25	28.97	2.83	0.001067	0.001067	0.001067
2.60 m	2.80 m	2.7	0.248	6.82	4.59	0	4.59	31.28	2.81	0.000999	0.000999	0.000999
2.80 m	3.00 m	2.9	0.245	6.82	4.93	0	4.93	33.60	2.79	0.000937	0.000937	0.000937
3.00 m	3.20 m	3.1	0.242	6.28	5.29	0.1	5.19	32.62	2.75	0.000888	0.000888	0.000888
3.20 m	3.40 m	3.3	0.238	6.28	5.67	0.3	5.37	33.75	2.70	0.000852	0.000852	0.000852
3.40 m	3.60 m	3.5	0.233	6.28	6.05	0.5	5.55	34.88	2.64	0.000814	0.000814	0.000814
3.60 m	3.80 m	3.7	0.227	6.28	6.43	0.7	5.73	36.01	2.58	0.000777	0.000777	0.000777
3.80 m	4.00 m	3.9	0.221	6.28	6.81	0.9	5.91	37.14	2.51	0.00074	0.00074	0.00074
4.00 m	4.20 m	4.1	0.214	4.23	7.19	1.1	6.09	25.75	2.44	0.000704	0.000704	0.000704
4.20 m	4.40 m	4.3	0.208	4.23	7.57	1.3	6.27	26.51	2.36	0.000668	0.000668	0.000668
4.40 m	4.60 m	4.5	0.201	4.23	7.95	1.5	6.45	27.27	2.29	0.000634	0.000634	0.000634
4.60 m	4.80 m	4.7	0.195	4.23	8.33	1.7	6.63	28.03	2.21	0.000602	0.000602	0.000602
4.80 m	5.00 m	4.9	0.188	4.23	8.71	1.9	6.81	28.79	2.14	0.000571	0.000571	0.000571
5.00 m	5.20 m	5.1	0.182	3.63	9.09	2.1	6.99	25.34	2.07	0.000541	0.000541	0.000541
5.20 m	5.40 m	5.3	0.176	3.63	9.47	2.3	7.17	25.99	2.00	0.000514	0.000514	0.000514
5.40 m	5.60 m	5.5	0.17	3.63	9.85	2.5	7.35	26.65	1.93	0.000487	0.000487	0.000487
5.60 m	5.80 m	5.7	0.164	3.63	10.23	2.7	7.53	27.30	1.87	0.000463	0.000463	0.000463
5.80 m	6.00 m	5.9	0.159	3.63	10.61	2.9	7.71	27.95	1.80	0.00044	0.00044	0.00044
6.00 m	6.20 m	6.1	0.154	3.50	10.99	3.1	7.89	27.62	1.75	0.000418	0.000418	0
6.20 m	6.40 m	6.3	0.149	3.50	11.37	3.3	8.07	28.25	1.69	0.000397	0.000397	0
6.40 m	6.60 m	6.5	0.144	3.50	11.75	3.5	8.25	28.88	1.64	0.000378	0.000378	0
6.60 m	6.80 m	6.7	0.14	3.50	12.13	3.7	8.43	29.51	1.58	0.00036	0.00036	0
6.80 m	7.00 m	6.9	0.135	3.50	12.51	3.9	8.61	30.14	1.54	0.000343	0.000343	0
7.00 m	7.20 m	7.1	0.131	3.00	12.89	4.1	8.79	26.37	1.49	0.000328	0.000328	0
7.20 m	7.40 m	7.3	0.127	3.00	13.27	4.3	8.97	26.91	1.45	0.000313	0.000313	0
								ASENTAMIENTO CONSOLIDACIÓN PRIMARIA				0.015 m.
								ASENTAMIENTO CONSOLIDACIÓN PRIMARIA				1.51 cm.

ASENTAMIENTOS ELASTICOS

Relación L/B	10	m	U	10.08437	V	10.04988	F_1	0.834935
Relación H/B	0.833333333	n	U_1	10.03466	V_1	1.301708	F_2	0.115642

ASENTAMIENTO INMEDIATO	0.032 m.
ASENTAMIENTO INMEDIATO	3.24 cm.

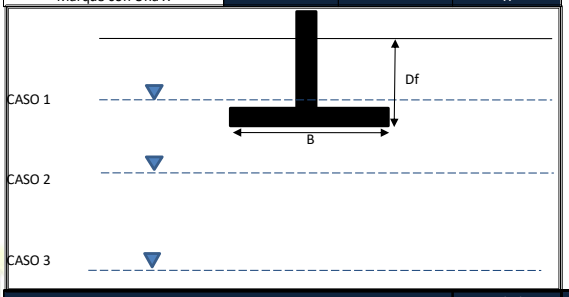
ASENTAMIENTO TOTAL	4.74 cm.

De acuerdo al análisis realizado para el sistema de contención tipo cantiléver y bajo la premisa de no tener sobrecargas adicionales en la corona se estima una deformación máxima inferior a 2" valor admisible, a continuación, se presentan para la sección más critica el análisis por estado límite de falla.

Por cualquiera de las metodologías utilizadas se proyectan valores admisibles tanto por deformaciones como para resistencia última.

Tabla 16 Análisis Estado Limite de Falla

DEFINIR LAS UNIDADES A UTILIZAR			
Definir Unidades	KN/m3 y KN/m2	Lb/pi3 y Lb/pie2	Tn/m3 y Tn/m2
Marque con Una X			X



VARIABLES DE ENTRADA			Unidades
Cohesion	C =	4.55	Tn/m2
Angulo de Resistencia Interna	ϕ =	0	Grados
Ancho del Cimiento o Diametro	B =	2.5	m
Longitud del Cimiento	L =	25	m
Gama de la Muestra	γm =	1.7	Tn/m3
Gama de la Muestra Sat.	γm_{sat} =	1.9	Tn/m3
Gama del Agua	γo =	1	Tn/m3
Profundidad de la Cimentacion	Df =	2	m
Posicion del Nivel Freatico	Nf =	3	m
Angulo Inclinacion Carga	β =	0	Grados
Modulo de Elasticidad	E =	1592.5	Tn/m2
Modulo Cortante del Suelo	Gs =		Tn/m2
Modulo de Poisson	μ =	0.356875	
Momento en B	M =		Tn.m
Carga	Q =		Tn
Excentricidad de la Carga en B	e =	0	m
Momento en L	M =		Tn.m
Momento en B	M =		Tn.m
Excentricidad de la Carga en L	e =	0	m
Factor de Seguridad	FS =	3	

CALCULOS		
Gs =	586.8263473	Tn/m2
q´ =	5.325	Tn/m2
Ir =	128.9728236	
Ir(cr) =	12.95980727	
e_B =	0	m
B´ =	2.5	m
Area´ =	62.5	m2
e_L =	0	m
L´ =	25	m
Area´ =	62.5	m2
Area´´ =	62.5	m2

Capacidad de Carga	1er Termino	31.47144	Tn/m2
	2do Termino	3.4	Tn/m2
	3er Termino	0	Tn/m2

qu =	34.87144	Tn/m2	
q_{adm} =	11.62381333	Tn/m2	
Q =	726.488333	Tn	Cimiento Corrido o Cuadrado
Q =	57.0582603	Tn	Cimiento Circular

FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA

$$N_c = (N_q - 1)\cot Ø'$$

$$N_q = \left(\tan\left(45 + Ø'/2\right)\right)^2 e^{\pi \tan Ø'}$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan Ø'$$

FACTORES DE INCLINACION

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 + \frac{\beta}{90}\right)^2$$

$$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\beta}{Ø'}\right)^2$$

Caso =	II
q =	3.4
γ_2 =	1.22

Factores de Capacidad de Carga	
Nq =	1
Nc=	5.14
N γ=	0

Factores de Forma	
Fcs=	1.019455253
Fqs=	1
Fγs=	0.96

Factores de Inclinacion	
Fci =	1
Fqi =	1
Fγi =	1

Factores de Profundidad	
Fcd =	1.32
Fqd =	1
Fγd =	1

Factores de Compresibilidad	
Fγc =	1
Fqc =	1
Fcc =	1

4.7 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA

Buscando establecer las condiciones de estabilidad final de la ladera se adoptan los parámetros de resistencia definidos en la Tabla 9 Parámetros de Resistencia Terreno Natural estos parámetros de resistencia obedecen a los análisis geotécnicos y las correlaciones anteriormente citadas.

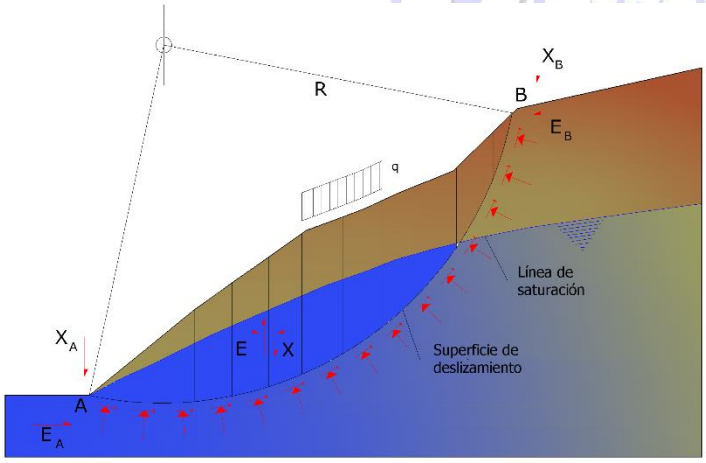
El manto superior obedece a parámetros de resistencia tipo reconociendo que el material reportado corresponde a rellenos de carácter antrópico con una importante heterogeneidad que no queda excluida a la existencia de lentes o mantos blandos.

El método del equilibrio límite consiste en estudiar el equilibrio de un cuerpo rígido, constituido por el talud y por una superficie de deslizamiento de cualquier forma (línea recta, arco circular, espiral logarítmica). Con tal equilibrio se calculan las tensiones de corte (□) y se comparan con la resistencia disponible (□f), calculada según el criterio de rotura de Coulomb: De tal comparación deriva la primera indicación de estabilidad, con el coeficiente de seguridad:

Entre los métodos del equilibrio último hay algunos que consideran el equilibrio global del cuerpo rígido (Culman) mientras que otros, por falta de homogeneidad, dividen el cuerpo en rebanadas y consideran el equilibrio de cada una (Fellenius, Bishop, Janbu, etc.).

A continuación, se discuten los métodos del equilibrio último de las rebanadas.

Gráfica 23 Método Equilibrio Limite



La masa susceptible al deslizamiento se subdivide en un número conveniente de rebanadas. Si el número de rebanadas es igual a n, el problema presenta las siguientes incógnitas:

- n valores de las fuerzas normales Ni en la base de cada rebanada
- n valores de las fuerzas de corte en la base de la rebanada T
- (n-1) fuerzas normales Ei en la conexión de las rebanadas
- (n-1) fuerzas tangenciales Xi en la conexión de las rebanadas
- n valores de la coordenada del punto de aplicación de las Ei

- (n-1) valores de la coordenada del punto de aplicación de las Xi
- una incógnita constituida por el factor de seguridad F.

En total las incógnitas son (6n-2).
Mientras las ecuaciones a disposición son:

- ecuaciones de equilibrio de momentos n
- ecuaciones de equilibrio en la traslación vertical n
- ecuaciones de equilibrio en la traslación horizontal n
- ecuaciones del criterio de rotura n

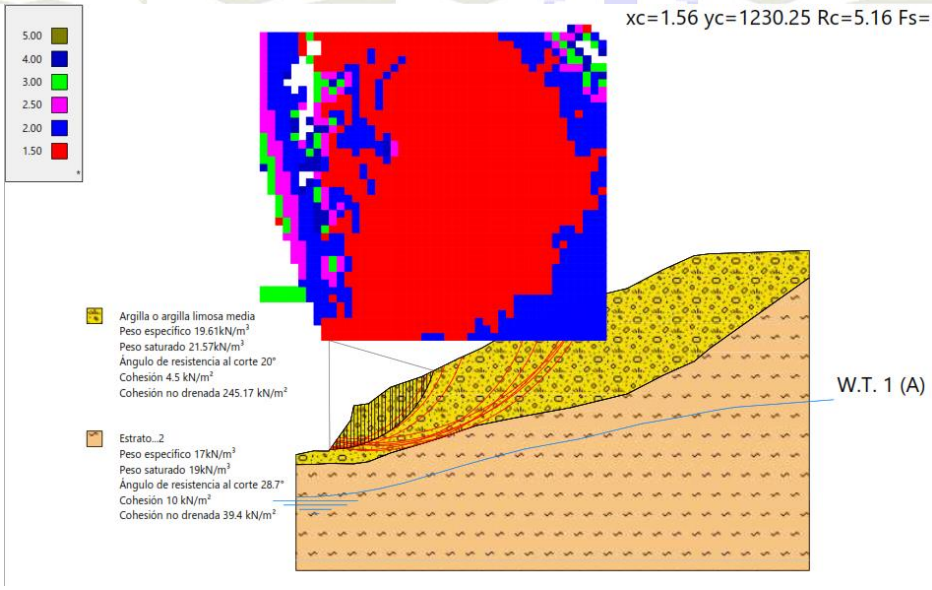
Total número de ecuaciones 4n

El problema es estáticamente indeterminado y el grado de indeterminación es igual a:

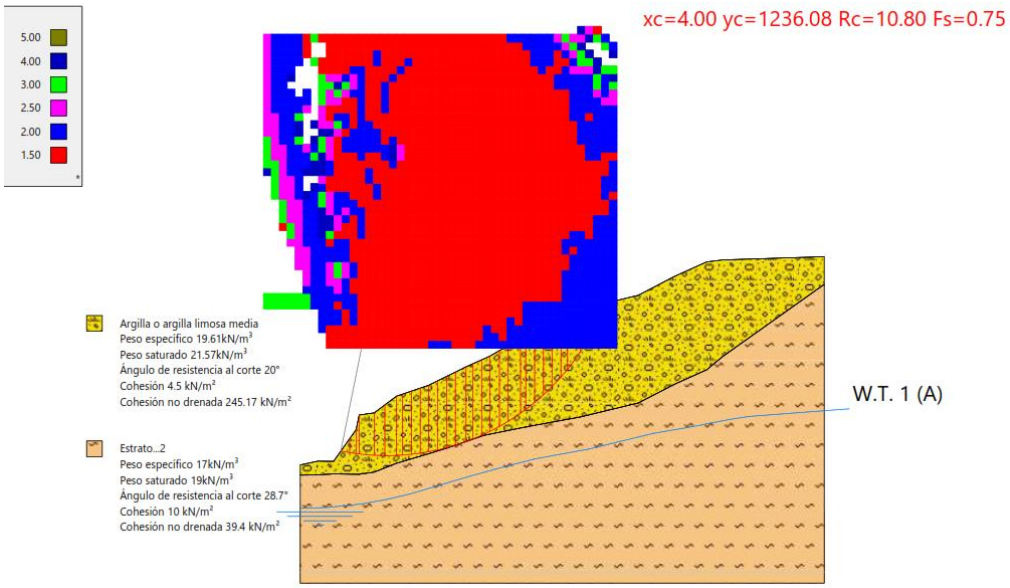
El grado de indeterminación se reduce a (n-2). Al asumir que Ni se aplica en el punto medio de la franja, esto equivale a crear la hipótesis de que las tensiones normales totales están distribuidas uniformemente.

Los diferentes métodos que se basan en la teoría del equilibrio límite se diferencian por el modo en que se eliminan las (n-2) indeterminaciones.

Gráfica 24 Análisis de estabilidad de la ladera condiciones iniciales



Análisis Estático con FS = 1.06 donde se proyecta la falla al pie del talud indicando la susceptibilidad a un proceso de inestabilidad



Análisis PSeudostatico con FS = 0.75 bajo condiciones sísmicas máximas se reportaría colapso del sistema

Dados los resultados anteriores, se soporta la necesidad de proyectar un sistema de contención que garantice la estabilidad general de la ladera. Se realiza entonces la propuesta de dimensionamiento de un muro de contención. Dicho elemento requerirá un diseño definitivo por parte del ingeniero estructural y una vez detallada esa propuesta deberá ser nuevamente evaluada la estabilidad general de la ladera.

4.8 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS MATERIALES DE RELLENO

Teniendo en cuenta que el material existente no es pertinente para usar como material de relleno se propone un material con las siguientes características mínimas (el material adoptado corresponde al material definido como Recebo tipo 1, RE – 75, RE – 38):

Tabla 17 Parámetros Material Granular para rellenos

Características	***Norma de ensayos invias***	***Requisitos***
Desgaste en la Maquina de los Ángeles	E-218	50
Solidez - Sulfato de Sodio		12
Solidez - Sulfato de Magnesio	E-220	18
Limite Liquido	E-125	25
Indice de Plasticidad	E-125 Y E-126	6
Equivalente de Arena	E-133	25
Contenido de Terrones de Arcilla y partícula deleznables	E-210	2

Caracterización granulométrica Norma de Ensayo INV E - 123 -13					
Tipo de gradación	*TAMIZ (mm/ U.S Standard)*				
	75	*38*	*25*	*4.75*	*0.075*
	3"	*1 1/2"*	*1"*	*No. 4*	*No. 200*
	% Pasa				
RE-75	100	-	70-100	30-75	5-30
RE-38	-	100	70-100	30-75	5-30
Tolerancia en la producción de materiales	7%			6%	5%

INGEOTOL S.A.S.

5 TOPOGRAFÍA

Se realizó levantamiento topográfico mediante equipos de precisión, haciendo uso de estación total marca FOIF con precisión angular 3" y precisión en distancia ± 2mm+2ppmXD y prismas. Se desarrolló recorrido perimetral del muro de cerramiento a intervenir llevando puntos hasta la portería para ingresar con amarre topográfico a la parte interna de colegio.

Se instalaron dos plaquetas de identificación para dos deltas que servirán de amarre para el proceso constructivo.

La plaqueta del Delta #1 quedó en la zona esquinera de la plataforma suroccidental del colegio que colinda con la vía, la plaqueta del Delta #2 se instaló en el borde de la caja de inspección ubicada por el costado sur del bloque de aulas sur-occidental.

Tabla 18 Coordenadas de los Deltas topográficos

Referencia	Norte	Este	Cota
Delta #1	983416.72	872149.30	1235.97
Delta #2	983416.19	872173.33	1236.16

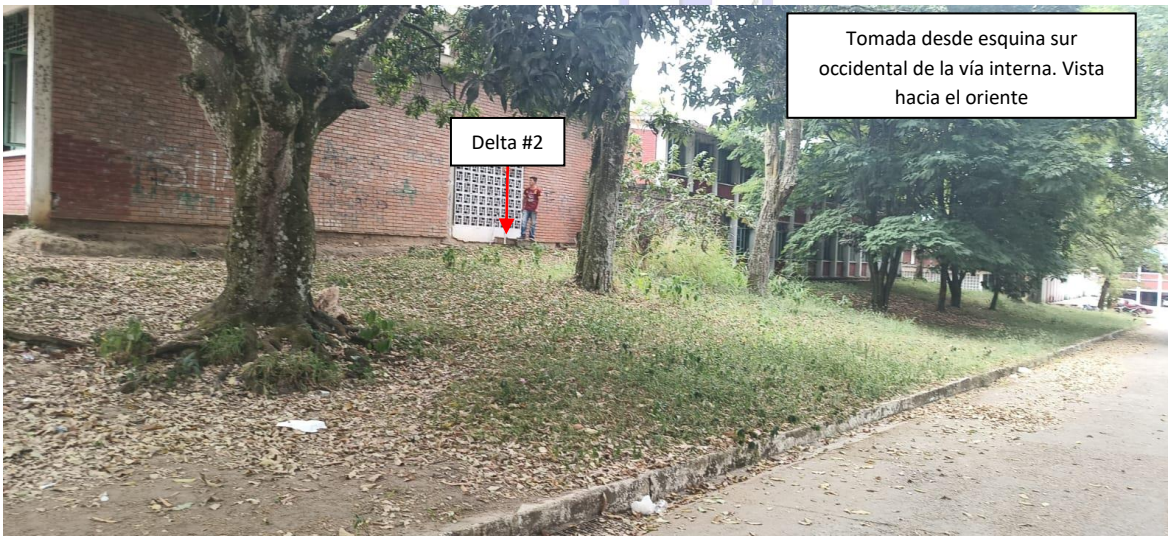
Gráfica 25 Ubicación general Delta #1 de topografía



Gráfica 26 Detalle Delta #1 de topografía



Gráfica 27 Ubicación general Delta #2 de topografía



Gráfica 28 Detalle Delta #2 de topografía





Se anexa cartera topográfica y plano del levantamiento.

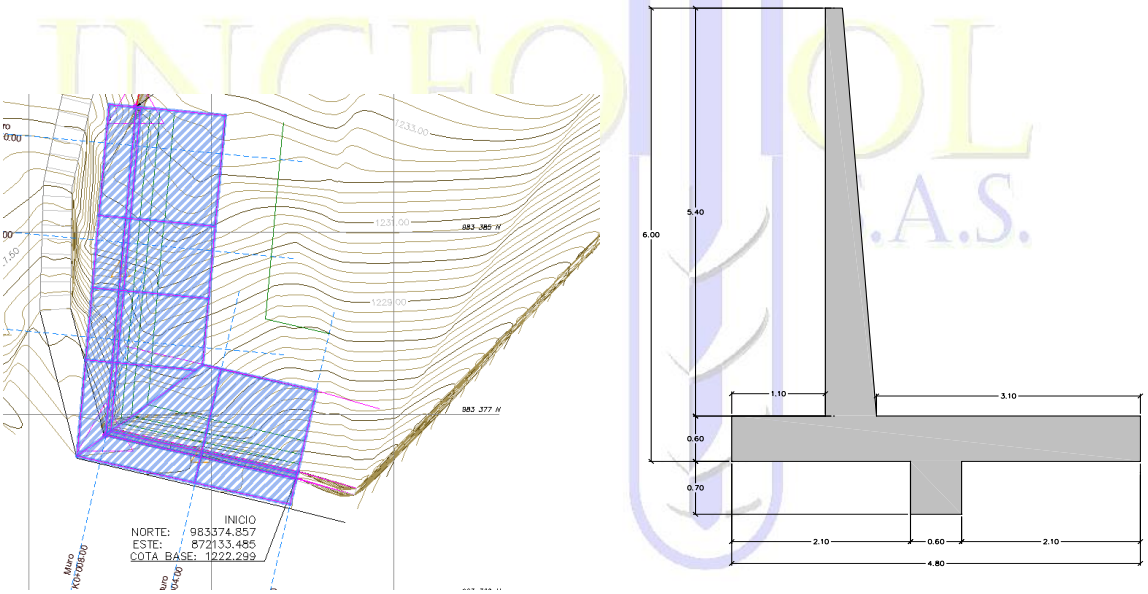
INGEOTOL S.A.S.

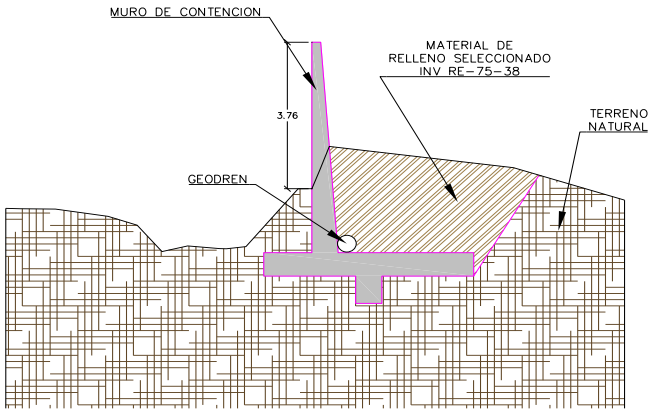
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- De acuerdo con el análisis de la topografía, las exploraciones geotécnicas realizadas y las características de las muestras de suelo obtenidas, así como el reporte verbal de vecinos y funcionarios del colegio sobre el muro que se desplomó, se determinó que los procesos de movimientos de tierra (Materiales de carácter antrópico – Relleno) fueron el principal desencadenante del colapso de la sección del muro. Inicialmente, este muro fue diseñado exclusivamente como medida de cerramiento y no como sistema de contención.

- Se propone la construcción de un muro de contención en concreto reforzado de 6 metros de altura con un empotramiento de 2m en el suelo. Dicho elemento deberá contar con un geodren en la base de la zarpa hacia la parte interna del muro. Se anexa plano de diseño que contiene los detalles a lo largo de la zona de intervención.

Gráfica 29 Planta, Perfil y detalles del sistema de contención propuesto





- Dadas las condiciones de heterogeneidad de los estratos encontrados en el nivel de desplante, donde se evidenció la presencia de desechos combinados con el suelo natural, el diseño final del sistema de contención incluye un mejoramiento del suelo mediante el reemplazo de 0.5 m en la base del muro. Este reemplazo se deberá realizar con material seleccionado y compactado, tipo recebo. Se deben seguir las especificaciones de INVIAS para materiales tipo RE-75 o RE-38.

- Es importante señalar que la solución propuesta debe ser analizada por el especialista en estructuras para determinar el acero de refuerzo del sistema de contención, pudiendo ser ajustado y verificado según el requerimiento desde el punto de vista estructural, entendiéndose que no es un objetivo final de esta consultoría el diseño del sistema de contención, sin embargo, se busca de manera responsable brindar un apoyo a este dimensionamiento.

- Es crucial que la institución educativa evite realizar obras o depositar materiales en la parte superior del talud, ya que esto podría generar sobrecarga en el muro de contención. El diseño del sistema no contempló estas posibles cargas adicionales y, dado que las condiciones de resistencia del suelo son bajas, cualquier sobrecarga podría comprometer significativamente la estabilidad del sistema.

- Actualmente, la parte alta del talud está ocupada por cultivos de corta duración, como plátano, caña de azúcar y hierbas aromáticas, que promueven la saturación del terreno y generan cambios en la morfología debido al tránsito desorganizado de personas. Estas plantas, al tener raíces superficiales y ser reemplazadas frecuentemente debido a su ciclo de cosecha, causan alteraciones en el terreno y erosión no controlada. Por lo tanto, se recomienda reemplazar estos cultivos por plantas de raíz profunda, como pasto *Vetiver* o *Maní Forrajero*, y limitar el desarrollo de nuevas plantaciones agrícolas.

- El muro proyectado consta de dos tramos rectos: uno que se extiende desde el lugar del desplome actual en dirección norte-sur hasta el vértice sur-occidental, y otro desde esta esquina en dirección oriente-occidente hasta el límite con la primera vivienda contigua. Debido a la topografía de la zona externa del colegio y a la rampa/escalera de tránsito, la sección visible del muro (desde el nivel del terreno hacia arriba) presenta una altura aparente variable, con un escalonamiento en secciones de 3 m. No obstante, la altura general del muro es de 6 m, con un empotramiento de 2 m.
  Si se considera necesario por razones de cerramiento y/o seguridad de la propiedad, se podrá proyectar un alzado adicional del muro utilizando mampostería. Sin embargo, es importante destacar que esta extensión no podrá se acompañada de una sobre-carga adicional en la parte interna del colegio adyacente al sistema de contención.

- La solución presentada en este informe corresponde únicamente a la zona analizada, no puede ser usada como medida generalizada para el muro de cerramiento actual del colegio.

- El perfil consignado dentro del informe corresponde a las condiciones encontradas de humedad y consistencia de la época en la cual se desarrolla la exploración geotécnica.

Ing. Esp. Héctor Andrés García Manchola
T.P. 70202149136

Ing. Esp. María Lucía Ramírez Bonilla
T.P. 70202298823

INGEOSOL S.A.S.

7 BIBLIOGRAFÍA

Acosta G., J. E., Guatame, R., Caicedo A., J. C., & Cárdenas , J. I. (2002). *MAPA GEOLÓGICO DE COLOMBIA PLANCHA 245 GIRARDOT Escala 1:100.000.* Bogota D.C., Colombia: INGEOMINAS.

Budhu, M. (2008). *Foundations and earth retaining structures.* Jhon Wiley & Sons.

Delgado Vargas, M. (2008). *Ingenieria de Fundaciones Fundamentos e Introducción al análisis geotécnico.* Bogota D.C., Colombia: Escuela Colombiana de Ingenieria.

Gonzales I., H. (2001). *Mapa Geológico del Departamento de Antioquia - Memoria Explicativa.* Medellin: Ingeominas<.

Holtz, R., & kovacs, W. (1986). *An Introduction to geotechnical engineering.* New Jersey: Prentice-Hall.

Manilla Aceves, A. A., Garnica Anguas, P., & Perez Salazar, A. (2003). *Evaluación Indirecta de los Módulos Elásticos de Rigidez In Situ y la relación entre Vp/Vs y el ángulo de fricción interna.* Sanfandila: Instituto Mexicano del Transporte.

Nuñez Tello, A. (2001). *Mapa Geológico del Departamento del Tolima.* Ingeominas.

Peck, R., Hanson, W., & Thornburn, T. (2008). *Ingeniería de cimenatciones.* México: Limusa.

Powrie, W. (2004). *Soil Mechanics Concepts & Applications.* Spon Press.

Servicio Geologico Colombiano - Universidad Nacional de Colombia. (2015). *Guía Metodologica para estudios de Amenaza, Vuknerabilidad y Riesgo por movimientos en Masa.* Bogota D.C.: Servicio Geologico Colombiano.

Vergara, H. (2005). *Actualizacón cartográfica geológico-geotécnica y de aptitud urbanistica de la ciudad de Ibagué.* Ibagué: Alcaldia de Ibagué.

8 ANEXOS

ANEXO A. MEMORIA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD LADERA

ANÁLISIS PSEUDOESTÁTICO
Relación de cálculo

Definición
Por talud se entiende una porción de vertiente natural cuyo perfil original ha sido modificado con intervenciones artificiales relevantes con respecto a la estabilidad. Por derrumbe se entiende una situación de inestabilidad que concierne vertientes naturales y comprende considerables espacios de terreno.

Introducción al análisis de estabilidad
Para resolver un problema de estabilidad es necesario tener en cuenta las ecuaciones de campo y los vínculos constitutivos. Las primeras tienen que ver con el equilibrio, mientras que los vínculos describen el comportamiento del terreno. Tales ecuaciones son particularmente complejas ya que los terrenos son sistemas multifase, que se pueden convertir en sistemas monofase solo en condiciones de terreno seco, o de análisis en condiciones drenadas.
En la mayor parte de los casos nos encontramos con suelos que además de saturados, son también bifase, lo que vuelve notoriamente complicado el análisis de las ecuaciones de equilibrio. Además es prácticamente imposible definir una ley constitutiva de validez general, ya que los terrenos presentan un comportamiento no-lineal y aún en caso de pequeñas deformaciones, son anisótropos y su comportamiento depende no solo del esfuerzo desviador, sino también del normal. Para enfrentar estas dificultades se introducen hipótesis que ayuden a simplificar:

1. Se usan leyes constitutivas simplificadas: modelo rígido perfectamente plástico. Se asume que la resistencia del suelo se expresa únicamente con los parámetros cohesión (c) y ángulo de rozamiento (φ), constantes para el terreno y característicos del estado plástico. Por tanto, se considera válido el criterio de rotura de Mohr-Coulomb.

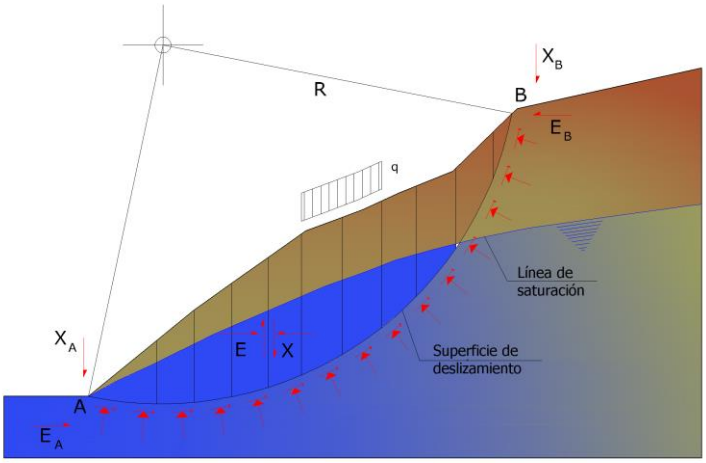
2. En algunos casos se satisfacen solo en parte las ecuaciones de equilibrio.

Método del equilibrio límite (LEM)

El método del equilibrio límite consiste en estudiar el equilibrio de un cuerpo rígido, constituido por el talud y por una superficie de deslizamiento de cualquier forma (línea recta, arco circular, espiral logarítmica). Con tal equilibrio se calculan las tensiones de corte (τ) y se comparan con la resistencia disponible (τ_f), calculada según el criterio de rotura de Coulomb: De tal comparación deriva la primera indicación de estabilidad, con el coeficiente de seguridad:

$$F = \tau_f / \tau$$

Entre los métodos del equilibrio último hay algunos que consideran el equilibrio global del cuerpo rígido (Culman) mientras que otros, por falta de homogeneidad, dividen el cuerpo en rebanadas y consideran el equilibrio de cada una (Fellenius, Bishop, Janbu, etc.).
A continuación se discuten los métodos del equilibrio último de las rebanadas.



Método de las rebanadas

La masa susceptible al deslizamiento se subdivide en un número conveniente de rebanadas. Si el número de rebanadas es igual a *n*, el problema presenta las siguientes incógnitas:

- n valores de las fuerzas normales N_i en la base de cada rebanada
- n valores de las fuerzas de corte en la base de la rebanada T
- (n-1) fuerzas normales E_i en la conexión de las rebanadas
- (n-1) fuerzas tangenciales X_i en la conexión de las rebanadas
- n valores de la coordenada del punto de aplicación de las E_i
- (n-1) valores de la coordenada del punto de aplicación de las X_i
- una incógnita constituida por el factor de seguridad F.

En total las incógnitas son (6n-2).
Mientras las ecuaciones a disposición son:

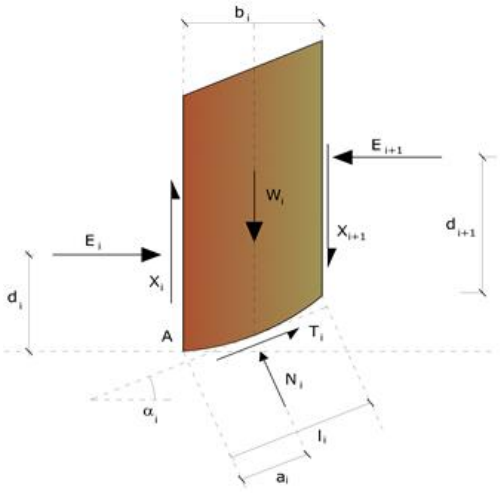
- ecuaciones de equilibrio de momentos n
- ecuaciones de equilibrio en la traslación vertical n
- ecuaciones de equilibrio en la traslación horizontal n
- ecuaciones del criterio de rotura n

Total número de ecuaciones 4n

El problema es estáticamente indeterminado y el grado de indeterminación es igual a:

$$i = (6n - 2) - (4n) = 2n - 2$$

El grado de indeterminación se reduce a (n-2). Al asumir que N_i se aplica en el punto medio de la franja, esto equivale a crear la hipótesis de que las tensiones normales totales están distribuidas uniformemente.
Los diferentes métodos que se basan en la teoría del equilibrio límite se diferencian por el modo en que se eliminan las (n-2) indeterminaciones.



Método de Fellenius (1927)

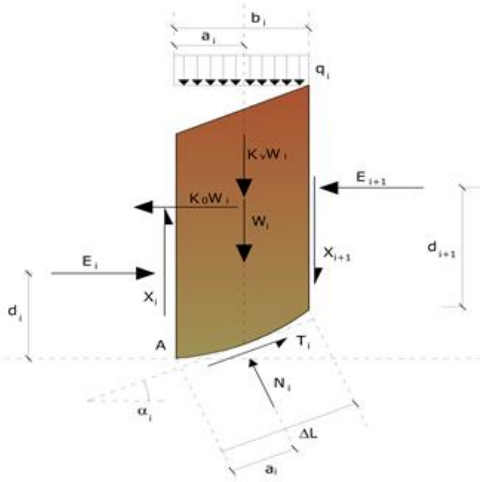
Con este método (válido solo para superficies de deslizamiento circulares) se pasan por alto las fuerzas entre las franjas, por lo tanto las incógnitas se reducen a:

- n valores de las fuerzas normales N_i;
- n valores de las fuerzas de corte T_i;
- 1 factor de seguridad.

Incógnitas (2n+1).

Las ecuaciones disponibles son:

- n ecuaciones de equilibrio traslación vertical;
- n ecuaciones del criterio de rotura;
- ecuación de equilibrio de momentos global.



$$F = \frac{\Sigma\{ c_i \times l_i + (W_i \times \cos\alpha_i - u_i \times l_i) \times \tan\varphi_i \}}{\Sigma W_i \times \sin\alpha_i}$$

Esta ecuación es fácil de resolver pero se ha visto que da resultados conservadores (factores de seguridad bajos) especialmente para superficies profundas.

Método de Bishop (1955)

Con este método se toman en cuenta todas las fuerzas actuantes en los bloques. Fue el primero en describir los problemas relacionados con los métodos convencionales.
Las ecuaciones usadas para resolver el problema son:

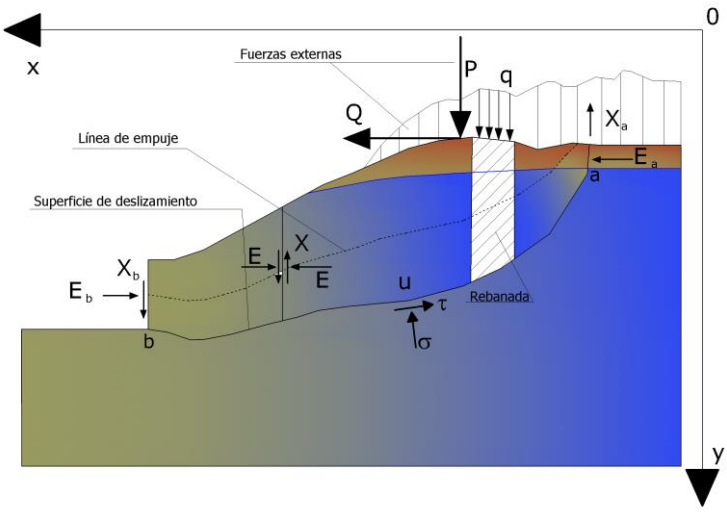
$$\sum F_y = 0, \quad \sum M_0 = 0 \qquad \text{Criterio de rotura}$$

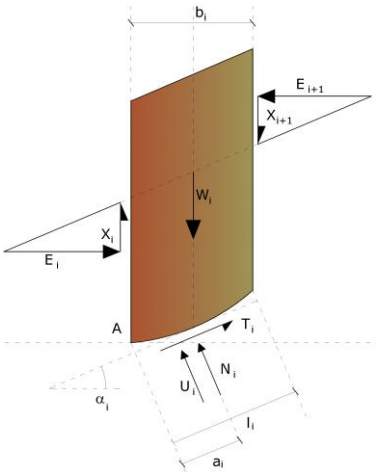
$$F = \frac{\Sigma\{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan\varphi_i\} \times \frac{\sec\alpha_i}{1 + \tan\alpha_i \times \tan\varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \sin\alpha_i}$$

Los valores de F y de ΔX que satisfacen esta ecuación dan una solución rigurosa al problema.
Como primer aproximación conviene plantear ΔX= 0 e iterar para el cálculo del factor de seguridad. Este procedimiento se conoce como método de **Bishop ordinario** y los errores con respecto al método completo son de alrededor de un 1 %.

Método de Janbu (1967)

Janbu extendió el método de Bishop a superficies de deslizamiento de cualquier forma.
Cuando se tratan superficies de deslizamiento de cualquier forma el brazo de las fuerzas cambia (en el caso de las superficies circulares queda constante e igual al radio), por este motivo es mejor valorar la ecuación del momento respecto al ángulo de cada bloque.





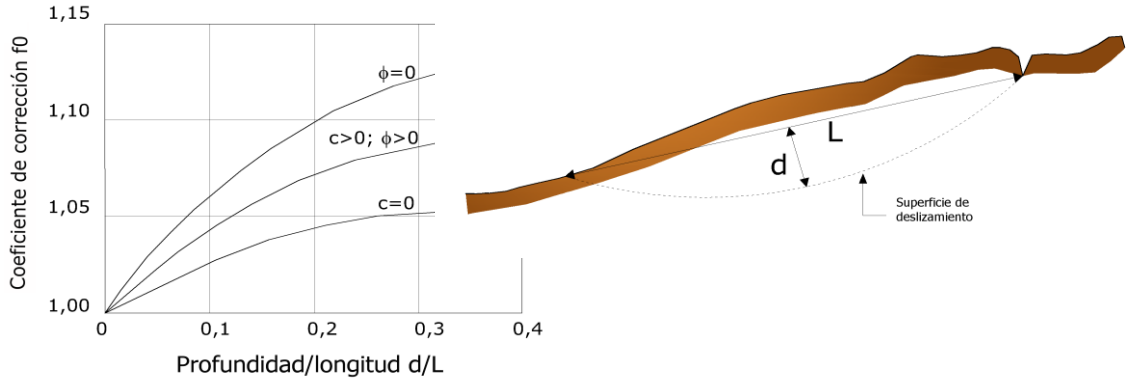
$$F = \frac{\Sigma\{c_i \times b + (W_i - u_i \times$$

Acciones en la i-ésima rebanada según las hipótesis de Janbu y representación de la totalidad de la masa

Asumiendo ΔX= 0 se obtiene el método ordinario.
Janbu propuso además un método para la corrección del factor de seguridad obtenido con el método ordinario según lo siguiente:

$$F_{corregido} = f_0 \cdot F$$

Donde f_0 depende de la geometría y de los parámetros geotécnicos y esto se puede encontrar en tablas y gráficos.
Esta corrección es muy confiable para taludes poco inclinados.



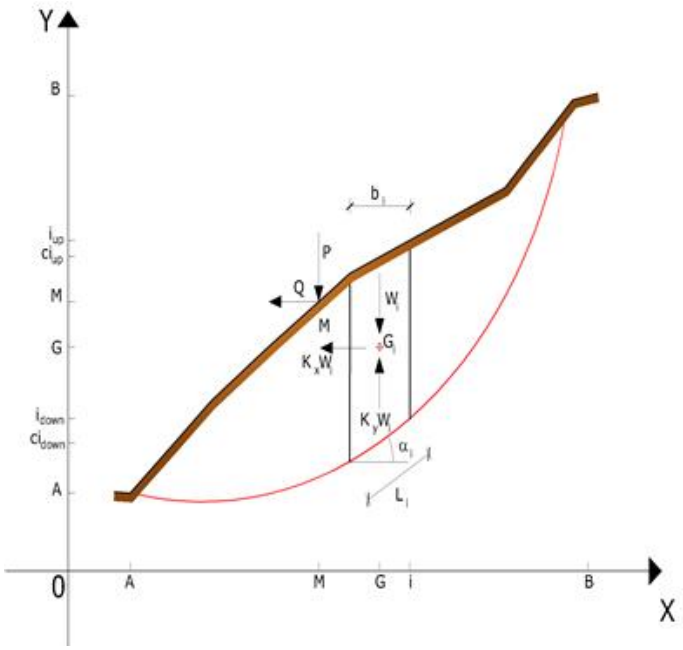
Método de Bell (1968)

Las fuerzas agentes sobre el cuerpo resbaladizo incluyen el peso efectivo del terreno, W, las fuerzas sísmicas pseudo estáticas horizontales y verticales $K_X W$ y $K_Z W$, las fuerzas horizontales y verticales X y Z aplicadas externamente al perfil del talud, en fin, el resultado de los esfuerzos totales normales y de corte, σ e τ agentes en la potencial superficie de deslizamiento.
El esfuerzo total normal puede incluir un exceso de presión de los poros u que se debe especificar con la introducción de los parámetros de fuerza eficaz.
Prácticamente este método se puede considerar como una extensión del método del círculo de rozamiento en secciones homogéneas anteriormente descrito por Taylor.
De acuerdo con la ley de la resistencia de Mohr-Coulomb en términos de tensión efectiva, la fuerza de corte agente en la base de la i-ésima rebanada está dada por:

$$T_i = \frac{c_i L_i + (N_i - u_{ci} L_i) \tan \Phi_i}{F}$$

Donde:

F = factor de seguridad;
c_i = cohesión eficaz (o total) en la base de la i-ésima rebanada;
ϕ_i = ángulo de rozamiento eficaz (= 0 con la cohesión total) en la base de la i-ésima rebanada;
L_i = longitud de la base de la i-ésima rebanada;
u_{ci} = presión de los poros en el centro de la base de la i-ésima rebanada.



El equilibrio se da igualando a cero la suma de las fuerzas horizontales, la suma de las fuerzas verticales y la suma de los momentos con respecto al origen.
Se adopta la siguiente asunción en la variación de la tensión normal agente en la potencial superficie de deslizamiento:

$$\sigma_{ci} = \left[C_1 (1 - K_z) \frac{W_i \cos \alpha_i}{L_i} \right] + C_2 f(x_{ci}, y_{ci}, z_{ci})$$

Donde el primer término de la ecuación incluye la expresión:

$$W_i \cos\alpha_i / L_i = \text{valor del esfuerzo normal total asociado al método ordinario de las rebanadas}$$

El segundo término de la ecuación incluye la función:

$$f = \sin 2\pi \left(\frac{x_n - x_{ci}}{x_n - x_0} \right)$$

Donde **x_0** y **x_n** son, respectivamente, las abscisas del primer y del último punto de la superficie de deslizamiento, mientras **x_{ci}** representa la abscisa del punto medio de la base de la i-ésima rebanada.
Una parte sensible de reducción del peso asociada a una aceleración vertical del terreno K_Z g se puede transmitir directamente a la base y esto se incluye en el factor (1 - K_Z).
El esfuerzo normal total en la base de una rebanada está dado por:

$$N_i = \sigma_{ci} L_i$$

La solución de las ecuaciones de equilibrio se consigue resolviendo un sistema lineal de tres ecuaciones, las cuales se obtienen multiplicando las ecuaciones de equilibrio por el factor de seguridad F, sustituyendo la expresión de N_i y multiplicando cada término de la cohesión por un coeficiente arbitrario C_3. Con el fin de iniciar una solución iterativa, se puede usar cualquier par de valores del factor de seguridad dentro de una estimación físicamente razonable.
El número necesario de iteraciones depende tanto de la estimación inicial como de la precisión deseada para la solución; normalmente el proceso converge rápidamente.

Método de Sarma (1973)

El método de Sarma es un simple pero esmerado método para el análisis de estabilidad de taludes que permite determinar la aceleración sísmica horizontal necesaria para que la masa de terreno, delimitada por la superficie de deslizamiento y por el perfil topográfico, alcance el estado de equilibrio límite (aceleración crítica K_C) y, al mismo tiempo, permite obtener el factor de seguridad obtenido como con los otros métodos comunes de la geotecnia.

Se trata de un método basado en el principio del equilibrio límite y de las franjas. Por lo tanto se considera el equilibrio de una masa potencial de terreno en deslizamiento subdividida en n franjas verticales de espesor suficientemente pequeño como para asumir que el esfuerzo normal N_i obra en el punto medio de la base de la franja.

Las ecuaciones a considerar son:

- La ecuación de equilibrio en la traslación horizontal de cada rebanada;
- La ecuación de equilibrio en la traslación vertical de cada rebanada;
- La ecuación de equilibrio de momentos.

Condiciones de equilibrio en la traslación horizontal y vertical:

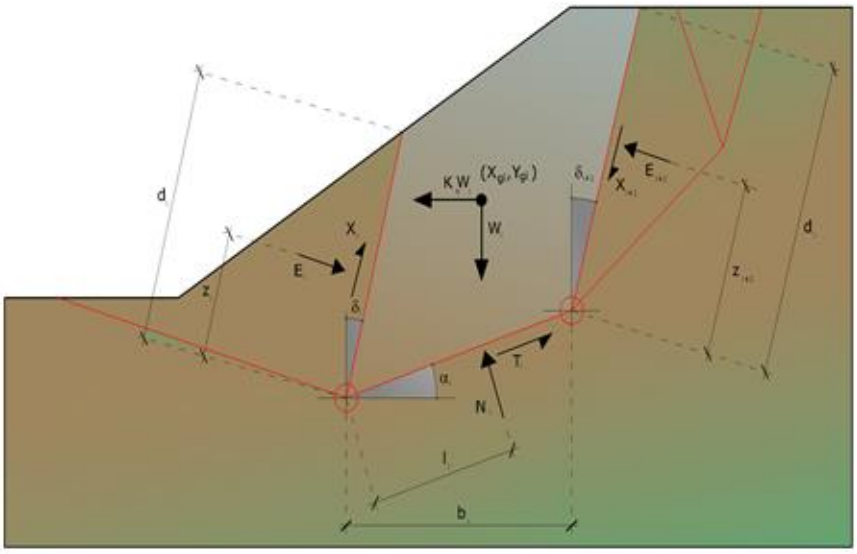
$$N_i \cos\alpha_i + T_i \sin\alpha_i = W_i - \Delta X_i$$
$$T_i \cos\alpha_i - N_i \sin\alpha_i = KW_i + \Delta E_i$$

Además se asume que en ausencia de fuerzas externas en la superficie libre se tiene:

$$\Sigma\Delta E_i = 0$$
$$\Sigma\Delta X_i = 0$$

Donde E_i y X_i representan, respectivamente, las fuerzas horizontales y verticales en la i-ésima cara de la rebanada genérica i.

La ecuación de equilibrio de momentos se escribe seleccionando como punto de referencia el baricentro del cúmulo; de manera que, después de haber efectuado una serie de posiciones y transformaciones trigonométricas y algebraicas, en el método de Sarma la solución del problema se obtiene resolviendo dos ecuaciones:



Acciones en la i-ésima rebanada, método de Sarma

$$\sum \Delta X_i \cdot tg\left(\psi'_i - \alpha_i\right) + \sum \Delta E_i = \sum \Delta_i - K \cdot \sum W_i$$

$$\sum \Delta X_i \cdot \left[\left(y_{mi} - y_G\right) \cdot tg\left(\psi'_i - \alpha'\right) + \left(x'_i - x_G\right)\right] = \sum W_i \cdot \left(x_{mi} - x_G\right) + \sum \Delta_i \cdot \left(y_{mi} - y_G\right)$$

Pero el enfoque de solución, en este caso, está completamente invertido: el problema en efecto requiere encontrar un valor de K (aceleración sísmica) correspondiente a un determinado factor de seguridad; y en particular, encontrar el valor de la aceleración K correspondiente al factor de seguridad F = 1, o sea la aceleración crítica.
Se tiene por lo tanto:

K=Kc **Aceleración crítica** si F=1
F=Fs **Factor de seguridad en condiciones estáticas** si K=0

La segunda parte del problema del Método de Sarma es encontrar una distribución de fuerzas internas X_i y E_i tal que permita verificar el equilibrio de la rebanada y el equilibrio global del macizo, sin violar el criterio de rotura.
Se ha encontrado que una solución aceptable al problema se puede obtener asumiendo la siguiente distribución de las fuerzas X_i:

$$\Delta X_i = \lambda \cdot \Delta Q_i = \lambda \cdot (Q_{i+1} - Q_i)$$

Donde Q_i es una función conocida, donde se toman en cuenta los parámetros geotécnicos promedio en la i-ésima cara de la rebanada i, y λ representa una incógnita.
La solución completa del problema se obtiene por lo tanto, después de algunas iteraciones, con los valores de K_C, λ y F, que permiten obtener también la distribución de las fuerzas entre las franjas.

Método de Spencer (1967)

El método se basa en el supuesto de que:

1. Las fuerzas de conexión a lo largo de las superficies de división de cada rebanada están orientadas paralelamente entre sí e inclinadas con respecto a la horizontal de un ángulo θ;
2. Todos los momentos son nulos $M_i = 0$ i=1…..n.

Básicamente el método satisface todas las ecuaciones de la estática y equivale al método de Morgenstern y Price cuando la función f(x) = 1.

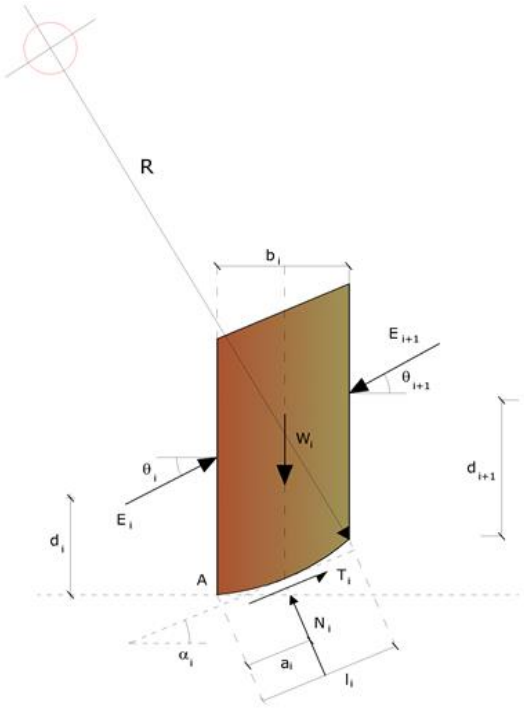
Imponiendo el equilibrio de momentos respecto al centro del arco descrito por la superficie de deslizamiento se tiene:

$$1) \qquad \sum Q_i R \cos(\alpha - \theta) = 0$$

Donde:

$$Q_i = \frac{\frac{c}{F_s}(W\cos\alpha - \gamma_w hl \sec\alpha)\frac{tg\alpha}{F_s} - W sen\alpha}{\cos(\alpha-\theta)\left[\frac{F_s + tg\varphi tg(\alpha-\theta)}{F_s}\right]}$$

fuerza de interacción entre las rebanadas;
R = radio del arco circular;
θ = ángulo de inclinación de la fuerza Q_i respecto a la horizontal.



Imponiendo el equilibrio de las fuerzas horizontales y verticales se obtiene respectivamente:

$$\sum (Q_i \cos\theta) = 0$$
$$\sum (Q_i sen\theta) = 0$$

Asumiendo las fuerzas Q_i paralelas entre sí, se puede también escribir:

$$2) \qquad \sum Q_i = 0$$

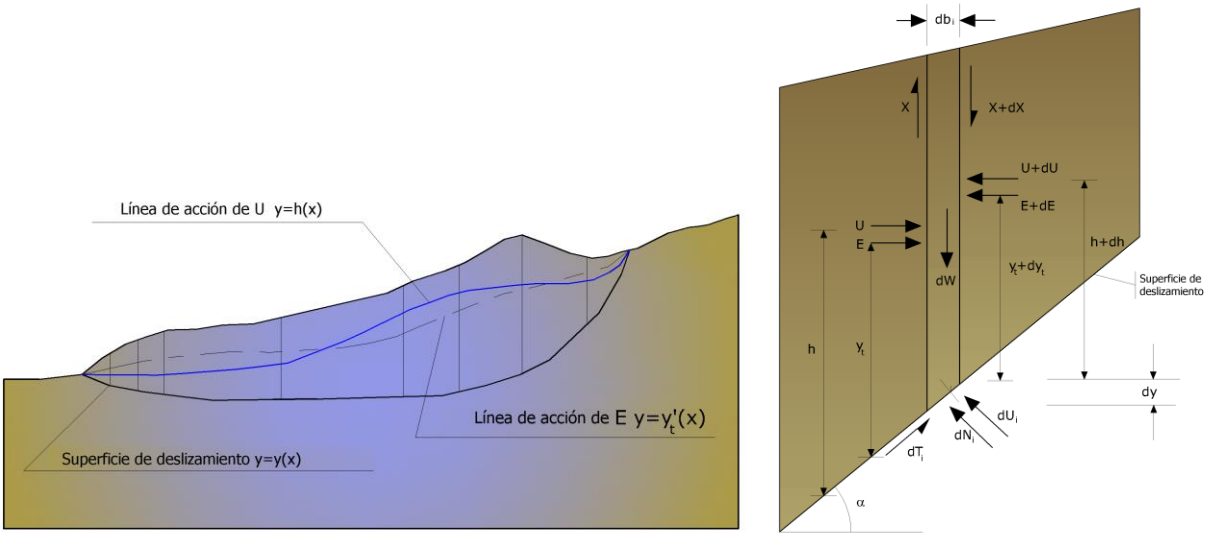
El método propone el cálculo de dos coeficientes de seguridad: el primero (F_{sm}) se obtiene de 1), ligado al equilibrio de momentos; el segundo (F_{sf}) de 2) ligado al equilibrio de fuerzas. En práctica se procede resolviendo la 1) y la 2) para un intervalo dado de valores del ángulo θ, considerando como valor único del coeficiente de seguridad aquel para el cual se obtiene:

$$F_{sm} = F_{sf}$$

Método de Morgenstern y Price (1965)

Se establece una relación entre los componentes de las fuerzas de interconexión de tipo $X = \lambda f(x)E$, donde λ es un factor de escala y f(x) es la función de la posición de E y de X que define una relación entre las variaciones de la fuerza X y de la fuerza E dentro la masa deslizante. La función f(x) se escoge arbitrariamente (constante, sinusoide, semisinusoide, trapecio, fraccionada) e influye poco sobre el resultado, pero se debe verificar que los valores obtenidos de las incógnitas sean físicamente aceptables.
La particularidad del método es que la masa se subdivide en franjas infinitesimales, a las cuales se aplican las ecuaciones de equilibrio en la traslación horizontal y vertical y de rotura en la base de las franjas. Se llega a una primer ecuación diferencial que une las fuerzas de conexión incógnitas E, X, el coeficiente de seguridad Fs, el peso de la franja infinitésima dW y el resultado de las presiones neutras en la base dU.
Se obtiene la llamada "**ecuación de las fuerzas**":

$$c'\sec^2\frac{\alpha}{F_s} + tg\varphi'\left(\frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} - tg\alpha\frac{dE}{dx} - \sec\alpha\frac{dU}{dx}\right) = \\ = \frac{dE}{dx} - tg\alpha\left(\frac{dX}{dx} - \frac{dW}{dx}\right)$$



Acciones en la i-ésima rebanada según las hipótesis de Mongester y Price y representación del conjunto

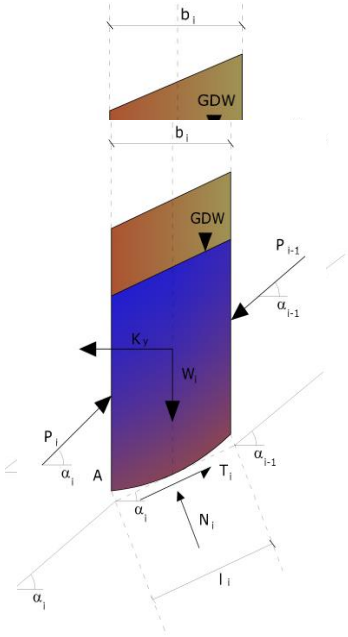
Una segunda ecuación, llamada "**ecuación de los momentos**", se escribe imponiendo la condición de equilibrio a la rotación respecto a la base:

$$X = \frac{d\left(E_\gamma\right)}{dx} - \gamma \frac{dE}{dx}$$

Estas dos ecuaciones se extienden por integración a toda la masa deslizante.
El método de cálculo satisface todas las ecuaciones de equilibrio y se aplica a superficies de cualquier forma, pero implica necesariamente el uso de un ordenador.

Método de Zeng y Liang (2002)

Con Zeng y Liang se efectuaron una serie de análisis paramétricos en un modelo bidimensional, desarrollado según los elementos finitos, que recrea el caso de pilotes en un terreno en movimiento (drilled shafts). El modelo bidimensional reproduce una franja de terreno de espesor 1 y supone che el fenómeno se de en condiciones de deformación plana en dirección paralela al eje de los pilotes.
Dicho modelo ha sido utilizado para investigar la influencia que tienen en la formación del efecto arco, algunos parámetros como el intereje entre pilotes, el diámetro y la forma de los mismos y las propiedades mecánicas del suelo. En la relación entre interejes y el diámetro de los pilotes (s/d), los autores identifican el parámetro adimensional determinante en la formación del efecto arco.
El problema resulta ser estáticamente indeterminado, con un grado de indeterminación igual a (8n-4), sin embargo es posible obtener una solución reduciendo el número de incógnitas y asumiendo hipótesis simplificadoras, con el fin de determinar el problema.
Los supuestos que determinan el problema son:



-Ky se asumen como horizontales con el fin de reducir el número total de incógnitas de (n-1) a (7n-3);
-Las fuerzas normales en la base de la banda actúan en el punto medio, reduciendo las incógnitas de n a (6n-3);
-La posición de los empujes laterales está a un tercio de la altura promedio de la inter rebanada y reduce las incógnitas de (n-1) a (5n-2);
-Las fuerzas (Pi-1) y Pi se asumen como paralelas a la inclinación de la base de la franja (ai), reduciendo el número de incógnitas de (n-1) a (4n-1);
-Se asume un único límite elástico para todas las franjas, reduciendo las incógnitas de (n) a (3n-1).

El número total de incógnitas se reduce por lo tanto a (3n) y para calcularlas se usa el factor de transferencia de carga. Además se debe tener en cuenta que la fuerza de estabilización transmitida al terreno en el lado externo de los pilotes se reduce en una cantidad R, llamado factor de reducción, calculado como a continuación:

$$R = \frac{1}{s/d} + \left(1 - \frac{1}{s/d}\right) \cdot R_p$$

El factor R depende por lo tanto del cociente entre el intereje de los pilotes y el diámetro de los mismos y del factor Rp que toma en cuenta el efecto arco.

Estimación de la acción sísmica

Para verificar la estabilidad de taludes con acción sísmica se usa el método pseudo-estático. Para terrenos que con una carga cíclica puedan desarrollar presiones intersticiales elevadas, se considera un aumento porcentual de las presiones neutras que toma en cuenta este factor de pérdida de resistencia.
Para evaluar la acción sísmica se consideran las siguientes fuerzas:

$$F_H = K_x W$$
$$F_V = K_y W$$

Donde:

- $\mathbf{F_H}$ y $\mathbf{F_V}$ son, respectivamente, el componente horizontal y vertical la fuerza de inercia aplicada al baricentro de la rebanada;
- **W** peso de la rebanada;
- $\mathbf{K_x}$ coeficiente sísmico horizontal;
- $\mathbf{K_y}$ coeficiente sísmico vertical.

Búsqueda de la superficie de deslizamiento crítica

En presencia de suelos homogéneos no se dispone de métodos para individuar la superficie de deslizamiento crítica y se debe examinar un elevado número de superficies potenciales.
En caso de superficies de forma circular la búsqueda se hace más sencilla, ya que después de haber colocado una malla centros de m líneas y n columnas, se examinan todas las superficies cuyo centro sea el nudo genérico de la malla m×n con radio variable dentro un determinado rango de valores, de forma tal que se examinan superficies cinemáticamente admisibles.

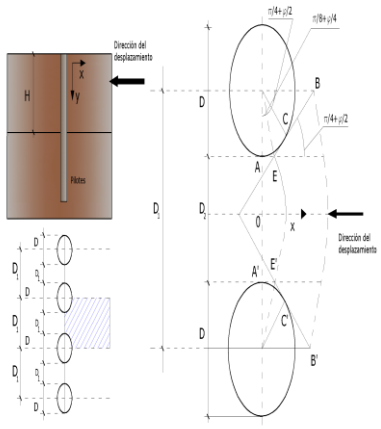
Estabilidad de taludes utilizando pilotes

Los pilotes ayudan a aumentar la resistencia al corte en ciertas superficies de deslizamiento. La operación puede ser el resultado de una estabilidad ya establecida, donde se conoce la superficie de deslizamiento, o bien de forma preventiva, se puede proyectar según hipotéticas superficies de rotura que responsablemente, se asumen como las más probables. En ambos casos, se opera considerando una masa de terreno en movimiento sobre un cúmulo estable en el cual se atesta la alineación de pilotes.
El terreno de ambas zonas tiene una influencia distinta sobre el elemento uniaxial (pilote): solicitaciones en la parte superior (pilote pasivo – terreno activo) y resistencia en la zona inferior (pilote activo – terreno pasivo). De esta interferencia, entre "barrera" y masa en movimiento derivan las acciones estabilizadoras, las cuales deben perseguir los siguientes objetivos:

1. conferir al talud un coeficiente de seguridad mayor del que posee;
2. ser absorbidas por la estructura garantizando su integridad (las tensiones internas, derivadas de las solicitaciones máximas transmitidas a las diferentes secciones de cada pilote, deben ser inferiores a las admisibles del suelo) y resultar inferiores a la carga última que soporta el terreno calculada, lateralmente considerando la iteración (pilote-terreno).

Carga última de la interacción entre los pilotes y el terreno lateral

En los tipos de terreno cuyo comportamiento no es de tipo homogéneo, las deformaciones en la zona de contacto no están relacionadas entre sí. Por lo tanto al no poder asociar el suelo a un modelo de comportamiento perfectamente elástico (hipótesis que se puede asumir con materiales rocosos poco fracturados), generalmente se procede suponiendo que el movimiento de masa se encuentre en su estado inicial y que el terreno adyacente a los pilotes esté en la fase máxima consentida de plastificación, más allá de la cual podría suceder que el material se deslice a través de la cortina de pilotes.



Estableciendo además que la carga absorbida por el terreno sea igual a la de la condición límite hipotética y que entre dos pilotes consecutivos, como consecuencia del empuje activo, se instaure una especie de efecto arco, los autores T. Ito y T. Matsui (1975) obtuvieron la relación que permite determinar la carga última. Esto se logra refiriéndose al esquema estático diseñado en la figura anterior y a las hipótesis citadas.

- Bajo la acción del empuje activo del terreno se forman dos superficies de deslizamiento localizadas en las líneas AEB y A'E'B
- Las direcciones EB y E'B' forman los siguientes ángulos con el eje x:+(45 + φ/2) e –(45 + φ/2), respectivamente
- El volumen del terreno, comprendido en la zona delimitada por los vértices AEBB'E'A' tiene un comportamiento plástico, y por lo tanto se puede aplicar el criterio de ruptura de Mohr-coulomb
- La presión activa del terreno actúa en el plano A-A';
- Los pilotes poseen una elevada rigidez a flexión y corte.

Dicha expresión, referida a la profundidad genérica Z, con respecto a un espesor de terreno unitario, es la siguiente:

$$P(Z) = C \cdot D_1 (D_1/D_2)^{k1} \left[1/\left(N_\varphi \tan\varphi \right) \left(e^{k2} - 2 \left(N_\varphi \right)^{1/2} \tan\varphi - 1 \right) + K3 \right] - C \left[D_1 \cdot K_3 - D_2 / \left(N_\varphi \right)^{1/2} \right] + \gamma Z / N_\varphi \left[D_1 (D_1/D_2)^{k1} \cdot e^{k2} - D_2 \right]$$

Donde:

C = cohesión terreno;

φ = ángulo de rozamiento terreno;

γ = peso específico terreno;

D_1 = intereje entre pilotes;

D_2 = espacio libre entre dos pilotes consecutivos;

$N_\varphi = \tan^2(\pi/4 + \varphi/2)$

$$K_1 = \left(N_\varphi \right)^{1/2} \tan\varphi + N_\varphi - 1$$

$$K_2 = \left(D_1 - D_2 \right) / D_2 \cdot N_\varphi \tan\left(\pi/8 + \varphi/4 \right)$$

$$K_3 = \left[2\tan\varphi + 2 \left(N_\varphi \right)^{1/2} + 1/\left(N_\varphi \right)^{1/2} \right] / \left[\left(N_\varphi \right)^{1/2} \tan\varphi + N_\varphi - 1 \right]$$

La fuerza total, con respecto a un estrato de terreno en movimiento de espesor H, se obtiene integrando la expresión anterior.

En presencia de terrenos granulosos (condición drenada), en los cuales se pueden asumir C = 0, la expresión se convierte en:

$$P = 1/2\,\gamma \cdot H^2 / N_\varphi \left[D_1 (D_1/D_2)^{k1} \cdot e^{k2} - D_2 \right]$$

Con terrenos cohesivos (condición no drenada), con φ = 0 y C ≠ 0, se tiene:

$$P(z) = C\left[D_1\left(3\ln\left(D_1/D_2\right) + \left(D_1 - D_2\right)/D_2 \operatorname{tag} \pi/8\right) - 2\left(D_1 - D_2\right)\right] + \gamma \cdot Z\left(D_1 - D_2\right)$$

$$P = \int_0^H P(Z)dZ$$

$$P = C \cdot H\left[D_1\left(3\ln\left(D_1/D_2\right) + \left(D_1 - D_2\right)/D_2 \operatorname{tag} \pi/8\right) - 2\left(D_1 - D_2\right)\right] + 1/2\,\gamma H^2\left(D_1 - D_2\right)$$

El dimensionado de la cortina de pilotes que, como ya se ha mencionado, debe conferir al talud un incremento del coeficiente de seguridad y garantizar la integridad del mecanismo pilote-terreno, es bastante problemático. De hecho, dada la complejidad de la expresión de la carga P, que se ve influenciada por varios factores asociados sea a las características mecánicas del terreno que a la geometría de la estructura, no es fácil llegar a la solución más conveniente con una sola elaboración. Para alcanzar el objetivo es necesario realizar varios intentos con la finalidad de:

- Encontrar en el perfil topográfico del talud, una posición que pueda garantizar, en igualdad de condiciones, una mejor distribución de coeficientes de seguridad
- Determinar la colocación de los pilotes, caracterizada por la relación entre interejes y distancia entre los pilotes (D2/D1), que permite aprovechar al máximo la resistencia del complejo pilote-terreno. Por experiencia se ha comprobado que, excluyendo los casos límites (D_2 = 0 P→ ∞ e $D_2 = D_1$ P→ valor mínimo), los valores más adecuados son aquellos para los cuales tal relación está comprendida entre 0,60 y 0,80;
- Evaluar la posibilidad de introducir más filas de pilotes y, en caso afirmativo, evaluar para las filas sucesivas, la posición que da más garantías en términos de seguridad y de ahorro de materiales;
- Adoptar el tipo de vínculo adecuado para obtener una distribución más regular de las solicitaciones. Por experiencia se ha constatado que el que alcanza mejor dicho objetivo es el vínculo que impide la rotación de la cabeza del pilote.

Método de la carga última de Broms

En caso de que la carga del pilote sea ortogonal al eje, configuración que se da cuando un pilote impide el movimiento de una masa en derrumbe, la resistencia puede quedar a cargo de su carga última horizontal.
Broms analiza el problema de cálculo de la carga última horizontal tanto para medios cohesivos como no cohesivos. Su método de cálculo se basa en algunas hipótesis simplificadoras con respecto a la reacción que ejerce el terreno por unidad de longitud de pilote en condiciones límite y también toma en cuenta la resistencia a la rotura del pilote (Momento de plastificación).
Con este método se puede hacer frente a varios casos:

- Medio puramente cohesivo, pilote libre de rotar en la cabeza;
    - Mecanismo de pilote corto;
    - Mecanismo de pilote largo;
- Medio puramente cohesivo, pilote con restricción para rotar en la cabeza;

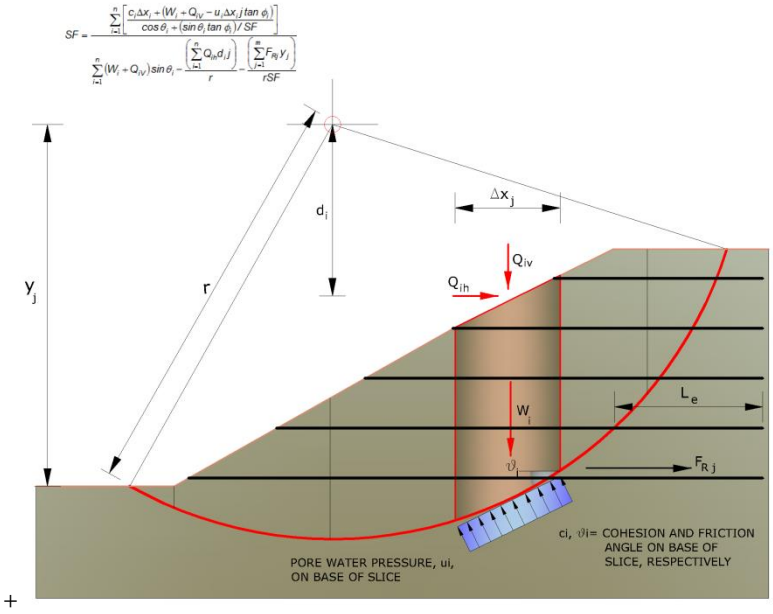
- Mecanismo de pilote corto;
- Mecanismo de pilote intermedio;
- Mecanismo de pilote largo;

- Medio sin cohesión, pilote con restricción para rotar en la cabeza;
  - Mecanismo de pilote corto;
  - Mecanismo de pilote largo;
- Medio sin cohesión, pilote libre de rotar en la cabeza;
  - Mecanismo de pilote corto;
  - Mecanismo de pilote intermedio;
  - Mecanismo de pilote largo.

Elementos de Refuerzo

Los refuerzos son elementos horizontales y su aplicación aumenta la resistencia del terreno al desplazamiento.
Si el elemento de refuerzo interseca la superficie de desplazamiento, entonces la fuerza de resistencia que proporciona entra en la ecuación de equilibrio de cada rebanada; en caso contrario el elemento de refuerzo no tiene influencia alguna en la estabilidad.

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{c_i \Delta x_i + (W_i + Q_{iv} - u_i \Delta x_i \tan\phi_i)}{\cos\theta_i + (\sin\theta_i \tan\phi_i)/SF}\right]}{\sum_{i=1}^{n}(W_i + Q_{iv})\sin\theta_i - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} Q_{ih} d_i\right)}{r} - \frac{\left[\sum_{j=1}^{m} F_{Rj} y_j\right]}{rSF}}$$



Las comprobaciones internas tienen como objetivo estimar el nivel de estabilidad del terreno reforzado; los cálculos permiten la verificación de la rotura del elemento de refuerzo por tracción y la verificación del arrancamiento (*Pullout*).
El parámetro que suministra la resistencia a tracción del refuerzo, T_{Allow}, se calcula partiendo de la resistencia nominal del material con el que ha sido realizado el mismo, reducido con coeficientes adecuados que tengan en cuenta la agresividad del terreno, el daño por efecto creep y el daño por instalación.
El otro parámetro es la resistencia a la extracción (*Pullout*) que se calcula mediante la siguiente relación:

$$T_{Pullout} = 2 \cdot Le \cdot \sigma'_v \cdot f_b \cdot tan(\delta)$$

Para geosintéticos no tejidos:

$$f_b = \frac{tan(\delta)}{tan(\varphi)}$$

Donde:

δ	Representa el ángulo de rozamiento entre el terreno y el refuerzo;
$T_{Pullout}$	Resistencia que moviliza un refuerzo anclado en una longitud L_e al interior de la parte estable del terreno;
L_e	Longitud de anclaje del refuerzo al interior de la parte estable;
f_b	Coeficiente de *Pullout*;
σ'_v	Tensión vertical, calculada a la profundidad media del tramo de refuerzo anclado al terreno.

A efectos de la comprobación, se elige el valor mínimo entre T_{Allow} y $T_{Pullout}$, la verificación interna se satisface si la fuerza que transmite el refuerzo generada en la parte posterior del tramo reforzado no supera el valor de la T'.

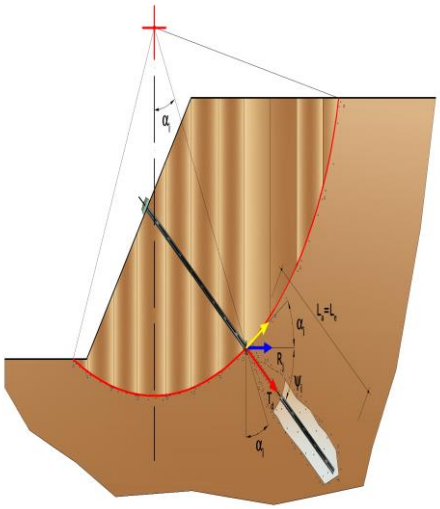
Anclajes

Los anclajes, tirantes o clavos, son elementos estructurales capaces de sostener fuerzas de tracción gracias a una adecuada conexión con el suelo.

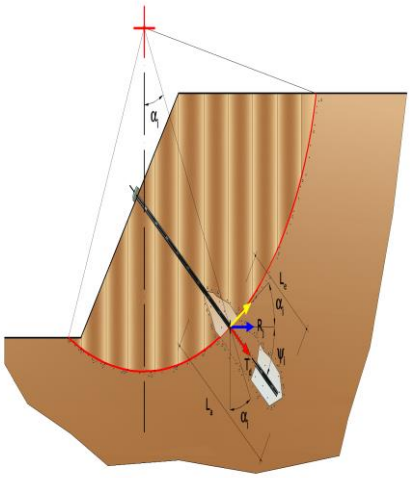
Los elementos que caracterizan un anclaje son:

- **cabeza:** indica el conjunto de elementos cuya función es transmitir la fuerza de tracción del anclaje a la estructura;
- **cimentación**: indica la parte del anclaje que realiza la conexión con el suelo, transmitiendo al mismo la fuerza de tracción del anclaje.

El tramo comprendido entre la cabeza y la cimentación toma el nombre de zona libre, mientras que la cimentación (o bulbo) se realiza inyectando en un tramo del terreno, mediante válvulas, el mortero o la lechada de cemento.
El interior del anclaje está constituido por una armadura realizada con barras, hilos o cable trenzado.
Los anclajes intervienen en la estabilidad con mayor o menor eficacia dependiendo de si están parcial (interceptados por la superficie de deslizamiento) o totalmente anclados a la parte estable del terreno.



Bulbo completamente anclado



Bulbo parcialmente anclado

Las fórmulas que expresan la medida de seguridad a lo largo de una supuesta superficie de deslizamiento se verán modificadas con la presencia de anclajes (activos, pasivos y clavos) de la siguiente manera:

- con anclajes *activos*, su presencia deduce de las acciones (denominador);

$$Fs = \frac{R_d}{E_d - \sum_{i,j} R_{i,j} \cdot \frac{1}{\cos\alpha_i}}$$

- con anclajes *pasivos y con clavos*, su contribución se suma a las resistencias (numerador)

$$Fs = \frac{R_d + \sum_{i,j} R_{i,j} \cdot \frac{1}{\cos\alpha_i}}{E_d}$$

Con R_j se indica la resistencia del anclaje y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$R_j = T_d \cdot \cos\Psi_i \cdot \left(\frac{1}{i}\right) \cdot \left(\frac{L_e}{L_a}\right)$$

donde:

T_d	resistencia de proyecto (TIRO?);
Ψ_i	inclinación del anclaje con respecto a la horizontal;
i	intereje;
Le	longitud eficaz;
La	longitud de anclaje.

Los dos índices (i, j) de la sumatoria representan, respectivamente, la i-ésima rebanada y el j-ésimo anclaje interceptado por la superficie de deslizamiento de la i-ésima rebanada.

Análisis de Estabilidad de Taludes con: JANBU (1967)

Cálculo realizado de acuerdo a	NTC 2008 & Circ.
Número de estratos	2.0
Número rebanadas	30.0
Grado de seguridad aceptable	1.5
Coeficiente parcial resistencia	1.0
Análisis	Condición drenada

Superficie circular

Malla centros

Abscisa vértice izquierdo inferior xi	-1.71 m
Ordenada vértice izquierdo inferior yi	1230.25 m
Abscisa vértice derecho superior xs	14.61 m
Ordenada vértice derecho superior ys	1244.82 m
Intervalo de búsqueda	10.0
Número de celdas en x	20.0
Número de celdas en y	20.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:
Classe d'uso:
Vita nominale: 0.0 [anni]
Vita di riferimento: 0.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:
Categoria topografica:

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	0.0	0.0	0.0	0.0
S.L.D.	0.0	0.0	0.0	0.0
S.L.V.	0.0	0.0	0.0	0.0
S.L.C.	0.0	0.0	0.0	0.0

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]

S.L.O.	0.0	0.0	0.0	0.0
S.L.D.	0.0	0.0	0.0	0.0
S.L.V.	0.0	0.0	0.0	0.0
S.L.C.	0.0	0.0	0.0	0.0

Coeficiente sísmico horizontal 0.18

Vértices perfil

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	1224.84
2	0.83	1225.01
3	1.24	1225.01
4	1.54	1225.01
5	2.59	1226.49
6	2.73	1227.15
7	3.43	1227.25
8	4.46	1228.03
9	5.95	1228.53
10	7.69	1229.39
11	8.79	1229.89
12	10.22	1230.71
13	12.4	1231.6
14	12.98	1232.06
15	15.68	1232.71
16	17.36	1233.58
17	18.85	1234.25
18	19.6	1234.35
19	24.3	1234.5
20	24.3	1234.5

Nivel freático

Nr.	X (m)	y (m)
1	0.03	1222.84
2	0.91	1222.85
3	1.6	1222.9
4	2.86	1223.03
5	3.95	1223.23
6	5.11	1223.5
7	6.52	1223.91
8	7.44	1224.2
9	9.05	1224.64
10	10.85	1225.11
11	13.4	1225.58
12	16.38	1226.3
13	18.23	1226.62

14	19.91	1226.95
15	20.81	1227.09
16	25.46	1227.44

Vértices estrato…....1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	1224.36
2	0.0	1224.36
3	0.83	1224.37
4	1.54	1224.42
5	2.73	1224.41
6	3.43	1224.51
7	4.46	1224.92
8	5.95	1225.35
9	6.82	1225.62
10	8.53	1226.21
11	10.47	1226.6
12	12.98	1227.06
13	15.68	1227.71
14	17.36	1228.58
15	18.85	1229.25
16	19.6	1229.87
17	24.3	1233.21
18	24.3	1233.21

Coeficientes de acciones parciales

Desventajas: permanente, variable	1.0	1.0
Favorable: permanente, variable	1.0	1.0

Coeficientes parciales parámetros geotécnicos del terreno

Tangente ángulo de resistencia al corte	1.25
Cohesión efectiva	1.25
Cohesión no drenada	1.4
Reducción parámetros geotécnicos terreno	No

Estratigrafía

Estrato	Cohesión (kN/m²)	Cohesión no drenada (kN/m²)	Ángulo de resitencia al corte (°)	Peso específico (kN/m³)	Peso saturado (kN/m³)	Litología	
1	4.5	245.17	20	19.61	21.57	Argilla o argilla limosa	

						media	
2	10	39.4	28.7	17	19		

Resultados análisis talud [NTC 2008 & Circ.]

==========

Fs mínimo encontrado	0.75
Abscisa centro superficie	4.0 m
Ordenada centro superficie	1236.08 m
Radio superficie	10.8 m

==========

xc = 4.004 yc = 1236.075 Rc = 10.798 Fs=0.754

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m²)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	0.41	-11.3	0.4	2.65	0.48	0.0	4.5	20.0	0.0	3.5	4.3
2	0.3	-7.8	0.3	5.16	0.93	0.0	4.5	20.0	0.0	5.8	4.6
3	0.14	-7.0	0.1	4.09	0.74	0.0	4.5	20.0	0.0	4.5	3.0
4	0.7	-5.2	0.7	25.81	4.65	0.0	4.5	20.0	0.0	27.5	17.5
5	0.5	-1.3	0.5	20.97	3.77	0.0	4.5	20.0	0.0	21.3	13.2
6	0.53	0.6	0.5	26.73	4.81	0.0	4.5	20.0	0.0	26.6	16.0
7	0.28	3.5	0.3	15.41	2.77	0.0	4.5	20.0	0.0	14.9	8.9
8	0.41	4.9	0.4	23.03	4.15	0.0	4.5	20.0	0.0	22.0	13.1
9	0.41	7.3	0.4	23.78	4.28	0.0	4.5	20.0	0.0	22.3	13.3
10	0.39	9.5	0.4	23.11	4.16	0.0	4.5	20.0	0.0	21.3	12.8
11	0.43	11.7	0.4	26.47	4.77	0.0	4.5	20.0	0.0	24.1	14.5
12	0.41	13.9	0.4	26.05	4.69	0.0	4.5	20.0	0.0	23.4	14.2
13	0.41	15.7	0.4	26.79	4.82	0.0	4.5	20.0	0.0	23.9	14.6
14	0.5	18.3	0.5	33.57	6.04	0.0	4.5	20.0	0.0	29.6	18.3
15	0.32	21.3	0.3	21.62	3.89	0.0	4.5	20.0	0.0	18.9	11.9
16	0.41	22.6	0.4	27.98	5.04	0.0	4.5	20.0	0.0	24.3	15.6
17	0.37	25.7	0.4	25.54	4.6	0.0	4.5	20.0	0.0	22.0	14.5
18	0.44	27.2	0.5	30.52	5.49	0.0	4.5	20.0	0.0	26.3	17.6
19	0.41	30.6	0.5	28.14	5.07	0.0	4.5	20.0	0.0	24.1	16.8
20	0.58	33.4	0.7	39.58	7.12	0.0	4.5	20.0	0.0	33.9	24.5
21	0.24	35.7	0.3	16.05	2.89	0.0	4.5	20.0	0.0	13.7	10.3
22	0.41	37.8	0.5	26.55	4.78	0.0	4.5	20.0	0.0	22.7	17.7
23	0.41	41.4	0.5	25.19	4.53	0.0	4.5	20.0	0.0	21.6	18.2
24	0.41	43.3	0.6	23.54	4.24	0.0	4.5	20.0	0.0	20.1	17.9
25	0.41	47.2	0.6	21.57	3.88	0.0	4.5	20.0	0.0	18.3	18.3
26	0.31	49.7	0.5	14.87	2.68	0.0	4.5	20.0	0.0	12.5	13.8
27	0.58	53.5	1.0	24.6	4.43	0.0	4.5	20.0	0.0	20.3	26.2
28	0.33	57.9	0.6	11.6	2.09	0.0	4.5	20.0	0.0	9.0	15.2
29	0.41	62.2	0.9	9.75	1.75	0.0	4.5	20.0	0.0	5.7	17.1

30	0.41	67.1	1.0	3.75	0.67	0.0	4.5	20.0	0.0	-2.4	13.1

9/09/2024 10:25:20 p. m. Maria Ramirez B.

Índice

Datos generales .16
Vértices perfil .17
Nivel freático .18
Vértices estrato…....1 .18
Coeficientes de acciones parciales .19
Coeficientes parciales parámetros geotécnicos del terreno .19
Estratigrafía .19
Resultados análisis talud [NTC 2008 & Circ.] .19
Índice .21

ANÁLISIS ESTÁTICO
Relación de cálculo

Definición
Por talud se entiende una porción de vertiente natural cuyo perfil original ha sido modificado con intervenciones artificiales relevantes con respecto a la estabilidad. Por derrumbe se entiende una situación de inestabilidad que concierne vertientes naturales y comprende considerables espacios de terreno.

Introducción al análisis de estabilidad
Para resolver un problema de estabilidad es necesario tener en cuenta las ecuaciones de campo y los vínculos constitutivos. Las primeras tienen que ver con el equilibrio, mientras que los vínculos describen el comportamiento del terreno. Tales ecuaciones son particularmente complejas ya que los terrenos son sistemas multifase, que se pueden convertir en sistemas monofase solo en condiciones de terreno seco, o de análisis en condiciones drenadas.
En la mayor parte de los casos nos encontramos con suelos que además de saturados, son también bifase, lo que vuelve notoriamente complicado el análisis de las ecuaciones de equilibrio. Además es prácticamente imposible definir una ley constitutiva de validez general, ya que los terrenos presentan un comportamiento no-lineal y aún en caso de pequeñas deformaciones, son anisótropos y su comportamiento depende no solo del esfuerzo desviador, sino también del normal. Para enfrentar estas dificultades se introducen hipótesis que ayuden a simplificar:

1. Se usan leyes constitutivas simplificadas: modelo rígido perfectamente plástico. Se asume que la resistencia del suelo se expresa únicamente con los parámetros cohesión (c) y ángulo de rozamiento (φ), constantes para el terreno y característicos del estado plástico. Por tanto, se considera válido el criterio de rotura de Mohr-Coulomb.

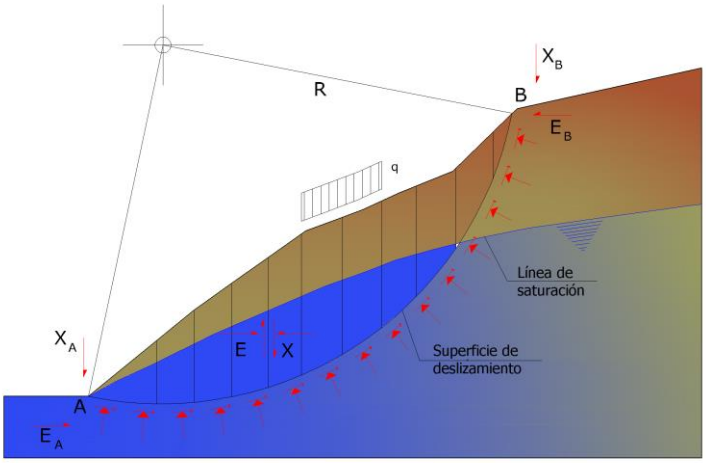
2. En algunos casos se satisfacen solo en parte las ecuaciones de equilibrio.

Método del equilibrio límite (LEM)

El método del equilibrio límite consiste en estudiar el equilibrio de un cuerpo rígido, constituido por el talud y por una superficie de deslizamiento de cualquier forma (línea recta, arco circular, espiral logarítmica). Con tal equilibrio se calculan las tensiones de corte (τ) y se comparan con la resistencia disponible (τ_f), calculada según el criterio de rotura de Coulomb: De tal comparación deriva la primera indicación de estabilidad, con el coeficiente de seguridad:

$$F = \tau_f / \tau$$

Entre los métodos del equilibrio último hay algunos que consideran el equilibrio global del cuerpo rígido (Culman) mientras que otros, por falta de homogeneidad, dividen el cuerpo en rebanadas y consideran el equilibrio de cada una (Fellenius, Bishop, Janbu, etc.).
A continuación se discuten los métodos del equilibrio último de las rebanadas.



Método de las rebanadas

La masa susceptible al deslizamiento se subdivide en un número conveniente de rebanadas. Si el número de rebanadas es igual a *n*, el problema presenta las siguientes incógnitas:

- n valores de las fuerzas normales N_i en la base de cada rebanada
- n valores de las fuerzas de corte en la base de la rebanada T
- (n-1) fuerzas normales E_i en la conexión de las rebanadas
- (n-1) fuerzas tangenciales X_i en la conexión de las rebanadas
- n valores de la coordenada del punto de aplicación de las E_i
- (n-1) valores de la coordenada del punto de aplicación de las X_i
- una incógnita constituida por el factor de seguridad F.

En total las incógnitas son (6n-2).
Mientras las ecuaciones a disposición son:

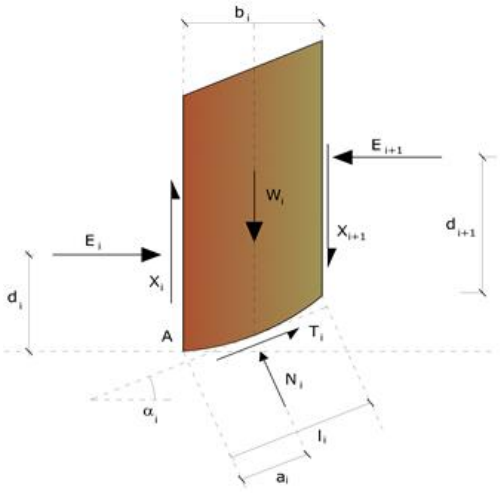
- ecuaciones de equilibrio de momentos n
- ecuaciones de equilibrio en la traslación vertical n
- ecuaciones de equilibrio en la traslación horizontal n
- ecuaciones del criterio de rotura n

Total número de ecuaciones 4n

El problema es estáticamente indeterminado y el grado de indeterminación es igual a:

$$i = (6n - 2) - (4n) = 2n - 2$$

El grado de indeterminación se reduce a (n-2). Al asumir que N_i se aplica en el punto medio de la franja, esto equivale a crear la hipótesis de que las tensiones normales totales están distribuidas uniformemente.
Los diferentes métodos que se basan en la teoría del equilibrio límite se diferencian por el modo en que se eliminan las (n-2) indeterminaciones.



Método de Fellenius (1927)

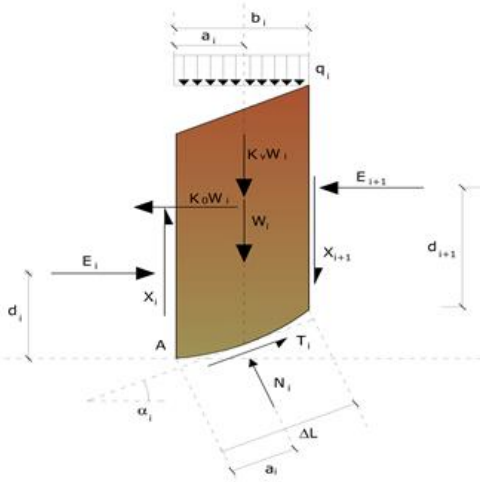
Con este método (válido solo para superficies de deslizamiento circulares) se pasan por alto las fuerzas entre las franjas, por lo tanto las incógnitas se reducen a:

- n valores de las fuerzas normales N_i;
- n valores de las fuerzas de corte T_i;
- 1 factor de seguridad.

Incógnitas (2n+1).

Las ecuaciones disponibles son:

- n ecuaciones de equilibrio traslación vertical;
- n ecuaciones del criterio de rotura;
- ecuación de equilibrio de momentos global.



$$F = \frac{\Sigma\{ c_i \times l_i + (W_i \times \cos\alpha_i - u_i \times l_i) \times \tan\varphi_i \}}{\Sigma W_i \times \sin\alpha_i}$$

Esta ecuación es fácil de resolver pero se ha visto que da resultados conservadores (factores de seguridad bajos) especialmente para superficies profundas.

Método de Bishop (1955)

Con este método se toman en cuenta todas las fuerzas actuantes en los bloques. Fue el primero en describir los problemas relacionados con los métodos convencionales.
Las ecuaciones usadas para resolver el problema son:

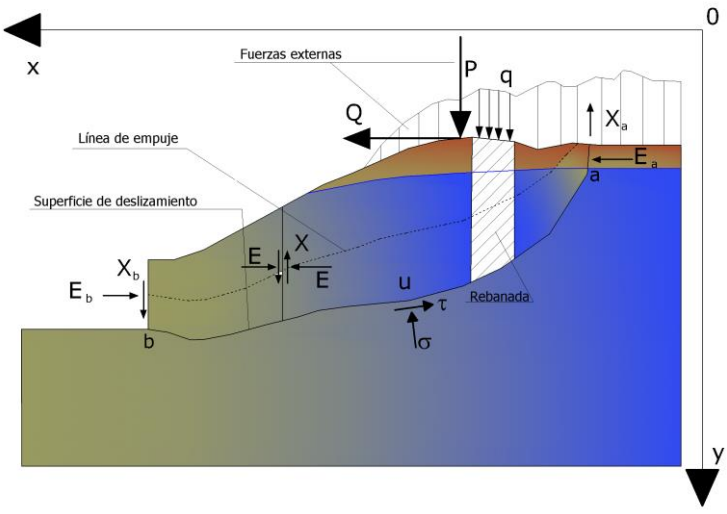
$$\sum F_y = 0, \quad \sum M_0 = 0 \qquad \text{Criterio de rotura}$$

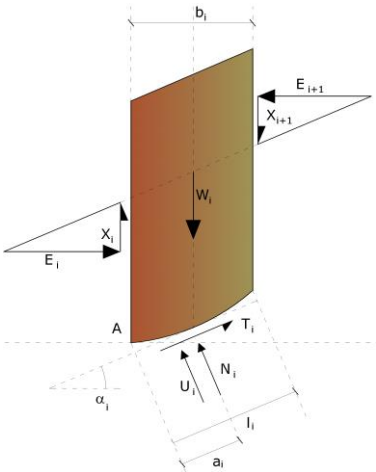
$$F = \frac{\Sigma\{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan\varphi_i\} \times \frac{\sec\alpha_i}{1 + \tan\alpha_i \times \tan\varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \sin\alpha_i}$$

Los valores de F y de ΔX que satisfacen esta ecuación dan una solución rigurosa al problema.
Como primer aproximación conviene plantear ΔX= 0 e iterar para el cálculo del factor de seguridad. Este procedimiento se conoce como método de **Bishop ordinario** y los errores con respecto al método completo son de alrededor de un 1 %.

Método de Janbu (1967)

Janbu extendió el método de Bishop a superficies de deslizamiento de cualquier forma.
Cuando se tratan superficies de deslizamiento de cualquier forma el brazo de las fuerzas cambia (en el caso de las superficies circulares queda constante e igual al radio), por este motivo es mejor valorar la ecuación del momento respecto al ángulo de cada bloque.





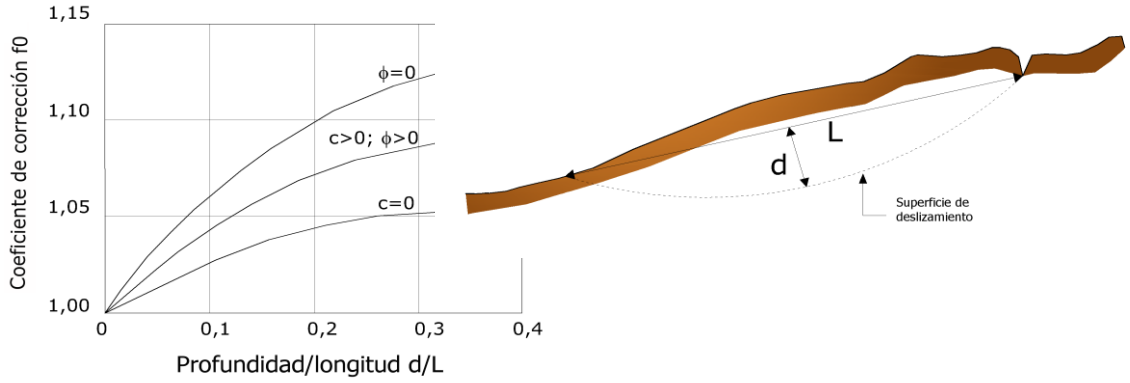
$$F = \frac{\Sigma\{c_i \times b + (W_i - u_i \times$$

Acciones en la i-ésima rebanada según las hipótesis de Janbu y representación de la totalidad de la masa

Asumiendo ΔX= 0 se obtiene el método ordinario.
Janbu propuso además un método para la corrección del factor de seguridad obtenido con el método ordinario según lo siguiente:

$$F_{corregido} = f_0 \cdot F$$

Donde f_0 depende de la geometría y de los parámetros geotécnicos y esto se puede encontrar en tablas y gráficos.
Esta corrección es muy confiable para taludes poco inclinados.



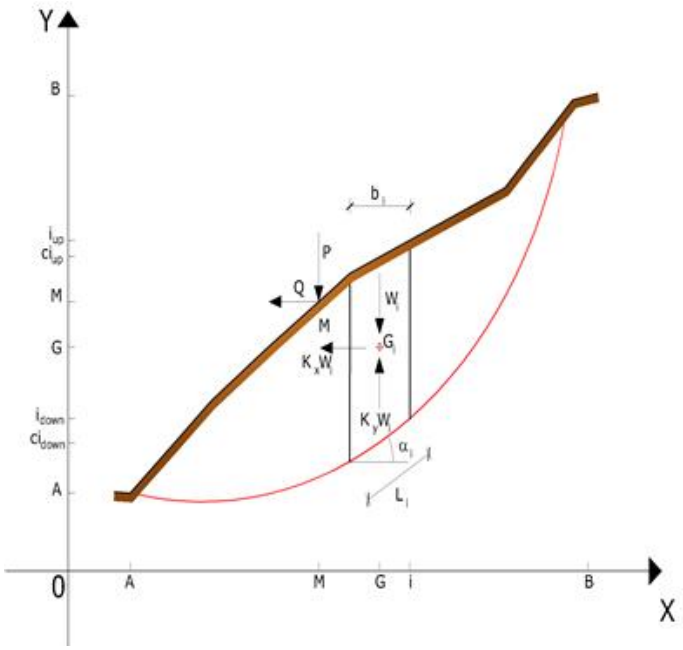
Método de Bell (1968)

Las fuerzas agentes sobre el cuerpo resbaladizo incluyen el peso efectivo del terreno, W, las fuerzas sísmicas pseudo estáticas horizontales y verticales $K_X W$ y $K_Z W$, las fuerzas horizontales y verticales X y Z aplicadas externamente al perfil del talud, en fin, el resultado de los esfuerzos totales normales y de corte, σ e τ agentes en la potencial superficie de deslizamiento.
El esfuerzo total normal puede incluir un exceso de presión de los poros u que se debe especificar con la introducción de los parámetros de fuerza eficaz.
Prácticamente este método se puede considerar como una extensión del método del círculo de rozamiento en secciones homogéneas anteriormente descrito por Taylor.
De acuerdo con la ley de la resistencia de Mohr-Coulomb en términos de tensión efectiva, la fuerza de corte agente en la base de la i-ésima rebanada está dada por:

$$T_i = \frac{c_i L_i + (N_i - u_{ci} L_i) \tan \Phi_i}{F}$$

Donde:

F = factor de seguridad;
c_i = cohesión eficaz (o total) en la base de la i-ésima rebanada;
ϕ_i = ángulo de rozamiento eficaz (= 0 con la cohesión total) en la base de la i-ésima rebanada;
L_i = longitud de la base de la i-ésima rebanada;
u_{ci} = presión de los poros en el centro de la base de la i-ésima rebanada.



El equilibrio se da igualando a cero la suma de las fuerzas horizontales, la suma de las fuerzas verticales y la suma de los momentos con respecto al origen.
Se adopta la siguiente asunción en la variación de la tensión normal agente en la potencial superficie de deslizamiento:

$$\sigma_{ci} = \left[C_1 (1 - K_z) \frac{W_i \cos \alpha_i}{L_i} \right] + C_2 f(x_{ci}, y_{ci}, z_{ci})$$

Donde el primer término de la ecuación incluye la expresión:

$$W_i \cos\alpha_i / L_i = \text{valor del esfuerzo normal total asociado al método ordinario de las rebanadas}$$

El segundo término de la ecuación incluye la función:

$$f = \sin 2\pi \left(\frac{x_n - x_{ci}}{x_n - x_0} \right)$$

Donde **x_0** y **x_n** son, respectivamente, las abscisas del primer y del último punto de la superficie de deslizamiento, mientras **x_{ci}** representa la abscisa del punto medio de la base de la i-ésima rebanada.
Una parte sensible de reducción del peso asociada a una aceleración vertical del terreno K_Z g se puede transmitir directamente a la base y esto se incluye en el factor (1 - K_Z).
El esfuerzo normal total en la base de una rebanada está dado por:

$$N_i = \sigma_{ci} L_i$$

La solución de las ecuaciones de equilibrio se consigue resolviendo un sistema lineal de tres ecuaciones, las cuales se obtienen multiplicando las ecuaciones de equilibrio por el factor de seguridad F, sustituyendo la expresión de N_i y multiplicando cada término de la cohesión por un coeficiente arbitrario C_3. Con el fin de iniciar una solución iterativa, se puede usar cualquier par de valores del factor de seguridad dentro de una estimación físicamente razonable.
El número necesario de iteraciones depende tanto de la estimación inicial como de la precisión deseada para la solución; normalmente el proceso converge rápidamente.

Método de Sarma (1973)

El método de Sarma es un simple pero esmerado método para el análisis de estabilidad de taludes que permite determinar la aceleración sísmica horizontal necesaria para que la masa de terreno, delimitada por la superficie de deslizamiento y por el perfil topográfico, alcance el estado de equilibrio límite (aceleración crítica K_C) y, al mismo tiempo, permite obtener el factor de seguridad obtenido como con los otros métodos comunes de la geotecnia.

Se trata de un método basado en el principio del equilibrio límite y de las franjas. Por lo tanto se considera el equilibrio de una masa potencial de terreno en deslizamiento subdividida en n franjas verticales de espesor suficientemente pequeño como para asumir que el esfuerzo normal N_i obra en el punto medio de la base de la franja.

Las ecuaciones a considerar son:

- La ecuación de equilibrio en la traslación horizontal de cada rebanada;
- La ecuación de equilibrio en la traslación vertical de cada rebanada;
- La ecuación de equilibrio de momentos.

Condiciones de equilibrio en la traslación horizontal y vertical:

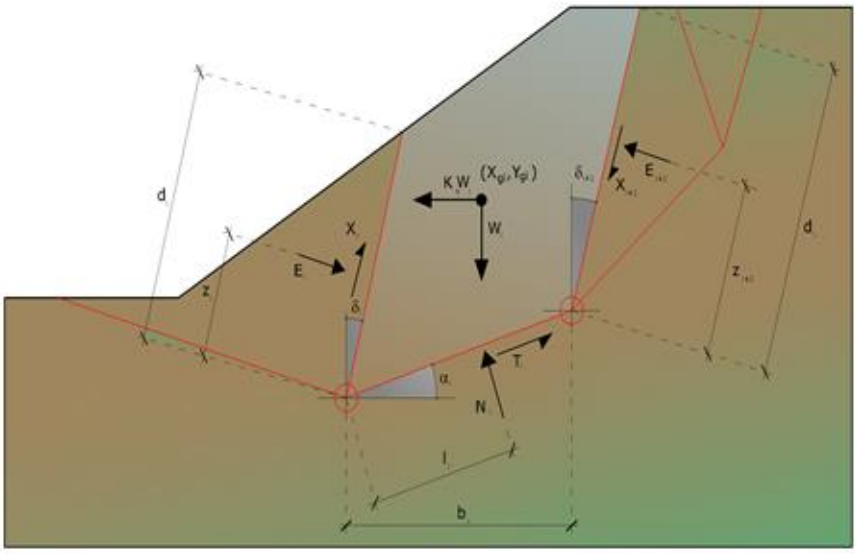
$$N_i \cos\alpha_i + T_i \sin\alpha_i = W_i - \Delta X_i$$
$$T_i \cos\alpha_i - N_i \sin\alpha_i = KW_i + \Delta E_i$$

Además se asume que en ausencia de fuerzas externas en la superficie libre se tiene:

$$\Sigma\Delta E_i = 0$$
$$\Sigma\Delta X_i = 0$$

Donde E_i y X_i representan, respectivamente, las fuerzas horizontales y verticales en la i-ésima cara de la rebanada genérica i.

La ecuación de equilibrio de momentos se escribe seleccionando como punto de referencia el baricentro del cúmulo; de manera que, después de haber efectuado una serie de posiciones y transformaciones trigonométricas y algebraicas, en el método de Sarma la solución del problema se obtiene resolviendo dos ecuaciones:



Acciones en la i-ésima rebanada, método de Sarma

$$\sum \Delta X_i \cdot tg\left(\psi'_i - \alpha_i\right) + \sum \Delta E_i = \sum \Delta_i - K \cdot \sum W_i$$

$$\sum \Delta X_i \cdot \left[\left(y_{mi} - y_G\right) \cdot tg\left(\psi'_i - \alpha'\right) + \left(x'_i - x_G\right)\right] = \sum W_i \cdot \left(x_{mi} - x_G\right) + \sum \Delta_i \cdot \left(y_{mi} - y_G\right)$$

Pero el enfoque de solución, en este caso, está completamente invertido: el problema en efecto requiere encontrar un valor de K (aceleración sísmica) correspondiente a un determinado factor de seguridad; y en particular, encontrar el valor de la aceleración K correspondiente al factor de seguridad F = 1, o sea la aceleración crítica.
Se tiene por lo tanto:

K=Kc **Aceleración crítica** si F=1
F=Fs **Factor de seguridad en condiciones estáticas** si K=0

La segunda parte del problema del Método de Sarma es encontrar una distribución de fuerzas internas X_i y E_i tal que permita verificar el equilibrio de la rebanada y el equilibrio global del macizo, sin violar el criterio de rotura.
Se ha encontrado que una solución aceptable al problema se puede obtener asumiendo la siguiente distribución de las fuerzas X_i:

$$\Delta X_i = \lambda \cdot \Delta Q_i = \lambda \cdot (Q_{i+1} - Q_i)$$

Donde Q_i es una función conocida, donde se toman en cuenta los parámetros geotécnicos promedio en la i-ésima cara de la rebanada i, y λ representa una incógnita.
La solución completa del problema se obtiene por lo tanto, después de algunas iteraciones, con los valores de K_C, λ y F, que permiten obtener también la distribución de las fuerzas entre las franjas.

Método de Spencer (1967)

El método se basa en el supuesto de que:

1. Las fuerzas de conexión a lo largo de las superficies de división de cada rebanada están orientadas paralelamente entre sí e inclinadas con respecto a la horizontal de un ángulo θ;
2. Todos los momentos son nulos $M_i = 0$ i=1…..n.

Básicamente el método satisface todas las ecuaciones de la estática y equivale al método de Morgenstern y Price cuando la función f(x) = 1.

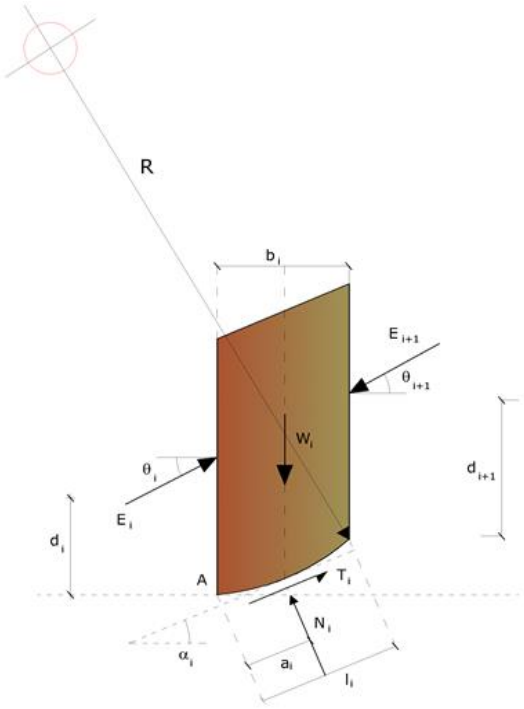
Imponiendo el equilibrio de momentos respecto al centro del arco descrito por la superficie de deslizamiento se tiene:

$$1) \qquad \sum Q_i R \cos(\alpha - \theta) = 0$$

Donde:

$$Q_i = \frac{\frac{c}{F_s}(W\cos\alpha - \gamma_w hl \sec\alpha)\frac{tg\alpha}{F_s} - W sen\alpha}{\cos(\alpha-\theta)\left[\frac{F_s + tg\varphi tg(\alpha-\theta)}{F_s}\right]}$$

fuerza de interacción entre las rebanadas;
R = radio del arco circular;
θ = ángulo de inclinación de la fuerza Q_i respecto a la horizontal.



Imponiendo el equilibrio de las fuerzas horizontales y verticales se obtiene respectivamente:

$$\sum (Q_i \cos\theta) = 0$$
$$\sum (Q_i sen\theta) = 0$$

Asumiendo las fuerzas Q_i paralelas entre sí, se puede también escribir:

$$2) \qquad \sum Q_i = 0$$

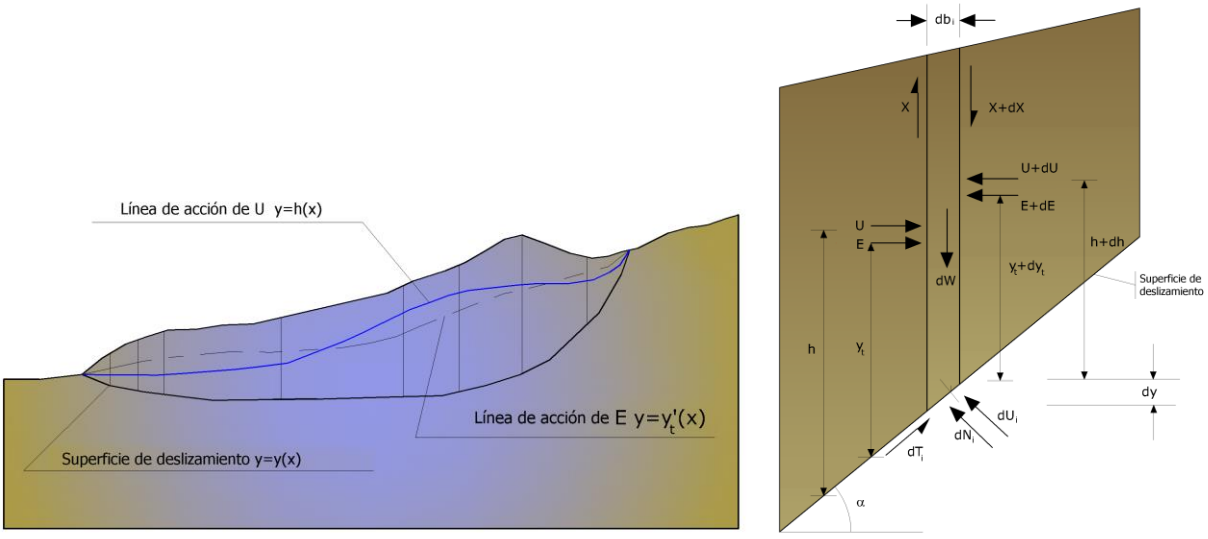
El método propone el cálculo de dos coeficientes de seguridad: el primero (F_{sm}) se obtiene de 1), ligado al equilibrio de momentos; el segundo (F_{sf}) de 2) ligado al equilibrio de fuerzas. En práctica se procede resolviendo la 1) y la 2) para un intervalo dado de valores del ángulo θ, considerando como valor único del coeficiente de seguridad aquel para el cual se obtiene:

$$F_{sm} = F_{sf}$$

Método de Morgenstern y Price (1965)

Se establece una relación entre los componentes de las fuerzas de interconexión de tipo $X = \lambda f(x)E$, donde λ es un factor de escala y f(x) es la función de la posición de E y de X que define una relación entre las variaciones de la fuerza X y de la fuerza E dentro la masa deslizante. La función f(x) se escoge arbitrariamente (constante, sinusoide, semisinusoide, trapecio, fraccionada) e influye poco sobre el resultado, pero se debe verificar que los valores obtenidos de las incógnitas sean físicamente aceptables.
La particularidad del método es que la masa se subdivide en franjas infinitesimales, a las cuales se aplican las ecuaciones de equilibrio en la traslación horizontal y vertical y de rotura en la base de las franjas. Se llega a una primer ecuación diferencial que une las fuerzas de conexión incógnitas E, X, el coeficiente de seguridad Fs, el peso de la franja infinitésima dW y el resultado de las presiones neutras en la base dU.
Se obtiene la llamada "**ecuación de las fuerzas**":

$$c'\sec^2\frac{\alpha}{F_s} + tg\varphi'\left(\frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} - tg\alpha\frac{dE}{dx} - \sec\alpha\frac{dU}{dx}\right) = \\ = \frac{dE}{dx} - tg\alpha\left(\frac{dX}{dx} - \frac{dW}{dx}\right)$$



Acciones en la i-ésima rebanada según las hipótesis de Mongester y Price y representación del conjunto

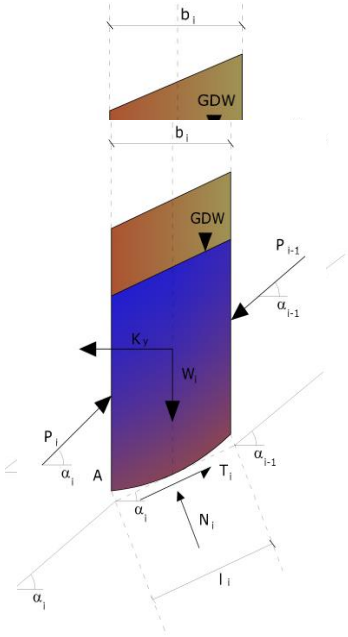
Una segunda ecuación, llamada "**ecuación de los momentos**", se escribe imponiendo la condición de equilibrio a la rotación respecto a la base:

$$X = \frac{d\left(E_\gamma\right)}{dx} - \gamma \frac{dE}{dx}$$

Estas dos ecuaciones se extienden por integración a toda la masa deslizante.
El método de cálculo satisface todas las ecuaciones de equilibrio y se aplica a superficies de cualquier forma, pero implica necesariamente el uso de un ordenador.

Método de Zeng y Liang (2002)

Con Zeng y Liang se efectuaron una serie de análisis paramétricos en un modelo bidimensional, desarrollado según los elementos finitos, que recrea el caso de pilotes en un terreno en movimiento (drilled shafts). El modelo bidimensional reproduce una franja de terreno de espesor 1 y supone che el fenómeno se de en condiciones de deformación plana en dirección paralela al eje de los pilotes.
Dicho modelo ha sido utilizado para investigar la influencia que tienen en la formación del efecto arco, algunos parámetros como el intereje entre pilotes, el diámetro y la forma de los mismos y las propiedades mecánicas del suelo. En la relación entre interejes y el diámetro de los pilotes (s/d), los autores identifican el parámetro adimensional determinante en la formación del efecto arco.
El problema resulta ser estáticamente indeterminado, con un grado de indeterminación igual a (8n-4), sin embargo es posible obtener una solución reduciendo el número de incógnitas y asumiendo hipótesis simplificadoras, con el fin de determinar el problema.
Los supuestos que determinan el problema son:



-Ky se asumen como horizontales con el fin de reducir el número total de incógnitas de (n-1) a (7n-3);
-Las fuerzas normales en la base de la banda actúan en el punto medio, reduciendo las incógnitas de n a (6n-3);
-La posición de los empujes laterales está a un tercio de la altura promedio de la inter rebanada y reduce las incógnitas de (n-1) a (5n-2);
-Las fuerzas (Pi-1) y Pi se asumen como paralelas a la inclinación de la base de la franja (ai), reduciendo el número de incógnitas de (n-1) a (4n-1);
-Se asume un único límite elástico para todas las franjas, reduciendo las incógnitas de (n) a (3n-1).

El número total de incógnitas se reduce por lo tanto a (3n) y para calcularlas se usa el factor de transferencia de carga. Además se debe tener en cuenta que la fuerza de estabilización transmitida al terreno en el lado externo de los pilotes se reduce en una cantidad R, llamado factor de reducción, calculado como a continuación:

$$R = \frac{1}{s/d} + \left(1 - \frac{1}{s/d}\right) \cdot R_p$$

El factor R depende por lo tanto del cociente entre el intereje de los pilotes y el diámetro de los mismos y del factor Rp que toma en cuenta el efecto arco.

Estimación de la acción sísmica

Para verificar la estabilidad de taludes con acción sísmica se usa el método pseudo-estático. Para terrenos que con una carga cíclica puedan desarrollar presiones intersticiales elevadas, se considera un aumento porcentual de las presiones neutras que toma en cuenta este factor de pérdida de resistencia.
Para evaluar la acción sísmica se consideran las siguientes fuerzas:

$$F_H = K_x W$$
$$F_V = K_y W$$

Donde:

- $\mathbf{F_H}$ y $\mathbf{F_V}$ son, respectivamente, el componente horizontal y vertical la fuerza de inercia aplicada al baricentro de la rebanada;
- **W** peso de la rebanada;
- $\mathbf{K_x}$ coeficiente sísmico horizontal;
- $\mathbf{K_y}$ coeficiente sísmico vertical.

Búsqueda de la superficie de deslizamiento crítica

En presencia de suelos homogéneos no se dispone de métodos para individuar la superficie de deslizamiento crítica y se debe examinar un elevado número de superficies potenciales.
En caso de superficies de forma circular la búsqueda se hace más sencilla, ya que después de haber colocado una malla centros de m líneas y n columnas, se examinan todas las superficies cuyo centro sea el nudo genérico de la malla m×n con radio variable dentro un determinado rango de valores, de forma tal que se examinan superficies cinemáticamente admisibles.

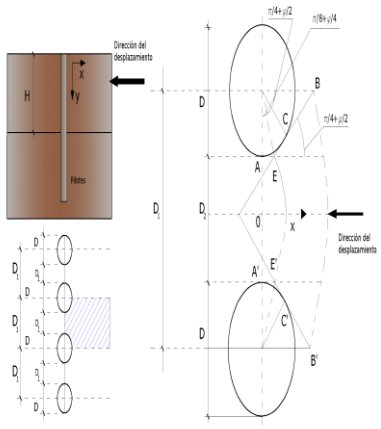
Estabilidad de taludes utilizando pilotes

Los pilotes ayudan a aumentar la resistencia al corte en ciertas superficies de deslizamiento. La operación puede ser el resultado de una estabilidad ya establecida, donde se conoce la superficie de deslizamiento, o bien de forma preventiva, se puede proyectar según hipotéticas superficies de rotura que responsablemente, se asumen como las más probables. En ambos casos, se opera considerando una masa de terreno en movimiento sobre un cúmulo estable en el cual se atesta la alineación de pilotes.
El terreno de ambas zonas tiene una influencia distinta sobre el elemento uniaxial (pilote): solicitaciones en la parte superior (pilote pasivo – terreno activo) y resistencia en la zona inferior (pilote activo – terreno pasivo). De esta interferencia, entre "barrera" y masa en movimiento derivan las acciones estabilizadoras, las cuales deben perseguir los siguientes objetivos:

1. conferir al talud un coeficiente de seguridad mayor del que posee;
2. ser absorbidas por la estructura garantizando su integridad (las tensiones internas, derivadas de las solicitaciones máximas transmitidas a las diferentes secciones de cada pilote, deben ser inferiores a las admisibles del suelo) y resultar inferiores a la carga última que soporta el terreno calculada, lateralmente considerando la iteración (pilote-terreno).

Carga última de la interacción entre los pilotes y el terreno lateral

En los tipos de terreno cuyo comportamiento no es de tipo homogéneo, las deformaciones en la zona de contacto no están relacionadas entre sí. Por lo tanto al no poder asociar el suelo a un modelo de comportamiento perfectamente elástico (hipótesis que se puede asumir con materiales rocosos poco fracturados), generalmente se procede suponiendo que el movimiento de masa se encuentre en su estado inicial y que el terreno adyacente a los pilotes esté en la fase máxima consentida de plastificación, más allá de la cual podría suceder que el material se deslice a través de la cortina de pilotes.



Estableciendo además que la carga absorbida por el terreno sea igual a la de la condición límite hipotética y que entre dos pilotes consecutivos, como consecuencia del empuje activo, se instaure una especie de efecto arco, los autores T. Ito y T. Matsui (1975) obtuvieron la relación que permite determinar la carga última. Esto se logra refiriéndose al esquema estático diseñado en la figura anterior y a las hipótesis citadas.

- Bajo la acción del empuje activo del terreno se forman dos superficies de deslizamiento localizadas en las líneas AEB y A'E'B
- Las direcciones EB y E'B' forman los siguientes ángulos con el eje x:+(45 + φ/2) e –(45 + φ/2), respectivamente
- El volumen del terreno, comprendido en la zona delimitada por los vértices AEBB'E'A' tiene un comportamiento plástico, y por lo tanto se puede aplicar el criterio de ruptura de Mohr-coulomb
- La presión activa del terreno actúa en el plano A-A';
- Los pilotes poseen una elevada rigidez a flexión y corte.

Dicha expresión, referida a la profundidad genérica Z, con respecto a un espesor de terreno unitario, es la siguiente:

$$P(Z) = C \cdot D_1 (D_1/D_2)^{k1} \left[1/\left(N_\varphi \tan\varphi \right) \left(e^{k2} - 2 (N_\varphi)^{1/2} \tan\varphi - 1 \right) + K3 \right] - C \left[D_1 \cdot K_3 - D_2 / (N_\varphi)^{1/2} \right] + \gamma Z / N_\varphi \left[D_1 (D_1/D_2)^{k1} \cdot e^{k2} - D_2 \right]$$

Donde:

C = cohesión terreno;

φ = ángulo de rozamiento terreno;

γ = peso específico terreno;

D_1 = intereje entre pilotes;

D_2 = espacio libre entre dos pilotes consecutivos;

$N_\varphi = \tan^2(\pi/4 + \varphi/2)$

$$K_1 = (N_\varphi)^{1/2} \tan\varphi + N_\varphi - 1$$

$$K_2 = (D_1 - D_2)/D_2 \cdot N_\varphi \tan(\pi/8 + \varphi/4)$$

$$K_3 = \left[2\tan\varphi + 2(N_\varphi)^{1/2} + 1/(N_\varphi)^{1/2} \right] / \left[(N_\varphi)^{1/2} \tan\varphi + N_\varphi - 1 \right]$$

La fuerza total, con respecto a un estrato de terreno en movimiento de espesor H, se obtiene integrando la expresión anterior.

En presencia de terrenos granulosos (condición drenada), en los cuales se pueden asumir C = 0, la expresión se convierte en:

$$P = 1/2\,\gamma \cdot H^2 \Big/ N_\varphi \left[D_1 (D_1/D_2)^{k1} \cdot e^{k2} - D_2 \right]$$

Con terrenos cohesivos (condición no drenada), con φ = 0 y C ≠ 0, se tiene:

$$P(z) = C\left[D_1\left(3\ln\left(D_1/D_2\right) + \left(D_1 - D_2\right)/D_2 \operatorname{tag} \pi/8\right) - 2\left(D_1 - D_2\right)\right] + \gamma \cdot Z\left(D_1 - D_2\right)$$

$$P = \int_0^H P(Z)dZ$$

$$P = C \cdot H\left[D_1\left(3\ln\left(D_1/D_2\right) + \left(D_1 - D_2\right)/D_2 \operatorname{tag} \pi/8\right) - 2\left(D_1 - D_2\right)\right] + 1/2\,\gamma H^2\left(D_1 - D_2\right)$$

El dimensionado de la cortina de pilotes que, como ya se ha mencionado, debe conferir al talud un incremento del coeficiente de seguridad y garantizar la integridad del mecanismo pilote-terreno, es bastante problemático. De hecho, dada la complejidad de la expresión de la carga P, que se ve influenciada por varios factores asociados sea a las características mecánicas del terreno que a la geometría de la estructura, no es fácil llegar a la solución más conveniente con una sola elaboración. Para alcanzar el objetivo es necesario realizar varios intentos con la finalidad de:

- Encontrar en el perfil topográfico del talud, una posición que pueda garantizar, en igualdad de condiciones, una mejor distribución de coeficientes de seguridad
- Determinar la colocación de los pilotes, caracterizada por la relación entre interejes y distancia entre los pilotes (D2/D1), que permite aprovechar al máximo la resistencia del complejo pilote-terreno. Por experiencia se ha comprobado que, excluyendo los casos límites (D_2 = 0 P→ ∞ e $D_2 = D_1$ P→ valor mínimo), los valores más adecuados son aquellos para los cuales tal relación está comprendida entre 0,60 y 0,80;
- Evaluar la posibilidad de introducir más filas de pilotes y, en caso afirmativo, evaluar para las filas sucesivas, la posición que da más garantías en términos de seguridad y de ahorro de materiales;
- Adoptar el tipo de vínculo adecuado para obtener una distribución más regular de las solicitaciones. Por experiencia se ha constatado que el que alcanza mejor dicho objetivo es el vínculo que impide la rotación de la cabeza del pilote.

Método de la carga última de Broms

En caso de que la carga del pilote sea ortogonal al eje, configuración que se da cuando un pilote impide el movimiento de una masa en derrumbe, la resistencia puede quedar a cargo de su carga última horizontal.
Broms analiza el problema de cálculo de la carga última horizontal tanto para medios cohesivos como no cohesivos. Su método de cálculo se basa en algunas hipótesis simplificadoras con respecto a la reacción que ejerce el terreno por unidad de longitud de pilote en condiciones límite y también toma en cuenta la resistencia a la rotura del pilote (Momento de plastificación).
Con este método se puede hacer frente a varios casos:

- Medio puramente cohesivo, pilote libre de rotar en la cabeza;
    - Mecanismo de pilote corto;
    - Mecanismo de pilote largo;
- Medio puramente cohesivo, pilote con restricción para rotar en la cabeza;

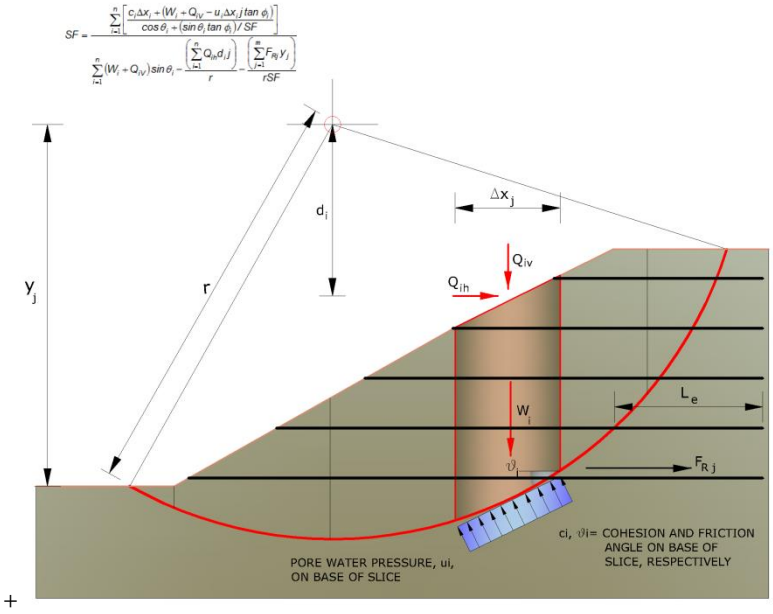
- Mecanismo de pilote corto;
- Mecanismo de pilote intermedio;
- Mecanismo de pilote largo;

- Medio sin cohesión, pilote con restricción para rotar en la cabeza;
  - Mecanismo de pilote corto;
  - Mecanismo de pilote largo;
- Medio sin cohesión, pilote libre de rotar en la cabeza;
  - Mecanismo de pilote corto;
  - Mecanismo de pilote intermedio;
  - Mecanismo de pilote largo.

Elementos de Refuerzo

Los refuerzos son elementos horizontales y su aplicación aumenta la resistencia del terreno al desplazamiento.
Si el elemento de refuerzo interseca la superficie de desplazamiento, entonces la fuerza de resistencia que proporciona entra en la ecuación de equilibrio de cada rebanada; en caso contrario el elemento de refuerzo no tiene influencia alguna en la estabilidad.

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{c_i \Delta x_i + (W_i + Q_{iv} - u_i \Delta x_i \tan\phi_i)}{\cos\theta_i + (\sin\theta_i \tan\phi_i)/SF}\right]}{\sum_{i=1}^{n}(W_i + Q_{iv})\sin\theta_i - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} Q_{ih} d_i\right)}{r} - \frac{\left[\sum_{j=1}^{m} F_{Rj} y_j\right]}{rSF}}$$



Las comprobaciones internas tienen como objetivo estimar el nivel de estabilidad del terreno reforzado; los cálculos permiten la verificación de la rotura del elemento de refuerzo por tracción y la verificación del arrancamiento (*Pullout*).
El parámetro que suministra la resistencia a tracción del refuerzo, T_{Allow}, se calcula partiendo de la resistencia nominal del material con el que ha sido realizado el mismo, reducido con coeficientes adecuados que tengan en cuenta la agresividad del terreno, el daño por efecto creep y el daño por instalación.
El otro parámetro es la resistencia a la extracción (*Pullout*) que se calcula mediante la siguiente relación:

$$T_{Pullout} = 2 \cdot Le \cdot \sigma'_v \cdot f_b \cdot tan(\delta)$$

Para geosintéticos no tejidos:

$$f_b = \frac{tan(\delta)}{tan(\varphi)}$$

Donde:

δ	Representa el ángulo de rozamiento entre el terreno y el refuerzo;
$T_{Pullout}$	Resistencia que moviliza un refuerzo anclado en una longitud L_e al interior de la parte estable del terreno;
L_e	Longitud de anclaje del refuerzo al interior de la parte estable;
f_b	Coeficiente de *Pullout*;
σ'_v	Tensión vertical, calculada a la profundidad media del tramo de refuerzo anclado al terreno.

A efectos de la comprobación, se elige el valor mínimo entre T_{Allow} y $T_{Pullout}$, la verificación interna se satisface si la fuerza que transmite el refuerzo generada en la parte posterior del tramo reforzado no supera el valor de la T'.

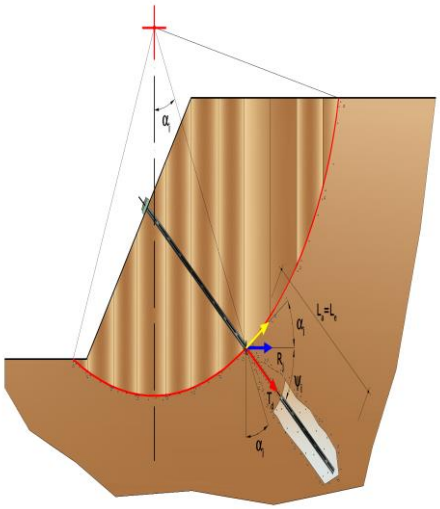
Anclajes

Los anclajes, tirantes o clavos, son elementos estructurales capaces de sostener fuerzas de tracción gracias a una adecuada conexión con el suelo.

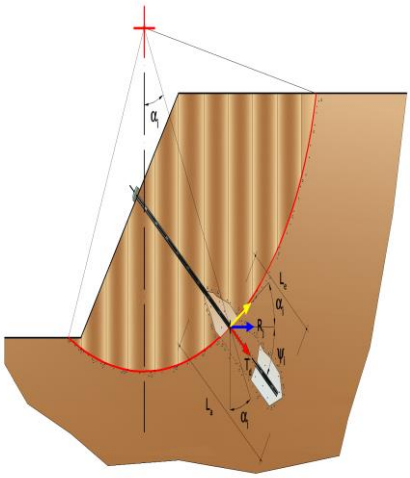
Los elementos que caracterizan un anclaje son:

- **cabeza:** indica el conjunto de elementos cuya función es transmitir la fuerza de tracción del anclaje a la estructura;
- **cimentación**: indica la parte del anclaje que realiza la conexión con el suelo, transmitiendo al mismo la fuerza de tracción del anclaje.

El tramo comprendido entre la cabeza y la cimentación toma el nombre de zona libre, mientras que la cimentación (o bulbo) se realiza inyectando en un tramo del terreno, mediante válvulas, el mortero o la lechada de cemento.
El interior del anclaje está constituido por una armadura realizada con barras, hilos o cable trenzado.
Los anclajes intervienen en la estabilidad con mayor o menor eficacia dependiendo de si están parcial (interceptados por la superficie de deslizamiento) o totalmente anclados a la parte estable del terreno.



Bulbo completamente anclado



Bulbo parcialmente anclado

Las fórmulas que expresan la medida de seguridad a lo largo de una supuesta superficie de deslizamiento se verán modificadas con la presencia de anclajes (activos, pasivos y clavos) de la siguiente manera:

- con anclajes *activos*, su presencia deduce de las acciones (denominador);

$$Fs = \frac{R_d}{E_d - \sum_{i,j} R_{i,j} \cdot \frac{1}{\cos\alpha_i}}$$

- con anclajes *pasivos y con clavos*, su contribución se suma a las resistencias (numerador)

$$Fs = \frac{R_d + \sum_{i,j} R_{i,j} \cdot \frac{1}{\cos\alpha_i}}{E_d}$$

Con R_j se indica la resistencia del anclaje y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$R_j = T_d \cdot \cos\Psi_i \cdot \left(\frac{1}{i}\right) \cdot \left(\frac{L_e}{L_a}\right)$$

donde:

T_d	resistencia de proyecto (TIRO?);
Ψ_i	inclinación del anclaje con respecto a la horizontal;
i	intereje;
Le	longitud eficaz;
La	longitud de anclaje.

Los dos índices (i, j) de la sumatoria representan, respectivamente, la i-ésima rebanada y el j-ésimo anclaje interceptado por la superficie de deslizamiento de la i-ésima rebanada.

Análisis de Estabilidad de Taludes con: JANBU (1967)

Cálculo realizado de acuerdo a	NTC 2008 & Circ.
Número de estratos	2.0
Número rebanadas	30.0
Grado de seguridad aceptable	1.5
Coeficiente parcial resistencia	1.0
Análisis	Condición drenada

Superficie circular

Malla centros

Abscisa vértice izquierdo inferior xi	-1.71 m
Ordenada vértice izquierdo inferior yi	1230.25 m
Abscisa vértice derecho superior xs	14.61 m
Ordenada vértice derecho superior ys	1244.82 m
Intervalo de búsqueda	10.0
Número de celdas en x	20.0
Número de celdas en y	20.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:
Classe d'uso:
Vita nominale: 0.0 [anni]
Vita di riferimento: 0.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:
Categoria topografica:

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	0.0	0.0	0.0	0.0
S.L.D.	0.0	0.0	0.0	0.0
S.L.V.	0.0	0.0	0.0	0.0
S.L.C.	0.0	0.0	0.0	0.0

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]

S.L.O.	0.0	0.0	0.0	0.0
S.L.D.	0.0	0.0	0.0	0.0
S.L.V.	0.0	0.0	0.0	0.0
S.L.C.	0.0	0.0	0.0	0.0

Vértices perfil

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	1224.84
2	0.83	1225.01
3	1.24	1225.01
4	1.54	1225.01
5	2.59	1226.49
6	2.73	1227.15
7	3.43	1227.25
8	4.46	1228.03
9	5.95	1228.53
10	7.69	1229.39
11	8.79	1229.89
12	10.22	1230.71
13	12.4	1231.6
14	12.98	1232.06
15	15.68	1232.71
16	17.36	1233.58
17	18.85	1234.25
18	19.6	1234.35
19	24.3	1234.5
20	24.3	1234.5

Nivel freático

Nr.	X (m)	y (m)
1	0.03	1222.84
2	0.91	1222.85
3	1.6	1222.9
4	2.86	1223.03
5	3.95	1223.23
6	5.11	1223.5
7	6.52	1223.91
8	7.44	1224.2
9	9.05	1224.64
10	10.85	1225.11
11	13.4	1225.58
12	16.38	1226.3
13	18.23	1226.62
14	19.91	1226.95

15	20.81	1227.09
16	25.46	1227.44

Vértices estrato…....1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	1224.36
2	0.0	1224.36
3	0.83	1224.37
4	1.54	1224.42
5	2.73	1224.41
6	3.43	1224.51
7	4.46	1224.92
8	5.95	1225.35
9	6.82	1225.62
10	8.53	1226.21
11	10.47	1226.6
12	12.98	1227.06
13	15.68	1227.71
14	17.36	1228.58
15	18.85	1229.25
16	19.6	1229.87
17	24.3	1233.21
18	24.3	1233.21

Coeficientes de acciones parciales

Desventajas: permanente, variable	1.0	1.0
Favorable: permanente, variable	1.0	1.0

Coeficientes parciales parámetros geotécnicos del terreno

Tangente ángulo de resistencia al corte	1.25
Cohesión efectiva	1.25
Cohesión no drenada	1.4
Reducción parámetros geotécnicos terreno	No

Estratigrafía

Estrato	Cohesión (kN/m²)	Cohesión no drenada (kN/m²)	Ángulo de resitencia al corte (°)	Peso específico (kN/m³)	Peso saturado (kN/m³)	Litología	
1	4.5	245.17	20	19.61	21.57	Argilla o argilla limosa media	

2	10	39.4	28.7	17	19		

Resultados análisis talud [NTC 2008 & Circ.]

Fs mínimo encontrado	1.06
Abscisa centro superficie	1.56 m
Ordenada centro superficie	1230.25 m
Radio superficie	5.16 m

Número de superficies examinadas....(774)

N°	Xo	Yo	Ro	Fs
1	1.1	1230.6	5.4	1.06
2	1.6	1230.2	5.2	1.06
3	2.0	1230.6	5.1	1.16
4	2.4	1230.2	4.9	1.15
5	2.8	1230.6	5.3	1.16
6	3.2	1230.2	5.1	1.19
7	3.6	1230.6	5.5	1.22
8	4.0	1230.2	4.8	1.32
9	4.4	1230.6	5.3	1.32
10	4.8	1230.2	4.4	1.51
11	5.2	1230.6	4.8	1.49
12	5.6	1230.2	4.7	1.55
13	6.0	1230.6	4.3	1.58
14	6.5	1230.2	4.3	1.66
15	6.9	1230.6	4.5	1.62
16	7.3	1230.2	3.7	1.83
17	7.7	1230.6	3.9	1.74
18	8.1	1230.2	3.2	1.96
19	8.5	1230.6	4.3	1.84
20	8.9	1230.2	3.2	2.20
21	9.3	1230.6	3.4	2.07
22	9.7	1230.2	9.4	2.55
23	10.1	1230.6	8.6	2.64
24	10.5	1230.2	9.4	4.54
25	10.9	1230.6	9.7	2.69
26	11.3	1230.2	8.3	6.61
27	11.8	1230.6	9.7	4.77
28	12.2	1230.2	8.4	9.62
29	12.6	1230.6	9.7	5.41
30	13.0	1230.2	9.4	7.48
31	13.4	1230.6	9.7	6.32
32	13.8	1230.2	8.5	12.80
33	14.2	1230.6	9.8	7.51

34	14.6	1230.2	9.5	11.97
35	1.1	1231.3	6.0	1.11
36	1.6	1231.0	5.8	1.07
37	2.0	1231.3	6.2	1.08
38	2.4	1231.0	5.5	1.17
39	2.8	1231.3	5.8	1.19
40	3.2	1231.0	5.6	1.20
41	3.6	1231.3	5.9	1.22
42	4.0	1231.0	5.9	1.26
43	4.4	1231.3	5.7	1.30
44	4.8	1231.0	5.7	1.31
45	5.2	1231.3	5.3	1.43
46	5.6	1231.0	5.0	1.48
47	6.0	1231.3	5.3	1.46
48	6.5	1231.0	4.7	1.53
49	6.9	1231.3	5.1	1.51
50	7.3	1231.0	4.9	1.59
51	7.7	1231.3	4.4	1.60
52	8.1	1231.0	4.1	1.68
53	8.5	1231.3	4.4	1.62
54	8.9	1231.0	4.4	1.75
55	9.3	1231.3	4.6	1.68
56	9.7	1231.0	3.5	1.98
57	10.1	1231.3	4.6	1.82
58	10.5	1231.0	10.0	2.58
59	10.9	1231.3	3.6	2.07
60	11.3	1231.0	8.9	2.74
61	11.8	1231.3	9.2	2.67
62	12.2	1231.0	10.0	2.93
63	12.6	1231.3	10.4	2.96
64	13.0	1231.0	10.0	4.90
65	13.4	1231.3	10.3	3.19
66	13.8	1231.0	10.0	5.71
67	14.2	1231.3	9.6	5.56
68	14.6	1231.0	9.4	7.20
69	0.7	1231.7	6.2	1.18
70	1.1	1232.1	6.6	1.16
71	1.6	1231.7	5.7	1.38
72	2.0	1232.1	6.7	1.11
73	2.4	1231.7	5.9	1.24
74	2.8	1232.1	6.2	1.25
75	3.2	1231.7	6.9	1.10
76	3.6	1232.1	6.5	1.22
77	4.0	1231.7	6.4	1.20
78	4.4	1232.1	6.8	1.20
79	4.8	1231.7	6.1	1.29
80	5.2	1232.1	6.4	1.30
81	5.6	1231.7	5.5	1.43

82	6.0	1232.1	5.8	1.41
83	6.5	1231.7	5.7	1.44
84	6.9	1232.1	6.1	1.42
85	7.3	1231.7	5.4	1.50
86	7.7	1232.1	5.6	1.46
87	8.1	1231.7	4.7	1.52
88	8.5	1232.1	4.9	1.49
89	8.9	1231.7	4.7	1.56
90	9.3	1232.1	4.9	1.56
91	9.7	1231.7	4.9	1.66
92	10.1	1232.1	5.0	1.66
93	10.5	1231.7	4.9	1.80
94	10.9	1232.1	5.2	1.77
95	11.3	1231.7	4.8	1.98
96	11.8	1232.1	5.1	1.94
97	12.2	1231.7	3.6	2.36
98	12.6	1232.1	4.8	2.12
99	13.0	1231.7	9.4	3.06
100	13.4	1232.1	10.1	3.03
101	13.8	1231.7	8.7	4.80
102	14.2	1232.1	8.4	3.38
103	14.6	1231.7	9.1	5.36
104	0.3	1232.8	7.3	1.26
105	0.7	1232.4	6.9	1.21
106	1.1	1232.8	7.3	1.16
107	1.6	1232.4	7.0	1.13
108	2.0	1232.8	6.7	1.37
109	2.4	1232.4	6.4	1.31
110	2.8	1232.8	7.6	1.10
111	3.2	1232.4	6.6	1.24
112	3.6	1232.8	7.1	1.21
113	4.0	1232.4	6.9	1.20
114	4.4	1232.8	7.4	1.19
115	4.8	1232.4	6.3	1.33
116	5.2	1232.8	6.8	1.31
117	5.6	1232.4	6.7	1.32
118	6.0	1232.8	7.1	1.38
119	6.5	1232.4	6.1	1.40
120	6.9	1232.8	6.3	1.37
121	7.3	1232.4	5.4	1.46
122	7.7	1232.8	5.5	1.43
123	8.1	1232.4	5.8	1.44
124	8.5	1232.8	5.9	1.43
125	8.9	1232.4	5.0	1.47
126	9.3	1232.8	5.0	1.49
127	9.7	1232.4	5.1	1.56
128	10.1	1232.8	5.3	1.57
129	10.5	1232.4	5.1	1.67

130	10.9	1232.8	5.2	1.69
131	11.3	1232.4	5.4	1.78
132	11.8	1232.8	5.4	1.76
133	12.2	1232.4	5.3	1.89
134	12.6	1232.8	5.1	1.87
135	13.0	1232.4	4.7	2.07
136	13.4	1232.8	4.6	2.08
137	13.8	1232.4	9.7	3.08
138	14.2	1232.8	5.2	2.16
139	14.6	1232.4	9.0	3.38
140	0.7	1233.2	7.6	1.24
141	1.1	1233.5	7.9	1.20
142	1.6	1233.2	6.9	1.55
143	2.0	1233.5	7.2	1.51
144	2.4	1233.2	7.9	1.11
145	2.8	1233.5	7.4	1.33
146	3.2	1233.2	8.1	1.09
147	3.6	1233.5	8.5	1.10
148	4.0	1233.2	7.4	1.21
149	4.4	1233.5	7.9	1.20
150	4.8	1233.2	6.9	1.31
151	5.2	1233.5	7.2	1.31
152	5.6	1233.2	7.2	1.30
153	6.0	1233.5	7.5	1.29
154	6.5	1233.2	6.5	1.36
155	6.9	1233.5	6.8	1.34
156	7.3	1233.2	6.6	1.36
157	7.7	1233.5	7.0	1.36
158	8.1	1233.2	5.9	1.40
159	8.5	1233.5	6.3	1.40
160	8.9	1233.2	6.2	1.43
161	9.3	1233.5	5.4	1.45
162	9.7	1233.2	6.4	1.50
163	10.1	1233.5	6.9	1.50
164	10.5	1233.2	5.3	1.60
165	10.9	1233.5	5.6	1.62
166	11.3	1233.2	4.0	1.77
167	11.8	1233.5	6.3	1.62
168	12.2	1233.2	5.0	1.78
169	12.6	1233.5	6.0	1.69
170	13.0	1233.2	5.9	1.79
171	13.4	1233.5	5.5	1.80
172	13.8	1233.2	5.5	1.92
173	14.2	1233.5	5.2	1.84
174	14.6	1233.2	4.9	2.08
175	0.3	1234.3	8.5	1.37
176	1.1	1234.3	8.6	1.23
177	1.6	1233.9	7.4	1.83

178	2.0	1234.3	7.7	1.62
179	2.4	1233.9	7.5	1.45
180	2.8	1234.3	8.9	1.11
181	3.2	1233.9	8.6	1.10
182	3.6	1234.3	9.1	1.10
183	4.0	1233.9	7.9	1.22
184	4.4	1234.3	8.3	1.21
185	4.8	1233.9	8.2	1.21
186	5.2	1234.3	8.7	1.19
187	5.6	1233.9	7.5	1.32
188	6.0	1234.3	7.9	1.29
189	6.5	1233.9	7.8	1.29
190	6.9	1234.3	8.2	1.32
191	7.3	1233.9	7.0	1.34
192	7.7	1234.3	7.4	1.34
193	8.1	1233.9	6.1	1.37
194	8.5	1234.3	6.5	1.37
195	8.9	1233.9	6.4	1.40
196	9.3	1234.3	6.7	1.43
197	9.7	1233.9	6.7	1.46
198	10.1	1234.3	7.0	1.46
199	10.5	1233.9	7.0	1.50
200	10.9	1234.3	6.8	1.51
201	11.3	1233.9	6.6	1.55
202	11.8	1234.3	6.4	1.57
203	12.2	1233.9	6.1	1.63
204	12.6	1234.3	5.9	1.63
205	13.0	1233.9	5.8	1.70
206	13.4	1234.3	6.6	1.67
207	13.8	1233.9	5.4	1.78
208	14.2	1234.3	6.1	1.79
209	14.6	1233.9	5.0	1.90
210	-0.1	1234.6	8.8	1.52
211	0.3	1235.0	9.2	1.39
212	1.1	1235.0	9.2	1.24
213	1.6	1234.6	8.9	1.20
214	2.0	1235.0	8.4	1.69
215	2.4	1234.6	9.1	1.13
216	2.8	1235.0	9.5	1.11
217	3.2	1234.6	9.3	1.10
218	3.6	1235.0	8.7	1.26
219	4.0	1234.6	8.5	1.23
220	4.4	1235.0	8.8	1.23
221	4.8	1234.6	8.7	1.20
222	5.2	1235.0	9.2	1.19
223	5.6	1234.6	7.9	1.31
224	6.0	1235.0	8.4	1.27
225	6.5	1234.6	8.2	1.28

226	6.9	1235.0	8.7	1.28
227	7.3	1234.6	7.4	1.33
228	7.7	1235.0	7.8	1.34
229	8.1	1234.6	7.7	1.35
230	8.5	1235.0	8.0	1.37
231	8.9	1234.6	8.0	1.39
232	9.3	1235.0	8.5	1.39
233	9.7	1234.6	7.0	1.44
234	10.1	1235.0	7.4	1.44
235	10.5	1234.6	7.0	1.48
236	10.9	1235.0	7.0	1.49
237	11.3	1234.6	6.6	1.51
238	11.8	1235.0	7.8	1.47
239	12.2	1234.6	7.4	1.52
240	12.6	1235.0	7.3	1.53
241	13.0	1234.6	6.9	1.60
242	13.4	1235.0	6.7	1.61
243	13.8	1234.6	6.4	1.69
244	14.2	1235.0	6.2	1.72
245	14.6	1234.6	4.9	1.80
246	-0.5	1235.7	9.9	1.60
247	-0.1	1235.3	9.5	1.48
248	0.3	1235.7	9.9	1.36
249	0.7	1235.3	9.6	1.29
250	1.1	1235.7	9.0	2.34
251	1.6	1235.3	9.6	1.20
252	2.0	1235.7	10.1	1.15
253	2.4	1235.3	9.8	1.13
254	2.8	1235.7	9.2	1.37
255	3.2	1235.3	9.0	1.30
256	3.6	1235.7	10.4	1.09
257	4.0	1235.3	9.1	1.24
258	4.4	1235.7	9.4	1.23
259	4.8	1235.3	9.3	1.20
260	5.2	1235.7	9.8	1.19
261	5.6	1235.3	8.6	1.28
262	6.0	1235.7	9.1	1.26
263	6.5	1235.3	8.9	1.27
264	6.9	1235.7	9.4	1.28
265	7.3	1235.3	9.2	1.30
266	7.7	1235.7	8.5	1.33
267	8.1	1235.3	8.2	1.35
268	8.5	1235.7	8.5	1.36
269	8.9	1235.3	8.3	1.37
270	9.3	1235.7	8.6	1.36
271	9.7	1235.3	7.5	1.42
272	10.1	1235.7	8.9	1.37
273	10.5	1235.3	7.3	1.45

274	10.9	1235.7	8.6	1.39
275	11.3	1235.3	8.2	1.42
276	11.8	1235.7	8.1	1.44
277	12.2	1235.3	7.7	1.49
278	12.6	1235.7	7.6	1.50
279	13.0	1235.3	7.1	1.55
280	13.4	1235.7	6.9	1.59
281	13.8	1235.3	6.4	1.65
282	14.2	1235.7	6.2	1.67
283	14.6	1235.3	6.0	1.75
284	-0.5	1236.4	10.6	1.56
285	-0.1	1236.1	10.3	1.45
286	0.7	1236.1	10.3	1.28
287	1.1	1236.4	9.7	2.18
288	1.6	1236.1	9.4	1.85
289	2.0	1236.4	9.8	1.61
290	2.4	1236.1	10.5	1.12
291	2.8	1236.4	9.9	1.35
292	3.2	1236.1	10.7	1.10
293	3.6	1236.4	11.0	1.09
294	4.0	1236.1	10.8	1.09
295	4.4	1236.4	10.0	1.24
296	4.8	1236.1	9.8	1.21
297	5.2	1236.4	10.3	1.20
298	5.6	1236.1	10.2	1.20
299	6.0	1236.4	9.5	1.26
300	6.5	1236.1	9.5	1.26
301	6.9	1236.4	10.0	1.27
302	7.3	1236.1	9.8	1.29
303	7.7	1236.4	9.0	1.34
304	8.1	1236.1	8.7	1.34
305	8.5	1236.4	9.0	1.35
306	8.9	1236.1	8.8	1.35
307	9.3	1236.4	9.0	1.35
308	9.7	1236.1	8.9	1.36
309	10.1	1236.4	8.8	1.37
310	10.5	1236.1	8.7	1.37
311	10.9	1236.4	8.5	1.39
312	11.3	1236.1	8.5	1.41
313	11.8	1236.4	8.3	1.43
314	12.2	1236.1	8.0	1.47
315	12.6	1236.4	7.9	1.48
316	13.0	1236.1	7.4	1.53
317	13.4	1236.4	7.2	1.57
318	13.8	1236.1	6.7	1.62
319	14.2	1236.4	6.5	1.66
320	14.6	1236.1	6.0	1.71
321	-0.9	1236.8	11.0	1.68

322	-0.5	1237.2	11.4	1.51
323	0.3	1237.2	11.4	1.33
324	0.7	1236.8	11.0	1.27
325	1.1	1237.2	10.4	2.04
326	1.6	1236.8	11.1	1.17
327	2.0	1237.2	10.5	1.56
328	2.4	1236.8	10.2	1.43
329	2.8	1237.2	11.6	1.11
330	3.2	1236.8	10.2	1.32
331	3.6	1237.2	10.5	1.31
332	4.0	1236.8	10.2	1.27
333	4.4	1237.2	10.6	1.25
334	4.8	1236.8	10.3	1.23
335	5.2	1237.2	10.8	1.22
336	5.6	1236.8	10.7	1.21
337	6.0	1237.2	11.2	1.22
338	6.5	1236.8	10.0	1.27
339	6.9	1237.2	10.5	1.28
340	7.3	1236.8	10.4	1.28
341	7.7	1237.2	10.8	1.27
342	8.1	1236.8	9.3	1.34
343	8.5	1237.2	9.5	1.34
344	8.9	1236.8	9.3	1.34
345	9.3	1237.2	9.5	1.34
346	9.7	1236.8	9.0	1.37
347	10.1	1237.2	10.1	1.33
348	10.5	1236.8	10.0	1.35
349	10.9	1237.2	9.8	1.36
350	11.3	1236.8	9.6	1.40
351	11.8	1237.2	9.4	1.42
352	12.2	1236.8	8.2	1.46
353	12.6	1237.2	9.0	1.49
354	13.0	1236.8	7.7	1.53
355	13.4	1237.2	8.5	1.57
356	13.8	1236.8	7.0	1.61
357	14.2	1237.2	6.9	1.66
358	14.6	1236.8	6.4	1.71
359	-1.3	1237.9	12.1	1.76
360	-0.9	1237.5	11.8	1.62
361	-0.5	1237.9	12.1	1.46
362	-0.1	1237.5	11.7	1.38
363	0.3	1237.9	11.1	3.36
364	0.7	1237.5	11.7	1.25
365	1.1	1237.9	12.1	1.18
366	1.6	1237.5	11.8	1.15
367	2.0	1237.9	12.2	1.13
368	2.4	1237.5	11.9	1.13
369	2.8	1237.9	12.2	1.11

370	3.2	1237.5	12.0	1.10
371	3.6	1237.9	11.1	1.33
372	4.0	1237.5	12.1	1.10
373	4.4	1237.9	12.5	1.21
374	4.8	1237.5	10.9	1.24
375	5.2	1237.9	11.3	1.24
376	5.6	1237.5	11.2	1.22
377	6.0	1237.9	11.7	1.23
378	6.5	1237.5	10.4	1.28
379	6.9	1237.9	10.9	1.29
380	7.3	1237.5	10.9	1.27
381	7.7	1237.9	11.3	1.27
382	8.1	1237.5	11.1	1.27
383	8.5	1237.9	11.4	1.27
384	8.9	1237.5	9.8	1.34
385	9.3	1237.9	11.1	1.30
386	9.7	1237.5	10.6	1.31
387	10.1	1237.9	10.4	1.32
388	10.5	1237.5	9.9	1.34
389	10.9	1237.9	9.7	1.37
390	11.3	1237.5	9.6	1.39
391	11.8	1237.9	9.4	1.42
392	12.2	1237.5	9.2	1.45
393	12.6	1237.9	9.0	1.48
394	13.0	1237.5	8.9	1.52
395	13.4	1237.9	8.7	1.57
396	13.8	1237.5	8.3	1.62
397	14.2	1237.9	8.1	1.67
398	14.6	1237.5	7.6	1.72
399	-1.3	1238.6	12.9	1.69
400	-0.9	1238.3	12.5	1.56
401	-0.1	1238.3	12.5	1.37
402	0.3	1238.6	12.8	1.28
403	0.7	1238.3	11.5	2.29
404	1.1	1238.6	11.9	1.92
405	1.6	1238.3	12.5	1.15
406	2.0	1238.6	12.8	1.15
407	2.4	1238.3	12.5	1.12
408	2.8	1238.6	12.9	1.11
409	3.2	1238.3	11.4	1.38
410	3.6	1238.6	13.0	1.11
411	4.0	1238.3	11.4	1.29
412	4.4	1238.6	13.1	1.19
413	4.8	1238.3	11.5	1.25
414	5.2	1238.6	11.8	1.26
415	5.6	1238.3	11.7	1.24
416	6.0	1238.6	12.2	1.24
417	6.5	1238.3	12.2	1.23

418	6.9	1238.6	11.3	1.31
419	7.3	1238.3	11.3	1.28
420	7.7	1238.6	11.8	1.27
421	8.1	1238.3	11.7	1.26
422	8.5	1238.6	12.0	1.26
423	8.9	1238.3	11.6	1.28
424	9.3	1238.6	11.4	1.29
425	9.7	1238.3	10.9	1.31
426	10.1	1238.6	10.6	1.33
427	10.5	1238.3	10.1	1.35
428	10.9	1238.6	11.3	1.37
429	11.3	1238.3	10.9	1.40
430	11.8	1238.6	10.7	1.43
431	12.2	1238.3	9.2	1.46
432	12.6	1238.6	10.2	1.50
433	13.0	1238.3	8.9	1.53
434	13.4	1238.6	9.7	1.59
435	13.8	1238.3	8.5	1.63
436	14.2	1238.6	8.4	1.69
437	14.6	1238.3	7.9	1.73
438	-1.7	1239.0	13.3	1.83
439	-1.3	1239.4	13.6	1.62
440	-0.5	1239.4	13.6	1.41
441	0.3	1239.4	13.6	1.25
442	0.7	1239.0	12.2	2.18
443	1.1	1239.4	12.5	2.04
444	1.6	1239.0	13.2	1.17
445	2.0	1239.4	13.5	1.14
446	2.4	1239.0	13.2	1.12
447	2.8	1239.4	12.3	1.48
448	3.2	1239.0	13.3	1.11
449	3.6	1239.4	12.3	1.36
450	4.0	1239.0	12.0	1.31
451	4.4	1239.4	10.9	2.29
452	4.8	1239.0	13.5	1.26
453	5.2	1239.4	12.4	1.27
454	5.6	1239.0	12.3	1.26
455	6.0	1239.4	12.7	1.25
456	6.5	1239.0	12.7	1.23
457	6.9	1239.4	13.1	1.22
458	7.3	1239.0	11.7	1.29
459	7.7	1239.4	12.2	1.28
460	8.1	1239.0	12.2	1.26
461	8.5	1239.4	12.4	1.27
462	8.9	1239.0	11.9	1.28
463	9.3	1239.4	11.7	1.30
464	9.7	1239.0	11.1	1.31
465	10.1	1239.4	12.3	1.33

466	10.5	1239.0	11.8	1.35
467	10.9	1239.4	11.5	1.37
468	11.3	1239.0	11.0	1.40
469	11.8	1239.4	10.8	1.43
470	12.2	1239.0	10.5	1.46
471	12.6	1239.4	10.3	1.51
472	13.0	1239.0	10.0	1.54
473	13.4	1239.4	9.9	1.60
474	13.8	1239.0	9.6	1.64
475	14.2	1239.4	9.4	1.71
476	14.6	1239.0	9.1	1.76
477	-1.7	1239.7	14.0	1.74
478	-1.3	1240.1	14.3	1.56
479	-0.9	1239.7	13.9	1.48
480	-0.5	1240.1	14.3	1.37
481	0.3	1240.1	13.2	2.84
482	0.7	1239.7	13.9	1.21
483	1.1	1240.1	13.1	2.15
484	1.6	1239.7	13.8	1.17
485	2.0	1240.1	14.2	1.14
486	2.4	1239.7	12.7	1.58
487	2.8	1240.1	12.9	1.54
488	3.2	1239.7	12.6	1.43
489	3.6	1240.1	12.9	1.37
490	4.0	1239.7	12.6	1.32
491	4.4	1240.1	14.4	1.14
492	4.8	1239.7	14.1	1.27
493	5.2	1240.1	12.9	1.28
494	5.6	1239.7	12.8	1.27
495	6.0	1240.1	13.2	1.26
496	6.5	1239.7	13.2	1.24
497	6.9	1240.1	13.6	1.22
498	7.3	1239.7	12.1	1.31
499	7.7	1240.1	12.6	1.29
500	8.1	1239.7	12.6	1.26
501	8.5	1240.1	12.6	1.28
502	8.9	1239.7	12.2	1.28
503	9.3	1240.1	13.3	1.30
504	9.7	1239.7	12.8	1.32
505	10.1	1240.1	12.6	1.33
506	10.5	1239.7	12.1	1.35
507	10.9	1240.1	11.8	1.38
508	11.3	1239.7	11.3	1.41
509	11.8	1240.1	11.1	1.45
510	12.2	1239.7	10.6	1.48
511	12.6	1240.1	10.5	1.54
512	13.0	1239.7	10.2	1.57
513	13.4	1240.1	10.0	1.63

514	13.8	1239.7	9.7	1.67
515	14.2	1240.1	9.6	1.74
516	14.6	1239.7	9.3	1.78
517	-1.7	1240.4	14.7	1.67
518	-1.3	1240.8	15.1	1.53
519	-0.9	1240.4	14.7	1.45
520	-0.5	1240.8	15.0	1.35
521	0.3	1240.8	13.8	2.91
522	1.1	1240.8	14.9	1.20
523	1.6	1240.4	13.3	1.93
524	2.0	1240.8	13.6	1.72
525	2.4	1240.4	14.5	1.13
526	2.8	1240.8	13.5	1.53
527	3.2	1240.4	13.2	1.43
528	3.6	1240.8	14.9	1.14
529	4.0	1240.4	14.7	1.14
530	4.4	1240.8	15.0	1.14
531	4.8	1240.4	13.2	1.29
532	5.2	1240.8	13.5	1.30
533	5.6	1240.4	13.3	1.28
534	6.0	1240.8	13.7	1.26
535	6.5	1240.4	13.7	1.24
536	6.9	1240.8	14.1	1.23
537	7.3	1240.4	14.1	1.22
538	7.7	1240.8	13.0	1.31
539	8.1	1240.4	12.9	1.28
540	8.5	1240.8	14.2	1.27
541	8.9	1240.4	13.8	1.28
542	9.3	1240.8	13.6	1.30
543	9.7	1240.4	13.1	1.32
544	10.1	1240.8	12.9	1.34
545	10.5	1240.4	12.4	1.36
546	10.9	1240.8	12.2	1.40
547	11.3	1240.4	11.6	1.42
548	11.8	1240.8	12.8	1.46
549	12.2	1240.4	12.2	1.49
550	12.6	1240.8	12.0	1.54
551	13.0	1240.4	10.3	1.61
552	13.4	1240.8	11.4	1.64
553	13.8	1240.4	9.9	1.71
554	14.2	1240.8	9.8	1.81
555	14.6	1240.4	9.5	1.84
556	-0.9	1241.2	15.4	1.41
557	-0.5	1241.5	15.7	1.34
558	-0.1	1241.2	15.3	1.29
559	0.3	1241.5	15.6	1.26
560	0.7	1241.2	14.1	2.65
561	1.1	1241.5	15.5	1.20

562	1.6	1241.2	15.2	1.17
563	2.0	1241.5	15.5	1.15
564	2.4	1241.2	15.2	1.14
565	2.8	1241.5	14.1	1.55
566	3.2	1241.2	15.2	1.14
567	3.6	1241.5	15.6	1.15
568	4.0	1241.2	13.8	1.35
569	4.4	1241.5	15.7	1.15
570	4.8	1241.2	15.4	1.17
571	5.2	1241.5	15.8	1.25
572	5.6	1241.2	13.8	1.30
573	6.0	1241.5	14.3	1.28
574	6.5	1241.2	14.2	1.24
575	6.9	1241.5	14.6	1.23
576	7.3	1241.2	14.6	1.22
577	7.7	1241.5	14.8	1.24
578	8.1	1241.2	14.5	1.25
579	8.5	1241.5	14.4	1.27
580	8.9	1241.2	14.1	1.29
581	9.3	1241.5	13.9	1.31
582	9.7	1241.2	13.4	1.32
583	10.1	1241.5	13.2	1.36
584	10.5	1241.2	12.7	1.38
585	10.9	1241.5	13.8	1.41
586	11.3	1241.2	13.3	1.44
587	11.8	1241.5	13.1	1.48
588	12.2	1241.2	12.6	1.51
589	12.6	1241.5	11.1	1.64
590	13.0	1241.2	10.6	1.67
591	13.4	1241.5	11.7	1.67
592	13.8	1241.2	11.3	1.71
593	14.2	1241.5	10.0	1.93
594	14.6	1241.2	10.8	1.84
595	-1.7	1241.9	16.2	1.57
596	-1.3	1242.3	16.4	1.48
597	-0.9	1241.9	16.0	1.41
598	-0.5	1242.3	16.3	1.34
599	-0.1	1241.9	15.9	1.30
600	0.3	1242.3	16.2	1.28
601	0.7	1241.9	14.7	2.89
602	1.1	1242.3	16.2	1.20
603	1.6	1241.9	14.6	2.02
604	2.0	1242.3	14.8	1.86
605	2.4	1241.9	15.9	1.15
606	2.8	1242.3	14.7	1.59
607	3.2	1241.9	15.9	1.15
608	3.6	1242.3	16.2	1.16
609	4.0	1241.9	14.4	1.37

610	4.4	1242.3	16.3	1.15
611	4.8	1241.9	16.1	1.15
612	5.2	1242.3	16.4	1.22
613	5.6	1241.9	14.4	1.31
614	6.0	1242.3	14.8	1.30
615	6.5	1241.9	14.7	1.25
616	6.9	1242.3	15.2	1.24
617	7.3	1241.9	15.1	1.23
618	7.7	1242.3	15.1	1.26
619	8.1	1241.9	14.7	1.26
620	8.5	1242.3	14.6	1.29
621	8.9	1241.9	14.3	1.30
622	9.3	1242.3	14.2	1.32
623	9.7	1241.9	13.7	1.34
624	10.1	1242.3	14.9	1.37
625	10.5	1241.9	13.0	1.40
626	10.9	1242.3	14.2	1.42
627	11.3	1241.9	13.6	1.45
628	11.8	1242.3	13.5	1.50
629	12.2	1241.9	12.9	1.53
630	12.6	1242.3	12.8	1.59
631	13.0	1241.9	10.9	1.75
632	13.4	1242.3	12.1	1.71
633	13.8	1241.9	10.4	1.94
634	14.2	1242.3	11.5	1.84
635	14.6	1241.9	10.0	2.14
636	-1.3	1243.0	17.1	1.47
637	-0.9	1242.6	16.7	1.40
638	-0.5	1243.0	17.0	1.35
639	-0.1	1242.6	15.4	6.40
640	0.3	1243.0	15.7	4.89
641	0.7	1242.6	15.3	3.19
642	1.1	1243.0	16.9	1.20
643	1.6	1242.6	15.2	2.14
644	2.0	1243.0	16.8	1.17
645	2.4	1242.6	15.1	1.76
646	2.8	1243.0	15.4	1.62
647	3.2	1242.6	16.5	1.16
648	3.6	1243.0	16.9	1.16
649	4.0	1242.6	15.0	1.40
650	4.4	1243.0	15.3	1.39
651	4.8	1242.6	16.7	1.15
652	5.2	1243.0	17.1	1.15
653	5.6	1242.6	16.8	1.31
654	6.0	1243.0	15.3	1.31
655	6.5	1242.6	15.2	1.27
656	6.9	1243.0	15.7	1.25
657	7.3	1242.6	15.4	1.25

658	7.7	1243.0	15.3	1.28
659	8.1	1242.6	14.9	1.28
660	8.5	1243.0	16.4	1.29
661	8.9	1242.6	16.0	1.31
662	9.3	1243.0	15.9	1.34
663	9.7	1242.6	14.1	1.36
664	10.1	1243.0	15.3	1.38
665	10.5	1242.6	14.7	1.40
666	10.9	1243.0	14.6	1.44
667	11.3	1242.6	14.0	1.47
668	11.8	1243.0	13.9	1.52
669	12.2	1242.6	12.0	1.67
670	12.6	1243.0	11.9	1.80
671	13.0	1242.6	12.7	1.67
672	13.4	1243.0	12.6	1.75
673	13.8	1242.6	10.7	2.19
674	14.2	1243.0	11.9	1.91
675	14.6	1242.6	10.2	2.39
676	-1.7	1243.4	17.5	1.56
677	-1.3	1243.7	17.8	1.47
678	-0.9	1243.4	17.4	1.40
679	-0.5	1243.7	17.7	1.35
680	-0.1	1243.4	17.3	1.32
681	0.3	1243.7	17.6	1.27
682	0.7	1243.4	17.2	1.23
683	1.1	1243.7	17.5	1.21
684	1.6	1243.4	17.2	1.19
685	2.0	1243.7	17.5	1.18
686	2.4	1243.4	17.2	1.18
687	2.8	1243.7	17.5	1.18
688	3.2	1243.4	17.2	1.17
689	3.6	1243.7	15.9	1.50
690	4.0	1243.4	17.3	1.16
691	4.4	1243.7	17.6	1.15
692	4.8	1243.4	15.6	1.39
693	5.2	1243.7	15.9	1.38
694	5.6	1243.4	17.5	1.30
695	6.0	1243.7	15.9	1.33
696	6.5	1243.4	15.7	1.28
697	6.9	1243.7	15.9	1.29
698	7.3	1243.4	15.6	1.28
699	7.7	1243.7	17.3	1.27
700	8.1	1243.4	16.9	1.28
701	8.5	1243.7	16.7	1.30
702	8.9	1243.4	16.3	1.32
703	9.3	1243.7	14.7	1.39
704	9.7	1243.4	14.4	1.40
705	10.1	1243.7	15.6	1.39

706	10.5	1243.4	15.1	1.42
707	10.9	1243.7	13.7	1.56
708	11.3	1243.4	13.1	1.60
709	11.8	1243.7	14.3	1.55
710	12.2	1243.4	13.8	1.58
711	12.6	1243.7	13.7	1.66
712	13.0	1243.4	11.8	2.00
713	13.4	1243.7	11.7	2.38
714	13.8	1243.4	11.2	2.44
715	14.2	1243.7	11.1	2.81
716	-1.3	1244.5	18.4	1.47
717	-0.9	1244.1	18.1	1.40
718	-0.5	1244.5	18.3	1.37
719	-0.1	1244.1	18.0	1.31
720	0.3	1244.5	18.3	1.26
721	0.7	1244.1	16.5	4.17
722	1.1	1244.5	18.2	1.21
723	1.6	1244.1	17.9	1.20
724	2.0	1244.5	18.2	1.20
725	2.4	1244.1	17.8	1.19
726	2.8	1244.5	18.2	1.19
727	3.2	1244.1	17.9	1.18
728	3.6	1244.5	18.2	1.17
729	4.0	1244.1	17.9	1.16
730	4.4	1244.5	16.5	1.47
731	4.8	1244.1	18.0	1.15
732	5.2	1244.5	18.4	1.16
733	5.6	1244.1	18.1	1.23
734	6.0	1244.5	18.5	1.32
735	6.5	1244.1	16.3	1.30
736	6.9	1244.5	18.2	1.23
737	7.3	1244.1	17.7	1.25
738	7.7	1244.5	15.8	1.37
739	8.1	1244.1	17.2	1.29
740	8.5	1244.5	17.1	1.32
741	8.9	1244.1	16.6	1.33
742	9.3	1244.5	16.5	1.36
743	9.7	1244.1	16.1	1.38
744	10.1	1244.5	16.0	1.42
745	10.5	1244.1	14.2	1.53
746	10.9	1244.5	14.1	1.64
747	11.3	1244.1	13.5	1.68
748	11.8	1244.5	13.4	1.83
749	12.2	1244.1	14.2	1.62
750	12.6	1244.5	12.8	2.14
751	13.0	1244.1	12.2	2.26
752	13.4	1244.5	12.2	2.71
753	13.8	1244.1	11.6	2.76

754	14.2	1244.5	12.9	2.08
755	-1.7	1244.8	18.9	1.55
756	-0.9	1244.8	18.7	1.41
757	-0.1	1244.8	18.6	1.31
758	0.7	1244.8	18.6	1.24
759	1.6	1244.8	18.5	1.21
760	2.4	1244.8	18.5	1.20
761	3.2	1244.8	18.5	1.18
762	4.0	1244.8	18.6	1.16
763	4.8	1244.8	18.7	1.16
764	5.6	1244.8	18.8	1.18
765	6.5	1244.8	18.6	1.22
766	7.3	1244.8	18.0	1.26
767	8.1	1244.8	15.7	1.43
768	8.9	1244.8	17.0	1.34
769	9.7	1244.8	15.0	1.54
770	10.5	1244.8	14.6	1.61
771	11.3	1244.8	15.3	1.55
772	12.2	1244.8	13.3	2.05
773	13.0	1244.8	14.0	1.81
774	13.8	1244.8	13.4	2.00

==========

9/09/2024 10:25:20 p. m. Maria Ramirez B.

Índice

Datos generales .16
Vértices perfil .17
Nivel freático .18
Vértices estrato…....1 .18
Coeficientes de acciones parciales .19
Coeficientes parciales parámetros geotécnicos del terreno .19
Estratigrafía .19
Resultados análisis talud [NTC 2008 & Circ.] .19
Índice .38

ANEXO B. ENSAYOS DE LABORATORIO

	FORMATO CLASIFICACIÓN DE SUELOS	F - EN - 01 - V01	
		PÁGINA	1 DE 1

SISTEMA DE CONTENCIÓN DE LA ESQUINA SUR OCCIDENTAL DEL MURO DE CERRAMIENTO

PROYECTO: PERIMETRAL DEL COLEGIO INEM MANUEL MURILLO TORO

SOLICITANTE: ING. BENJAMIN SANJUANES ROMERO — FECHA DE RECEPCIÓN: 24/08/2024

DESCRIPCIÓN: SONDEO 1 MUESTRA 1 — PROF. 1,00 m. — FECHA DE ELABORACIÓN: 26/08/2024

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE HUMEDAD DEL SUELO
INV E - 122 - 13

Peso Recipiente	Peso Rec. Muestra Hum.	Peso Rec. + Muestra Seca	Humedad
80,3 g	175,5 g	154,7 g	27,96%

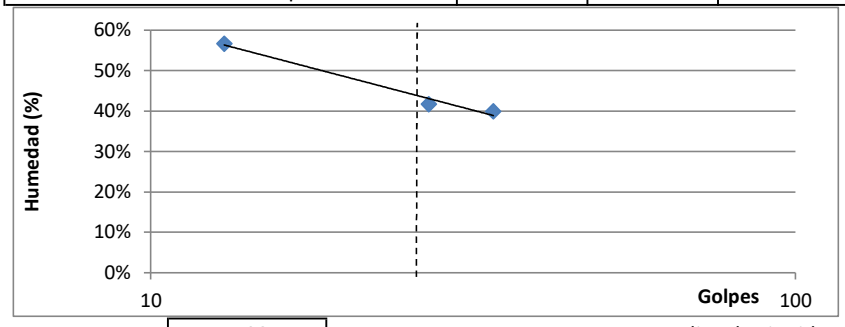
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
INV E -123 - 13

PESO ANTES DEL LAVADO 74,4 g — PESO DESPUES DEL LAVADO 37,3 g

TAMIZ	TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE ACUMULADO	PORCENTAJE PASA
No. 4	4,75	6,1 g	8,2%	8,2%	91,8%
No. 10	2,00	3,7 g	5,0%	13,2%	86,8%
No. 40	0,43	11,2 g	15,1%	28,2%	71,8%
No. 200	0,075	16,3 g	21,9%	50,1%	49,9%
P 200		37,1 g	49,9%		
		74,4 g			

DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLASTICO EN SUELOS
INV E - 125 - 13 - 126 - 13

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
Recipiente	1	2	3	4	5
Peso de Recipiente + Muestra Humeda	16,41	13,08	13,76	8,47	8,41
Peso de Recipiente + Muestra Seca	13,05	10,5	10,49	7,58	7,53
Peso de Recipiente	4,63	4,32	4,72	4,54	4,51
Humedad	**39,90%**	**41,75%**	**56,67%**	**29,28%**	**29,14%**
Numero de Golpes	34	27	13		



Limite Liquido
LL 44,48%
Limite Plastico
LP 29,21%
Indice de Plasticidad
IP 15,27%

Consis. Relativa: 1,08 — Indice de Liquidez: -0,08

SUCS: SM — AASHTO: A - 7 - 6

Maria Lucia Ramirez B.

Hector Andres García M.

Nota: La muestra presenta contaminacion con trozos de ladrillo. Dicha contaminación no es tenida en cuenta dentro del material analizado.

	FORMATO CLASIFICACIÓN DE SUELOS	F - EN - 01 - V01	
		PÁGINA	1 DE 1

SISTEMA DE CONTENCIÓN DE LA ESQUINA SUR OCCIDENTAL DEL MURO DE CERRAMIENTO PERIMETRAL DEL COLEGIO INEM MANUEL MURILLO TORO

PROYECTO:

SOLICITANTE: ING. BENJAMIN SANJUANES ROMERO — FECHA DE RECEPCIÓN: 24/08/2024

DESCRIPCIÓN: SONDEO 1 MUESTRA 2 — PROF. 2,00 m. — FECHA DE ELABORACIÓN: 26/08/2024

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE HUMEDAD DEL SUELO
INV E - 122 - 13

Peso Recipiente	Peso Rec. Muestra Hum.	Peso Rec. + Muestra Seca	Humedad
61 g	277,1 g	234,3 g	24,70%

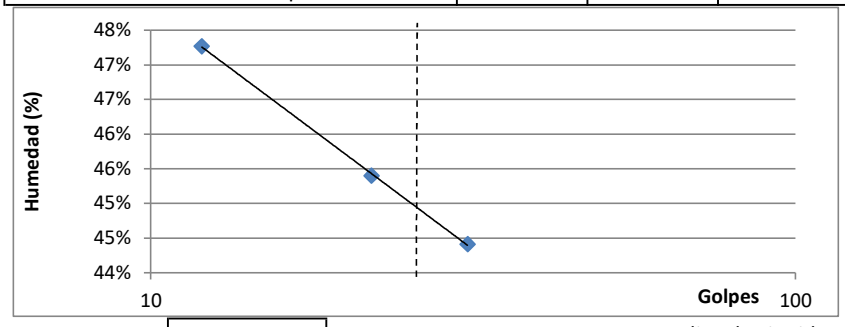
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
INV E -123 - 13

PESO ANTES DEL LAVADO 173,3 g — PESO DESPUES DEL LAVADO 67 g

TAMIZ	TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE ACUMULADO	PORCENTAJE PASA
No. 4	4,75	6 g	3,5%	3,5%	96,5%
No. 10	2,00	1,9 g	1,1%	4,6%	95,4%
No. 40	0,43	13,1 g	7,6%	12,1%	87,9%
No. 200	0,075	46 g	26,5%	38,7%	61,3%
P 200		106,3 g	61,3%		
		173,3 g			

DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLASTICO EN SUELOS
INV E - 125 - 13 - 126 - 13

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
Recipiente	1	2	3	4	5
Peso de Recipiente + Muestra Humeda	16,08	14,73	14,2	9,4	8,27
Peso de Recipiente + Muestra Seca	12,36	11,57	11,22	8,27	7,36
Peso de Recipiente	4,49	4,61	4,51	4,63	4,41
Humedad	**47,27%**	**45,40%**	**44,41%**	**31,04%**	**30,85%**
Numero de Golpes	12	22	31		



Limite Liquido
LL 45,04%

Limite Plastico
LP 30,95%

Indice de Plasticidad
IP 14,10%

Consis. Relativa: 1,44

SUCS: ML

Indice de Liquidez: -0,44

AASHTO: A - 7 - 5

Maria Lucia Ramirez B.

HectorAndres García M.

	FORMATO CLASIFICACIÓN DE SUELOS	F - EN - 01 - V01	
		PÁGINA	1 DE 1

SISTEMA DE CONTENCIÓN DE LA ESQUINA SUR OCCIDENTAL DEL MURO DE CERRAMIENTO

PROYECTO: PERIMETRAL DEL COLEGIO INEM MANUEL MURILLO TORO

SOLICITANTE: ING. BENJAMIN SANJUANES ROMERO — FECHA DE RECEPCIÓN: 24/08/2024

DESCRIPCIÓN: SONDEO 1 MUESTRA 3 — PROF. 3,00 m. — FECHA DE ELABORACIÓN: 26/08/2024

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE HUMEDAD DEL SUELO
INV E - 122 - 13

Peso Recipiente	Peso Rec. Muestra Hum.	Peso Rec. + Muestra Seca	Humedad
70,3 g	474,2 g	379,1 g	30,80%

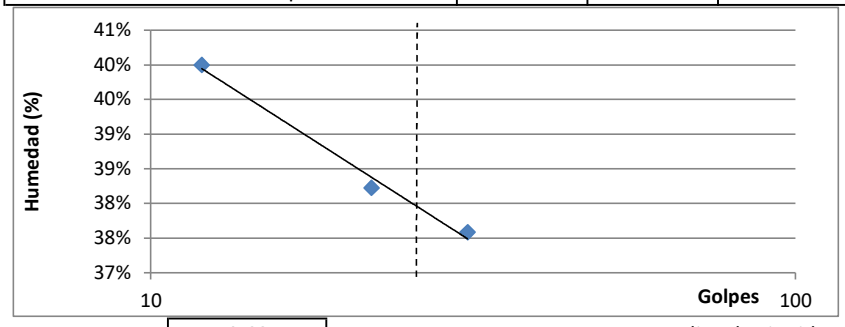
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
INV E -123 - 13

PESO ANTES DEL LAVADO 308,8 g — PESO DESPUES DEL LAVADO 96,7 g

TAMIZ	TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE ACUMULADO	PORCENTAJE PASA
No. 4	4,75	0,1 g	0,0%	0,0%	100,0%
No. 10	2,00	1,5 g	0,5%	0,5%	99,5%
No. 40	0,43	22,2 g	7,2%	7,7%	92,3%
No. 200	0,075	72,9 g	23,6%	31,3%	68,7%
P 200		212,1 g	68,7%		
		308,8 g			

DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLASTICO EN SUELOS
INV E - 125 - 13 - 126 - 13

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
Recipiente	1	2	3	4	5
Peso de Recipiente + Muestra Humeda	14,9	14,09	18,76	10,02	8,85
Peso de Recipiente + Muestra Seca	12,1	11,46	14,7	8,85	7,94
Peso de Recipiente	4,65	4,58	4,55	4,58	4,63
Humedad	**37,58%**	**38,23%**	**40,00%**	**27,40%**	**27,49%**
Numero de Golpes	31	22	12		



Limite Liquido
LL 38,05%

Limite Plastico
LP 27,45%

Indice de Plasticidad
IP 10,60%

Consis. Relativa: 0,68 — Indice de Liquidez: 0,32

SUCS: ML — AASHTO: A - 6

Maria Lucia Ramirez B.

HectorAndres García M.

INGEOSOL S.A.S.	**FORMATO CLASIFICACIÓN DE SUELOS**	F - EN - 01 - V01
		PÁGINA 1 DE 1

SISTEMA DE CONTENCIÓN DE LA ESQUINA SUR OCCIDENTAL DEL MURO DE CERRAMIENTO

PROYECTO: PERIMETRAL DEL COLEGIO INEM MANUEL MURILLO TORO

SOLICITANTE: ING. BENJAMIN SANJUANES ROMERO — FECHA DE RECEPCIÓN: 24/08/2024

DESCRIPCIÓN: SONDEO 1 MUESTRA 4 — PROF. 4,00 m. — FECHA DE ELABORACIÓN: 26/08/2024

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE HUMEDAD DEL SUELO
INV E - 122 - 13

Peso Recipiente	Peso Rec. Muestra Hum.	Peso Rec. + Muestra Seca	Humedad
61,6 g	434,2 g	299,3 g	56,75%

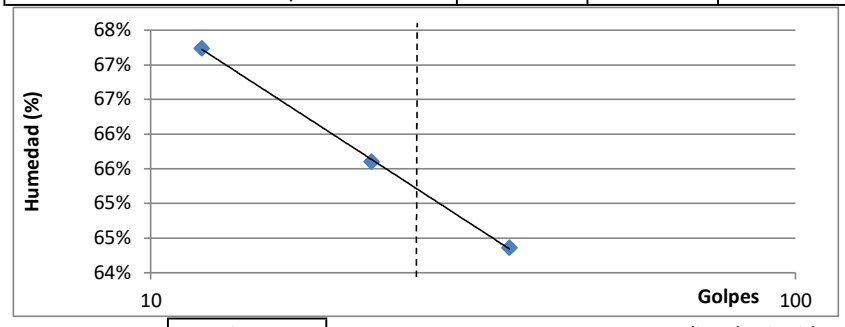
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
INV E -123 - 13

PESO ANTES DEL LAVADO 237,7 g — PESO DESPUES DEL LAVADO 37,1 g

TAMIZ	TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE ACUMULADO	PORCENTAJE PASA
No. 4	4,75	0,9 g	0,4%	0,4%	99,6%
No. 10	2,00	0,9 g	0,4%	0,8%	99,2%
No. 40	0,43	10,4 g	4,4%	5,1%	94,9%
No. 200	0,075	24,9 g	10,5%	15,6%	84,4%
P 200		200,6 g	84,4%		
		237,7 g			

DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLASTICO EN SUELOS
INV E - 125 - 13 - 126 - 13

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
Recipiente	1	2	3	4	5
Peso de Recipiente + Muestra Humeda	16,27	13,95	14,11	7,94	8,4
Peso de Recipiente + Muestra Seca	11,57	10,25	10,39	6,94	7,18
Peso de Recipiente	4,58	4,61	4,61	4,69	4,6
Humedad	**67,24%**	**65,60%**	**64,36%**	**44,44%**	**47,29%**
Numero de Golpes	12	22	36		



Limite Liquido
LL 65,30%

Limite Plastico
LP 45,87%

Indice de Plasticidad
IP 19,43%

Consis. Relativa: 0,44

SUCS: MH

Indice de Liquidez: 0,56

AASHTO: A - 7 - 5

Maria Lucia Ramirez B.

HectorAndres García M.

	FORMATO CLASIFICACIÓN DE SUELOS	F - EN - 01 - V01	
		PÁGINA	1 DE 1

SISTEMA DE CONTENCIÓN DE LA ESQUINA SUR OCCIDENTAL DEL MURO DE CERRAMIENTO

PROYECTO: PERIMETRAL DEL COLEGIO INEM MANUEL MURILLO TORO

SOLICITANTE: ING. BENJAMIN SANJUANES ROMERO — FECHA DE RECEPCIÓN: 24/08/2024

DESCRIPCIÓN: SONDEO 1 MUESTRA 5 — PROF. 5,00 m. — FECHA DE ELABORACIÓN: 26/08/2024

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE HUMEDAD DEL SUELO
INV E - 122 - 13

Peso Recipiente	Peso Rec. Muestra Hum.	Peso Rec. + Muestra Seca	Humedad
74,8 g	288 g	230,8 g	36,67%

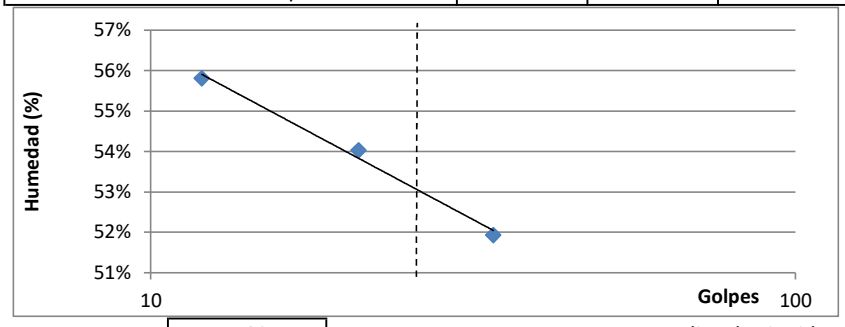
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
INV E -123 - 13

PESO ANTES DEL LAVADO 156 g — PESO DESPUES DEL LAVADO 65,4 g

TAMIZ	TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE ACUMULADO	PORCENTAJE PASA
No. 4	4,75	9,5 g	6,1%	6,1%	93,9%
No. 10	2,00	5,4 g	3,5%	9,6%	90,4%
No. 40	0,43	11,2 g	7,2%	16,7%	83,3%
No. 200	0,075	39,3 g	25,2%	41,9%	58,1%
P 200		90,6 g	58,1%		
		156 g			

DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLASTICO EN SUELOS
INV E - 125 - 13 - 126 - 13

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
Recipiente	1	2	3	4	5
Peso de Recipiente + Muestra Humeda	16,06	16,58	15,66	9,45	8,02
Peso de Recipiente + Muestra Seca	11,98	12,36	11,9	8,13	7,06
Peso de Recipiente	4,67	4,55	4,66	4,58	4,46
Humedad	**55,81%**	**54,03%**	**51,93%**	**37,18%**	**36,92%**
Numero de Golpes	12	21	34		



Limite Liquido
LL 53,18%
Limite Plastico
LP 37,05%
Indice de Plasticidad
IP 16,13%

Consis. Relativa: 1,02 — Indice de Liquidez: -0,02

SUCS: MH — AASHTO: A - 7 - 5

Maria Lucia Ramirez B.

Hector Andres García M.

Nota: La muestra presenta contaminación con un trozo de ladrillo. Dicha contaminación no es tenida en cuenta dentro del material analizado.

	FORMATO CLASIFICACIÓN DE SUELOS	F - EN - 01 - V01	
		PÁGINA	1 DE 1

SISTEMA DE CONTENCIÓN DE LA ESQUINA SUR OCCIDENTAL DEL MURO DE CERRAMIENTO

PROYECTO: PERIMETRAL DEL COLEGIO INEM MANUEL MURILLO TORO

SOLICITANTE: ING. BENJAMIN SANJUANES ROMERO — FECHA DE RECEPCIÓN: 24/08/2024

DESCRIPCIÓN: SONDEO 2 MUESTRA 1 — PROF. 1,00 m. — FECHA DE ELABORACIÓN: 26/08/2024

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE HUMEDAD DEL SUELO
INV E - 122 - 13

Peso Recipiente	Peso Rec. Muestra Hum.	Peso Rec. + Muestra Seca	Humedad
61,4 g	261,7 g	216,7 g	28,98%

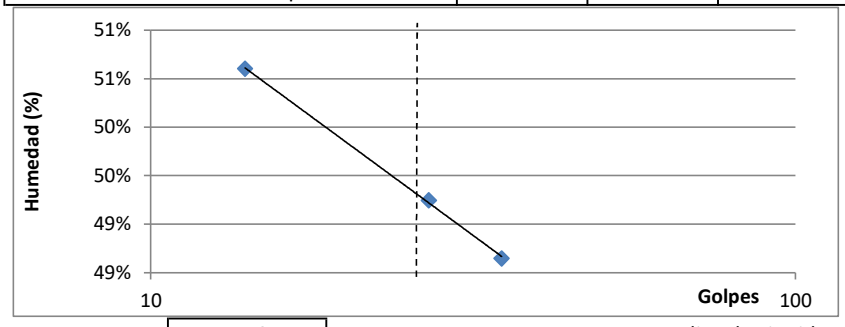
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
INV E -123 - 13

PESO ANTES DEL LAVADO 155,3 g — PESO DESPUES DEL LAVADO 56,2 g

TAMIZ	TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE ACUMULADO	PORCENTAJE PASA
No. 4	4,75	8,1 g	5,2%	5,2%	94,8%
No. 10	2,00	3 g	1,9%	7,1%	92,9%
No. 40	0,43	12,3 g	7,9%	15,1%	84,9%
No. 200	0,075	32,8 g	21,1%	36,2%	63,8%
P 200		99,1 g	63,8%		
		155,3 g			

DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLASTICO EN SUELOS
INV E - 125 - 13 - 126 - 13

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
Recipiente	1	2	3	4	5
Peso de Recipiente + Muestra Humeda	14,75	15,46	13,03	9,26	9,74
Peso de Recipiente + Muestra Seca	11,4	11,87	10,15	8,03	8,31
Peso de Recipiente	4,78	4,58	4,23	4,59	4,29
Humedad	**50,60%**	**49,25%**	**48,65%**	**35,76%**	**35,57%**
Numero de Golpes	14	27	35		



Limite Liquido
LL 49,38%

Limite Plastico
LP 35,66%

Indice de Plasticidad
IP 13,72%

Consis. Relativa: 1,49 — Indice de Liquidez: -0,49

SUCS: ML — AASHTO: A - 7 - 5

Maria Lucia Ramirez B.

HectorAndres García M.

	FORMATO CLASIFICACIÓN DE SUELOS	F - EN - 01 - V01	
		PÁGINA	1 DE 1

SISTEMA DE CONTENCIÓN DE LA ESQUINA SUR OCCIDENTAL DEL MURO DE CERRAMIENTO

PROYECTO: PERIMETRAL DEL COLEGIO INEM MANUEL MURILLO TORO

SOLICITANTE: ING. BENJAMIN SANJUANES ROMERO — FECHA DE RECEPCIÓN: 24/08/2024

DESCRIPCIÓN: SONDEO 2 MUESTRA 2 — PROF. 2,00 m. — FECHA DE ELABORACIÓN: 26/08/2024

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE HUMEDAD DEL SUELO
INV E - 122 - 13

Peso Recipiente	Peso Rec. Muestra Hum.	Peso Rec. + Muestra Seca	Humedad
60,9 g	185,6 g	159,5 g	26,47%

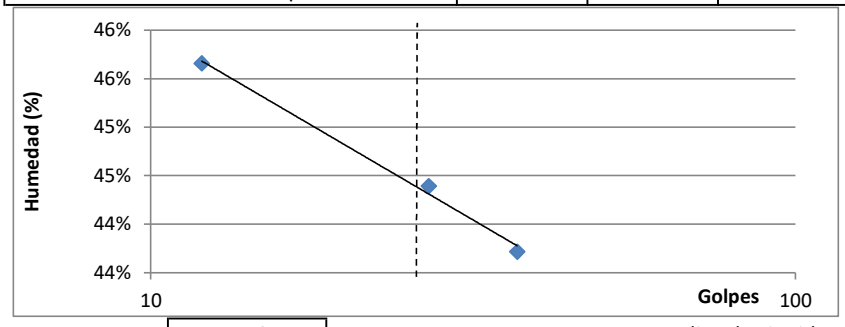
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
INV E -123 - 13

PESO ANTES DEL LAVADO 98,6 g — PESO DESPUES DEL LAVADO 37,3 g

TAMIZ	TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE ACUMULADO	PORCENTAJE PASA
No. 4	4,75	1,6 g	1,6%	1,6%	98,4%
No. 10	2,00	1,3 g	1,3%	2,9%	97,1%
No. 40	0,43	9,6 g	9,7%	12,7%	87,3%
No. 200	0,075	24,8 g	25,2%	37,8%	62,2%
P 200		61,3 g	62,2%		
		98,6 g			

DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLASTICO EN SUELOS
INV E - 125 - 13 - 126 - 13

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
Recipiente	1	2	3	4	5
Peso de Recipiente + Muestra Humeda	14,14	13,91	15,32	10,65	10,39
Peso de Recipiente + Muestra Seca	11,09	10,98	12,05	9,16	8,9
Peso de Recipiente	4,41	4,38	4,57	4,58	4,29
Humedad	**45,66%**	**44,39%**	**43,72%**	**32,53%**	**32,32%**
Numero de Golpes	12	27	37		



Limite Liquido
LL 44,44%

Limite Plastico
LP 32,43%

Indice de Plasticidad
IP 12,01%

Consis. Relativa: 1,50 — Indice de Liquidez: -0,50

SUCS: ML — AASHTO: A - 7 - 5

Maria Lucia Ramirez B.

HectorAndres García M.

Nota: La muestra presenta contaminación con un trozo de vidrio. Dicha contaminación no es tenida en cuenta dentro del material analizado.

INGEOSOL S.A.S.	**FORMATO CLASIFICACIÓN DE SUELOS**	F - EN - 01 - V01
		PÁGINA 1 DE 1

SISTEMA DE CONTENCIÓN DE LA ESQUINA SUR OCCIDENTAL DEL MURO DE CERRAMIENTO

PROYECTO: PERIMETRAL DEL COLEGIO INEM MANUEL MURILLO TORO

SOLICITANTE: ING. BENJAMIN SANJUANES ROMERO — FECHA DE RECEPCIÓN: 24/08/2024

DESCRIPCIÓN: SONDEO 2 MUESTRA 3 — PROF. 3,00 m. — FECHA DE ELABORACIÓN: 26/08/2024

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE HUMEDAD DEL SUELO
INV E - 122 - 13

Peso Recipiente	Peso Rec. Muestra Hum.	Peso Rec. + Muestra Seca	Humedad
78,3 g	438,9 g	344,3 g	35,56%

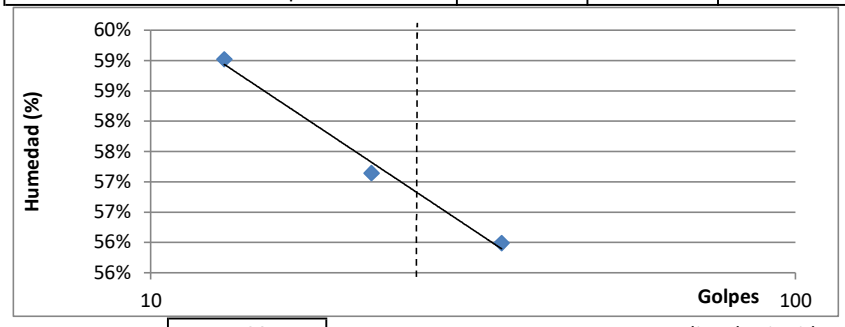
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
INV E -123 - 13

PESO ANTES DEL LAVADO 266 g — PESO DESPUES DEL LAVADO 26,8 g

TAMIZ	TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE ACUMULADO	PORCENTAJE PASA
No. 4	4,75	3,7 g	1,4%	1,4%	98,6%
No. 10	2,00	3,8 g	1,4%	2,8%	97,2%
No. 40	0,43	5,8 g	2,2%	5,0%	95,0%
No. 200	0,075	13,5 g	5,1%	10,1%	89,9%
P 200		239,2 g	89,9%		
		266 g			

DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLASTICO EN SUELOS
INV E - 125 - 13 - 126 - 13

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
Recipiente	1	2	3	4	5
Peso de Recipiente + Muestra Humeda	10,72	15,93	14,9	10,01	9,92
Peso de Recipiente + Muestra Seca	8,43	11,85	11,16	8,48	8,44
Peso de Recipiente	4,55	4,71	4,48	4,64	4,68
Humedad	**59,02%**	**57,14%**	**55,99%**	**39,84%**	**39,36%**
Numero de Golpes	13	22	35		



Limite Liquido
LL 56,93%

Limite Plastico
LP 39,60%

Indice de Plasticidad
IP 17,32%

Consis. Relativa: 1,23 — Indice de Liquidez: -0,23

SUCS: MH — AASHTO: A - 7 - 5

Maria Lucia Ramirez B.

HectorAndres García M.

INGEOSOL S.A.S.	**FORMATO CLASIFICACIÓN DE SUELOS**	F - EN - 01 - V01
		PÁGINA 1 DE 1

SISTEMA DE CONTENCIÓN DE LA ESQUINA SUR OCCIDENTAL DEL MURO DE CERRAMIENTO

PROYECTO: PERIMETRAL DEL COLEGIO INEM MANUEL MURILLO TORO

SOLICITANTE: ING. BENJAMIN SANJUANES ROMERO — FECHA DE RECEPCIÓN: 24/08/2024

DESCRIPCIÓN: SONDEO 2 MUESTRA 4 — PROF. 4,00 m. — FECHA DE ELABORACIÓN: 26/08/2024

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE HUMEDAD DEL SUELO
INV E - 122 - 13

Peso Recipiente	Peso Rec. Muestra Hum.	Peso Rec. + Muestra Seca	Humedad
77,1 g	505 g	350,6 g	56,45%

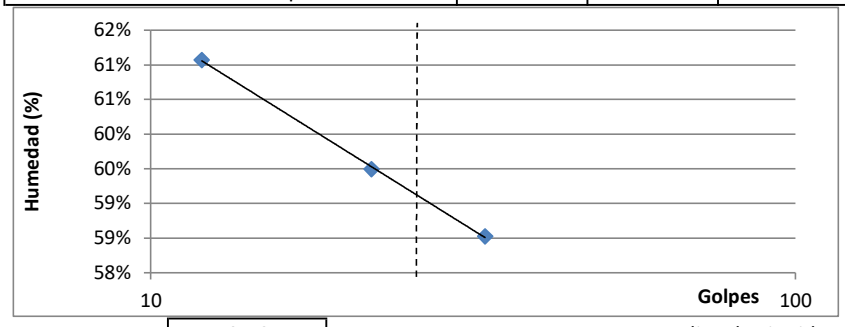
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
INV E -123 - 13

PESO ANTES DEL LAVADO 273,5 g — PESO DESPUES DEL LAVADO 30,5 g

TAMIZ	TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE ACUMULADO	PORCENTAJE PASA
No. 4	4,75	0 g	0,0%	0,0%	100,0%
No. 10	2,00	7,2 g	2,6%	2,6%	97,4%
No. 40	0,43	7,7 g	2,8%	5,4%	94,6%
No. 200	0,075	15,6 g	5,7%	11,2%	88,8%
P 200		243 g	88,8%		
		273,5 g			

DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLASTICO EN SUELOS
INV E - 125 - 13 - 126 - 13

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
Recipiente	1	2	3	4	5
Peso de Recipiente + Muestra Humeda	13,59	13,72	11,34	9,35	9,33
Peso de Recipiente + Muestra Seca	10,17	10,18	8,8	7,98	7,91
Peso de Recipiente	4,57	4,23	4,46	4,71	4,55
Humedad	**61,07%**	**59,50%**	**58,53%**	**41,90%**	**42,26%**
Numero de Golpes	12	22	33		



Limite Liquido
LL 59,21%

Limite Plastico
LP 42,08%

Indice de Plasticidad
IP 17,13%

Consis. Relativa: 0,16 — Indice de Liquidez: 0,84

SUCS: MH — AASHTO: A - 7 - 5

Maria Lucia Ramirez B.

HectorAndres García M.

INGEOSOL S.A.S.	**FORMATO CLASIFICACIÓN DE SUELOS**	F - EN - 01 - V01
		PÁGINA 1 DE 1

SISTEMA DE CONTENCIÓN DE LA ESQUINA SUR OCCIDENTAL DEL MURO DE CERRAMIENTO

PROYECTO: PERIMETRAL DEL COLEGIO INEM MANUEL MURILLO TORO

SOLICITANTE: ING. BENJAMIN SANJUANES ROMERO — FECHA DE RECEPCIÓN: 24/08/2024

DESCRIPCIÓN: SONDEO 2 MUESTRA 5 — PROF. 5,00 m. — FECHA DE ELABORACIÓN: 26/08/2024

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE HUMEDAD DEL SUELO
INV E - 122 - 13

Peso Recipiente	Peso Rec. Muestra Hum.	Peso Rec. + Muestra Seca	Humedad
55,6 g	397 g	287,6 g	47,16%

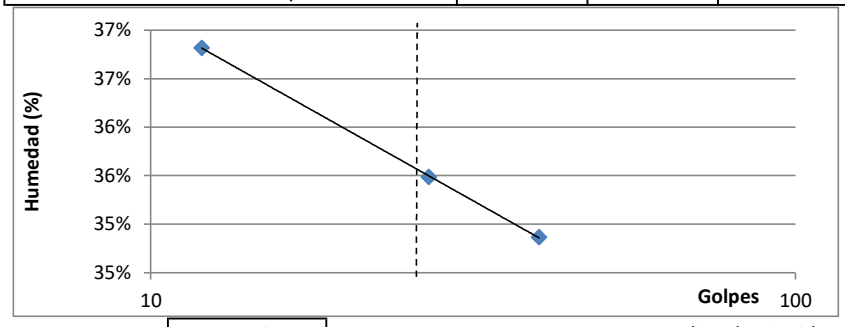
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
INV E -123 - 13

PESO ANTES DEL LAVADO 232 g — PESO DESPUES DEL LAVADO 42,1 g

TAMIZ	TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE ACUMULADO	PORCENTAJE PASA
No. 4	4,75	25,3 g	10,9%	10,9%	89,1%
No. 10	2,00	2,1 g	0,9%	11,8%	88,2%
No. 40	0,43	4,5 g	1,9%	13,8%	86,3%
No. 200	0,075	10,2 g	4,4%	18,1%	81,9%
P 200		189,9 g	81,9%		
		232 g			

DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLASTICO EN SUELOS
INV E - 125 - 13 - 126 - 13

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
Recipiente	1	2	3	4	5
Peso de Recipiente + Muestra Humeda	13,55	16,66	17,29	8,78	8,58
Peso de Recipiente + Muestra Seca	11,12	13,53	14,03	7,83	7,73
Peso de Recipiente	4,52	4,71	4,68	4,4	4,63
Humedad	**36,82%**	**35,49%**	**34,87%**	**27,70%**	**27,42%**
Numero de Golpes	12	27	40		



Limite Liquido
LL 35,62%

Limite Plastico
LP 27,56%

Indice de Plasticidad
IP 8,06%

Consis. Relativa: -1,43 — Indice de Liquidez: 2,43

SUCS: ML — AASHTO: A - 4

Maria Lucia Ramirez B.

HectorAndres García M.

	FORMATO CLASIFICACIÓN DE SUELOS	F - EN - 01 - V01	
		PÁGINA	1 DE 1

SISTEMA DE CONTENCIÓN DE LA ESQUINA SUR OCCIDENTAL DEL MURO DE CERRAMIENTO

PROYECTO: PERIMETRAL DEL COLEGIO INEM MANUEL MURILLO TORO

SOLICITANTE: ING. BENJAMIN SANJUANES ROMERO — FECHA DE RECEPCIÓN: 24/08/2024

DESCRIPCIÓN: SONDEO 2 MUESTRA 6 — PROF. 6,00 m. — FECHA DE ELABORACIÓN: 26/08/2024

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE HUMEDAD DEL SUELO
INV E - 122 - 13

Peso Recipiente	Peso Rec. Muestra Hum.	Peso Rec. + Muestra Seca	Humedad
70,9 g	345,5 g	225,1 g	78,08%

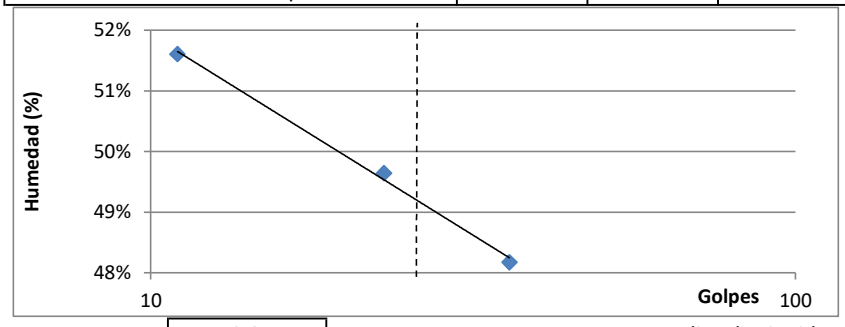
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
INV E -123 - 13

PESO ANTES DEL LAVADO 154,2 g — PESO DESPUES DEL LAVADO 14,9 g

TAMIZ	TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE ACUMULADO	PORCENTAJE PASA
No. 4	4,75	4,2 g	2,7%	2,7%	97,3%
No. 10	2,00	1,7 g	1,1%	3,8%	96,2%
No. 40	0,43	3,2 g	2,1%	5,9%	94,1%
No. 200	0,075	5,8 g	3,8%	9,7%	90,3%
P 200		139,3 g	90,3%		
		154,2 g			

DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLASTICO EN SUELOS
INV E - 125 - 13 - 126 - 13

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
Recipiente	1	2	3	4	5
Peso de Recipiente + Muestra Humeda	12,75	12,98	12,85	8,77	8,2
Peso de Recipiente + Muestra Seca	10,02	10,18	10,08	7,6	7,17
Peso de Recipiente	4,73	4,54	4,33	4,64	4,52
Humedad	**51,61%**	**49,65%**	**48,17%**	**39,53%**	**38,87%**
Numero de Golpes	11	23	36		



Limite Liquido
LL 49,29%

Limite Plastico
LP 39,20%

Indice de Plasticidad
IP 10,09%

Consis. Relativa: -2,85 — Indice de Liquidez: 3,85

SUCS: ML — AASHTO: A-4

Maria Lucia Ramirez B.

HectorAndres García M.

	FORMATO CLASIFICACIÓN DE SUELOS	F - EN - 01 - V01	
		PÁGINA	1 DE 1

SISTEMA DE CONTENCIÓN DE LA ESQUINA SUR OCCIDENTAL DEL MURO DE CERRAMIENTO

PROYECTO: PERIMETRAL DEL COLEGIO INEM MANUEL MURILLO TORO

SOLICITANTE: ING. BENJAMIN SANJUANES ROMERO — FECHA DE RECEPCIÓN: 24/08/2024

DESCRIPCIÓN: SONDEO 2 MUESTRA 7 — PROF. 7,00 m. — FECHA DE ELABORACIÓN: 26/08/2024

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE HUMEDAD DEL SUELO
INV E - 122 - 13

Peso Recipiente	Peso Rec. Muestra Hum.	Peso Rec. + Muestra Seca	Humedad
61,9 g	470,3 g	306,8 g	66,76%

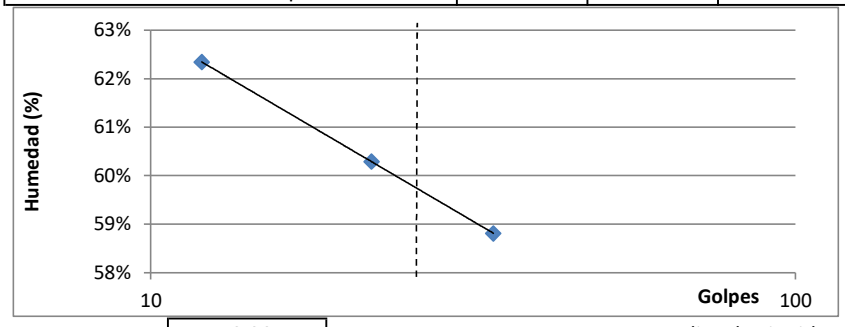
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
INV E -123 - 13

PESO ANTES DEL LAVADO 244,9 g — PESO DESPUES DEL LAVADO 32,4 g

TAMIZ	TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE ACUMULADO	PORCENTAJE PASA
No. 4	4,75	0,7 g	0,3%	0,3%	99,7%
No. 10	2,00	2,4 g	1,0%	1,3%	98,7%
No. 40	0,43	6,7 g	2,7%	4,0%	96,0%
No. 200	0,075	22,6 g	9,2%	13,2%	86,8%
P 200		212,5 g	86,8%		
		244,9 g			

DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLASTICO EN SUELOS
INV E - 125 - 13 - 126 - 13

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
Recipiente	1	2	3	4	5
Peso de Recipiente + Muestra Humeda	13,72	15,44	11,88	9,87	9,1
Peso de Recipiente + Muestra Seca	10,21	11,31	9,21	8,34	7,75
Peso de Recipiente	4,58	4,46	4,67	4,67	4,56
Humedad	**62,34%**	**60,29%**	**58,81%**	**41,69%**	**42,32%**
Numero de Golpes	12	22	34		



Limite Liquido
LL 59,86%
Limite Plastico
LP 42,00%
Indice de Plasticidad
IP 17,85%

Consis. Relativa: -0,39 — Indice de Liquidez: 1,39

SUCS: MH — AASHTO: A - 7 - 5

Maria Lucia Ramirez B.

HectorAndres García M.

INGEOSOL S.A.S.	**FORMATO CLASIFICACIÓN DE SUELOS**	F - EN - 01 - V01
		PÁGINA 1 DE 1

SISTEMA DE CONTENCIÓN DE LA ESQUINA SUR OCCIDENTAL DEL MURO DE CERRAMIENTO

PROYECTO: PERIMETRAL DEL COLEGIO INEM MANUEL MURILLO TORO

SOLICITANTE: ING. BENJAMIN SANJUANES ROMERO — FECHA DE RECEPCIÓN: 24/08/2024

DESCRIPCIÓN: SONDEO 3 MUESTRA 1 — PROF. 1,00 m. — FECHA DE ELABORACIÓN: 26/08/2024

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE HUMEDAD DEL SUELO
INV E - 122 - 13

Peso Recipiente	Peso Rec. Muestra Hum.	Peso Rec. + Muestra Seca	Humedad
81,2 g	377,5 g	277,6 g	50,87%

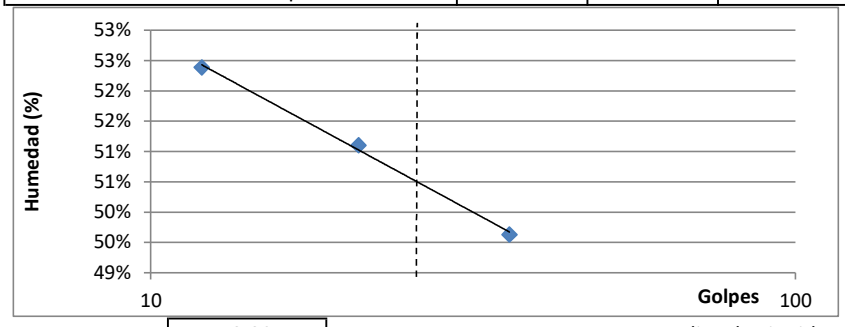
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
INV E -123 - 13

PESO ANTES DEL LAVADO 196,4 g — PESO DESPUES DEL LAVADO 13,3 g

TAMIZ	TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE ACUMULADO	PORCENTAJE PASA
No. 4	4,75	1,1 g	0,6%	0,6%	99,4%
No. 10	2,00	1 g	0,5%	1,1%	98,9%
No. 40	0,43	3,3 g	1,7%	2,7%	97,3%
No. 200	0,075	7,9 g	4,0%	6,8%	93,2%
P 200		183,1 g	93,2%		
		196,4 g			

DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLASTICO EN SUELOS
INV E - 125 - 13 - 126 - 13

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
Recipiente	1	2	3	4	5
Peso de Recipiente + Muestra Humeda	12,19	13,18	12,7	8,89	8,38
Peso de Recipiente + Muestra Seca	9,45	10,17	10,01	7,84	7,4
Peso de Recipiente	4,22	4,28	4,59	4,78	4,58
Humedad	**52,39%**	**51,10%**	**49,63%**	**34,31%**	**34,75%**
Numero de Golpes	12	21	36		



Limite Liquido
LL 50,59%

Limite Plastico
LP 34,53%

Indice de Plasticidad
IP 16,05%

Consis. Relativa: -0,02

SUCS: MH

Indice de Liquidez: 1,02

AASHTO: A - 7 - 5

Maria Lucia Ramirez B.

HectorAndres García M.

INGEOSOL S.A.S.	**FORMATO CLASIFICACIÓN DE SUELOS**	F - EN - 01 - V01
		PÁGINA 1 DE 1

SISTEMA DE CONTENCIÓN DE LA ESQUINA SUR OCCIDENTAL DEL MURO DE CERRAMIENTO

PROYECTO: PERIMETRAL DEL COLEGIO INEM MANUEL MURILLO TORO

SOLICITANTE: ING. BENJAMIN SANJUANES ROMERO — FECHA DE RECEPCIÓN: 24/08/2024

DESCRIPCIÓN: SONDEO 3 MUESTRA 2 — PROF. 2,00 m. — FECHA DE ELABORACIÓN: 26/08/2024

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE HUMEDAD DEL SUELO
INV E - 122 - 13

Peso Recipiente	Peso Rec. Muestra Hum.	Peso Rec. + Muestra Seca	Humedad
60 g	479,4 g	336,6 g	51,63%

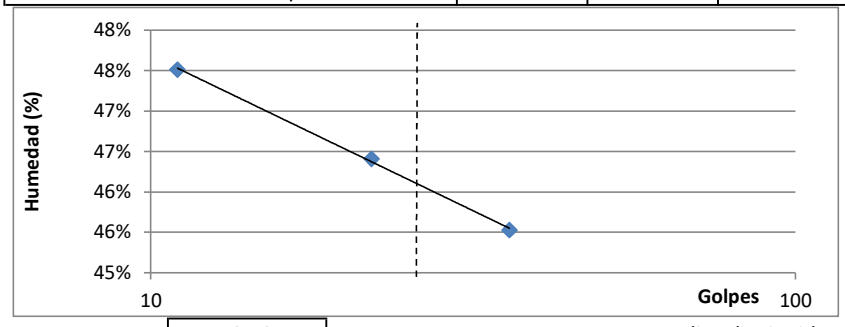
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
INV E -123 - 13

PESO ANTES DEL LAVADO 276,6 g — PESO DESPUES DEL LAVADO 32,3 g

TAMIZ	TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE ACUMULADO	PORCENTAJE PASA
No. 4	4,75	5 g	1,8%	1,8%	98,2%
No. 10	2,00	4,2 g	1,5%	3,3%	96,7%
No. 40	0,43	8,2 g	3,0%	6,3%	93,7%
No. 200	0,075	14,9 g	5,4%	11,7%	88,3%
P 200		244,3 g	88,3%		
		276,6 g			

DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLASTICO EN SUELOS
INV E - 125 - 13 - 126 - 13

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
Recipiente	1	2	3	4	5
Peso de Recipiente + Muestra Humeda	16,26	14,17	15,27	10,76	9,37
Peso de Recipiente + Muestra Seca	13,01	11,52	12,42	9,5	8,5
Peso de Recipiente	6,17	5,81	6,16	5,88	6,01
Humedad	**47,51%**	**46,41%**	**45,53%**	**34,81%**	**34,94%**
Numero de Golpes	11	22	36		



Limite Liquido
LL 46,16%

Limite Plastico
LP 34,87%

Indice de Plasticidad
IP 11,29%

Consis. Relativa: -0,48 — Indice de Liquidez: 1,48

SUCS: ML — AASHTO: A - 7 - 5

Maria Lucia Ramirez B.

HectorAndres García M.

INGEOSOL S.A.S.	**FORMATO CLASIFICACIÓN DE SUELOS**	F - EN - 01 - V01
		PÁGINA 1 DE 1

SISTEMA DE CONTENCIÓN DE LA ESQUINA SUR OCCIDENTAL DEL MURO DE CERRAMIENTO

PROYECTO: PERIMETRAL DEL COLEGIO INEM MANUEL MURILLO TORO

SOLICITANTE: ING. BENJAMIN SANJUANES ROMERO — FECHA DE RECEPCIÓN: 24/08/2024

DESCRIPCIÓN: SONDEO 3 MUESTRA 3 — PROF. 3,00 m. — FECHA DE ELABORACIÓN: 26/08/2024

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE HUMEDAD DEL SUELO
INV E - 122 - 13

Peso Recipiente	Peso Rec. Muestra Hum.	Peso Rec. + Muestra Seca	Humedad
60,8 g	548,1 g	362,4 g	61,57%

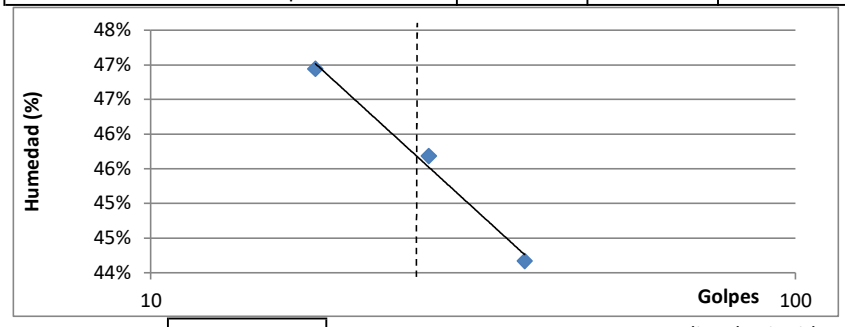
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
INV E -123 - 13

PESO ANTES DEL LAVADO 301,6 g — PESO DESPUES DEL LAVADO 152,9 g

TAMIZ	TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE ACUMULADO	PORCENTAJE PASA
No. 4	4,75	13 g	4,3%	4,3%	95,7%
No. 10	2,00	11,6 g	3,8%	8,2%	91,8%
No. 40	0,43	69,2 g	22,9%	31,1%	68,9%
No. 200	0,075	59,1 g	19,6%	50,7%	49,3%
P 200		148,7 g	49,3%		
		301,6 g			

DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLASTICO EN SUELOS
INV E - 125 - 13 - 126 - 13

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
Recipiente	1	2	3	4	5
Peso de Recipiente + Muestra Humeda	13,59	16,96	14,7	10,14	9,44
Peso de Recipiente + Muestra Seca	10,98	13,36	12,01	9,03	8,35
Peso de Recipiente	5,42	5,48	5,92	5,93	5,28
Humedad	**46,94%**	**45,69%**	**44,17%**	**35,81%**	**35,50%**
Numero de Golpes	18	27	38		



Limite Liquido
LL 45,81%

Limite Plastico
LP 35,66%

Indice de Plasticidad
IP 10,15%

Consis. Relativa: -1,55 — Indice de Liquidez: 2,55

SUCS: SM — AASHTO: A - 5

Maria Lucia Ramirez B.

HectorAndres García M.

INGEOSOL S.A.S.	**FORMATO CLASIFICACIÓN DE SUELOS**	F - EN - 01 - V01
		PÁGINA 1 DE 1

SISTEMA DE CONTENCIÓN DE LA ESQUINA SUR OCCIDENTAL DEL MURO DE CERRAMIENTO

PROYECTO: PERIMETRAL DEL COLEGIO INEM MANUEL MURILLO TORO

SOLICITANTE: ING. BENJAMIN SANJUANES ROMERO — FECHA DE RECEPCIÓN: 24/08/2024

DESCRIPCIÓN: SONDEO 3 MUESTRA 4 — PROF. 4,00 m. — FECHA DE ELABORACIÓN: 26/08/2024

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE HUMEDAD DEL SUELO
INV E - 122 - 13

Peso Recipiente	Peso Rec. Muestra Hum.	Peso Rec. + Muestra Seca	Humedad
81 g	430,7 g	320,6 g	45,95%

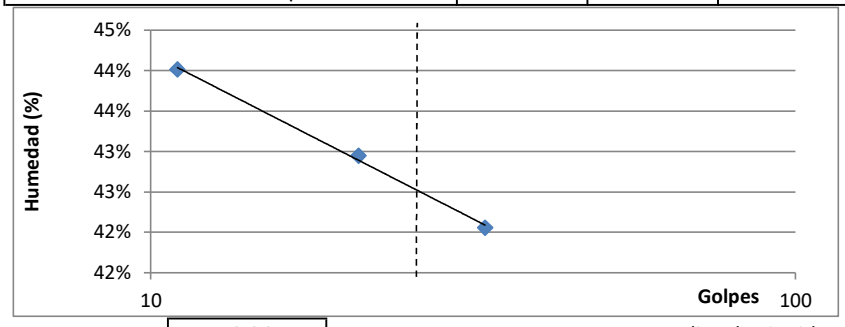
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
INV E -123 - 13

PESO ANTES DEL LAVADO 239,6 g — PESO DESPUES DEL LAVADO 46,2 g

TAMIZ	TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE ACUMULADO	PORCENTAJE PASA
No. 4	4,75	5,1 g	2,1%	2,1%	97,9%
No. 10	2,00	0,9 g	0,4%	2,5%	97,5%
No. 40	0,43	4,9 g	2,0%	4,5%	95,5%
No. 200	0,075	35,3 g	14,7%	19,3%	80,7%
P 200		193,4 g	80,7%		
		239,6 g			

DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLASTICO EN SUELOS
INV E - 125 - 13 - 126 - 13

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
Recipiente	1	2	3	4	5
Peso de Recipiente + Muestra Humeda	12,49	17,28	16,7	10,61	10,85
Peso de Recipiente + Muestra Seca	10,21	13,84	13,55	9,48	9,65
Peso de Recipiente	5,03	5,83	6,06	6,04	6,07
Humedad	**44,02%**	**42,95%**	**42,06%**	**32,85%**	**33,52%**
Numero de Golpes	11	21	33		



Limite Liquido
LL 42,58%

Limite Plastico
LP 33,18%

Indice de Plasticidad
IP 9,40%

Consis. Relativa: -0,36

SUCS: ML

Indice de Liquidez: 1,36

AASHTO: A - 5

Maria Lucia Ramirez B.

HectorAndres García M.

	FORMATO CLASIFICACIÓN DE SUELOS	F - EN - 01 - V01	
		PÁGINA	1 DE 1

SISTEMA DE CONTENCIÓN DE LA ESQUINA SUR OCCIDENTAL DEL MURO DE CERRAMIENTO

PROYECTO: PERIMETRAL DEL COLEGIO INEM MANUEL MURILLO TORO

SOLICITANTE: ING. BENJAMIN SANJUANES ROMERO — FECHA DE RECEPCIÓN: 24/08/2024

DESCRIPCIÓN: SONDEO 3 MUESTRA 5 — PROF. 5,00 m. — FECHA DE ELABORACIÓN: 26/08/2024

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE HUMEDAD DEL SUELO
INV E - 122 - 13

Peso Recipiente	Peso Rec. Muestra Hum.	Peso Rec. + Muestra Seca	Humedad
54,9 g	491,1 g	371,9 g	37,60%

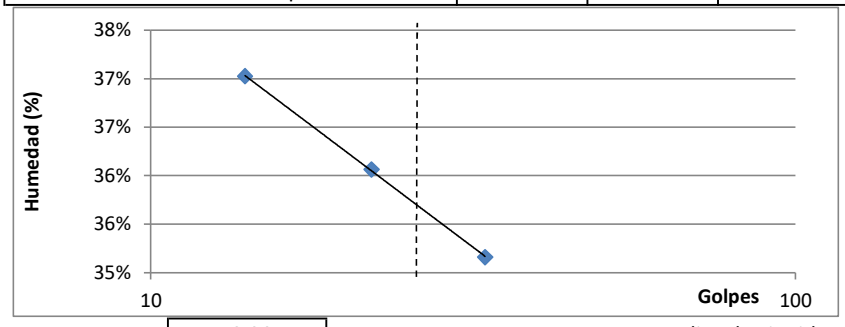
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
INV E -123 - 13

PESO ANTES DEL LAVADO 317 g — PESO DESPUES DEL LAVADO 120,6 g

TAMIZ	TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE ACUMULADO	PORCENTAJE PASA
No. 4	4,75	13,8 g	4,4%	4,4%	95,6%
No. 10	2,00	8,1 g	2,6%	6,9%	93,1%
No. 40	0,43	21,3 g	6,7%	13,6%	86,4%
No. 200	0,075	77,4 g	24,4%	38,0%	62,0%
P 200		196,4 g	62,0%		
		317 g			

DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLASTICO EN SUELOS
INV E - 125 - 13 - 126 - 13

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
Recipiente	1	2	3	4	5
Peso de Recipiente + Muestra Humeda	15,59	18,16	18,69	11,41	10,9
Peso de Recipiente + Muestra Seca	13,05	14,99	15,42	10,14	9,79
Peso de Recipiente	6,19	6,2	6,12	5,86	6,05
Humedad	**37,03%**	**36,06%**	**35,16%**	**29,67%**	**29,68%**
Numero de Golpes	14	22	33		



Limite Liquido
LL 35,77%

Limite Plastico
LP 29,68%

Indice de Plasticidad
IP 6,10%

Consis. Relativa: -0,30 — Indice de Liquidez: 1,30

SUCS: ML — AASHTO: A - 4

Maria Lucia Ramirez B.

HectorAndres García M.

	FORMATO CLASIFICACIÓN DE SUELOS	F - EN - 01 - V01	
		PÁGINA	1 DE 1

SISTEMA DE CONTENCIÓN DE LA ESQUINA SUR OCCIDENTAL DEL MURO DE CERRAMIENTO

PROYECTO: PERIMETRAL DEL COLEGIO INEM MANUEL MURILLO TORO

SOLICITANTE: ING. BENJAMIN SANJUANES ROMERO — FECHA DE RECEPCIÓN: 24/08/2024

DESCRIPCIÓN: SONDEO 3 MUESTRA 6 — PROF. 6,00 m. — FECHA DE ELABORACIÓN: 26/08/2024

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE HUMEDAD DEL SUELO
INV E - 122 - 13

Peso Recipiente	Peso Rec. Muestra Hum.	Peso Rec. + Muestra Seca	Humedad
78,8 g	293 g	260 g	18,21%

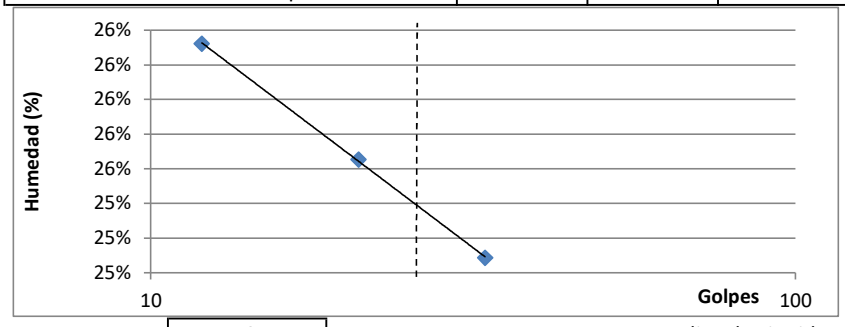
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
INV E -123 - 13

PESO ANTES DEL LAVADO 181,2 g — PESO DESPUES DEL LAVADO 102,9 g

TAMIZ	TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE ACUMULADO	PORCENTAJE PASA
No. 4	4,75	27,1 g	15,0%	15,0%	85,0%
No. 10	2,00	9,8 g	5,4%	20,4%	79,6%
No. 40	0,43	18,2 g	10,0%	30,4%	69,6%
No. 200	0,075	47,8 g	26,4%	56,8%	43,2%
P 200		78,3 g	43,2%		
		181,2 g			

DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLASTICO EN SUELOS
INV E - 125 - 13 - 126 - 13

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
Recipiente	1	2	3	4	5
Peso de Recipiente + Muestra Humeda	15,22	17,44	16,95	10,18	10,15
Peso de Recipiente + Muestra Seca	13,28	15,18	14,77	9,46	9,31
Peso de Recipiente	5,91	6,37	6,08	6,21	5,34
Humedad	**26,32%**	**25,65%**	**25,09%**	**22,15%**	**21,16%**
Numero de Golpes	12	21	33		



Limite Liquido
LL 25,43%

Limite Plastico
LP 21,66%

Indice de Plasticidad
IP 3,77%

Consis. Relativa: 1,91 — Indice de Liquidez: -0,91

SUCS: SM — AASHTO: A - 4

Maria Lucia Ramirez B.

HectorAndres García M.

ANEXO C. PERFILES ESTRATIGRÁFICOS DE LOS SONDEOS

PERFIL ESTRATIGRÁFICO - SONDEO 1

INGENIERIA GEOTECNICA DEL TOLIMA

F - IN - 02

PROYECTO: SISTEMA DE CONTENCIÓN DE LA ESQUINA SUR OCCIDENTAL DEL MURO DE CERRAMIENTO PERIMETRAL DEL COLEGIO INEM MANUEL MURILLO TORO - IBAGUÉ

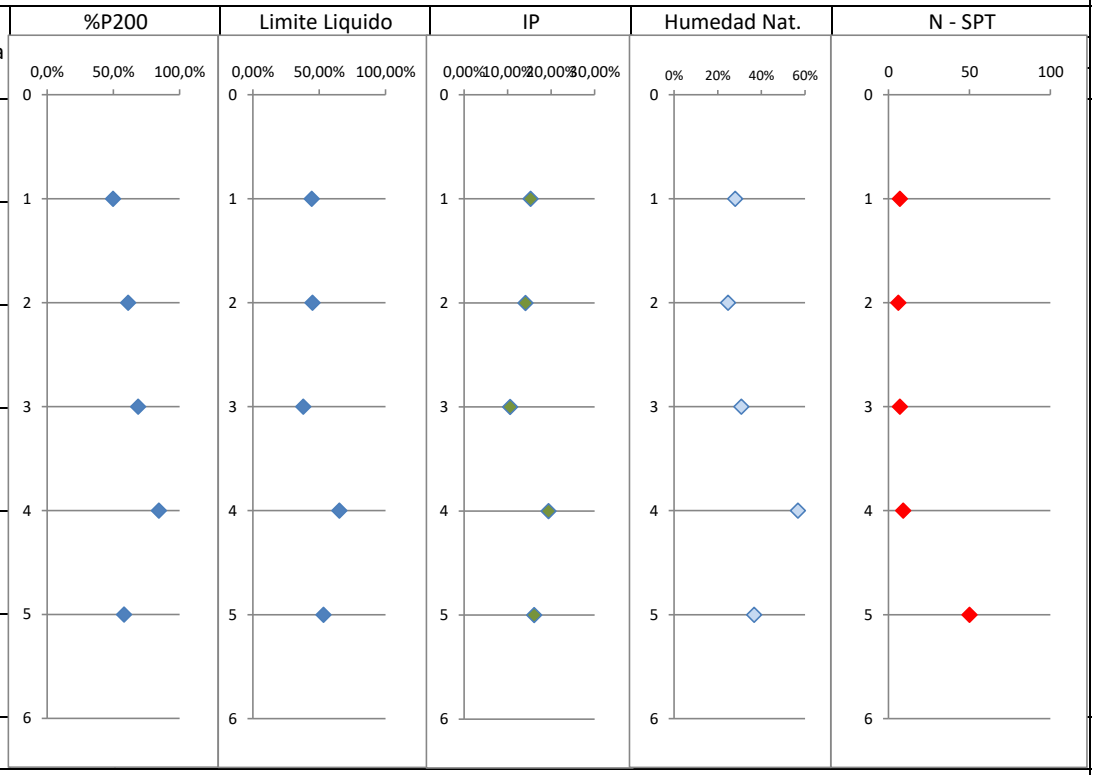
FECHA: 24/08/2024

ELABORO: MARIA LUCIA RAMÍREZ BONILLA

CONDICION CLIMATICA: SOLEADO

DIRECCION: CALLE 22 #9-02 - IBAGUÉ

Profundidad (m)	Descripción	Muestra
1	Suelo areno -limoso de color café con alta presencia de escombros de ladrillo y materia orgánica. De humedad media y plasticidad baja	1
2	Suelo areno -limoso de color café oscuro con presencia de materia orgánica. De humedad media y plasticidad baja.	2
3	Suelo limoso de color café con puntos blancos, humedad media y plasticidad baja.	3
4	Suelo limoso de color café con betas anaranjadas y puntos negros y trazas oscuras. De humedad media-alta y plasticidad media	4
5	Transición a suelo más arenoso de grano de color beige, de mayor resistencia a la penetración. De humedad y plasticidad media.	5
6	RECHAZO EN EL ENSAYO DE SPT	6



OBSERVACIONES

PERFIL ESTRATIGRÁFICO - SONDEO 2

INGENIERIA GEOTECNICA DEL TOLIMA

F - IN - 02

PROYECTO: SISTEMA DE CONTENCIÓN DE LA ESQUINA SUR OCCIDENTAL DEL MURO DE CERRAMIENTO PERIMETRAL DEL COLEGIO INEM MANUEL MURILLO TORO - IBAGUÉ

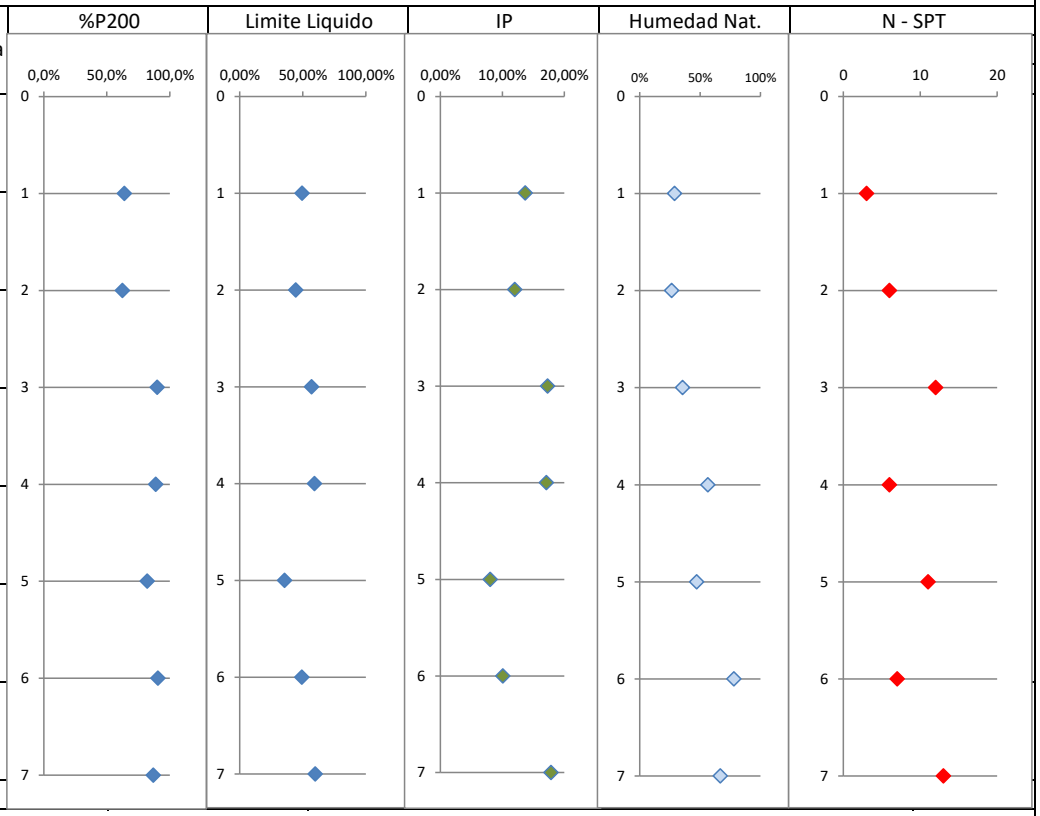
FECHA: 24/08/2024

ELABORO: MARIA LUCIA RAMÍREZ BONILLA

CONDICION CLIMATICA: SOLEADO

DIRECCION: CALLE 22 #9-02 - IBAGUÉ

Profundidad (m)	Descripción	Muestra
1	Suelo areno -limoso de color café con alta presencia de escombros de ladrillo y materia orgánica. De humedad media y plasticidad baja	1
2	Suelo limoso de color café con alta presencia de materia orgánica. De humedad media y plasticidad baja	2
3	Suelo limoso de color marrón con betas verticales negras. De humedad y plasticidad media.	3
4	Suelo limoso de color marrón oscuro con betas verticales negras. Se evidencia aumento de humedad respecto de la muestra anterior. Plasticidad media.	4
5	Suelo limoso de color marrón oscuro. La muestras presenta una roca granitica muy meteorizada de grano gris y blanco frágil al tacto. Se evidencia aumento de humedad respecto de la muestra anterior. Plasticidad media.	5
6	Suelo lomoso con aumento importante de la humedad, de color café co betas mas oscuras. Plasticidad media.	6
7	Suelo limoso de color beige con puntos café oscuro y betas blancas horizontales. De humedad media-alta y plasticidad media.	7



OBSERVACIONES

PERFIL ESTRATIGRÁFICO - SONDEO 3

INGENIERIA GEOTECNICA DEL TOLIMA

F - IN - 02

PROYECTO: SISTEMA DE CONTENCIÓN DE LA ESQUINA SUR OCCIDENTAL DEL MURO DE CERRAMIENTO PERIMETRAL DEL COLEGIO INEM MANUEL MURILLO TORO - IBAGUÉ

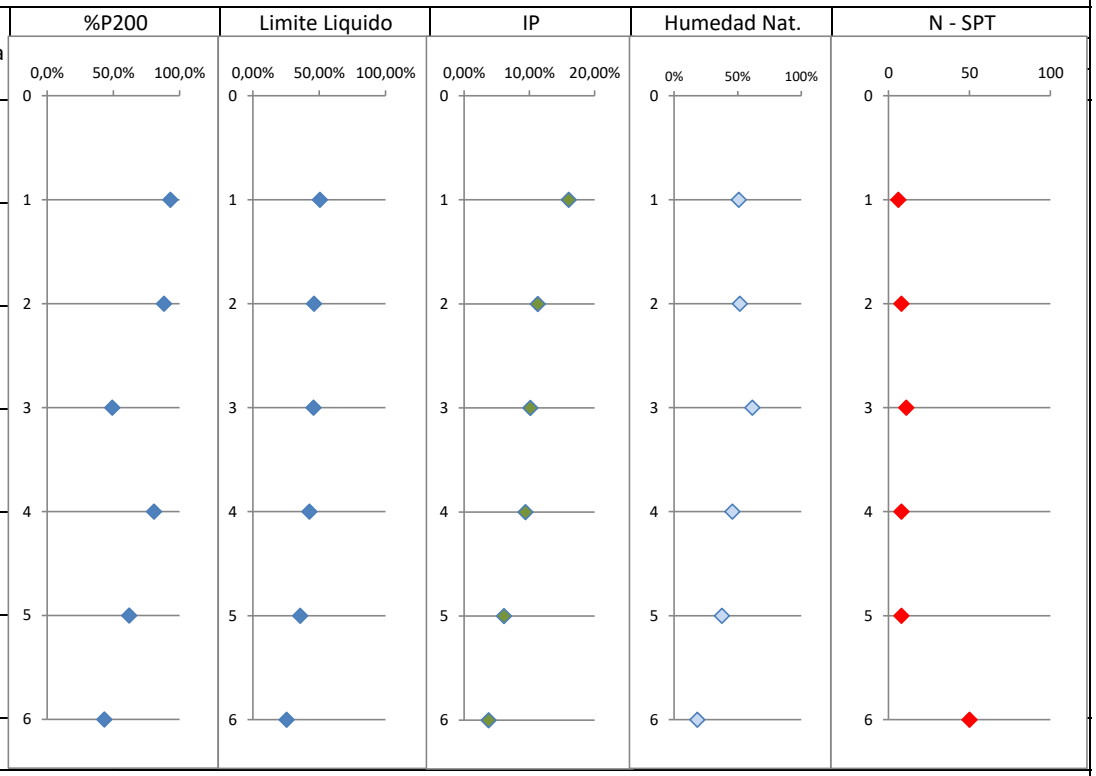
FECHA: 25/08/2024

ELABORO: MARIA LUCIA RAMÍREZ BONILLA

CONDICION CLIMATICA: SOLEADO

DIRECCION: CALLE 22 #9-02 - IBAGUÉ

Profundidad (m)	Descripción	Muestra
1	Suelo limoso de color anaranjado con trazas negras. Humedad media-alta y plasticidad media	1
2	Suelo limosos de color anaranjado con marrón, de humedad alta y plasticidad media. Posible escurrimiento lateral de agua.	2
3	Suelo areno-limoso de color naranja con trozos negros y beige, con granos de arena perceptibles al tacto. De humedad alta y plasticidad media.	3
4	Suelo limoso de color beige con trazas naranjas. Con humedad media y plasticidad media-baja	4
5	Suelo limoso de color beige a verdoso claro. De humedad media y plasticidad media-baja	5
6	Suelo areno-limoso de color verdoso con trazas grises. Presencia de gravas pequeñas. De humedad alta y plasticidad media.	6
	Rechazo del ensayo SPT a 6.45m	



OBSERVACIONES

ANEXO D. UBICACIÓN DE LOS SONDEOS

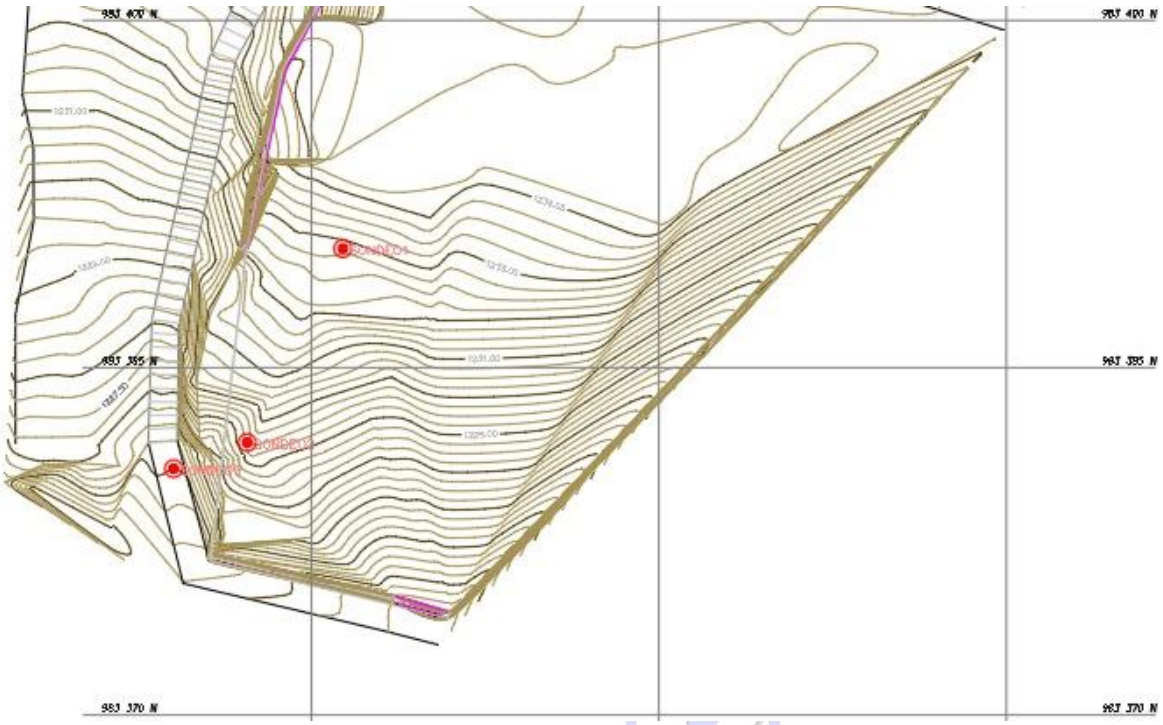


Tabla 19 Coordenadas de los sondeos

Referencia	Norte	Este	Cota
Sondeo 1	983390.14	872131.35	1232.81
Sondeo 2	983381.77	872127.23	1229.35
Sondeo 3	983380.64	872124.05	1225.99

ANEXO E. REGISTRO FOTOGRÁFICO

Sondeo 1













Sondeo 2








INEM
Sondeo 2 Muestra 3
Nspt 3-5-7


INEM
SONDEO2 Muestra 4
NsPT 3-3-3
PROF 4.0 - 4.45m


INEM
Sondeo 2 M5
Prof. 5-5.45m
Nspt. 4-5-6


INEM
S2 M6
Nspt-5-3-4
P. 6-6.45m


INEM
Sondeo 2 M7
P. 7-7.45m
Nspt-4-5-8

Sondeo 3

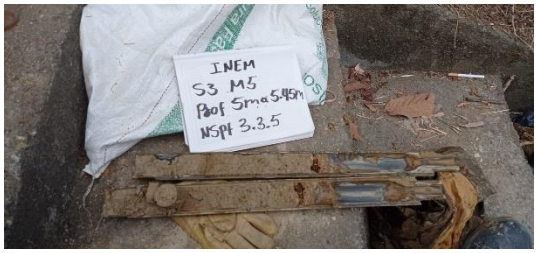



INEM
S3 M1


INEM
S3 M2
Prof 2m a 2.45m
Nspt. 2.3.5









Exploración manual







ANEXO F. PLANO DE TOPOGRAFÍA

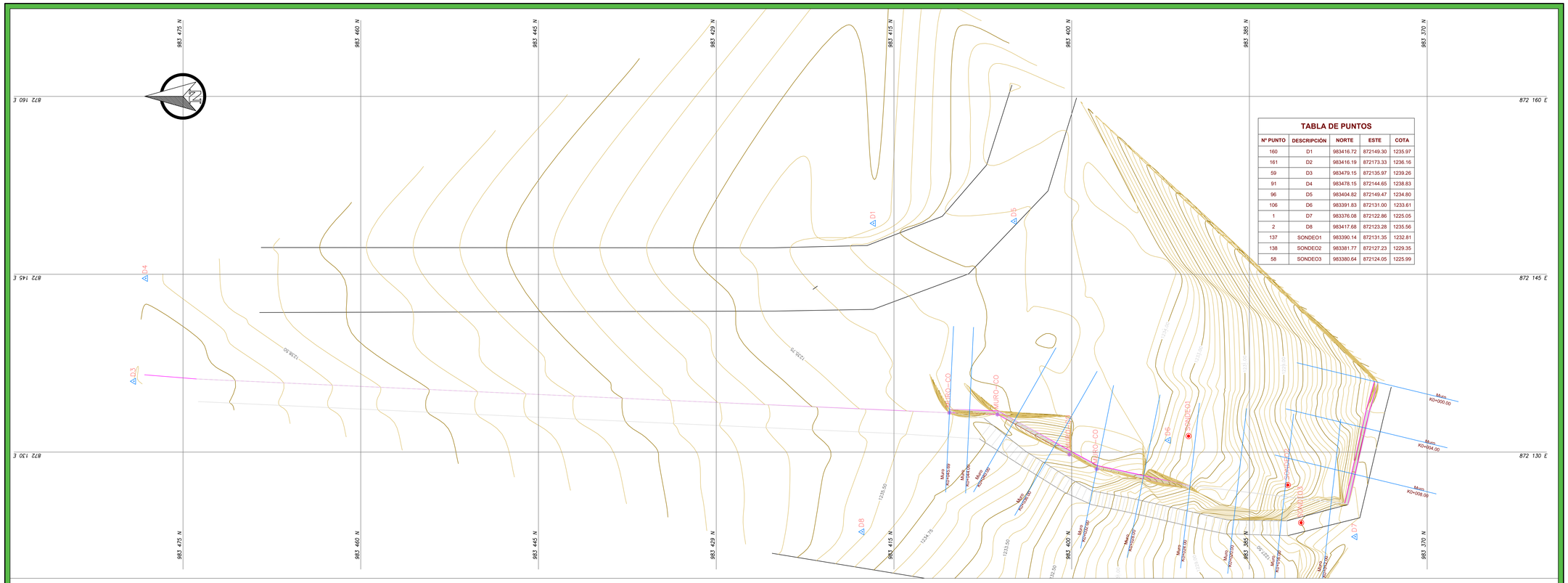
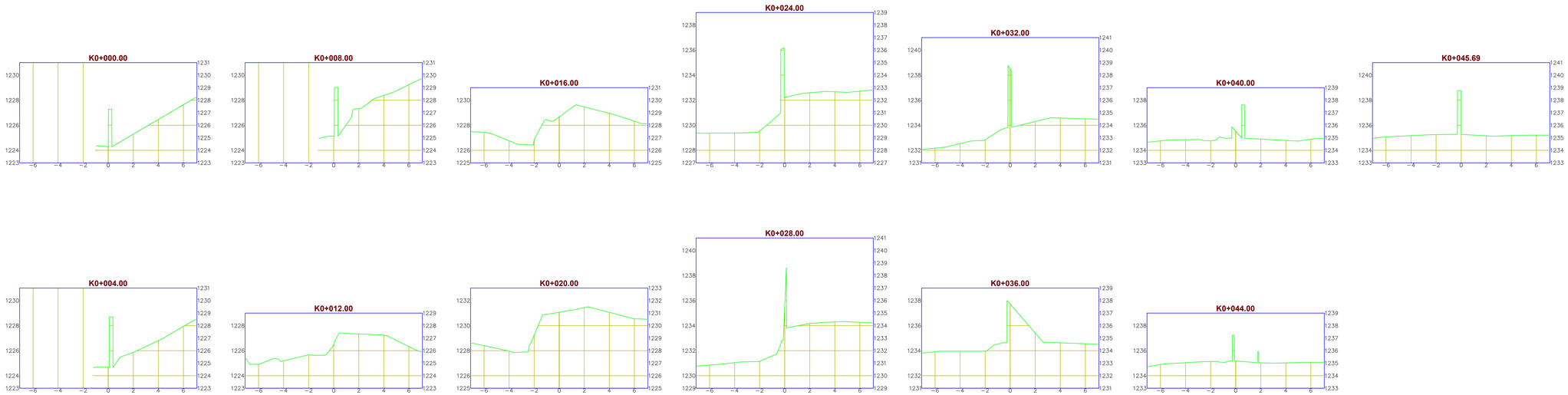


TABLA DE PUNTOS

Nº PUNTO	DESCRIPCIÓN	NORTE	ESTE	COTA
160	D1	983416.72	872149.30	1235.97
161	D2	983416.19	872173.33	1236.16
59	D3	983479.15	872135.97	1239.26
91	D4	983478.15	872144.65	1238.83
96	D5	983404.82	872149.47	1234.80
106	D6	983391.83	872131.00	1233.61
1	D7	983376.08	872122.86	1225.05
2	D8	983417.68	872123.28	1235.56
137	SONDEO1	983390.14	872131.35	1232.81
138	SONDEO2	983381.77	872127.23	1229.35
58	SONDEO3	983380.64	872124.05	1225.99



DEPARTAMENTO DEL TOLIMA
MUNICIPIO DE IBAGUE

PROYECTO:

MURO PERIMETRAL VERTICE SUR OCCIDENTAL

COLEGIO INEM MANUEL MURILLO TORO

SEDE PRINCIPAL IBAGUE

PROPIETARIO :

I.E INEM MANUEL MURILLO TORO

CONTRATISTA:

BENJAMÍN SANJUANES ROMERO

CONSULTOR:

ING MARIA LUCIA RAMÍREZ BONILLA
M.P. 70202298823 TLM

TOPOGRAFO:

NATALIA BASTIDAS PEÑA
M.P. 01-17180

OBSERVACIONES:

CONTIENE:

PLANTA TOPOGRAFICA SECCIONES TRANSVERSALES

DIGITALIZO:

PAULA ANDREA CASTELLANOS SOTELO
INGENIERA CIVIL

FECHA: **AGOSTO 2024**

ESCALA: **1:150**

T

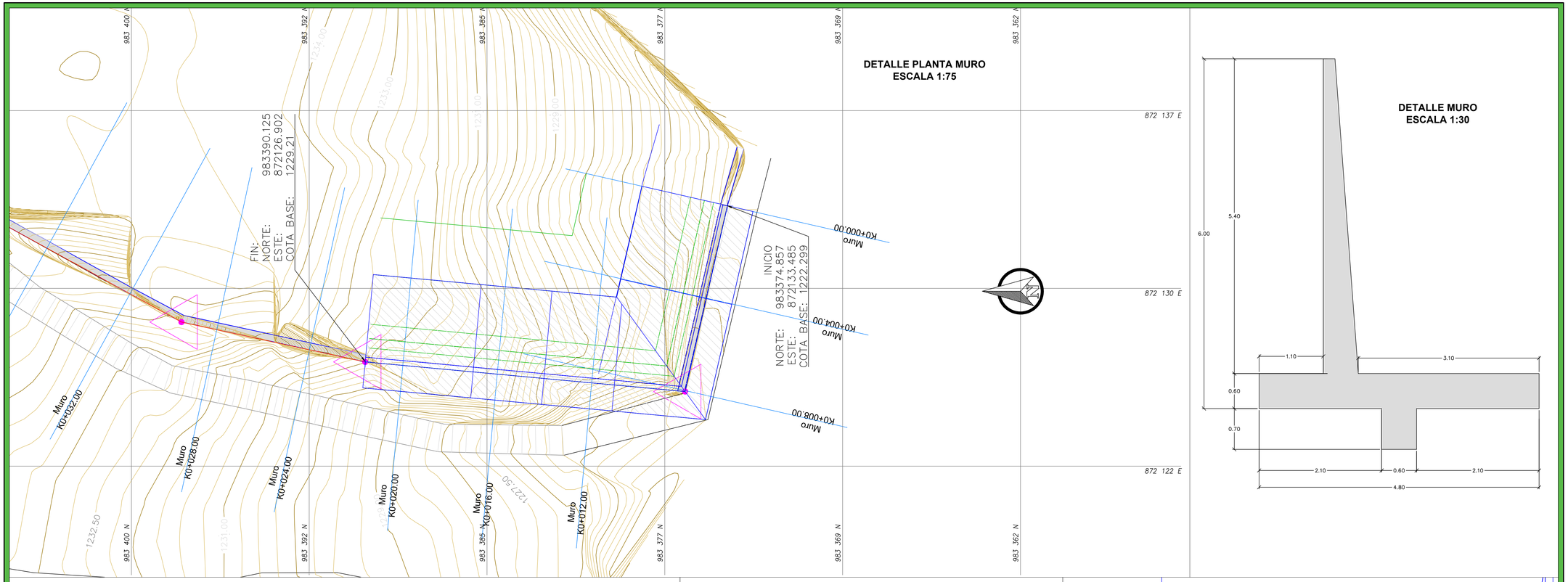
TOPO

01 | 01

MURO PERIMETRAL INEM

ANEXO G. PLANO DE DISEÑO SISTEMA DE CONTENCIÓN

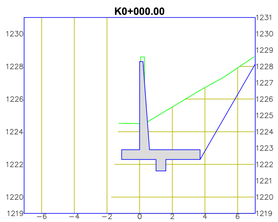
DETALLE PLANTA MURO
ESCALA 1:75



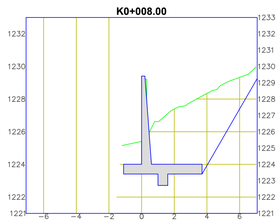
DETALLE MURO
ESCALA 1:30

SECCIONES TRANSVERSALES
ESCALA 1:150

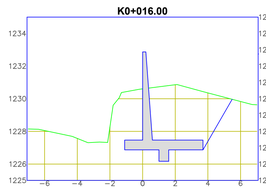
K0+000.00



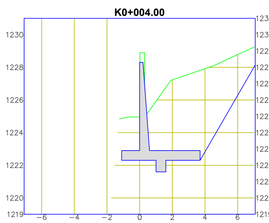
K0+008.00



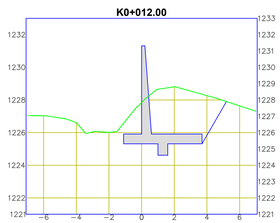
K0+016.00



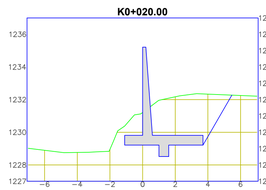
K0+004.00



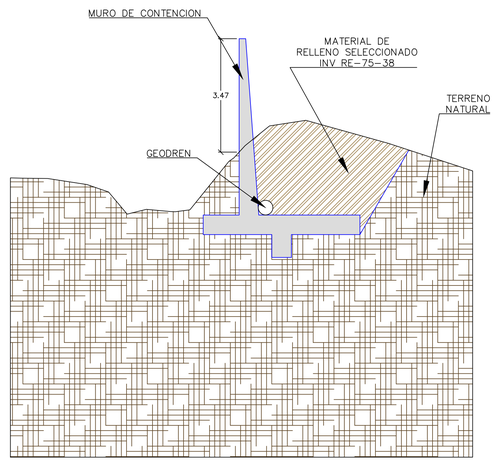
K0+012.00

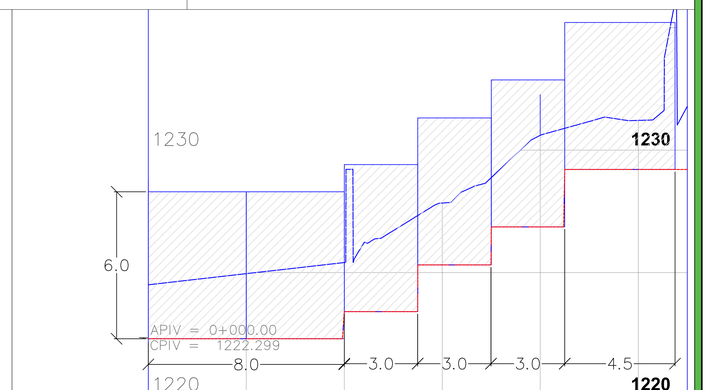


K0+020.00



DETALLE SECCIÓN MURO
ESCALA 1:75





PROGRESIVAS	K0+004.000	K0+008.000	K0+012.000	K0+016.000	K0+020.000
COTA TERRENO	1224.956m	1225.409m	1227.839m	1230.605m	1231.214m
COTA BASE MURO	1222.299m	1223.406m	1225.312m	1226.865m	1229.211m

DEPARTAMENTO DEL TOLIMA
MUNICIPIO DE IBAGUE

PROYECTO:
MURO PERIMETRAL VERTICE SUR OCCIDENTAL
COLEGIO INEM MANUEL MURILLO TORO
SEDE PRINCIPAL IBAGUE

INGEOTOL S.A.S.

PROPIETARIO :
I.E INEM MANUEL MURILLO TORO

CONTRATISTA:
BENJAMÍN SANJUANES ROMERO

CONSULTOR:
ING MARIA LUCIA RAMÍREZ BONILLA
M.P. 7020229823 TLM

DISEÑADOR:
ING. HÉCTOR ANDRÉS GARCÍA M.
M.P. 7020214913G

OBSERVACIONES:

CONTIENE:
PLANTA DISEÑO MURO
SECCIONES TRANSVERSALES
PERFIL LONGITUDINAL
DETALLE MURO DE CONTENCIÓN

DIGITALIZO:
PAULA ANDREA CASTELLANOS SOTELO
INGENIERA CIVIL

FECHA: **AGOSTO 2024**
ESCALA: **INDICADO**

D
DISEÑO
01 01

MURO PERIMETRAL INEM

ANEXO H. COPNIA Y TARJETA PROFESIONAL

VÁLIDO PARA ESTUDIO DE SUELOS ANALISIS DE ESTABILIDAD MURO INEM – AGOSTO 2024

REPUBLICA DE COLOMBIA

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERIA

COPNIA



MATRICULA PROFESIONAL No.

70202149136TLM

INGENIERO CIVIL

DE FECHA 11/29/2007

HECTOR ANDRES

GARCIA MANCHOLA

C.C. 5827593

UNIVERSIDAD DE IBAGUE -

CORUNIVERSITARIA

Certificado de vigencia y antecedentes disciplinarios
CVAD-2024-2935059

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA
COPNIA

EL DIRECTOR GENERAL

CERTIFICA:

1. Que HECTOR ANDRES GARCIA MANCHOLA, identificado(a) con CEDULA DE CIUDADANIA 5827593, se encuentra inscrito(a) en el Registro Profesional Nacional que lleva esta entidad, en la profesión de INGENIERIA CIVIL con MATRICULA PROFESIONAL 70202-149136 desde el 29 de Noviembre de 2007, otorgado(a) mediante Resolución Nacional 776.

2. Que el(la) MATRICULA PROFESIONAL es la autorización que expide el Estado para que el titular ejerza su profesión en todo el territorio de la República de Colombia, de conformidad con lo dispuesto en la Ley 842 de 2003.

3. Que el(la) referido(a) MATRICULA PROFESIONAL se encuentra **VIGENTE**

4. Que el profesional no tiene antecedentes disciplinarios ético-profesionales.

5. Que la presente certificación se expide en Bogotá, D.C., a los veintiuno (21) días del mes de Agosto del año dos mil veinticuatro (2024).

Rubén Dario Ochoa Arbeláez

Firmal del titular (*)

(*)Con el fin de verificar que el titular autoriza su participación en procesos estatales de selección de contratistas. La falta de firma del titular no invalida el Certificado
El presente es un documento público expedido electrónicamente con firma digital que garantiza su plena validez jurídica y probatoria según lo establecido en la Ley 527 de 1999. Para verificar la firma digital, consulte las propiedades del documento original en formato .pdf.
Para verificar la integridad e inalterabilidad del presente documento consulte en el sitio web https://tramites.copnia.gov.co/Copnia_Microsite/CertificateOfGoodStanding/CertificateOfGoodStandingStart indicado el número del certificado que se encuentra en la esquina superior derecha de este documento.

REPÚBLICA DE COLOMBIA

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA

COPNIA



MATRÍCULA PROFESIONAL No.
70202-298823 TLM
INGENIERA CIVIL

DE FECHA 06/03/2015
MARIA LUCIA
RAMIREZ BONILLA
C.C. 1110523979
UNIVERSIDAD DE IBAGUE

PRESIDENTE DEL CONSEJO

Identificación Plástica S.A. I40431-2/0514

Válido para estudio de suelos Muro perimetral 23 de agosto 2024

Este es un documento público expedido en virtud de la Ley 842 de 2003, que autoriza a su titular para ejercer como Ingeniero en todo el Territorio Nacional.

En caso de extravío debe ser remitida al COPNIA

Calle 78 No. 9 - 57 Oficina 1301 Tel: 636 5364 Bogotá D.C.
01 8000 116590

REPÚBLICA DE COLOMBIA
COPNIA
Consejo Profesional Nacional de Ingeniería

Certificado de vigencia y antecedentes disciplinarios
CVAD-2024-2875048

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA
COPNIA

EL DIRECTOR GENERAL

CERTIFICA:

1. Que MARIA LUCIA RAMIREZ BONILLA, identificado(a) con CEDULA DE CIUDADANIA 1110523979, se encuentra inscrito(a) en el Registro Profesional Nacional que lleva esta entidad, en la profesión de INGENIERIA CIVIL con MATRICULA PROFESIONAL 70202-298823 desde el 05 de Marzo de 2015, otorgado(a) mediante Resolución Nacional 263.

2. Que el(la) MATRICULA PROFESIONAL es la autorización que expide el Estado para que el titular ejerza su profesión en todo el territorio de la República de Colombia, de conformidad con lo dispuesto en la Ley 842 de 2003.

3. Que el(la) referido(a) MATRICULA PROFESIONAL se encuentra **VIGENTE**

4. Que el profesional no tiene antecedentes disciplinarios ético-profesionales.

5. Que la presente certificación se expide en Bogotá, D.C., a los veintitres (23) días del mes de Julio del año dos mil veinticuatro (2024).

Rubén Dario Ochoa Arbeláez

Firmal del titular (*)

(*)Con el fin de verificar que el titular autoriza su participación en procesos estatales de selección de contratistas. La falta de firma del titular no invalida el Certificado
El presente es un documento público expedido electrónicamente con firma digital que garantiza su plena validez jurídica y probatoria según lo establecido en la Ley 527 de 1999. Para verificar la firma digital, consulte las propiedades del documento original en formato .pdf.
Para verificar la integridad e inalterabilidad del presente documento consulte en el sitio web https://tramites.copnia.gov.co/Copnia_Microsite/CertificateOfGoodStanding/CertificateOfGoodStandingStart indicado el número del certificado que se encuentra en la esquina superior derecha de este documento.