



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN.

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE UN TALUD, CUYO
COMPONENTE LITOLÓGICO ES EXPANSIVO”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR: ADRIÁN GEOVANNY ORTEGA RIVAS

DIRECTOR: ING. LUIS MARIO ALMACHE SÁNCHEZ

CUENCA - ECUADOR

2021

*Yo me gradué en
los 50 años de La Cato!
... y sostuve la Universidad*

DECLARACIÓN

Yo, Adrián Geovanny Ortega Rivas, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



Firmado electrónicamente por:

**ADRIAN
GEOVANNY
ORTEGA RIVAS**

Adrián Geovanny Ortega Rivas

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el estudiante Adrián Geovanny Ortega Rivas, bajo mi supervisión.

LUIS MARIO
ALMACHE
SANCHEZ

Firmado digitalmente por
LUIS MARIO
ALMACHE SANCHEZ
Fecha: 2021.01.27
06:55:38 -05'00'

Ing. Luis Mario Almache

DIRECTOR

DEDICATORIA

Dedico esta tesis, a mi madre Rosa y a mis abuelos Daniel y Rosario, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades, A mi hermano Jonnathan por su apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento, gracias. A toda mi familia porque con sus consejos y palabras de aliento, hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma, me acompañan en todos mis sueños y metas.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis familiares y amigos quienes con sus palabras de aliento me mantenían perseverante para no decaer hasta alcanzar mis ideales.

Un agradecimiento especial hacia mi persona pues, mediante los valores de la perseverancia y determinación, he logrado culminar esta meta propuesta.

“La perseverancia y la determinación son las únicas todopoderosas.

La frase “sigue adelante” ha resuelto y siempre resolverá
todos los problemas de la humanidad.”

Calvin Coolidge.

RESUMEN

La presente tesis de investigación, da a conocer los factores geotécnicos que causan la inestabilidad en suelos expansivos. Esta propiedad de los suelos, puede causar daños significativos en estructuras u obras civiles, e inclusive colapsos generales.

Como objeto de estudio se tomó un talud ubicado en la zona norte de Cuenca (Nulti), de donde se extrajo diferentes muestras de suelo para su posterior análisis. Los parámetros determinados se obtuvieron por métodos de exploración directa, ensayos en laboratorio y por correlaciones con fórmulas de varios autores.

Se realizó una modelación por medios computacionales del talud aplicando el método de equilibrio límite MEL. Se modeló en función de las propiedades físico- mecánicas originales y saturadas del talud, utilizando para éste, el método de Bishop en condiciones pseudoestáticas.

Mediante los resultados, se verificó la incidencia de los suelos expansivos en la estabilidad de taludes. Se concluyó que el factor determinante que provoca inestabilidad es el agua, pues los cambios de humedad en este tipo de suelos provocan aumento y reducción en su volumen.

Finalmente, realizado el análisis, se propone soluciones a la inestabilidad que presenta el talud en estudio. De esta manera se podrá tomar medidas correctivas, mismas que permiten mitigar la vulnerabilidad existente.

Palabras Claves: Suelos expansivos. Inestabilidad de taludes. Equilibrio límite. Parámetros geotécnicos.

ABSTRACT

The present research thesis presents the geotechnical factors that cause instability in expansive soils. This property of soils can cause significant damage to structures or civil works and even general collapse.

As the object of study, a slope located in the northern zone of Cuenca (Nulti) was taken, from where different soil samples were extracted for later analysis. The determined parameters were obtained by direct exploration methods, laboratory tests, and correlations with the formulas of several authors.

A modeling of the slope was made by computer means applying the limit equilibrium method MEL. It was modeled as a function of the original physical-mechanical and saturated properties of the slope, using for this, the method of Bishop in pseudostatic conditions.

Through the results, the incidence of expansive soils on the stability of slopes was verified. It was concluded that the determining factor that causes instability is water since changes in humidity in this type of soil caused an increase and reduction in its volume.

Finally, once the analysis was carried out, it was proposed solutions to the instability presented by the slope under study. In this way, it will be possible to take corrective measures, which allow mitigating the existing vulnerability.

Keywords: Expansive soils, slope instability, limit balance, geotechnical parameters.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN	I
CERTIFICACIÓN	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT.....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDO	VII
INDICE DE ILUSTRACIONES:	XI
ÍNDICE DE TABLAS:.....	XII
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS.....	2
<input type="checkbox"/> Objetivo general	2
<input type="checkbox"/> Objetivos específicos	2
JUSTIFICACIÓN	3
ESTADO DEL ARTE.....	3
CAPÍTULO I	
INTRODUCCION A LOS SUELOS EXPANSIVOS.....	5
1.1. Origen de los suelos	5
1.2. Identificación de los suelos	7
1.3. Clasificación de los suelos	7
1.3.1. Clasificación AASHTO	8
1.3.2. SUCS (Sistema de clasificación y unificación de los suelos)	9
1.4. Suelos expansivos	11
1.5. Ensayos para determinar suelos expansivos.....	12

1.6. Geología de la zona.....	17
CAPÍTULO II	
ESTABILIDAD DE TALUDES.....	21
2.1. Generalidades	21
2.2. Tipos y causas de fallas más comunes	21
2.3. Principales problemas geotécnicos	23
2.4. Fenómeno de reptación en taludes.....	24
2.5. Problemas de estabilidad de taludes.....	25
2.6. Métodos de análisis.....	27
2.6.1. Método de Fellenius.....	31
2.6.2. Método de Bishop simplificado.	31
2.6.3. Análisis en tensiones efectivas y en tensiones totales.....	32
2.7. Consideraciones al análisis de taludes de materiales expansivos.....	34
CAPÍTULO III	
ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO	36
3.1. Reconocimiento del terreno.....	36
3.2. Planificación de reconocimientos.....	36
3.3. Procedimientos mecánicos de reconocimiento de subsuelo	37
3.4. Toma de muestras alteradas e inalteradas.....	38
3.5. Registro de datos.	39
3.6. Ensayos in situ.	39
3.7. Condiciones naturales de muestra	51
3.8. Ensayos granulométricos.....	51
3.9. Límites de plasticidad	51
3.10. Clasificación del suelo	52
3.11. Ensayo de corte directo.....	53

3.12. Ensayo triaxial	55
3.13. Resultados de ensayos	58
3.14. Análisis de expansividad de las muestras	66
CAPÍTULO IV	
MODELACIÓN DEL TALUD	70
4.1. Topografía de la zona	70
4.2. Determinación del perfil estratigráfico	70
4.3. Generación de perfiles para análisis	71
4.4. Condiciones de análisis	72
4.5. Resultados de la modelación	75
CAPÍTULO V	
MECANISMOS DE ESTABILIZACIÓN, CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES	79
5.1. Métodos de estabilización recomendados	79
5.2. Métodos aplicables a suelos expansivos	82
5.2.1. Medidas recomendadas para la zona de estudio	84
5.3. Conclusiones	85
5.4. Recomendaciones	86
BIBLIOGRAFÍA	88
ANEXOS	91
ANEXO 1: Diagrama de flujo para la clasificación de suelos de partículas gruesas (SUCS ASTM D2487)	91
ANEXO 2: Ensayos para clasificación de suelo en calicata 1	92
ANEXO 3: Ensayos para clasificación de suelo en calicata 2	94
ANEXO 4: Ensayos para clasificación de suelo en calicata 3	98
ANEXO 5: Ensayos para clasificación de suelo en calicata 4	100
ANEXO 6: Ensayo de corte directo para diferentes muestras en calicata 1	102

ANEXO 7: Ensayo de corte directo para diferentes muestras en calicata 2.	110
ANEXO 8: Ensayo de corte directo para diferentes muestras en calicata 3.	118
ANEXO 9: Ensayo de corte directo para diferentes muestras en calicata 4.	126
ANEXO 10: Ensayos realizados en SPT 1.	134
ANEXO 11: Ensayos realizados en SPT 2.	157
ANEXO 12: Ensayos realizados en SPT 3.	170
ANEXO 13: Ensayos realizados en SPT 4.	193
ANEXO 14: Ensayos realizados en SPT 5.	214
ANEXO 15: Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valores del factor Z. 224	
ANEXO 16: Clasificación de los perfiles de suelos.	225
ANEXO 17: Tipo de suelo y factores de sitio Fa.	226

INDICE DE ILUSTRACIONES:

Ilustración 1: Formación de suelos.	6
Ilustración 2: Gráfica de plasticidad.	10
Ilustración 3 Talud objeto de estudio.	18
Ilustración 4: Mapa Geológico del Ecuador - Hoja 53 y 73.	19
Ilustración 5 Círculo de falla de radio R y las fuerzas que actúan sobre una dovela.	28
Ilustración 6 Polígono de fuerzas actuantes en una dovela, para β conocido.	29
Ilustración 7: Perfil estratigráfico. Calicata 1.	40
Ilustración 8: Perfil estratigráfico. Calicata 2.	41
Ilustración 9: Perfil estratigráfico. Calicata 3.	41
Ilustración 10: Perfil estratigráfico. Calicata 4.	42
Ilustración 11: Diagrama del equipo para la prueba de corte directo	54
Ilustración 12: Esfuerzo cortante frente al desplazamiento cortante.	55
Ilustración 13: Diagrama de un equipo de prueba triaxial.	56
Ilustración 14: Etapa de confinamiento.	56
Ilustración 15: Segunda etapa: Corte.	56
Ilustración 16: Diagrama: Etapas del ensayo.	57
Ilustración 17: Suelo Saturado.	58
Ilustración 18: Suelo parcialmente saturado.	58
Ilustración 19: Modelo de perfil estratigráfico para análisis.	71
Ilustración 20: Factor de seguridad para talud en condiciones naturales.	75
Ilustración 21: Factor de seguridad para talud en condiciones saturadas.	76
Ilustración 22: Talud con bermas intermedias y capa vegetal.	82
Ilustración 23: Muro de contención tipo gaviones.	83

ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 1: Clasificación de suelos por el método ASSHTO.....	8
Tabla 2 Grados de Potencial Expansivo	14
Tabla 3: Características del análisis en Tensiones Efectivas y en Tensiones Totales.	33
Tabla 4: Cantidades de exploraciones a realizarse	37
Tabla 5: Ubicación de Calicatas	37
Tabla 6: Parámetros elásticos de varios suelos	44
Tabla 7: Valores de E en función de N60	44
Tabla 8: Factor de corrección de energía	45
Tabla 9: Factores de corrección por diámetro del hueco de perforación, por el tipo de muestreador y por la longitud de tubería utilizada	45
Tabla 10: Ubicación de los ensayos SPT	46
Tabla 11: Sondeo SPT 1	47
Tabla 12: Sondeo SPT 2	48
Tabla 13: Sondeo SPT 3	49
Tabla 14: Sondeo SPT 4	50
Tabla 15: Sondeo SPT 5	50
Tabla 16: Humedades naturales de cada muestra	51
Tabla 17: Clasificación del suelo según SUCS Y AASHTO	53
Tabla 18: Resumen de ensayos de laboratorio.....	59
Tabla 19: Resumen de resultados ensayos de laboratorio SPT1.....	60
Tabla 20: Obtención de parámetros geotécnicos mediante SPT de campo.	61
Tabla 21: Resumen de resultados ensayos de laboratorio SPT2.....	61
Tabla 22: Obtención de parámetros geotécnicos mediante el SPT de campo.	62
Tabla 23: Resumen de resultados de ensayos de laboratorio SPT3.....	62
Tabla 24: Obtención de parámetros geotécnicos mediante SPT de campo.	63
Tabla 25 Resumen de resultados de ensayos de laboratorio para SPT4	63
Tabla 26: Obtención de parámetros geotécnicos mediante SPT de campo.	64
Tabla 27: Resumen de resultados de ensayos de laboratorio para SPT5.....	64
Tabla 28: Obtención de parámetros geotécnicos mediante SPT de campo.	65
Tabla 29: Resumen ensayos realizados en Laboratorio de SPT.	65

Tabla 30: Potencial de Hinchamiento vs. Expansión Libre para suelos cohesivos.	67
Tabla 31: Expansividad en suelos cohesivos en función del índice de plasticidad.	68
Tabla 32: Resumen porcentaje de hinchamiento libre.	68
Tabla 33: Tabla de correlación entre grado de expansión y límites de Atterberg.	68
Tabla 34: Grado de expansión segun límites de Atterberg.	69
Tabla 35: Parámetros geomecánicos utilizado en el análisis para arcillas inorgánicas de alta compresibilidad.	72
Tabla 36: Parámetros geomecánicos utilizado en el análisis para condiciones saturadas.	73
Tabla 37: Parámetros para coeficiente sísmico horizontal.	75
Tabla 38: Factores de seguridad por cortes mínimos.	76
Tabla 39: Comparación entre FS de análisis y FS de norma.	77

INTRODUCCIÓN

Los proyectos de ingeniería civil fundamentalmente obras de infraestructura lineal (carreteras y ferrocarriles), canales, conducciones, explotaciones mineras, y en general cualquier construcción que requiera una superficie plana en una zona de pendiente, precisan la excavación de taludes. Su diseño y previo estudio es uno de los aspectos más importantes de la ingeniería geológica. (González de Vallejo, 2012).

La estabilización de taludes se entiende como el proceso mediante el cual se determina y evalúa el área de falla o tipo de rotura de una masa de suelo. Los agentes externos culpables de la inestabilidad son: el peso propio que actúa como una fuerza de masa y eventualmente los efectos de filtración. Un estudio de suelos es imprescindible en este tipo de estructuras, la determinación cuantitativa de índices de riesgo o seguridad exige el conocimiento de sus propiedades físicas y mecánicas. (Valiente Sanz et al., 2015)

La zona austral del Ecuador contiene sectores vulnerables a los movimientos de masas, por esta razón presenta zonas catalogadas de inestabilidad geológica o riesgo, es más, la litología juega un papel predominante en la resistencia y comportamiento del talud.

Los denominados suelos expansivos se caracterizan por la capacidad de expansión (aumento de volumen) cuando absorben agua, o de retracción (disminución de volumen) cuando disminuye la humedad, de ahí que, las afecciones producidas por la incidencia del comportamiento de los materiales expansivos son, en su mayoría, deslizamientos, meteorización, erosión y hundimiento, siendo el problema de deslizamiento el más grave de todos.

En la actualidad este tipo de suelo es actualmente reconocido como peligroso debido a sus propiedades particulares. Por tal motivo, se ha tomado como objeto de estudio un talud en el cual su componente litológico es, en su mayoría, material expansivo. En este trabajo de titulación se

contrastarán los resultados obtenidos en ensayos de expansibilidad y mecánica de suelos, en procura de determinar la estabilidad del talud y su condición actual.

Finalmente se presenta las conclusiones obtenidas, así como los resultados de los ensayos realizados; los mismos que servirán de base para exponer recomendaciones generales, aplicables al caso de estudio, en mira de conservar su integridad.

OBJETIVOS

➤ **Objetivo general**

El objetivo principal prioriza la identificación y caracterización de suelos expansivos causantes de inestabilidad por sus cambios volumétricos. Esto mediante el análisis de un talud compuesto en su mayoría por material expansivo. Se determina su estabilidad y se recalca la incidencia que tienen estos suelos en el movimiento de masas.

➤ **Objetivos específicos**

- Realizar ensayos SPT (Ensayo de Penetración Estándar) de campo para determinar la resistencia del terreno.
- Determinar el perfil estratigráfico que comprende el talud en la zona de estudio mediante calicatas. A más de rescatar estas muestras para analizarlas en laboratorio.
- Realizar ensayos de laboratorio para determinar parámetros geomecánicos, por medio de ensayos: Triaxial UU y Ensayo de Corte Directo.
- Determinar parámetros físicos del suelo: humedad, granulometría, límites de plasticidad, peso volumétrico, clasificación del suelo.
- Analizar la expansividad de las muestras recuperadas y determinar su capacidad de carga.
- Modelar el talud, por el método de equilibrio límite.

- Analizar la incidencia del suelo expansivo sobre la estabilidad del talud.
- Recomendar alternativas de estabilidad, para taludes conformados por suelos expansivos.

JUSTIFICACIÓN

El presente estudio se realiza, debido a la importancia en la ingeniería geotécnica del comportamiento de taludes conformados por suelos expansivos, comunes en el área seleccionada. Analiza sus diferentes comportamientos, cuando el material litológico dominante tiene propiedades expansivas. Esto permite estudiarlo para, posteriormente, recomendar medidas de estabilización acorde al problema real. Se debe recalcar que, el investigar los suelos que conforman la masa inestable es vital, pues proporciona los parámetros necesarios con los cuales se realiza el estudio. Posteriormente se genera la modelación del talud, para finalmente examinar las posibles medidas de estabilización.

ESTADO DEL ARTE

A lo largo de los años, el estudio de las propiedades de los suelos expansivos y sus características físicas, han sido factores estudiados debido a la necesidad de brindar información pertinente para el diseño de un soporte firme en las construcciones. La razón por la cual se empezó a investigar acerca de este problema se debió a que se realizaban construcciones sin ninguna precaución sobre suelos expansivos, provocando que muchas edificaciones cayeran, generando gastos millonarios alrededor del mundo (Patrone & Prefumo, 2005). La aparición de grietas en las paredes, grandes daños en edificaciones cercanas a este tipo de suelo, o en el peor de los casos que la cimentación falle y que toda la edificación colapse de manera espontánea, dio paso al estudio de nuevas metodologías de control en suelos altamente expansivos producidos por el cambio volumétrico en su estructura (Jones, 2012).

En la recopilación de estudios geológicos realizados por el ingeniero Erazo (2007) se detallan varias zonas con problemas geológicos de inestabilidad tales como: la vía al Valle durante su construcción, la zona de Sidcay con un deslizamiento afectando 16 Ha, los varves de Miraflores presentando problemas con edificaciones asentadas sobre ese sector. Además de la zona comprendida entre Gapal y Guzho identificándose los depósitos de ladera como expansivos. De todos únicamente se han reconocido estas zonas con problemas de inestabilidad, mas no se han dado rango de valores de expansibilidad de los mismos.

Los primeros indicios de investigación sobre este tipo de problema relacionado a la expansibilidad de los suelos en la ciudad se lo realizó en el trabajo de titulación en el año de 2007 titulado “Determinación de presiones de expansión en arcillas expansivas en la ciudad de Cuenca” (Brito & Delgado, 2007) en el cual únicamente se abarcó las zonas de Baños y Challuabamba.

En años posteriores se realizó un trabajo similar pero únicamente abarcando la zona de Challuabamba denominado “Comprobación de las correlaciones de la presión de expansión con las propiedades índices en suelos del sector Challuabamba, Cuenca. Recomendaciones para la construcción de cimentaciones” (Vélez, 2012).

Un trabajo reciente es el estudio “Métodos para controlar el potencial expansivo en suelos arcillosos de la ciudad de Cuenca” (Bravo Heredia & Daza Orellana, 2019) utilizando muestras de Miraflores, Baños y Challuabamba. Mediante ensayos para determinar el potencial expansivo de estas muestras, se seleccionó el suelo más expansivo, siendo Miraflores al cual se realizó un proceso de estabilización.

CAPÍTULO I

INTRODUCCION A LOS SUELOS EXPANSIVOS

1.1. Origen de los suelos

El origen de los suelos se manifiesta en los macizos rocosos constituyentes en la roca madre sometidos a la acción ambiental disgregadora de la erosión en sus tres facetas (González de Vallejo, 2012):

- **Física:** Acciones que rompen la roca inicial y la dividen en fragmentos de tamaño cada vez más pequeño, que pueden ser separados de la roca por agentes activos como el agua, viento, o gravedad, y llevados a otros sitios en donde continua la acción erosiva. Es decir, tienden a crear las partículas que van a formar el suelo.
- **Química:** Esta acción, por lo tanto, tiende a disgregar como a cementar, es decir puede ayudar a la acción física y, posteriormente, cementar los productos formados, provocando unión química a las partículas pequeñas que se forman, aunque la mayor parte de las veces contribuye más a destruir y transformar que a unir.
- **Biológica:** Producida por actividad bacteriana, induciendo putrefacciones de materiales orgánicos y mezclando el producto con otras partículas de origen físico-químico, actuando de elemento catalizador, etc.

Todo lo anterior da lugar a fenómenos de disgregación y transformación de la roca, originando así el perfil de meteorización. En este perfil la roca madre se encuentra en la parte más baja y alejada de la superficie, en cambio el suelo está en la más alta. Cuando el suelo permanece in situ sin ser transportado, se le conoce como suelo residual, y cuando ha sufrido transporte, formando depósitos coluviales, aluviales, etc., se denomina suelo transportado (González de Vallejo, 2012).

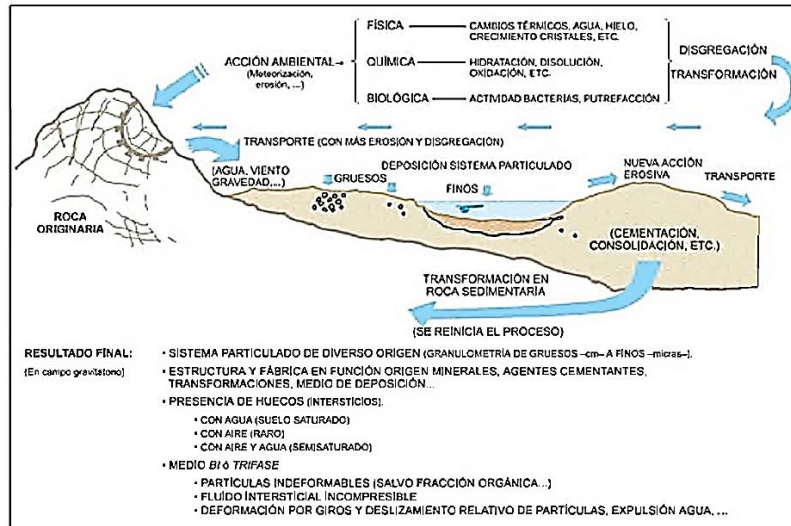


Ilustración 1: Formación de suelos. Fuente: (González de Vallejo, 2012)

En base al tamaño de las partículas se puede clasificar el suelo en dos tipos: Suelos de grano grueso o granulares (tamaño de grano predominante superior a 0,075 mm) y suelos de grano fino o suelos finos (con un porcentaje superior al 50% de tamaño igual o inferior a 0,075 mm). Ambos tipos de suelo se diferencian a partir del análisis granulométrico. Las partículas en los suelos granulares tienden a comportarse de manera estable y resistente, mientras que en los suelos finos forman estructuras laminares, de comportamiento muy variable, siendo geotécnicamente inestables (González de Vallejo, 2012).

Al tratarse de un tema amplio la cuestión de los suelos, se centra el estudio en el caso principal que son los suelos expansivos. Estos están formados principalmente por suelos finos, limos y minerales de arcilla. Su origen es esencialmente un producto de desgaste de la desintegración y descomposición química de rocas ígneas y de algunos tipos de rocas metamórficas. Los minerales de arcilla son el componente principal en los suelos expansivos, en especial los que tienen altos porcentajes de montmorillonita, mineral no cristalino muy susceptible a hinchamiento (Patrone & Prefumo, 2005).

El origen de las montmorillonitas puede ser variado; Birkeland (1999) señaló que su formación puede ser el resultado de la transformación de la hidrómica (ilita). También pueden proceder de

materiales transportados que la contengan como es la vermiculita; o bien puede haberse formado en suelos ricos en sílice, magnesio y hierro, en condiciones de topografía baja y mal drenaje (González Clemente et al., 2014).

1.2. Identificación de los suelos

La identificación de un suelo es de importancia fundamental en la ingeniería, consiste en reconocer el tipo de suelo en un sistema de clasificación conocido. Este proceso permite conocer las propiedades mecánicas e hidráulicas del suelo, en este caso mediante una inspección visual, táctil y olfativa, acompañado de algunos ensayos manuales evaluados en forma cualitativa. Mientras que la descripción consiste en aportar información adicional de algunas características notorias del suelo como ser: el color, olor, forma de las partículas del suelo y otras características. Inclusive esta información descriptiva debe usarse para complementar la clasificación de un suelo mediante los ensayos convencionales de laboratorio.

1.3. Clasificación de los suelos

Debido a la complejidad y gran variedad de suelos que se puede encontrar, los ingenieros geotécnicos desarrollaron sistemas de clasificación que permite agrupar suelos con propiedades similares. De este modo y basándose en experimentos ejecutados sobre diferentes tipos de suelos (secado, paso por tamices, y moldeado) constituyeron un lenguaje fácilmente comprensible para los técnicos de diferentes especialidades.

Es evidente que un sistema de clasificación que pretenda cubrir hoy las necesidades correspondientes, debe estar basado en las propiedades mecánicas de los suelos por ser éstas lo fundamental para las aplicaciones ingenieriles. En Ingeniería, dos sistemas de clasificación que usan la distribución por tamaño de grano y plasticidad de los suelos son usados comúnmente (Das, 2001):

1.3.1. Clasificación AASHTO

Es la denominación al sistema de clasificación de suelos elaborado por el Departamento de Caminos Públicos de USA (Bureau of Public Roads) que en sus inicios (Año 1929), se conocía como AASHO. Este sistema se basa en clasificar los diferentes tipos de suelos en 7 grupos, cada uno está determinado por ensayos de laboratorio, granulometría, límite líquido e índice de plasticidad.

Para evaluar la calidad de un suelo como material para subrasante de carreteras, se incorpora un número llamado índice de grupo (GI), éste se escribe en paréntesis después de la designación de grupo y subgrupo. Está dado por la siguiente ecuación:

$$GI = (F - 35)(0,2 + 0,005 (LL - 40)) + 0,01(F - 15)(PI - 10)$$

Donde

F = Porcentaje que pasa la malla #200

LL = Límite líquido

IP = Índice de Plasticidad

Si la ecuación da un número negativo, éste se toma igual a 0. Si el resultado es un valor decimal, se redondea al número entero más cercano.

Este tipo de clasificación es usado con más frecuencia para definir calidad de suelos empleados en la confección de terraplenes, material de subrasante, subbases y bases. Luego de obtenido el Índice de Grupo mediante la fórmula anterior, se ingresa a la Tabla 1; a continuación, y por un proceso de eliminación, se prueba los datos de izquierda a derecha hasta que se ajusten a la clasificación correcta.

Tabla 1: Clasificación de suelos por el método ASSHTO

CLASIFICACIÓN GENERAL	Materiales Granulares (igual o menor del 35% pasa el tamiz N° 200)			Materiales Limo – Arcillosos (más del 35% que pasa el tamiz N°200)			
	A-1	A-3	A-2	A-4	A-5	A-6	A-7
GRUPOS							

SUB-GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6	
% que pasa el tamiz:												
N° 10	50 máx.											
N° 40	30 máx.	50 máx.	51 máx.									
N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	
Características del Material que pasa el tamiz N° 40												
Límite Líquido			NO PLÁSTICO	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	
Índice de Plasticidad	6 máx.	6 máx.		10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	
Índice de grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.	
Tipos de Material	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Grava, arenas limosas y arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos		
Terreno de Fundación	Excelente a Bueno						Regular a Deficiente					
	<ul style="list-style-type: none"> • Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$ • Para A-7-6, $PI > LL - 30$ 											

Fuente: (Das, 2001)

1.3.2. SUCS (Sistema de clasificación y unificación de los suelos)

Inicialmente propuesto por Arthur Casagrande en 1932. Posteriormente tuvo varias revisiones y en la actualidad, es el de uso más extendido en la práctica geotécnica. Se basa en el análisis granulométrico y los límites de Atterberg (límites líquido y plástico) de los suelos.

Este sistema clasifica los suelos en dos amplias categorías: “suelos de grano grueso que son de naturaleza tipo grava y arenosa con menos del 50% pasando la malla No. 200; y, los suelos de grano fino con 50% o más pasando la malla No. 200” (Das, 2001). Según Das (2001), para clasificar apropiadamente un suelo utilizando este sistema, se debe conocer el porcentaje de grava, porcentaje de arena, porcentaje de limo y arcilla, los coeficientes de uniformidad y curvatura, y el límite líquido e índice de plasticidad. Los cinco primeros datos se obtienen a partir de un análisis granulométrico.

El método SUCS presenta diferentes nomenclaturas; para suelos granulares, las siglas son G (grava), S (arena), W (bien graduada) y P (mal graduada); en suelos finos la nomenclatura es M (limo), C (arcilla), H (alta compresibilidad) y L (baja compresibilidad); y, para los suelos orgánicos la sigla es Pt (turba).

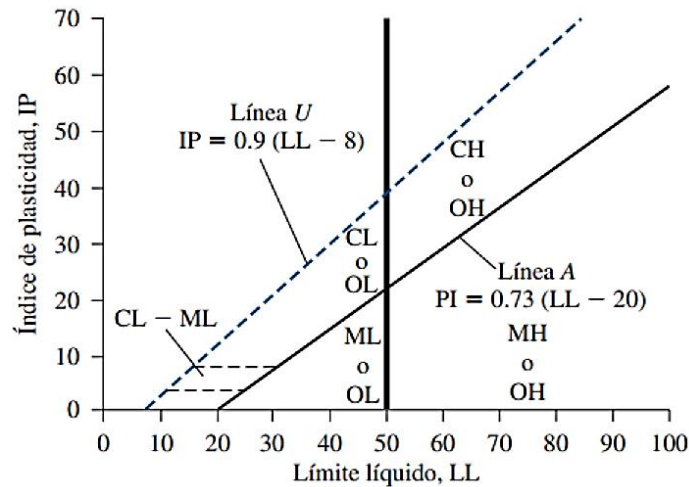


Ilustración 2: Gráfica de plasticidad. Fuente: (Das, 2001)

El procedimiento para la clasificación viene descrito de la siguiente forma:

- I. Descartar que el suelo sea turba (Pt).
- II. Determinar si es fino o granular:
 - a) Granular: Porcentaje que pasa tamiz #200 < 50%.
 - b) Fino: Porcentaje que pasa tamiz #200 \geq 50%.
- III. Si el suelo es granular, se realiza lo siguiente:
 - a) Determinar si es grava ó arena:
 - Si Ret. #4 > 50% Ret. #200, hay más grava que arena, por lo que es un suelo tipo grava.
 - Si Ret. #4 \leq 50% Ret. #200, hay más arena que grava, por lo que es un suelo tipo arena.
 - b) Determinar si G ó S está limpia, intermedia o sucia:
 - Limpia, si el porcentaje que pasa #200 es < 5%. Determinar si es W ó P.
 - Intermedia, si el porcentaje que pasa #200 está entre 5 y 12%. Determinar si es W ó P.
Determinar si está contaminada con M ó C.
 - Sucia, si el porcentaje que pasa #200 es > 12%. Determinar si está contaminada con M ó C. Para determinar si el suelo es W ó P se utiliza el Cc y el Cu.

- Para las gravas, es W si $Cu > 4$, y, $1 < Cc < 3$; es P si incumple alguno de los dos parámetros.
 - Para las arenas, es W si $Cu > 6$, y, $1 < Cc < 3$; es P si incumple alguno de los dos parámetros.
- IV. Determinar el nombre de grupo utilizando el cuadro respectivo (ver Anexo 1).
 - V. Si el suelo es fino, determinar directamente la clasificación por medio de la carta de plasticidad (Ilustración 2), conociendo el límite líquido (LL) y el índice de plasticidad (IP).
 - VI. Determinar si el suelo es inorgánico (M ó C) u orgánico (O).
 - VII. Determinar el nombre de grupo utilizando el cuadro respectivo.

1.4. Suelos expansivos

Un suelo expansivo presenta cambios volumétricos debido a la presencia de agua en su masa. En la naturaleza, un suelo expansivo incrementa su volumen en temporada de lluvia y lo disminuye en sequía; esta fluctuación volumétrica genera problemas estructurales en obras cimentadas sobre ellos (López Lara et al., 2014).

Según Donaldson (1969) los suelos expansivos pueden clasificarse en dos grupos de acuerdo con su origen. El primero comprende las rocas ígneas básicas (basalto, gneis, etc.). El otro comprende rocas sedimentarias que contienen montmorillonita como constituyente. En los suelos potencialmente expansivos hay que relacionar su origen a la presencia de partículas arcillosas que puedan provocar esta expansión. Se consideran tres minerales arcillosos importantes: montmorillonita, illita y caolinita.

El hinchamiento que se produce en estos suelos obedece a dos tipos de fenómenos (mecánicos y físicos-químicos). El fenómeno mecánico se debe a una disminución de la succión al aumentar la humedad, reduciendo la intensidad de las fuerzas de contacto entre las partículas. Si la estructura

es potencialmente inestable se producirá un colapso, pero si la estructura es suficientemente compacta se ocasionará una relajación de los esfuerzos intergranulares (expansión) (Yuk Gehling, 1994).

Los mecanismos que producen la expansión están directamente relacionados con las propiedades y características de las partículas arcillosas. Delgado (1986) plantea tres mecanismos microestructurales que producen la expansión:

- I. Hidratación de las partículas de arcilla: La partícula con la finalidad de lograr un equilibrio interno de las cargas eléctricas tiende a atraer moléculas de agua formándose varias capas sucesivas. Estas capas de agua absorbida generan un aumento de volumen de la partícula de arcilla y a su vez su expansión.
- II. Hidratación de cationes: Los cationes absorbidos en la capa doble difusa se rodean de moléculas de agua produciendo el consiguiente aumento de volumen. El fenómeno es similar a la hidratación de las partículas de arcilla, con la diferencia de que la hidratación es de los cationes.
- III. Repulsión osmótica: Se produce una migración de las moléculas de agua en el interior de dos capas de partículas, con el fin de igualar los cationes presentes, generando un hinchamiento.

Las propiedades descritas anteriormente constituyen los mecanismos fisicoquímicos fundamentales que a nivel microescalar determinan el potencial expansivo de las arcillas. (Snethen et al., 1977).

1.5. Ensayos para determinar suelos expansivos

Varios problemas se relacionan a los fenómenos de expansión en este tipo de suelos, éstos pueden generar daños menores, o en casos extremos, la inhabilitación completa del uso de la

misma. La mayoría de estos problemas se los puede identificar de manera sencilla con una inspección visual preliminar (Patrone & Prefumo, 2005).

- Grietas y roturas: en elementos estructurales, paredes, pisos, cimentaciones.
- Roturas: en tuberías de conducciones hidráulicas.
- Deformaciones: en los pavimentos asentados sobre suelos expansivos.
- Inestabilidad: de taludes, generando cierre de vías.

Existen diferentes métodos y técnicas para identificar y clasificar suelos expansivos; las principales son:

I. Identificación Mineralógica.

La composición mineralógica de las arcillas puede ser determinada por diversos procedimientos tales como:

- Difracción por rayos X
- Análisis Térmico Diferencial
- Análisis de absorción de colorantes
- Análisis químicos
- Análisis por microscopio electrónico

Los ensayos de identificación mineralógica resultan muy usados en trabajos de investigación científica, pero resultan poco prácticos y costosos para la práctica usual en ingeniería, dado que se requiere equipamiento y personal especializado. Por este motivo no se extiende un desarrollo.

II. Técnicas o métodos indirectos.

Mediante la determinación de ciertas propiedades básicas se puede determinar el grado de potencial expansivo del suelo.

- Límite líquido y límite plástico: Varios investigadores demostraron que las características plásticas puede ser usado como indicador primario de la expansividad. La tabla 2 presenta el potencial expansivo del suelo en función del IP del material:

Tabla 2 Grados de Potencial Expansivo

Grado de Potencial Expansivo	Índice Plástico
Bajo	0 – 15
Medio	10 – 35
Alto	20 – 55
Muy Alto	> 35

Fuente: (Patrone & Prefumo, 2005)

Si bien es cierto que todos los suelos altamente expansivos tienen plasticidades altas, no es cierto que los suelos con elevada plasticidad sean necesariamente expansivos.

- Límite de contracción: Se define como el contenido mínimo de agua, por debajo del cual una reducción de la cantidad de agua, no causará una disminución de volumen de la muestra de suelo, pero un aumento en la cantidad de agua causará un aumento en el volumen de la masa de suelo.
- Contenido de coloides: En la composición del suelo existen materiales con tamaños inferiores a 74 micras (limos y arcillas). Desde el punto de vista del tamaño se considera arcillas aquellos que tienen un tamaño inferior a 2 micras (0.002 mm), siendo necesario para su determinación la realización de un ensayo hidrométrico.

La magnitud de la expansión que experimenta un suelo granular fino, está vinculado con la cantidad de partículas de tamaño arcilla presente en el mismo.

- Expansión libre del suelo: Este ensayo consiste en colocar en una probeta un volumen conocido de suelo “seco” y sumergirlo en agua sin aplicación de sobrecarga alguna, mientras se mide la expansión. La diferencia entre el volumen final e inicial, expresado como porcentaje del volumen inicial es la expansión libre.

(Holtz, 1954) sugiere que las expansiones medidas en este ensayo por encima del 100% pueden causar daños significativos a la estructura, mientras que suelos que alcanzan una expansión por debajo del 50% rara vez experimentan cambios de volúmenes apreciables bajo la aplicación de cargas estructurales.

Otros métodos considerados también como indirectos y muy utilizados son el de Ladd y Lambe auspiciado por la Federal Housing Administration y el método de PVC o método de la medida de cambio volumétrico. Estos consisten en predecir el potencial expansivo del suelo, en base a medidas directas de la expansión del suelo sobre muestras remoldeadas y compactadas en condiciones prefijadas de humedad y densidad.

Estos métodos tienen la ventaja de su fácil realización y de equipamiento disponible en todos los laboratorios. La desventaja es que no se cuantifica la expansión, sino que cualitativamente se establecen categorías de grados del potencial expansivo (Patrone & Prefumo, 2005).

III. Técnicas o métodos directos.

Los métodos directos son los más convenientes para la cuantificación y clasificación de la expansividad de un suelo. Consisten en medir la expansión del suelo al saturarlo bajo diferentes condiciones de carga, graficándose las variaciones de hinchamiento para diferentes presiones aplicadas.

Los dos parámetros, generalmente aceptados, que definen el potencial de hinchamiento son:

- Presión de hinchamiento (P_S): Definida como la presión aplicada en laboratorio sobre una muestra de suelo expansivo para que, una vez en contacto con agua, la probeta mantenga constante su volumen inicial, es decir que la variación de volumen sea nula.
- Hinchamiento libre (H_C): Definido como el porcentaje de la elevación máxima para presión nula en relación a la longitud inicial de la probeta.

Las medidas de estos parámetros se realizan fundamentalmente mediante pruebas edométricas o en técnicas basadas en la succión, tendiendo a simular los factores relevantes que sigue el fenómeno cuando se desarrolla in situ. Para lograr este objetivo se han propuestos innumerables metodologías experimentales que siguen operativas distintas, cuando no opuestas. Las principales divergencias radican en:

- Forma de simular las condiciones de campo en el edómetro
- Tamaño y forma de la muestra
- Valor de la humedad inicial del ensayo
- Magnitud de la precarga y secuencias de cargas
- Momento de saturación
- Mecanismos para medir el hinchamiento
- Número de muestras que intervienen en el ensayo

Es por esto que la abundante bibliografía internacional disponible evidencia marcadas discrepancias en los valores finales obtenidos y que la predicción del comportamiento resulte fuertemente influenciada por aquellas variables, más precisamente, por el camino de tensiones seguido y por el criterio de saturación utilizado.

Por lo expuesto la definición de hinchamiento no es tan simple como la definida con anterioridad, ya que está supeditada al procedimiento experimental utilizado para su cuantificación.

Si bien estos métodos constituyen el procedimiento más adecuado para predecir la expansión del suelo, además de las dificultades señaladas, tienen el inconveniente de requerir un equipamiento bastante completo (celdas de cargas, pesas, etc.), no disponibles en los laboratorios de uso común en ingeniería (Patrone & Prefumo, 2005).

En el presente trabajo, las muestras extraídas en campo fueron sometidas a ensayos por métodos directos para valorar la expansión del suelo. Esto, mediante correlación con métodos indirectos, permitió determinar cualitativamente la expansión, analizando los límites de plasticidad.

1.6. Geología de la zona

La zona de estudio seleccionada para el desarrollo de esta tesis, está ubicada en la parroquia de Nulti perteneciente al cantón Cuenca de la provincia del Azuay. Las parroquias que colindan a la zona de estudio son: por el Norte con Llacao, por el Sur con Paccha, por el Este con Gualaceo y por el Oeste con Ricaurte. El estudio se centra principalmente en un talud (Ilustración 3) ubicado en la zona de Ventanillas (Coordenadas: Long. -78,923248; Lat. -2,864996), que presenta una alta inestabilidad, principalmente en época de invierno.

Con respecto a la geología, hacia el norte de Cuenca predomina la formación Biblián (depósitos de planicies de inundación fluvial), la formación Loyola (sedimentos finos de planicie costera e intrusiones marino-salobres) y las formaciones Azogues y Guapán (detrítica de ambiente dulce deltaico y aporte piroclástico significativo). Estas formaciones presentan deformaciones post-sedimentarias de hace 9-8 Ma, en un régimen de compresión E-W que inicia también el levantamiento de los Andes, al sur del Ecuador. Dicha deformación se caracteriza por fallas de corrimiento kilométricas, inversas y plegamientos (Vélez Dávila, 2012).



Ilustración 3 Talud objeto de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Mediante el Mapa geológico del Ecuador (hoja 53 y 73); Ilustración 4, se pudo reconocer las formaciones presentes en el área de estudio, mismas que se han descrito de manera breve para conocer sus características y composición.

– **Formación Loyola (M_L)** (Mioceno Medio)

Formación sedimentaria clástica finogranular, consiste en una alternancia de lutitas grises - oscuras muy fisibles, limolitas que meteorizan a arcillas de color blanco y habano, localmente lentes de areniscas limosas habanas, finamente estratificadas con cemento calcáreo, calizas y mega brechas. En la base de la formación ocurren areniscas y conglomerados (basales) en discordancia sobre la Fm. Yunguilla. Abunda yeso, especialmente en las superficies alteradas (Vélez Dávila, 2012).

Numerosos fenómenos inestables implican a los sedimentos de la fase fino granular de Loyola. El intenso plegamiento y fracturamiento por fallamiento interviene en la fragmentación del macizo y la degradación general de sus características físico - mecánicas. Las condiciones de saturación son indispensables en el desarrollo de la rotura general.

Esta formación presenta el mayor número de deslizamientos y de las mayores intensidades. Un caso particular constituye el deslizamiento en Paccha, ya que cubre un área de 17 millones de m² (GAD Parroquial Rural de Nulti, 2015).

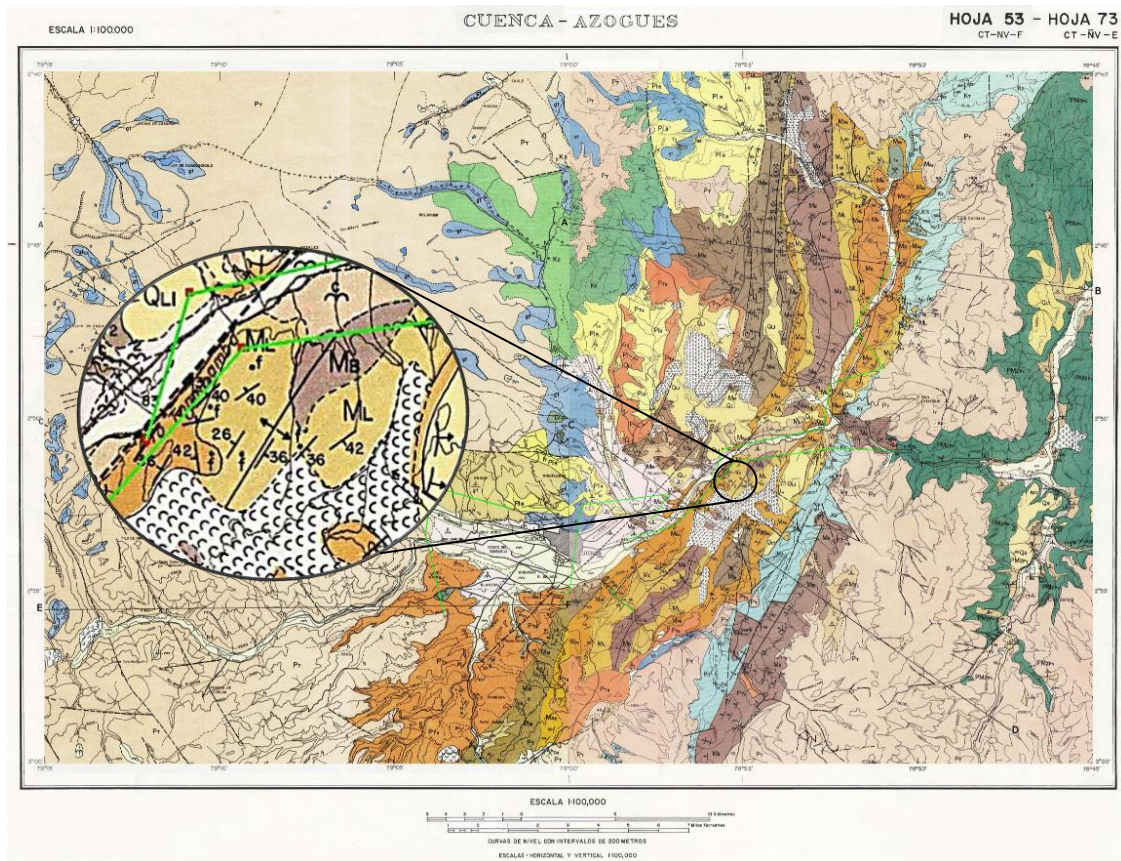


Ilustración 4: Mapa Geológico del Ecuador - Hoja 53 y 73. Fuente: (Bristow, 1980)

– **Formación Biblián (Mb)** (Mioceno Medio)

Secuencia sedimentaria clástica. Alternancia de argilitas, limolitas rojizas interestratificadas con areniscas tobáceas de grano fino a grueso y conglomerados con cantos mal sorteados y subangulares de la Fm. Yunguilla; se observa yeso secundario en grietas.

Erosión laminar intensa, carcavamiento y fenómenos geodinámicos superficiales se asocian con los suelos residuales de sedimentos de Biblián, y la presencia de materiales fisiles en los macizos sedimentarios más profundos, siempre inducen condiciones desfavorables con

la saturación y el mal drenaje. Indicios de expansividad media alta, y alta plasticidad permiten comparar a los materiales superficiales con Loyola (Vélez Dávila, 2012).

– **Formación Azogues (M_{AZ})** (Mioceno Medio – Tardío)

Secuencia sedimentaria típicamente clástica. Areniscas tobáceas de grano medio a grueso café amarillentas con capas de lutitas, limolitas y pocas intercalaciones de conglomerados. Se encuentra fauna de moluscos y restos de plantas.

Los derrumbes y caídas de bloques son típicos de esta formación, en terrenos de pendiente fuerte (condición morfológica). Los deslizamientos involucran principalmente a la facie fina incompetente de los sedimentos Azogues, así como a sedimentos finos de la Fm. Loyola en condiciones saturadas. Alta expansividad en materiales re TRABAJADOS de Azogues (Vélez Dávila, 2012).

Según el Mapa Geológico anterior y PDOT de la parroquia Nulti las formaciones que predominan en la zona de estudio son la Azogues y la Yunguilla con más del 20% de ocupación en la zona de estudio. Estas formaciones están presentes en lugares donde existe un gran desgaste del suelo por motivos de la erosión provocada por los propios habitantes de estos lugares; ya sea en las minas de lastre y el sobrepastoreo en sus comunidades, y por el crecimiento urbano que ha tenido en los últimos años la zona central y Challuabamba (GAD Parroquial Rural de Nulti, 2015).

CAPÍTULO II

ESTABILIDAD DE TALUDES

2.1. Generalidades

Se comprende bajo el nombre genérico de taludes cualquier superficie inclinada respecto a la horizontal que haya de adoptar permanentemente la estructura de tierra. Se clasifican en taludes naturales (denominados también laderas) y taludes artificiales, dentro de los que están los cortes y terraplenes (Armas Novoa & Horta Mestas, 1987).

El constante progreso en vías de comunicación, tales como carreteras o ferrocarriles, canales, conducciones; así como el impulso que la construcción de presas de tierra ha recibido en todo el mundo en los últimos años, ha puesto al diseño y construcción de taludes en un plano de importancia ingenieril de primer orden.

Tomando en cuenta el aspecto de inversión y las consecuencias derivadas de sus fallas, se pasó de diseños con normas puramente empíricas (sin ningún criterio generalizador de las experiencias adquiridas), a aplicar al diseño de taludes normas y criterios que tomasen en cuenta las propiedades mecánicas e hidráulicas de los suelos constitutivos (mecánica de suelos) (Matteis, 2003).

Se define como estabilidad a la seguridad de una masa de tierra contra la falla o movimiento. Mediante el cálculo de su factor de seguridad se establecen medidas correctoras y criterios de estabilidad que se aplican frente a potenciales deterioros o fallas.

2.2. Tipos y causas de fallas más comunes

En taludes siempre se ha imaginado que el fallo ocurre por un deslizamiento de la masa de suelo actuando como un cuerpo rígido, a lo largo de una superficie de falla supuesta. Se considera que a lo largo de esa superficie de falla supuesta el suelo desarrolla su máxima resistencia.

Las clasificaciones de movimientos de tierra parten de varios criterios: Modelo de Falla (Mecanismo) y Velocidad del movimiento (Relaciones Esfuerzos-deformación-Tiempo). El conocimiento a posteriori ha permitido clasificarlos en los siguientes modelos (Marín Nieto, 1991):

- Flujo: Movimientos lentos (milímetros por año) a velocidad casi constante de una parte del macizo sobre otra. Provocados por liberación de esfuerzos a causa de erosión, agrietamiento progresivo, empujes en anticlinales, movimientos de bloques en una matriz plástica, movimientos de la zona meteorizada de la roca.
- Deslizamiento: Movimientos rápidos (milímetros por día), rotacional, traslacional o superficial de una parte del terreno sobre otra.
 - Rotacional: Terrenos relativamente homogéneos y blandos. Se forman superficies de falla muy circulares.
 - Superficiales: Desplazamientos según una superficie bastante plana de la parte más meteorizada de la roca.
 - Traslacional: Movimiento a lo largo de un plano débil o estratificación del terreno.
 - Rotacional y Traslacional: Movimiento a lo largo de varios planos débiles o combinación de planos y estratos blandos.
- Escurrimiento: Movimientos muy rápidos (metros por hora), ocurre en terrenos en estado viscoso y la masa se escurre a distancias muy grandes. El agua generalmente es el factor acelerante por lo que no es precisamente un movimiento gravitacional. Típico de masas de tobas y cenizas volcánicas saturadas por el deshielo durante erupciones (Se supone que algunos valles de los Andes Ecuatorianos son antiguos escurrimientos).

- Derrumbes: Movimientos casi instantáneos de laderas (metros por segundo) de carácter gravitacional donde una parte del terreno se separa del todo para caer libremente al pie del talud. Ocasionalmente pueden originar otros tipos de movimientos.

2.3. Principales problemas geotécnicos

Reconocer geológica y geotécnicamente el terreno que se verá afectado, permite obtener parámetros necesarios para su análisis, estabilidad y diseño; así también para proyectar obras de drenaje indispensables en este tipo de estructura.

La identificación de riesgos para países sísmicos es de suma importancia debido al comportamiento que tiene el suelo ante ondas sísmicas. El conocimiento del subsuelo permite tomar medidas de seguridad ante construcciones de obras civiles en la zona, mediante la creación de modelos geotécnicos (Quesada, s. f.).

Los factores geotécnicos o relacionados con el comportamiento mecánico del terreno, se consideran factores condicionantes y son intrínsecos a los materiales naturales. Una posible rotura del talud, en primera instancia, depende de los parámetros resistentes del material: cohesión y rozamiento interno (González de Vallejo, 2012).

Los problemas relacionados a factores geotécnicos son provocados, en su mayoría, por la composición, propiedades físicas, mecánicas e hídricas de los estratos que conforman el subsuelo. Entre estos se destaca: la erosión causada principalmente por factores meteorológicos, pero que están relacionados con las propiedades físicas del suelo. Infiltraciones que son causadas por fisuramiento y, en ciertos casos, erosión interna. Expansión y contracción en el cual la humedad y secado es su principal razón, esto debido a pérdida de cohesión y flujos estacionales que afecta a los diferentes materiales.

2.4. Fenómeno de reptación en taludes

La solifluxión (flujo de suelo) consiste en un desplazamiento que afecta a una masa de suelo desplazada sobre un basamento estable. Afecta únicamente a los materiales arcillosos susceptibles de transformarse en fango por el aumento de humedad, provocando cambios en su densidad (peso y volumen) que favorece el desplazamiento a lo largo de la pendiente. Cuando se transforma en fango, la propia lámina desplazada colmata los huecos y suaviza las irregularidades de la pendiente, lo que reduce la resistencia del sustrato al desplazamiento. Cuando se alcanza el límite de fluidez en los niveles superficiales se establece un plano de discontinuidad hídrica que funciona como plano de cizalla. La actuación del agua puede producirse por el empapamiento del material frágil a causa de infiltraciones, el desbordamiento de mantos freáticos, o por la abundancia de las precipitaciones en una zona (Grases & Contreras, 1997).

La reptación es un caso particular de la solifluxión, se caracteriza por sus movimientos superficiales extremadamente lentos y prácticamente imperceptibles, salvo después de largos periodos de medida. Estos movimientos ocurren típicamente en materiales ricos en arcillas que, con una cierta periodicidad, se embeben de agua. La ralentización puede verse favorecida por una intervención estructural del sustrato (por ejemplo, estratos buzantes a contra-pendiente). La consecuencia de principal de este tipo de movimientos son los slumping, que consisten en ondulaciones que se producen en las capas de materiales desplazados por procesos de solifluxión o reptación (García Navarro, 2005).

En suelos expansivos, el agua provoca rupturas locales por cizallamiento (pierde su capacidad portante). Lo que a su vez, engendra planos de corte que las vuelven inestables, aún en pendientes bajas, generándose deslizamientos que, dependiendo de la cantidad de agua absorbida, pueden degenerar en flujos de tierra o de lodo. Estos movimientos hacen que la vegetación

(particularmente los {árboles) corrija permanentemente su verticalidad (geotropismo). (Cruz D'howitt, 2017)

2.5. Problemas de estabilidad de taludes.

Al estudiar los fenómenos de inestabilidad en taludes, es necesario identificar y caracterizar los diferentes tipos de comportamiento y clasificarlos adecuadamente. Un análisis preciso del tipo de rotura permite optimizar las medidas de contención y estabilización de taludes y laderas, pues atiende al mecanismo actuante, la velocidad y las dimensiones. Por el contrario, una incorrecta definición del mecanismo de rotura puede dar lugar a soluciones incorrectas o ineficaces, y en algunos casos contraproducentes (Valiente Sanz et al., 2015).

Los problemas relacionados con la estabilidad de laderas naturales difieren radicalmente de los que se presentan en taludes construidos. Debido a esto, se consideran esencialmente distintos los problemas de los cortes de laderas y los de los terraplenes. Las diferencias importantes radican, primeramente, en la naturaleza de los materiales involucrados, y luego, en todo un conjunto de circunstancias que dependen de cómo se formó el talud y de su historia geológica, de las condiciones climáticas que primaron a lo largo de tal historia y de la influencia del hombre que ejerce en la actualidad o haya ejercido en el pasado. Esta historia y génesis de formación de laderas y taludes, la historia de esfuerzos a que estuvieron sometidos y la influencia de condiciones climáticas o, en general, ambientales, definen aspectos tan importantes como configuración de los suelos que lo conforman, el cual influye decisivamente en sus condiciones de estabilidad (Matteis, 2003).

Los principales problemas que se pueden presentar en taludes son:

- Patologías que afectan al cimiento: Estos problemas afectan al cimiento donde se construyen las obras de tierra, se producen principalmente por dos procesos:

- Asentamientos: Relacionados con la reducción de volumen del material subyacente por efecto de las cargas colocadas. Los asentamientos de mayor magnitud se presentan en suelos de origen orgánico o depósitos lacustres principalmente arcillosos.
 - Rotura del suelo: Debido a cargas externas o propias del suelo se produce agotamiento de su resistencia al corte y produce la rotura. Ésta puede ocurrir durante la construcción (situación más frecuente), por esto es preciso realizar un cálculo minucioso de las cargas admisibles para el sustrato.
- Patologías que afectan a la estructura: Un mal estudio de los materiales que conforman el talud o una mala compactación del mismo pueden generar las siguientes patologías:
- Inestabilidad: Un incorrecto análisis del tipo de rotura puede dar lugar a fallas y posteriormente, deslizamientos que atentan con la integridad física de la estructura.
 - Asentamientos: Igual que en el caso del cimiento, en el talud se puede producir asentamientos relacionados con la reducción de su volumen.
 - Tubificación: Debido a diseños ineficientes de drenaje para desalojar las escorrentías, se producen presiones intersticiales que generan roturas. El agua en el terreno, provoca arrastres y erosión de los materiales que forman el talud.
 - Efectos del agua: Hay evidencias muy claras de la relación directa que existe entre la presencia de agua y la ocurrencia de deslizamientos de tierra.

En suelos expansivos, como es el tema principal, los efectos del agua son los principales causantes de los problemas de estabilidad. Entre estos la presión interna del agua de saturación o presión de poros. Debido al efecto de expansión en condiciones húmedas y de contracción en condiciones secas, las arcillas, genera fracturas o fisuras, las mismas que al saturarse producen un

aumento fuerte de la presión de poros, trayendo como resultado una disminución en el factor de seguridad y por ende, inestabilidad (Suarez, 2009).

2.6. Métodos de análisis.

Uno de los métodos de análisis de estabilidad de taludes más utilizados mundialmente es el conocido análisis de Equilibrio Límite, que consiste en imaginar un mecanismo de falla para el talud y aplicar a tal mecanismo los criterios de resistencia del material (criterios de Coulomb), de manera de ver si, con tal resistencia, hay o no la posibilidad de que el mecanismo de falla supuesto llegue a presentarse. Este método considera que el fallo ocurre por un deslizamiento de la masa de suelo actuando como un cuerpo rígido a lo largo de una superficie de falla supuesta, y que a lo largo de esa superficie el suelo desarrolla la máxima resistencia a cortante.

La estabilidad de los taludes se determina a través del factor de seguridad. Este factor expresa “la magnitud en que puede reducirse la resistencia a cortante del suelo para que se produzca el deslizamiento a lo largo de la superficie de falla más desfavorable”. (Armas Novoa & Horta Mestas, 1987)

El factor de seguridad depende de:

- La representatividad de los parámetros mecánicos del material de la cimentación y del cuerpo del talud, obtenidos mediante investigación geotécnica, en función de los estados de carga que se necesiten estudiar al diseñar el talud.
- El método de análisis de estabilidad.
- La aproximación al asumir los valores de las presiones de poro y la forma de manipular éstas, al realizar el análisis de estabilidad.

Dado un talud con geometría establecida y propiedades de suelo definidas, se obtendrá un factor de seguridad mínimo (F_{\min}), que expresa la magnitud de la reducción que deben experimentar los parámetros de resistencia a cortante del suelo, según el criterio de Coulomb (c y $\tan(\phi)$), para

alcanzar un estado de Equilibrio Límite. El factor de seguridad mínimo de todas las posibles superficies de falla debe cumplir la siguiente condición de diseño:

$$F_{\min} \geq F_{\text{norma}} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

Los coeficientes de seguridad se adecuan dependiendo de la finalidad y del carácter temporal o definitivo del talud. Para taludes permanentes, el coeficiente de seguridad debe ser igual o superior a 1,5, e incluso 2,0; mientras que para taludes temporales el factor de seguridad está en torno a 1,3, pero en ocasiones puede adoptarse valores inferiores. (González de Vallejo, 2012)

Los métodos aproximados de análisis de estabilidad más usados a nivel mundial, son los métodos de Fellenius y Bishop, los mismos que proponen realizar la hipótesis de una superficie de falla circular, con el objetivo de facilitar los cálculos y teniendo en cuenta que esta suposición es parecida al mecanismo real de falla.

Para realizar el análisis de estabilidad de taludes en materiales que tienen cohesión y fricción, es requerido dividir la masa deslizante en dovelas. En la Ilustración 5 se observa un círculo de falla de radio R y las fuerzas que actúan sobre una dovela.

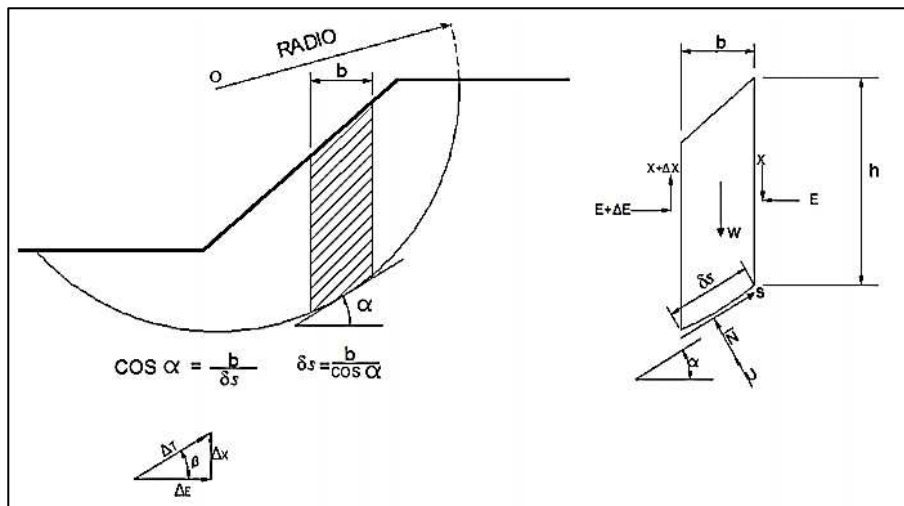


Ilustración 5 Círculo de falla de radio R y las fuerzas que actúan sobre una dovela.
Fuente: (Armas Novoa & Horta Mestas, 1987)

Donde:

- \bar{N} , la resultante normal sobre una dovela.

- U, la resultante de presión de poros.
- W, el peso de cada dovela analizada.
- α , el ángulo entre la tangente del centro de cada dovela y la horizontal.
- ΔT , la resultante de las fuerzas laterales en la cara de contacto en las dovelas.
- E, la tensión normal en el costado de cada dovela.
- S, la resistencia a cortante.
- δ_s , la longitud de arco de una dovela.
- x, la distancia horizontal del centro de gravedad de la dovela a la vertical que pasa por el centro del círculo.
- b, Ancho de la dovela.
- h, Altura de la dovela.

En la Ilustración 6 se observa el polígono de fuerzas general que actúan sobre una dovela.

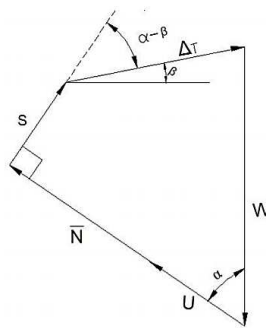


Ilustración 6 Polígono de fuerzas actuantes en una dovela, para β conocido.
Fuente: (Armas Novoa & Horta Mestas, 1987)

Al proyectar las fuerzas en las direcciones \bar{N} y S, (Ilustración 6), se obtienen las siguientes ecuaciones de equilibrio:

$$(\bar{N} + U) = W \cdot \cos \alpha + \Delta T \cdot \sin(\alpha + \beta) \quad \text{[Ecuación 2]}$$

$$S + \Delta T \cdot \cos(\alpha - \beta) = W \cdot \sin \alpha \quad \text{[Ecuación 3]}$$

Donde:

- β = Ángulo de inclinación de la resultante ΔT con respecto a la horizontal.
- S = Resistencia a cortante.

Debido a que el factor de seguridad “es la magnitud en que puede reducirse la resistencia a cortante del suelo para que se produzca el deslizamiento a lo largo de la superficie de falla más desfavorable” en cada dovela, se obtiene la siguiente ecuación:

$$S + \Delta T \cos(\alpha - \beta) = \frac{1}{F} (C' + \bar{N} \tan \phi') \quad [\text{Ecuación 4}]$$

Siendo:

$$C' = c' \cdot \delta_s \quad [\text{Ecuación 5}]$$

Donde:

- ϕ' = Ángulo de fricción interna efectivo.
- c' = Cohesión efectiva.
- F = Factor de seguridad.
- δ_s = Longitud de arco de una dovela.

Reemplazando el equivalente de S de la Ec. 4 en la Ec. 3 se tiene:

$$\frac{1}{F} = (C' + \bar{N} \tan \phi') + \Delta T \cos(\alpha + \beta) = W \cdot \sin \alpha \quad [\text{Ecuación 6}]$$

Por lo tanto, el sistema de $2n$ ecuaciones que define el equilibrio de la masa deslizante, es el sistema de ecuaciones que forman la Ec. 2 y la Ec. 6.

No obstante, otra forma de análisis del equilibrio de la masa deslizante, es analizarla como un todo, omitiendo las fuerzas internas y los empujes interdovelas, puesto que no interfieren en el equilibrio general, mediante la siguiente afirmación:

$$\sum W \cdot x = \sum S \cdot R \quad [\text{Ecuación 7}]$$

Dónde:

- x = Distancia horizontal del centro de gravedad de la dovela a la vertical que pasa por el centro del círculo.
- R = Radio del círculo.

Reemplazando la Ec. 4 en la Ec. 7 se obtiene:

$$F = \frac{R \sum (C' + \bar{N} \tan \phi')}{\sum W \cdot x} \quad [\text{Ecuación 8}]$$

En la Ec. 8 se tiene que las únicas incógnitas son los n valores \bar{N} . Operando la Ec. 2 y Ec. 6, se obtiene:

$$\bar{N} = \frac{W \cos \alpha [1 + \tan(\alpha - \beta)] - \frac{1}{F} \cdot C \cdot \tan(\alpha - \beta) - U}{1 + \frac{\tan \phi' \cdot \tan(\alpha - \beta)}{F}} \quad [\text{Ecuación 9}]$$

En la Ec. 9 se puede observar que no se necesita obtener el valor de ΔT para obtener el factor de seguridad.

2.6.1. Método de Fellenius.

El método de Fellenius consiste en hacer la hipótesis de que $\beta = \alpha$, para cada dovela. Por lo tanto, la Ec. 9, quedaría:

$$\bar{N} = W \cos \alpha - U \quad [\text{Ecuación 10}]$$

Sustituyendo la Ec. 10 en la Ec. 8, se obtiene:

$$F = \frac{R \sum c' \cdot \delta_s}{\sum W \cdot x} + \frac{R \sum (W \cdot \cos \alpha - u \cdot \delta_s) \cdot \tan \phi'}{\sum W \cdot x} \quad [\text{Ecuación 11}]$$

Donde:

- u = Presión de poros.

2.6.2. Método de Bishop simplificado.

El método de Bishop Simplificado supone que el ángulo $\beta = 0$ en cada dovela. Por lo tanto, la Ec. 9 quedaría:

$$\bar{N} = \frac{(W - c' \cdot b \cdot \tan \alpha - u \cdot b) \cdot \sec \alpha}{1 + \frac{\tan \phi' \cdot \tan \alpha}{F}} \quad [\text{Ecuación 12}]$$

Donde:

- b = Ancho de la dovela.

Sustituyendo esta ecuación en la Ec. 8 se obtiene:

$$F = \frac{R \sum \left\{ [c' \cdot b + (W - u \cdot b) \tan \phi'] \cdot \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{\tan \phi' \cdot \tan \alpha}{F}} \right\}}{\sum W \cdot x} \quad [\text{Ecuación 13}]$$

Que también se puede expresar como:

$$F = \frac{R \sum c' \cdot \delta_s \cdot \eta}{\sum W \cdot x} + \frac{R \sum (W - u \cdot b) \cdot \varepsilon \cdot \tan \phi'}{\sum W \cdot x} \quad [\text{Ecuación 14}]$$

Donde:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{\tan \phi' \cdot \tan \alpha}{F}} \quad [\text{Ecuación 15}]$$

$$\varepsilon = \eta \cdot \sec \alpha \quad [\text{Ecuación 16}]$$

2.6.3. Análisis en tensiones efectivas y en tensiones totales

El análisis de estabilidad de taludes puede realizarse, tanto en tensiones efectivas (TE), como en tensiones totales (TT). En la Tabla 3 se observa las características de ambos análisis, mediante la hipótesis de que el terraplén está construido sobre una cimentación firme y que se realiza una construcción rápida, de manera que no se produce variación en la humedad del suelo.

Finalmente se concluye que: un análisis en tensiones totales es apropiado cuando se requiere mantener al mínimo el costo de análisis ingenieril y existen otros factores que indican que el factor de seguridad total va a ser alto; mientras que un análisis en tensiones efectivas es apropiado cuando

exista una gran posibilidad de minorar costos de construcción mediante una análisis ingenieril más exhaustivo (importancia económica de la obra) (Armas Novoa & Horta Mestas, 1987).

Tabla 3: Características del análisis en Tensiones Efectivas y en Tensiones Totales.

ANÁLISIS EN TENSIONES TOTALES		
REQUISITOS	COMENTARIOS	
Tensiones totales en la masa del suelo debido a fuerzas de masa y cargas externas.	Común a los dos métodos.	
Ensayos para determinar la resistencia del suelo cuando es sometido a cambios en esfuerzos totales, similares a los cambios de esfuerzos dentro de la masa del suelo.	La exactitud del ensayo es siempre dudosa, ya que la resistencia depende de las presiones de poro inducidas, las cuales dependen a su vez de muchos detalles del método de ensayo; los ensayos son fáciles de realizar	
ANÁLISIS EN TENSIONES EFECTIVAS		
REQUISITOS	COMENTARIOS	
Tensiones totales en la masa del suelo debido a fuerzas de masa y cargas externas.	Común a los dos métodos.	
Ensayos lentos para determinar la relación entre la resistencia a cortante y los esfuerzos efectivos.	Puede realizarse con considerable exactitud, ya que esta relación es muy poco sensible a las condiciones de ensayo. Los ensayos son prolongados.	
Determinación de los cambios en presión de poro resultantes de los cambios en cargas externas.	La exactitud es dudosa debido a los muchos factores que afectan la magnitud de los cambios de presión de poro.	
COMPARACIÓN ENTRE UN ANÁLISIS EN TENSIONES TOTALES (TT) Y TENSIONES EFECTIVAS (TE)		
CRITERIO	TENSIONES TOTALES	TENSIONES EFECTIVAS
Simplicidad de cálculos en el ensayo	Mucho menos esfuerzo, ya que en el análisis en TE tienen el paso adicional de determinación de los cambios en presiones de poro.	
Confiabilidad	No hay diferencias: las mismas lagunas que existen en el conocimiento, que hacen difícil reproducir los cambios en presiones de poro, hacen difícil predecir (y reproducir) las condiciones apropiadas para el ensayo rápido.	
Claridad en los resultados		Más claro, porque la resistencia a cortante es controlada por las TE. Es posible comprobar el diseño mediante la medición de la presión de poro durante la construcción.

Fuente: (Armas Novoa & Horta Mestas, 1987)

En la actualidad el método computacional se ha convertido en una herramienta esencial para la validación de diversos métodos analíticos. En estabilidad de taludes, este tipo de herramientas ha permitido manejar cálculos iterativos complejos, pudiendo incluso llegar a resultados más precisos

en menores cantidades de tiempo. Existen varias alternativas computacionales que facilitan la modelación de un talud, todos ellos permiten analizar su estabilidad bajo diferentes modelos como los propuestos por Fellenius, Bishop, Janbú, etc.

Para este caso de estudio se utilizará el método de Bishop Simplificado, mediante la utilización de un programa profesional como es el GeoStudio (Slope/W), de gran aceptación internacional.

2.7. Consideraciones al análisis de taludes de materiales expansivos

El problema de los suelos compuestos por materiales expansivos radica principalmente en los cambios de volumen generados por la presencia de agua en su estructura, lo que conlleva a condiciones de inestabilidad debido a la pérdida de la capacidad portante y de la resistencia a las fuerzas de corte. Así mismo, variables como la geometría y la presencia de un sismo influyen directamente en el factor de seguridad del talud reduciendo significativamente su grado de estabilidad; por lo cual, es requerido un análisis detallado de los parámetros geomecánicos que permitan identificar las condiciones de seguridad para mitigar deslizamientos, flujos o caídas de material conocidos como procesos de remoción en masa (Londoño Manrique & Ardila Montiel, 2016).

La deformación del suelo se debe a los cambios de volumen en los suelos expansivos, suelos colapsables y en las grietas por desecación en arcillas. Al presentarse cambios en la humedad del suelo, ocurren cambios en las presiones de poros y luego se producen cambios de volumen. En los suelos expansivos el aumento del volumen es causado por el humedecimiento, mientras que en los suelos colapsables al presentarse humedecimiento se produce una disminución del volumen (Meza Ochoa, 2012).

En estabilidad de taludes es importante considerar la incidencia de los suelos expansivos, sus propiedades peculiares provocan diferentes tipos de fallos en la zona donde se emplacen. A

continuación se indican varias precauciones que se deben tomar en cuenta frente a este tipo de suelos según el Manual de Protección de Taludes, (Asociación de Carreteras del Japón, 1984):

- Se debe asegurar una inclinación de talud capaz de proporcionar estabilidad aun después de un ligero proceso de intemperismo.
- Cuando el suelo tiene elevados contenidos de humedad, debe trabajarse cuidadosamente, poniendo especial atención a la estabilidad del talud. Cualquier expansión debe ser cuidadosamente observado, analizar sus causas y su estabilidad futura.
- A pesar de que el talud este bien compacto, el ingreso de agua modifica su capacidad de succión provocando rotura en el material internamente. Por tal motivo se constata que el agua impacta fuertemente en el comportamiento mecánico del talud.

Por tales motivos, el presente estudio se centra en la acción de los suelos expansivos en la estabilidad de taludes. Como se dijo anteriormente, el agua es el factor más importante que se debe tomar en cuenta en este tipo de suelos.

CAPÍTULO III

ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO

3.1. Reconocimiento del terreno

Previo a la realización de ensayos e intervención del talud, las inspecciones de campo e investigación visual efectuadas permitieron identificar diferentes características geológicas y factores que influyeron en el deslizamiento del mismo (Ilustración 3). De esta manera se identifica los siguientes fallos:

- Roturas superficiales y suelo meteorizado
- Presencia de grietas de tracción
- Reptaciones de material blando
- Árboles y arbustos inclinados a favor de la pendiente
- Hundimientos y desplazamientos en el talud.

Todas estas características constituyen una parte fundamental para la inestabilidad del talud. Por ello se realizan diferentes ensayos para identificar de manera específica las propiedades geotécnicas del suelo y cómo intervienen en el comportamiento del talud.

3.2. Planificación de reconocimientos

Las investigaciones en campo realizadas conforman la parte más importante de los estudios geológicos y geotécnicos, los cuales son indispensables para el estudio de análisis de estabilidad de un talud, ya que mediante los mismos se obtienen las propiedades geotécnicas que definen el comportamiento de los estratos del suelo analizado.

Por lo tanto, de acuerdo a la inspección realizada se planteó ejecutar exploraciones de campo que consta de excavaciones, en las zonas donde se requiere aclaración o mayor detalle de la estratigrafía; cuatro calicatas a cielo abierto, y cinco ensayos SPT hasta 10 m o rechazo a la penetración.

3.3. Procedimientos mecánicos de reconocimiento de subsuelo

Se realizaron exploraciones y ensayos que permitieron obtener las propiedades mecánicas de la litología de la zona de estudio de tal manera que se pueda verificar las anomalías presentes en el talud, la cantidad de exploraciones y ensayos realizados se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4: Cantidades de exploraciones a realizarse

Descripción	Cantidad
Excavación, calicatas a Cielo Abierto hasta 6 m	4
Ensayos SPT hasta 10 m o rechazo a la penetración	5

En el presente caso, los parámetros determinados por los métodos de exploración directa, por los ensayos de laboratorio y por la correlación con fórmula de varios autores que se presentan en este capítulo, servirán para la modelación del talud y verificar la influencia del suelo expansivo.

3.3.1. Calicatas a cielo abierto

Para el presente estudio se realizaron 4 trincheras, la ubicación de cada calita se detalla en la Tabla 5.

Tabla 5: Ubicación de Calicatas, (Sistema de referencia WGS84).

Calicata	Este	Norte
1	731188	9683623
2	731497	9684112
3	731205	9684365
4	731241	9683983

De las calicatas realizadas se obtuvieron muestras representativas para la realización de los siguientes ensayos:

1. Contenido de humedad natural (ASTM D2216)
2. Distribución granulométrica (ASTM D422-63).
3. Plasticidad a través de los Límites de Atterberg: Límite líquido (ASTM 423-66) y límite plástico (ASTM 424-59).
4. Ensayo de Corte Directo (ASTM D 3080-72)

3.4. Toma de muestras alteradas e inalteradas

Muestras Inalteradas:

Las muestras se pueden obtener de la parte superficial de una formación o de zonas profundas. Se obtienen muestras cúbicas, cilindros o núcleos:

Las muestras cúbicas se pueden obtener de las zonas superficiales en las excavaciones previamente realizadas, las dimensiones de las muestras son de 50x50x50cm y se recortan mediante el empleo de pistolas neumáticas. A partir de estas muestras, en el laboratorio se elaboran otras más pequeñas.

Para obtener muestras inalteradas cilíndricas se extrae mediante el hincado del tubo shelby o tubos de pared delgada. Las extracciones de este tipo de muestras permiten realizar los siguientes ensayos:

- Peso específico
- Ensayo Triaxial
- Corte Directo
- Compresión Simple
- Determinación de relación de vacíos
- Hinchamiento o expansión libre

Muestras Alteradas:

Para la obtención de muestras alteradas para la realización de ensayos en laboratorio se usa un muestreador de tubo partida. Para determinar el grado de alteración de las muestras extraídas con tubo se emplea la ecuación:

$$AR(\%) = \frac{100 * (D_{ext}^2 - D_{int}^2)}{D_{int}^2} \quad \text{[Ecuación 17]}$$

Donde:

- AR = Relación de área.
- D_{ext} = Diámetro exterior.
- D_{int} = Diámetro interior.

Al determinar el porcentaje si la relación de área es mayor al 10%, la muestra se considera alterada. Para los ensayos realizados se emplearon un tubo de pared partida (cuchara partida) para la obtención de la muestra:

- Ensayo de penetración estándar (SPT)
- Análisis granulométrico
- Determinación de los límites líquido y plástico
- Densidad de los sólidos de los suelos
- Determinación del contenido orgánico
- Clasificación del suelo

El muestro se realizó en los puntos descritos

Tabla 5 debido a la necesidad de determinar los parámetros representativos de la zona. La extracción de las muestras tanto inalteradas y alteradas se realizaron con las calicatas y tubo de pared partida respectivamente.

3.5. Registro de datos.

Los datos de la caracterización estructural y geotécnica del talud fueron almacenados en el software Microsoft Excel. Las observaciones encontradas durante la investigación visual se documentaron mediante fotografías y comentarios en la libreta de campo. (Ver anexos.)

3.6. Ensayos in situ.

3.6.1. Calicatas a Cielo Abierto

En la Ilustración 7 se describe el perfil estratigráfico de la calicata 1 realizada a una profundidad de 4.5m. En dicho perfil se encontró material arcilloso y un estrato de arena arcillosa (SC) de 3.3m de espesor a una profundidad de 1.3m.

ESQUEMA		DESCRIPCIÓN	% PASA TAMIZ 200	% wnat	% LL	% LP	% IP	Y gr/cm ³	COHESIÓN (kPa)	ÁNGULO DE FRICCIÓN (φ°)
0,1	SC	Material Arcilloso	-	-	-	-	-	-	-	-
0,2										
0,3										
0,4										
0,5										
0,6										
0,7										
0,8										
0,9										
1										
1,1										
1,2										
1,3										
1,4										
1,5										
1,6										
1,7										
1,8										
1,9										
...										
...										
4,5										

Ilustración 7: Perfil estratigráfico. Calicata 1.

En la Ilustración 8 se describe el perfil estratigráfico de la calicata 2 realizada a una profundidad de 3.5m. En dicho perfil hasta una profundidad de 1.7m se encontró arcilla orgánica (CH) de alta compresibilidad, el estrato tiene un espesor de 1.5m, a partir de este estrato se observa grava mal graduada (GP) con un espesor de 2m.

ESQUEMA		DESCRIPCIÓN	% PASA TAMIZ 200	% wnat	% LL	% LP	% IP	Y gr/cm ³	COHESIÓN (kPa)	ÁNGULO DE FRICCIÓN (φ°)
0,1	CH	Arcilla inorgánica de alta compresibilidad ,Espesor del Estrato = 1,5 m	79,5	24,29	65,49	23,25	42,24			
0,2										
0,3										
0,4										
0,5										
0,6										
0,7										
0,8										
0,9										
...										
...										
1,7	GP	Grava mal graduada ,Espesor del Estrato = 2 m	2,7	5,99	29,39	19,2	10,2	1,93	2,943	34,63
1,8										
1,8										
1,9										
2										
2,1										
2,2										
2,3										
...										
...										
3,5										

Ilustración 8: Perfil estratigráfico. Calicata 2.

En la Ilustración 9 se describe el perfil estratigráfico de la calicata 3 realizada a una profundidad de 5m, el cual está compuesto de arcilla orgánica (CH) de alta compresibilidad en su totalidad.

ESQUEMA		DESCRIPCIÓN	% PASA TAMIZ 200	% wnat	% LL	% LP	% IP	Y gr/cm ³	COHESIÓN (kPa)	ÁNGULO DE FRICCIÓN (φ°)
0,1	CH	Arcilla inorgánica de alta compresibilidad ,Espesor del Estrato = 5 m	80,1	33,52	61,33	30,9	30,43	1,63	30,41	9,72
0,2										
0,3										
0,4										
0,5										
0,6										
0,7										
0,8										
0,9										
1										
1,7										
1,8										
1,9										
2										
2,1										
...										
...										
5										

Ilustración 9: Perfil estratigráfico. Calicata 3.

En la Ilustración 9 se describe el perfil estratigráfico de la calicata 4 realizada a una profundidad de 5m, el cual está compuesto de una capa vegetal de 0.4m de espesor y arcilla inorgánica de alta compresibilidad con un espesor de 4.6m.

ESQUEMA		DESCRIPCIÓN	% PASA TAMIZ 200	% wnat	% LL	% LP	% IP	γ gr/cm^3	COHESIÓN (kPa)	ÁNGULO DE FRICCIÓN (ϕ°)
0,1	[Capa Vegetal]	Capa Vegetal								
0,2										
0,3										
0,4										
0,5	[Arcilla inorgánica de alta compresibilidad, Estrato = 4,6 m]	Arcilla inorgánica de alta compresibilidad ,Espesor del Estrato = 4,6 m	88,6	41,96	95,65	32,55	63,1	1,63	32,37	7,79
0,6										
0,7										
0,8										
0,9										
1										
1,7										
1,8										
1,9										
2										
2,1										
2,2										
2,3										
...										
...										
5										

Ilustración 10: Perfil estratigráfico. Calicata 4.

De acuerdo a los perfiles obtenidos se observa que la presencia de finos es dominante en todas las calicatas motivo por el cual se clasifican como arcillas y arenas teniendo un porcentaje promedio del 75%, a excepción de la calicata 2 en el segundo estrato que va desde 1.70 hasta 3.50m de profundidad donde el suelo es gravoso y el porcentaje de finos es mínimo. El contenido de arenas se encuentra alrededor del 25%.

3.6.2. Sondeos SPT

Se realizó el ensayo de penetración estándar (SPT) como método de exploración directa para la determinación de los parámetros geotécnicos (resistencia al corte, ángulo de fricción y cohesión) que permitan caracterizar a los estratos del suelo. El ensayo S.P.T (Standard Penetration Test) consiste básicamente en contar el número de golpes (N) necesarios para introducir dentro de un estrato de suelo, una toma - muestras (cuchara partida) de 30 cm de

largo, a diferentes profundidades (generalmente con variación de metro en metro). Él toma -muestras es golpeado bajo energía constante, con una masa en caída libre de 63 kg y una altura de 76 cm.

Mediante el ensayo S.P.T (ASTM D 1586) se pueden establecer los parámetros geomecánicos del suelo a través del número de golpes N , de donde este valor debe ser corregido (N_{60}) para ser correlacionado con los parámetros geotécnicos, de donde para el caso de suelos granulares se establecen fórmulas propuestas por diferentes autores, tal y como se describe a continuación:

$$\phi = \sqrt{20 * N_{60}} + 15 \quad \text{Osaki(Kitazume, 2005)} \quad \text{[Ecuación 18]}$$

$$\phi = \sqrt{12 * N_{60}} + 25 \quad \text{Dunham(Kitazume, 2005)} \quad \text{[Ecuación 19]}$$

$$\phi = 20 + 3.4\sqrt{N_{60}} \quad \text{Muromachi(Alvarez, 2016)} \quad \text{[Ecuación 20]}$$

En el caso de suelos cohesivos, la literatura técnica contiene muchas correlaciones entre el número de penetración estándar y la resistencia cortante no drenada (c_u). Stroud (1974) sugirió que:

$$c_u = K * N \quad \text{(Stroud, 1974)} \quad \text{[Ecuación 21]}$$

Donde:

$K = \text{constante} = 3.5 - 6.5 \text{ kPa}$

$N = \text{número de penetración estándar obtenido en el campo}$

Varios investigadores correlacionaron los valores del Módulo Elástico o Módulo de Young (E_s) con el número de penetración estándar de campo (N_{60}). Schmertmann (1970) propuso que el módulo de elasticidad de la arena fuese dado por:

$$E_s \left(\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) = 766 * N_{60} \quad \text{(Schmertmann, 1970)} \quad \text{[Ecuación 22]}$$

En la Tabla 6 se presentan parámetros elásticos de varios suelos (módulo elástico y relación de Poisson).

Tabla 6: Parámetros elásticos de varios suelos

Tipo de suelo	Módulo de elasticidad, E_s (MN/m ²)	Razón de Poisson, μ_s
Arena suelta	10–25	0.20–0.40
Arena de compacidad media	15–30	0.25–0.40
Arena densa	35–55	0.30–0.45
Arena limosa	10–20	0.20–0.40
Arena y grava	70–170	0.15–0.35
Arcilla blanda	4–20	
Arcilla media	20–40	0.20–0.50
Arcilla dura	40–100	

Fuente: (Das, 2001)

En la Tabla 7 tomando en cuenta que ésta se basa en N_{60} , y es para suelos cohesivos, se correlaciona dicha variable con el módulo de elasticidad.

Tabla 7: Valores de E en función de N_{60}

N_{60} (SPT)	Descripción	Es kg/cm ²	Es MPa
< 2	Muy blanda	3	0.3
2 - 4	Blanda	30	3
4 - 8	Media	45 - 90	4.5 - 9
8 - 15	Compacta	90 - 200	9 - 20
15 - 30	Muy Compacta	>200	> 20
> 30	Dura		

Fuente: (ASTM International, 1996)

La ecuación utilizada para determinar el valor del N_{60} es la siguiente:

$$N_{60} = \frac{E_m \cdot C_B \cdot C_s \cdot C_R \cdot N}{0.60} \quad (\text{Skempton, 1986}) \quad [\text{Ecuación 23}]$$

Donde:

N_{60} = El número de golpes corregidos al 60% de la energía de caída libre teórica del martillo.

N_{SPT} = número de golpes medidos en el campo

E_m = factor de corrección de energía del martillo

C_B = factor de corrección por diámetro del hueco

C_S = factor de corrección del tipo de muestreador

C_R = factor de corrección por la longitud de la tubería utilizada

Mediante la Tabla 8 y Tabla 9, que en conjunto con la expresión establecida por Cetin se tiene $C_E = 1$, $C_B = 1.05$ y $C_S = 1$.

Tabla 8: Factor de corrección de energía

TIPO DE MARTILLO	E_R (%)	C_E
Anular (“Donut”)	45	0.75
De seguridad	60	1
Automático	100	1.67

Fuente: (Bolton Seed et al., 1985)

Tabla 9: Factores de corrección por diámetro del hueco de perforación, por el tipo de muestreador y por la longitud de tubería utilizada

Factor	Variables de equipos	Valor
Diámetro del hueco, C_B	65 – 115 mm	1
	150 mm	1.05
	200 mm	1.15
Muestreador utilizado, C_S	Standard	1
	Sin revestimiento	1.2
Longitud de tubería, C_R	3 – 4 m	0.75
	4 – 6 m	0.85
	6 – 10 m	0.95
	>10 m	1

Fuente: (Skempton, 1986)

Fórmula propuesta por Cetin:

$$C_R = \frac{1}{0.989860781 + \frac{4.34663223}{z^2}} \quad \text{Para } z \geq 3 \quad [\text{Ecuación 24}]$$

Donde:

z = profundidad de muestreo

De los ensayos SPT se tomaron muestras de suelo que fueron llevadas al laboratorio para posteriormente ser analizadas. Las propiedades del suelo se pueden obtener a través de pruebas de laboratorio como:

- Contenido de humedad natural (ASTM D2216)
- Plasticidad a través de los Límites de Atterberg: límite líquido (ASTM 423-66) y límite plástico (ASTM 424-59)
- Distribución granulométrica (ASTM D422-63)
- Ensayo de Corte Directo (ASTM D 3080-72)
- Ensayo de Compresión Simple (ASTM D2166)
- Ensayo de Expansividad (ASTM D4546)
- Ensayo Triaxial (ASTM D-2850)

Se realizaron cinco ensayos de campo SPT, la ubicación de cada uno se encuentra detallada en la Tabla 10.

Tabla 10: Ubicación de los ensayos SPT, (Sistema de referencia WGS84).

Ensayo de campo SPT	Coordenadas	
	Este	Norte
1	731654	9683839
2	731339	9683921
3	731011	9683433
4	731201	9683781
5	731710	9683512

Ensayo SPT 1:

A continuación, en la Tabla 11 se presenta el perfil estratigráfico y un cuadro resultados del sondeo SPT con el registro del número de golpes obtenidos por cada metro de profundidad.

Tabla 11: Sondeo SPT 1

PROFUNDIDAD: 7,50 m		NORMA ASTM D 1586														
PESO DE MARTILLO: 63 Kg		ALTURA DE CAÍDA: 76 cm														
PERFIL ESTRATIGRÁFICO - SPT 1		SPT 1					ENSAYOS DE LABORATORIO									
PROFUNDIDAD (m)	SIMBOLOGÍA GRÁFICA	ESTRATIGRAFÍA	NIVEL FREÁTICO	# DE GOLPES SPT DE CAMPO	FACTOR CORRECCIÓN	N60	N60 CORREGIDO	% PASA TAMIZ 200	LIMITES DE ATTERBERG		HUMEDAD (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	CLASIFICACIÓN AASHTO	CORTE DIRECTO		
									LL (%)	IP (%)				c (kPa)	φ°	
-0,5	[Orange Box]	Arcilla inorgánica de alta compresibilidad														
-1																
-1,5			22	0,788	17	17	20	20,45	27,8	24,5	21	A-7-5 (40)	22,5	11,12		
-2																
-2,5			26	0,788	20	20	93,5	78,1	45,15	26,65	CH	A-7-5 (50)	22,563	11,12		
-3	[Yellow Box]	Arcilla inorgánica de alta compresibilidad														
-3,5			50	0,788	39	39	21	21,15	28,5	25,2	21	A-7-5 (40)	22,5	11,12		
-4																
-4,5			35	0,893	31	31	0	0	0	0	0	A-7-5 (40)	0,00	0		
-5																
-5,5			38	0,893	34	34	27,7	21,35	8,12	21,9	21	A-7-5 (40)	22,5	11,12		
-6																
-6,5																
-7	[Yellow Box]	Arcilla inorg. de alta comp.														
-7,5			58	0,998	58	58	91,8	77,2	46,62	22,98	CH	A-7-5 (50)	28,45	9,46		

Ensayo SPT 2:

En la Tabla 12 se presenta el cuadro resumen del sondeo SPT 2, en el mismo consta el número de golpes obtenidos por cada metro de profundidad. Los parámetros geotécnicos correspondientes a la muestra de 3.50m de profundidad se los ha obtenido mediante el ensayo triaxial no consolidado no drenado saturado y para la muestra obtenida a los 5.50m los parámetros fueron obtenidos mediante el ensayo de corte directo.

Tabla 12: Sondeo SPT 2

PROFUNDIDAD: 5,50 m		NORMA ASTM D 1586													
PESO DE MARTILLO: 63 Kg		ALTURA DE CAÍDA: 76 cm													
PERFIL ESTRATIGRÁFICO - SPT 2		SPT 2					ENSAYOS DE LABORATORIO								
PROFUNDIDAD (m)	ESTRATIGRAFÍA		NIVEL FREÁTICO # DE GOLPES SPT DE CAMPO	FACTOR CORRECCIÓN	N60	N60 CORREGIDO	% PASA TAMIZ 200	LIMITES DE ATTERBERG		HUMEDAD (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	CLASIFICACIÓN AASHTO	CORTE DIRECTO		
	SIMBOLOGÍA GRÁFICA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL						LL (%)	IP (%)				c (kPa)	ϕ°	
-0,5		Arcilla inorgánica de alta compresibilidad													
-1															
-1,5			20	0,788	16	16									
-2															
-2,5			18	0,788	14	14									
-3															
-3,5			21	0,788	17	17	81,8	68,27	40,56	30,39	CH	A-7-6 (36)		TRIAXIAL UU	
-4															
-4,5			35	0,893	31	31									
-5															
-5,5			57	0,893	51	51	79,3	67,21	36,23	25,02	CH	A-7-5 (32)	24,53	10,86	

Ensayo SPT 3:

A continuación, se presenta el respectivo perfil estratigráfico del ensayo SPT. En la Tabla 13 se presenta el cuadro del sondeo SPT con el registro del número de golpes obtenidos por cada metro de profundidad. Se encontró nivel freático a una profundidad de 2.5m. Los parámetros geotécnicos correspondientes al ángulo de fricción y cohesión para las muestras obtenidas a una profundidad de 2.50m y 8.50m se los ha obtenido mediante el ensayo de corte directo.

Tabla 13: Sondeo SPT 3

PROFUNDIDAD: 8,50 m		NORMA ASTM D 1586													
PESO DE MARTILLO: 63 Kg		ALTURA DE CAÍDA: 76 cm													
PERFIL ESTRATIGRÁFICO - SPT 3		SPT 2				ENSAYOS DE LABORATORIO									
PROFUNDIDAD (m)	ESTRATIGRAFÍA		NIVEL FREÁTICO # DE GOLPES SPT DE CAMPO	FACTOR CORRECCIÓN	N60	N60 CORREGIDO	% PASA TAMIZ 200	LÍMITES DE ATTERBERG		HUMEDAD (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	CLASIFICACIÓN AASHTO	CORTE DIRECTO		
	SIMBOLOGÍA GRÁFICA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL						LL (%)	IP (%)				c (kPa)	φ°	
-0,5	█	Arcilla inorgánica de alta compresibilidad													
-1															
-1,5			10	0,788	8	8									
-2															
-2,5			23	0,788	18	18	96	92,45	59,24	40,61	CH	A-7-5 (68)	24,525	4,42	
-3	█	Arcilla inorgánica de alta compresibilidad													
-3,5			22	0,788	17	17									
-4															
-4,5			15	0,893	13	13									
-5															
-5,5			20	0,893	18	18									
-6															
-6,5			40	0,998	40	40	68	74,3	45,86	47,78	CH	A-7-6 (31)			
-7															
-7,5			30	0,998	30	30									
-8															
-8,5	55	0,998	55	55	94,9	82,67	53,76	34,47	CH	A-7-6 (60)	26,49	4,52			

Ensayo SPT 4:

A continuación, se presenta el respectivo perfil estratigráfico del ensayo SPT. En la Tabla 14 se presenta el cuadro del sondeo SPT con el registro del número de golpes obtenidos por cada metro de profundidad. Los parámetros geotécnicos de la muestra obtenida a 2.50m han sido obtenidos mediante el ensayo de corte directo para el primer estrato y los parámetros de la muestra de 5.50m fueron obtenidos del ensayo de corte directo, ya que, si bien se realizó un ensayo de compresión simple, la clasificación del suelo mostró que se trata de un suelo limoso por lo que fue necesario realizar un ensayo de corte directo para corroborar a la clasificación realizada.

Tabla 14: Sondeo SPT 4

PROFUNDIDAD: 6,50 m		NORMA ASTM D 1586														
PESO DE MARTILLO: 63 Kg		ALTURA DE CAÍDA: 76 cm														
PERFIL ESTRATIGRÁFICO - SPT 4		SPT 4					ENSAYOS DE LABORATORIO									
PROFUNDIDAD (m)	ESTRATIGRAFÍA		NIVEL FREÁTICO # DE GOLPES SPT DE CAMPO	FACTOR CORRECCIÓN	N60	N60 CORREGIDO	% PASA TAMIZ 200	LÍMITES DE ATTERBERG		HUMEDAD (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	CLASIFICACIÓN AASHTO	CORTE DIRECTO		COMPRESIÓN SIMPLE EN kg/cm ²	
	SIMBOLOGÍA GRÁFICA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL						LL (%)	IP (%)				c (kPa)	φ°		
-0,5	[Orange Box]	Arcilla inorgánica de alta compresibilidad														
-1																
-1,5			7	0,788	6	6										
-2																
-2,5			11	0,788	9	9	85,1	64,94	39,23	14,48	CH	A-7-6 (37)	27,468	10,64		
-3	[Yellow Box]	Limos orgánicos de alta compresibilidad														
-3,5			20	0,788	16	16										
-4																
-4,5			21	0,893	19	19										
-5																
-5,5			40	0,893	36	36	61,7	53,33	23,08	45,16	MH	A-7-5 (13)	10,79	25,64	1,21	
-6																
-6,5			60	0,998	60	60										

Ensayo SPT 5:

A continuación, se presenta el respectivo perfil estratigráfico del ensayo SPT. En la Tabla 15 se presenta el cuadro del sondeo SPT con el registro del número de golpes obtenidos por cada metro de profundidad. Los parámetros geotécnicos correspondientes al ángulo de fricción y cohesión se los ha obtenido mediante el ensayo de corte directo.

Tabla 15: Sondeo SPT 5

PROFUNDIDAD: 3,50 m		NORMA ASTM D 1586													
PESO DE MARTILLO: 63 Kg		ALTURA DE CAÍDA: 76 cm													
PERFIL ESTRATIGRÁFICO - SPT 5		SPT 5					ENSAYOS DE LABORATORIO								
PROFUNDIDAD (m)	ESTRATIGRAFÍA		NIVEL FREÁTICO # DE GOLPES SPT DE CAMPO	FACTOR CORRECCIÓN	N60	N60 CORREGIDO	% PASA TAMIZ 200	LÍMITES DE ATTERBERG		HUMEDAD (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	CLASIFICACIÓN AASHTO	CORTE DIRECTO		
	SIMBOLOGÍA GRÁFICA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL						LL (%)	IP (%)				c (kPa)	φ°	
-0,5	[Orange Box]	Arcilla inorgánica de alta compresibilidad													
-1															
-1,5			18	0,788	14	14									
-2															
-2,5			45	0,788	35	35									
-3															
-3,5			60	0,788	47	47	95,7	56,4	27,64	10,2	CH	A-7-6 (31)	24,525	11,21	

3.7. Condiciones naturales de muestra

Las muestras empleadas para la realización de los ensayos en el laboratorio tienen las siguientes humedades naturales:

Tabla 16: Humedades naturales de cada muestra

SONDEO N°	N° DE MUESTRAS	PROFUNDIDAD (m)	% w natural
1	1	3,5	24,66
2	1	1,7	24,29
	2	3,5	5,99
3	1	5	33,52
4	1	5	41,96

3.8. Ensayos granulométricos.

La granulometría comprende la distribución porcentual de los distintos tamaños de partículas que constituyen una muestra de suelo. El ensayo consiste en separar una muestra de suelo mediante una serie de tamices de tamaño decreciente correspondiente a la fracción gruesa y fina de la misma.

Las muestras de suelo son tomadas de las calicatas realizadas, el proceso se lleva a cabo independientemente del origen de la muestra ya sea alterada o inalterada, debido que durante el cribado se produce la disgregación de las partículas componentes del suelo. Este ensayo permite la clasificación de suelos mediante los procesos descritos con anterioridad: SUCS, AASHTO.

3.9. Límites de plasticidad

Los límites de Atterberg o consistencia son humedades a las cuales el suelo cambia de una consistencia a otra, esta variación en las arcillas es mayor. Existen cuatro estados importantes: sólida, semisólida, plástica, semilíquida.

- Límite líquido: Humedad a la cual el suelo pasa de un estado plástico al estado semilíquido o viceversa. En este estado el suelo no presenta resistencia al corte.

El ensayo para determinar este límite se denomina ensayo de cuchara de Casagrande: consiste en utilizar el suelo que pasa el tamiz número 40, agregar agua hasta obtener una consistencia tipo plastilina es decir con una humedad baja. La muestra preparada se coloca en la cuchara, con el ranurador se realiza un corte aproximadamente de 1 cm de tal manera que se vea el fondo de la cuchara. Se aplica un número de golpes no mayores a 40 golpes mediante el giro de la manivela hasta que la muestra de suelo se una nuevamente. Este proceso se repite cinco veces, de las cuales se obtiene la humedad correspondiente a cada muestra empleada. Por lo tanto, el límite líquido es la humedad a la cual el suelo se une 13 mm aproximadamente en la cuchara de Casagrande con 25 golpes.

- Límite plástico: Humedad a la cual la muestra de suelo cambia de estado plástico a semisólido.

Para la determinación del límite se emplea el suelo que pasa el tamiz número 40, se elabora cilindros de 3mm de diámetro, de 8cm de largo sobre un vidrio. Este proceso de elaboración se repite sobre el cilindro hasta que empiece agrietarse. Se debe realizar este ensayo cinco veces para obtener la humedad en estado plástico.

- Índice de plasticidad: Es un parámetro importante para la clasificación de los suelos, representa un rango de humedades de un suelo plástico, indica la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

$$IP = LL - LP$$

[Ecuación 25]

3.10. Clasificación del suelo

La clasificación de suelo está en función de la granulometría y los límites de plasticidad. Según los resultados obtenidos se realiza la clasificación del suelo según SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de suelos) y ASSHTO como se puede observar en la siguiente:

Tabla 17: Clasificación del suelo según SUCS Y AASHTO

SONDEO N°	N° DE MUESTRAS	PROFUNDIDAD (m)	% PASA TAMIZ 200	SUCS	ASSHTO
1	1	3,5	49,6	SC	A-7-6 (9)
2	1	1,7	79,5	CH	A-7-6 (35)
	2	3,5	2,7	GP	A-2-6 (0)
3	1	5	80,1	CH	A-7-5 (27)
4	1	5	88,6	CH	A-7-5 (65)

De acuerdo a la Tabla 17 y a los perfiles estratigráficos determinados mediante las calicatas el suelo está compuesto principalmente por arenas arcillosas (SC), arcillas inorgánicas de alta compresibilidad (CH) con un porcentaje promedio del 75%, a excepción de la calicata 2 en donde en el segundo estrato que va desde 1.70 hasta 3.50m de profundidad, en donde el suelo está compuesto por gravas con mala distribución de tamaños, es decir mal graduada (GP) y porcentaje de finos es mínimo. En las demás calicatas el porcentaje de arenas es del 25%. Según AASHTO, el suelo de la zona está conformado por arenas arcillosas A-7.

3.11. Ensayo de corte directo.

Para la realización del ensayo se utilizan muestras alteradas, las cuales pueden ser cuadradas o circulares, siendo el tamaño de los especímenes generalmente usados tienen un área transversal de 25cm², y de 25-30mm de altura. El esfuerzo normal sobre los especímenes debe ser tan grande alrededor de 1000kN/m², esta prueba puede ser controlada por el esfuerzo o por la deformación unitaria.

En las pruebas que emplean el esfuerzo controlado, la fuerza cortante se aplica en incrementos iguales hasta que la muestra presente falla y esta falla ocurre a lo largo del horizontal. En las pruebas que emplean la deformación controlada, por medio del empleo de un motor que actúa a través de engranajes se aplica a una velocidad constante de desplazamiento de cizalladura a una

mitad de la caja. La fuerza cortante del suelo correspondiente a cualquier desplazamiento se puede medir por un anillo de prueba horizontal o celda de carga (Das, 2008).

En la Ilustración 11 se observa un diagrama de las fuerzas que actúan para la realización de este ensayo:

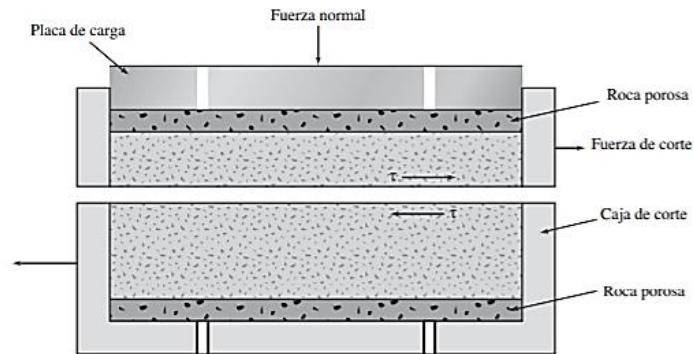


Ilustración 11: Diagrama del equipo para la prueba de corte directo Fuente: (Das, 2001)

El esfuerzo normal se calcula con la siguiente ecuación:

$$\sigma = \sigma' = \frac{\text{Fuerza normal}}{\text{Área de sección transversal}} \quad [\text{Ecuación 26}]$$

El esfuerzo cortante se calcula con la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{\text{Fuerza cortante resistente}}{\text{Área de sección transversal}} \quad [\text{Ecuación 27}]$$

Al realizar el ensayo de corte directo, se obtiene las gráficas de esfuerzo cortante y desplazamiento de corte, en la Ilustración 12 se observa que para una arena suelta la resistencia al esfuerzo cortante aumenta al incrementar el desplazamiento de corte, este tipo de suelo sufren una falla plástica y para arenas densas se alcanza una resistencia cortante pico, y a partir de este punto la resistencia del suelo disminuye al aumentar la deformación cortante.

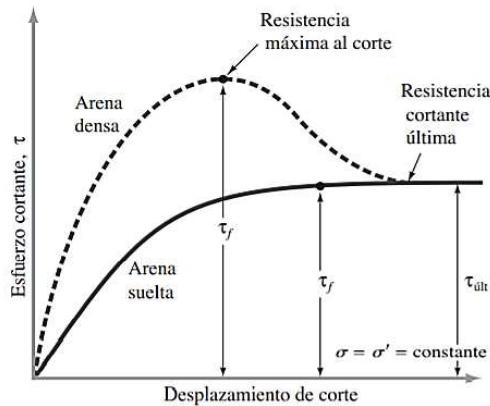


Ilustración 12: Esfuerzo cortante frente al desplazamiento cortante. Fuente: (Das, 2001)

Para obtener los parámetros de resistencia para arena en condiciones secas:

$$\tau_f = \sigma' \tan \phi \quad \text{con } c = 0 \quad \text{[Ecuación 28]}$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{\tau_f}{\sigma'} \right) \quad \text{[Ecuación 29]}$$

A las muestras obtenidas, se realizaron un número determinados de ensayos de corte directo en función de la recuperación del ensayo SPT. Esto genera que algunos parámetros geotécnicos son calculados en base a las fórmulas anteriormente explicadas.

3.12. Ensayo triaxial

Es el ensayo más confiable para determinar los parámetros de resistencia cortante. Se usa generalmente un espécimen de suelo aproximadamente 36mm de diámetro y 76mm de longitud.

El espécimen se encuentra confinado por una membrana delgada de hule y se coloca dentro de una cámara cilíndrica de plástico rellena con agua o glicerina, quedando sometida a una presión de confinamiento generada por el fluido de la cámara. Para establecer o generar la falla cortante, se aplica un esfuerzo axial denomina esfuerzo desviador Ilustración 13.

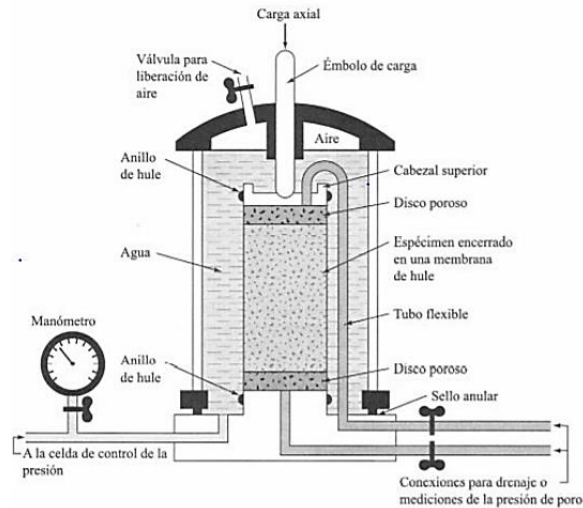


Ilustración 13: Diagrama de un equipo de prueba triaxial. Fuente: (Das, 2001)

Este ensayo consta de dos etapas:

1. **Primera etapa:** En donde se genera un confinamiento de la muestra, los esfuerzos normales de la muestra no son críticos pero los esfuerzos cortantes si son críticos

Ilustración 14.

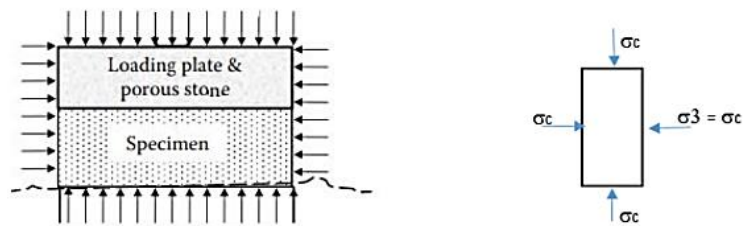


Ilustración 14: Etapa de confinamiento. Fuente: (Das, 2001)

2. **Segunda etapa:** Se incrementa el esfuerzo vertical desviador y se produce la falla por cortante Ilustración 15.

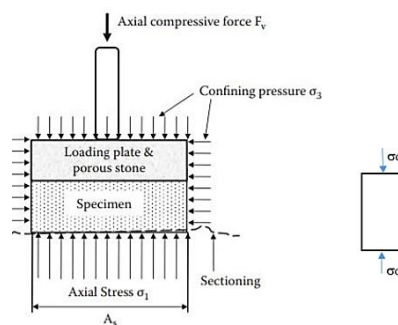


Ilustración 15: Segunda etapa: Corte. Fuente: (Das, 2001)

Para cada etapa del ensayo se puede utilizar dren abierto o cerrado:

- **Dren abierto:** Al utilizar dren abierto se produce la consolidación de la muestra, el volumen cambia, el exceso de presión de agua de poros es igual a cero, el ensayo se ejecuta de manera más lenta.
- **Dren cerrado:** El volumen de la muestra se mantiene constante, la muestra no se consolida, el exceso de presión de agua de poros es diferente de cero, el ensayo se ejecuta de una manera más rápida.

Para el suelo en análisis se realiza el ensayo triaxial empleando el dren cerrado tanto en la primera y segunda etapa, denominado ensayo triaxial no consolidado no drenado (UU), ensayo rápido.

3.12.1. Ensayo no consolidado – no drenado (Ensayo rápido)

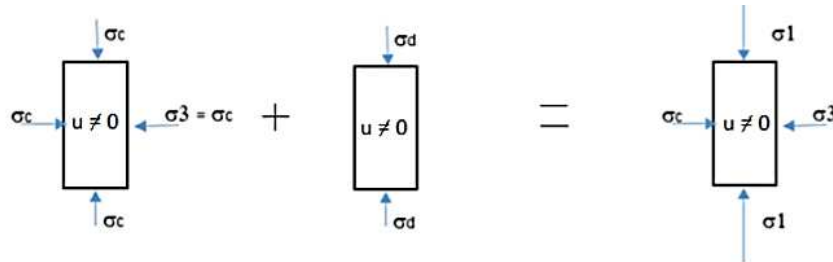


Ilustración 16: Diagrama: Etapas del ensayo. Fuente: (Das, 2001)

Los resultados obtenidos del ensayo son esfuerzos totales, por lo tanto, los parámetros de resistencia del suelo son totales o aparentes en suelos saturados y parcialmente saturados. Existe un incremento de presión de agua de poros μ_c y un aumento adicional de $\Delta\mu$: $\mu = \mu_c + \Delta\mu$.

Para el caso de suelos saturados, debido a la acción de la presión de poros el ángulo de fricción es nulo y la envolvente de rotura horizontal. Por lo tanto, la cohesión es directamente el esfuerzo cortante Ilustración 17.

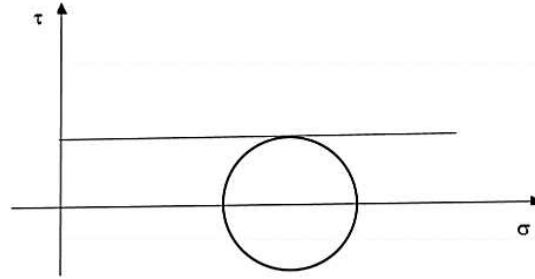


Ilustración 17: Suelo Saturado.

En suelos parcialmente saturados, el ángulo de fricción es diferente de cero, por lo tanto, la envolvente de rotura presenta inclinación Ilustración 18.

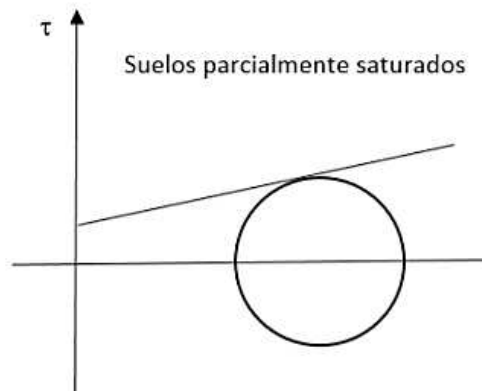


Ilustración 18: Suelo parcialmente saturado.

Este ensayo es recomendado para suelos arcillosos, debido a que es un ensayo con carga rápida, por lo tanto, las condiciones críticas se dan a corto término.

3.13. Resultados de ensayos

3.13.1. Calicatas

De las muestras obtenidas en las cuatro calicatas, se realizaron los respectivos ensayos antes descritos en laboratorio. La Tabla 18 detalla los resultados de los parámetros físicos analizados en cinco muestras obtenidas de las calicatas.

Casagrande definió que los suelos con un límite líquido mayor a 50% son de alta compresibilidad. En las calicatas 2 y 4 para valores de límite líquido mayor a 50% se tiene índices

de plasticidad también altos, esto indica que el material predominante son arcillas plásticas por lo que estas zonas presentaran un potencial expansivo mayor.

Tabla 18: Resumen de ensayos de laboratorio.

SONDEO N°	N° DE MUESTRAS	PROFUNDIDAD (m)	% PASA TAMIZ 200	% w nat	% LL	% LP	% IP	SUCS	ASSHTO	Y g/cm ³	c (kg/cm ²)	φ °
1	1	3,5	49,6	24,66	48,23	22,29	25,93	SC	A-7-6 (9)	1,7	0,16	20,9
2	1	1,7	79,5	24,29	65,49	23,25	42,24	CH	A-7-6 (35)			
	2	3,5	2,7	5,99	29,39	19,2	10,2	GP	A-2-6 (0)	1,93	0,03	34,63
3	1	5	80,1	33,52	61,33	30,9	30,43	CH	A-7-5 (27)	1,63	0,31	9,72
4	1	5	88,6	41,96	95,65	32,55	63,1	CH	A-7-5 (65)	1,63	0,33	7,79

El peso específico promedio obtenido de las muestras es 1.65g/cm³. Al determinar los parámetros de resistencia existen diferencias significativas entre la muestra del sondeo 1 y sondeo 2, estos contrastes pueden ser causadas por la diferente litología de cada calicata, ya que en la calicata 1 se tiene un estrato de arena arcillosa y la calicata 2 está conformada por un estrato de grava mal graduada.

Sin embargo, en el sondeo 3 y 4, existe una similitud en los parámetros de resistencia obtenidos, de estas dos muestras se procede a determinar los parámetros de resistencia promedio dando como resultado una cohesión igual a 0.32kg/cm² y ángulo de fricción igual a 8.75°.

La humedad es importante recalcar en estos resultados, pues como se puede observar la humedad natural está bordeando al porcentaje de humedad en el límite plástico. Una variación en la humedad, como es normal en campo, determinara el estado en el que se encuentra el suelo. Es decir, en época de sequía el suelo perderá humedad (desección) y pasará de un estado plástico a un estado semisólido, donde por sus propias propiedades, presentará agrietamientos y pérdida de cohesión entre sus partículas. En cambio, en épocas de lluvia, el suelo gana humedad y presenta un incremento de volumen o hinchamiento según su grado de expansividad; con exceso de agua

se forma una “envoltura” sobre las partículas laminares, produciendo un efecto lubricante que facilita al deslizamiento de unas partículas sobre otras.

3.13.2. Ensayos SPT

De los cinco ensayos SPT realizados se presenta el resumen en donde se detallan los resultados de ensayos de laboratorio obtenidos.

3.13.2.1. SPT 1:

Los parámetros geotécnicos correspondientes a la muestra sondeo SPT 1 a 2.50m y 7.50m Tabla 11 se los ha obtenido mediante el ensayo de corte directo para la muestra a 2.50m de profundidad y para la muestra a 6.50m de profundidad los parámetros fueron obtenidos mediante un ensayo triaxial no consolidado no drenado saturado (UU).

Tabla 19: Resumen de resultados ensayos de laboratorio SPT1.

SONDEO	PROF (m)	% PASA TAMIZ 200	% □□nat	% LL	% LP	% IP	SUCS	ASSHTO	Y ^r (g/cm ³)	c (kPa)	φ °
SPT1	2,5	93,5	26,65	78,1	32,95	45,15	CH	A-7-5 (50)	1,63	22,56	11,12
	6,5	93,7	21,9	71,36	27,8	43,56	CH	A-7-6 (47)	1,63	8,83	4,00
	7,5	91,8	22,98	77,2	30,58	46,62	CH	A-7-5 (50)	1,63	28,45	9,46

Mediante el perfil estratigráfico obtenido de los sondeos de campo, que al complementarlo con los ensayos de laboratorio se ha establecido 2 estratos representativos de la masa de suelo, el primero de 2.5 m de potencia que está compuesto de arcilla inorgánica de alta compresibilidad, con porcentajes de finos de 94 %, un porcentaje de arenas de 6 % y un IP de 45.15%. El segundo estrato tiene una potencia de al menos 4m y está compuesto por arcilla inorgánica de alta compresibilidad y tiene un porcentaje de finos de 94 %, un porcentaje de arenas de 6 % y un IP de 45.15%.

En la Tabla 20 se da a conocer de manera resumida el registro realizado por el SPT, tanto del tipo de material como el número de golpes obtenido en campo con su corrección N60, que al

correlacionarlo con las expresiones establecidas para el ensayo SPT1, se deducen los parámetros geotécnicos c y ϕ .

Tabla 20: Obtención de parámetros geotécnicos mediante SPT de campo.

PROFUNDIDAD (m)	ESTRATIGRAFÍA		NIVEL FREÁTICO # DE GOLPES SPT DE CAMPO	FACTOR CORRECCIÓN	N60	N60 CORREGIDO	OSAKI	DUNHAM	MIROMACHI (1974)	STROUD (1974)	Por Corte Directo	PESO ESPECIFICO (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ °	Coeficiente de Poisson μ	Módulo Elástico E (Módulo de Corte) (kpa)	
	SIMBOLOGÍA GRÁFICA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL															
-0,5	[Orange Box]	Arcilla inorgánica de alta compresibilidad	22	0,788	17	17	33,6	39,4	34,6	69,3		15,99	22,6	11,12	0,41	8297,38	
-1																	
-1,5																	
-2																	
-2,5																	
-3	[Yellow Box]	Arcilla inorgánica de alta compresibilidad	26	0,788	20	20	35,2	40,7	35,8	81,9	22,56	15,99	22,6	11,12	0,41	8297,38	
-3,5																	
-4																	
-4,5																	
-5																	
-5,5																	
-6																	Triaxial
-6,5																	
-7																	
-7,5	58	0,998	58	58	49,0	51,3	46,6	231,4	28,449	15,99	28,4	9,5	0,32	10880			

3.13.2.2. SPT2:

En la Tabla 21 se presenta el cuadro resumen del sondeo SPT 2, en el mismo consta el número de golpes obtenidos por cada metro de profundidad:

Tabla 21: Resumen de resultados ensayos de laboratorio SPT2.

SONDEO N°	PROFUNDIDAD (m)	% PASA TAMIZ 200	% w _{nat}	% LL	% LP	% IP	SUCS	ASSHTO	Y (g/cm ³)	c (kPa)	ϕ °
SPT2	3,5	81,8	30,39	68,27	27,71	40,56	CH	A-7-6 (36)	1,61	11,77	5
	5,5	79,3	25,02	67,21	30,98	36,23	CH	A-7-5 (32)	1,68	24,53	10,86

Mediante el perfil estratigráfico obtenido del sondeo de campo, que al complementarlo con los ensayos de laboratorio se ha establecido 2 estrato representativo de la masa de suelo, compuestos de arcilla inorgánica de alta compresibilidad, con porcentaje de finos promedio de 81%, un porcentaje de arenas de 19 % y un IP de 38.41%. En la Tabla 22, se da a conocer de manera resumida el registro realizado por el SPT, tanto del tipo de material como el número de golpes

obtenido en campo con su corrección N60, que al correlacionarlo con las expresiones establecidas para el ensayo SPT, se deducen los parámetros geotécnicos c y ϕ .

Tabla 22: Obtención de parámetros geotécnicos mediante el SPT de campo.

PERFIL ESTRATIGRÁFICO - SPT 2			SPT 2				ÁNGULO DE FRICCIÓN (ϕ°)			COHESIÓN (kPa)		PARÁMETROS						
PROFUNDIDAD (m)	ESTRATIGRAFÍA		NIVEL FREÁTICO	# DE GOLPES SPT DE CAMPO	FACTOR CORRECCIÓN	N60	N60 CORREGIDO	OSAKI	DUNHAM	MUROMACHI (1974)	STROUD (1974)	Por-Triaxial UU	PESO ESPECÍFICO (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ°	Coeficiente de Poisson μ	Módulo Elástico E (Módulo de Corte) (kpa)	
	SIMBOLOGÍA GRÁFICA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL																
-0,5	[Orange bar]	Arcilla inorgánica de alta compresibilidad																
-1																		
-1,5			20	0,788	16	16	32,7	38,7	33,9	63,0	2,898	14,21	2,2	4,28	0,35	5,22		
-2																		
-2,5			18	0,788	14	14	31,8	38,0	33,2	56,7	0,003	0	0,0	0	0,21	0		
-3			21	0,788	17	17	33,2	39,1	34,2	66,2	11,772	15,79	11,8	5	0,405	5677		
-3,5																		
-4																		
-4,5			35	0,893	31	31	40,0	44,4	39,6	125,0	0	0	0,0	1,00	0,25	0		
-5																		
-5,5	57	0,893	51	51	46,9	49,7	45,0	203,5	28,12	16,48	24,5	10,9	0,35	10459				

3.13.2.3. SPT3:

En la Tabla 23 se presenta un resumen de los ensayos de laboratorio realizados:

Tabla 23: Resumen de resultados de ensayos de laboratorio SPT3.

SONDEO	PROF (m)	% PASA TAMIZ 200	% w nat	% LL	% LP	% IP	SUCS	ASSHTO	Y (g/cm ³)	c (kPa)	ϕ°
SPT3	2,5	96	40,61	92,45	33,21	59,24	CH	A-7-5 (68)	1,63	24,53	4,42
	6,5	68	47,78	74,3	28,44	45,86	CH	A-7-6 (31)			
	8,5	94,9	34,47	82,67	28,91	53,76	CH	A-7-6 (60)	1,7	26,49	4,52

Mediante el perfil estratigráfico obtenido del sondeo de campo, que al complementarlo con los ensayos de laboratorio se ha establecido 2 estratos representativos de la masa de suelo, el primero de 2.5 m de potencia que está compuesto de arcilla inorgánica de alta compresibilidad, con porcentajes de finos de 96 %, un porcentaje de arenas de 4 % y un IP de 59.64%. El segundo estrato tiene una potencia de al menos 6m y está compuesto por arcilla inorgánica de alta compresibilidad y tiene un porcentaje de finos de 5%, arenas de 5 % y un IP de 53.76%.

En la Tabla 24, se da a conocer de manera resumida el registro realizado por el SPT, tanto del tipo de material como el número de golpes obtenido en campo con su corrección N60, que al correlacionarlo con las expresiones establecidas para el ensayo SPT, se deducen los parámetros geotécnicos c y ϕ .

Tabla 24: Obtención de parámetros geotécnicos mediante SPT de campo.

PERFIL ESTRATIGRÁFICO - SPT 3		SPT 3				ÁNGULO DE FRICCIÓN (ϕ°)			COHESIÓN (kPa)		PARÁMETROS					
PROFUNDIDAD (m)	ESTRATIGRAFÍA	NIVEL FREÁTICO	# DE GOLPES SPT DE CAMPO	FACTOR CORRECCIÓN	N60	N60 CORREGIDO	OSAKI	DUNHAM	MUROMACHI (1974)	STROUD (1974)	Por Corte Directo	PESO ESPECÍFICO (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ°	Coeficiente de Poisson μ	Módulo Elástico E (Módulo de Corte) (Kpa)
	SIMBOLOGÍA GRÁFICA															
-0,5	Arcilla inorgánica de alta compresibilidad															
-1																
-1,5		10	0,788	8	8	27,5	34,7	29,8	31,5	22,85	24,31	22,5	4,42	0,41	15229	
-2																
-2,5		23	0,788	18	18	34,0	39,7	34,9	72,5	24,53	15,99	24,5	4,42	0,41	9051,69	
-3	Arcilla inorgánica de alta compresibilidad															
-3,5		22	0,788	17	17	33,6	39,4	34,6	69,3	0	0	0	0	0,35	0	
-4																
-4,5		15	0,893	13	13	31,4	37,7	32,8	53,6	0	0	0	0	0,35	0	
-5																
-5,5		20	0,893	18	18	33,9	39,6	34,8	71,4	0	0	0	0	0,35	0	
-6																
-6,5		40	0,998	40	40	43,2	46,9	42,1	159,6	0	0	0	0	0,41	0	
-7																
-7,5		30	0,998	30	30	39,5	43,9	39,1	119,7	0	0	0	0	0,35	0	
-8																
-8,5		55	0,998	55	55	48,1	50,7	45,9	219,5	26,487	16,68	26,5	4,5	0,41	8297,38	

3.13.2.4. SPT 4:

En la Tabla 25 se presenta un resumen de los ensayos de laboratorio realizados:

Tabla 25 Resumen de resultados de ensayos de laboratorio para SPT4

SONDEO N°	PROF (m)	% PASA TAMIZ 200	% w nat	% LL	% LP	% IP	SUCS	ASSHTO	Y (g/cm ³)	C. Simple (kg/cm ²)	c (kPa)	ϕ°
SPT4	2,5	85,1	14,48	64,94	25,71	39,23	CH	A-7-6 (37)	1,63		27,47	10,64
	5,5	61,7	45,16	53,33	30,25	23,08	MH	A-7-5 (13)	1,86	1,213	10,79*	25,64

Mediante el perfil estratigráfico obtenido del sondeo de campo, que al complementarlo con los ensayos de laboratorio se ha establecido 2 estratos representativos de la masa de suelo; el primero de 2.5 m de potencia que está compuesto de arcilla inorgánica de alta compresibilidad, con

porcentajes de finos de 85 %, un porcentaje de arenas de 15 % y un IP de 39.23%. El segundo estrato tiene una potencia de al menos 3 m y está compuesto por limos orgánicos de alta compresibilidad y tiene un porcentaje de finos de 62 %, un porcentaje de arenas de 38 % y un IP de 23.08%.

En la Tabla 26, se da a conocer de manera resumida el registro realizado por el SPT, tanto del tipo de material como el número de golpes obtenido en campo con su corrección N60, que al correlacionarlo con las expresiones establecidas para el ensayo SPT, se deducen los parámetros geotécnicos c y ϕ .

Tabla 26: Obtención de parámetros geotécnicos mediante SPT de campo.

PERFIL ESTRATIGRÁFICO - SPT 4			SPT 4				ÁNGULO DE FRICCIÓN (ϕ°)			COHESIÓN (kPa)		PARÁMETROS								
PROFUNDIDAD (m)	ESTRATIGRAFÍA		NIVEL FREÁTICO # DE GOLPES SPT DE CAMPO	FACTOR CORRECCIÓN	N60	N60 CORREGIDO	OSAKI	DUNHAM	MUROMACHI (1974)	STROUD (1974)	Por Corte Directo	PESO ESPECIFICO (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ°	Coeficiente de Poisson μ	Módulo Elástico E (Módulo de Corte) (Kpa)				
	SIMBOLOGÍA GRÁFICA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL																		
-0,5	[Orange Box]	Arcilla inorgánica de alta compresibilidad	7	0,788	6	6	25,5	33,1	28,2	22,1		15,99	27,5	10,64	0,36	7967,38				
-1																				
-1,5																				
-2																				
-2,5							11	0,788	9	9	28,2						35,2	30,3	34,7	27,47
-3	[Yellow Box]	Limos orgánicos de alta compresibilidad	20	0,788	16	16	32,7	38,7	33,9	63,0		14,81	10,8	25,64	0,33	12607				
-3,5																				
-4																				
-4,5							21	0,893	19	19	34,4						40,0	35,2	75,0	
-5																				
-5,5							40	0,893	36	36	41,7						45,7	40,9	142,8	10,79
-6																				
-6,5	60	0,998	60	60	49,6	51,8	47,1	239,4												

3.13.2.5. SPT 5:

En la Tabla 27 se presenta un resumen de los ensayos de laboratorio realizados:

Tabla 27: Resumen de resultados de ensayos de laboratorio para SPT5.

SONDEO Nº	PROF (m)	% PASA TAMIZ 200	% w nat	% LL	% LP	% IP	SUCS	ASSHTO	γ (g/cm ³)	c (kPa)	ϕ°
SPT5	3,5	95,7	10,2	56,4	28,76	27,64	CH	A-7-6 (31)	1,63	24,53	11,21

Mediante el perfil estratigráfico obtenido del sondeo de campo, que al complementarlo con los ensayos de laboratorio se ha establecido 1 estrato representativo de la masa de suelo de 3.5 m de potencia que está compuesto de arcilla inorgánica de alta compresibilidad, con porcentajes de finos de 96 %, un porcentaje de arenas de 3 % y un IP de 27.64%. En la Tabla 28, se da a conocer de manera resumida el registro realizado por el SPT, tanto del tipo de material como el número de golpes obtenido en campo con su corrección N60, que al correlacionarlo con las expresiones establecidas para el ensayo SPT, se deducen los parámetros geotécnicos c y ϕ .

Tabla 28: Obtención de parámetros geotécnicos mediante SPT de campo.

PERFIL ESTRATIGRÁFICO - SPT 5		SPT 5				ÁNGULO DE FRICCIÓN (ϕ°)			COHESIÓN (kPa)		PARÁMETROS					
PROFUNDIDAD (m)	ESTRATIGRAFÍA	NIVEL FREÁTICO	# DE GOLPES SPT DE CAMPO	FACTOR CORRECCIÓN	N60	N60 CORREGIDO	OSAKI	DUNHAM	MUROMACHI (1974)	STROUD (1974)	Por Corte Directo	PESO ESPECÍFICO (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ°	Coeficiente de Poisson μ	Módulo Elástico E (Módulo de Corte) (Kpa)
	SIMBOLOGÍA GRÁFICA															
-0,5	Arcilla inorgánica de alta compresibilidad															
-1																
-1,5		18	0,788	14	14	31,8	38,0	33,2	56,7	1,63	19,95	24,5	11,21	0,338	7354,5	
-2																
-2,5		45	0,788	35	35	41,6	45,6	40,8	141,8	1,63	19,13	24,5	11,21	0,338	7354,5	
-3																
-3,5		60	0,788	47	47	45,7	48,8	44,1	189,0	24,525	15,99	24,5	11,21	0,338	7354,5	

En la Tabla 29 se detallan los parámetros promedio obtenidos para cada SPT:

Tabla 29: Resumen ensayos realizados en Laboratorio de SPT.

SPT	% w nat	% LL	% LP	% IP	SUCS	Y (g/cm ³)	c (kPa)	ϕ°
SPT1	23,84	75,55	30,44	45,11	CH	1,63	19,95	8,19
SPT2	27,71	67,74	29,35	38,40	CH	1,65	18,15	7,93
SPT3	40,95	83,14	30,19	52,95	CH	1,67	25,51	4,47
SPT4	29,82	59,14	27,98	31,16	CH	1,75	19,13	18,14
SPT5	10,20	56,40	28,76	27,64	CH	1,63	24,53	11,21

Al realizar el análisis de la Tabla 29, se determina que el suelo tiene un peso específico promedio igual a 1.64g/cm³, además el suelo es clasificado como arcillas inorgánicas con alta compresibilidad, con un límite plástico promedio 29.34%.

Los parámetros de resistencia cortante del suelo, cohesión (c) y ángulo de fricción (ϕ) no son propiedades intrínsecas del material, varían en función de las condiciones de contorno y de las condiciones en las cuales se encuentra el suelo en ese momento, por lo que existe una diferencia significativa de los valores obtenidos de los ensayos según las columnas 8 y 9 de la Tabla 29.

3.14. Análisis de expansividad de las muestras

3.14.1. Potencial de hinchamiento

El objetivo de los ensayos de expansión libre o hinchamiento, es determinar la expansividad o aumento de volumen de una muestra de suelo cohesivo. En suelos expansivos, el hinchamiento que experimentan al aumentar la humedad depende principalmente de las condiciones de compactación.

El fenómeno de cambio de volumen de un suelo cohesivo es resultado directo de la disponibilidad y variación del porcentaje de humedad que posee. Para medir la expansividad de un suelo parcialmente saturado, se recurre a ensayos realizados con el edómetro. Los más comunes son el ensayo de hinchamiento libre, que permite determinar el hinchamiento de la muestra al ser sumergida en el edómetro, el ensayo de presión de hinchamiento, donde se mide la presión que ejerce el suelo al expandirse. Para el caso del presente estudio se ha utilizado el ensayo de expansión controlada o presión de expansión y el ensayo de expansión libre.

3.14.2. Hinchamiento o expansión libre

Para la realización de este ensayo se toma una muestra inalterada de suelo y se monta en el edómetro, se pone en cero el lector de deformación y a continuación se inunda la muestra, hasta un nivel en que el agua solamente penetre en la pastilla de suelo por la piedra porosa inferior (con esto se evita que quede aire atrapado en el interior de la muestra). Se mide el hinchamiento final el cual se expresa en porcentaje del espesor inicial de la muestra y se designa con el nombre de hinchamiento libre. Según (Holtz & Gibbs, 1956) sugiere que las expansiones medidas en este

ensayo por encima del 100 % pueden causar daños significativos a la estructura, mientras que suelos que alcanzan una expansión por debajo del 50 %, rara vez experimentan cambios de volumen apreciable bajo la aplicación de cargas estructurales, aun cuando estas sean provenientes de estructuras livianas.

3.14.3. Presión de expansión

Este tipo de ensayo se realiza prácticamente en la misma forma que en el caso anterior, pero en lugar de medir el hinchamiento de la muestra, se añaden cargas para no permitirlo. La presión máxima que hay que aplicar para que no se produzca hinchamiento se conoce con el nombre de presión de hinchamiento. Aplicada la presión máxima, se van quitando cargas y se miden los hinchamientos que se producen. El hinchamiento bajo carga nula en este ensayo es siempre inferior al hinchamiento libre (o bajo la carga de 0,1 kg/cm²). En este ensayo, el hinchamiento es igual y contrario al movimiento de compresión que experimenta el equipo, inducido por la carga aplicada.

Según (Holtz & Gibbs, 1956) propone el siguiente criterio para la identificación de suelos expansivos, en la Tabla 30 se da a conocer el potencial de hinchamiento en función de los resultados de los ensayos de hinchamiento libre:

Tabla 30: Potencial de Hinchamiento vs. Expansión Libre para suelos cohesivos.

Riesgo Potencial de Hinchamiento	Hinchamiento Libre (%)
Bajo	< 10
Medio	10 – 20
Alto	20 – 30
Muy Alto	>30

(Holtz & Gibbs, 1956) Califican al grado de expansividad en función del índice de plasticidad, el análisis se realiza en base a la Tabla 31.

Tabla 31: Expansividad en suelos cohesivos en función del índice de plasticidad.

Riesgo Potencial de Hinchamiento	Índice de Plasticidad
Bajo	<15
Medio	10 – 35
Alto	20 – 55
Muy Alto	>55

De los ensayos SPT realizados se obtiene el porcentaje de expansión libre, en la Tabla 32 se detalla los porcentajes determinados a diferentes profundidades.

Tabla 32: Resumen porcentaje de hinchamiento libre.

SONDEO	% LL	%IP	Hinchamiento Libre %
SPT 1	75,55	45,15	16,42
SPT 3	83,14	59,24	15,68
SPT 2	67,74	40,56	P. Hinch(kg/cm²) 0,3

De acuerdo a la Tabla 32, la muestra perteneciente al ensayo SPT 1, tiene un riesgo potencial de hinchamiento medio. En la muestra del ensayo SPT 2 el riesgo potencial de hinchamiento se considera como alto, por lo que se procedió a realizar un ensayo de expansión controlada en la muestra de 3.50m, teniendo una presión de hinchamiento de 0.30kg/cm². La muestra del ensayo SPT 3, según la Tabla 30 tiene un riesgo potencial de hinchamiento medio.

Holtz (1959) y Dakshanamurty y Raman (1973), mencionados por (Idrovo Angumba, 2019), proponen el método en donde se establece que el grado de expansión de una arcilla está en función de los siguientes parámetros:

Tabla 33: Tabla de correlación entre grado de expansión y límites de Atterberg.

Grado de expansión	Índice de Plasticidad	Límite de Contracción	Límite Líquido
Bajo	<18	>15	20-35
Medio	15-25	10-15	35-50
Alto	25-41	7-12	50-70
Muy alto	>35	>11	>70

Con respecto a la Tabla 33, se obtiene una clasificación de los resultados obtenidos en cada SPT, según su grado de expansión y en base a los límites de Atterberg. Estos resultados se han resumido en la Tabla 34.

Tabla 34: Grado de expansión según límites de Atterberg.

SPT	% LL	% IP	Grado de expansión
SPT1	75,55	45,11	Muy alto
SPT2	67,74	38,40	Alto
SPT3	83,14	52,95	Muy alto
SPT4	59,14	31,16	Alto
SPT5	56,40	27,64	Alto

En base a las correlaciones realizadas, según el porcentaje de hinchamiento libre se tiene para las muestras un riesgo de potencial de hinchamiento medio, mientras con los límites de Atterberg su grado de expansión se clasifica como alto. Revisando la literatura publicada, se supone que la discordancia existente es debido a que la mayoría de la expansión ya tuvo lugar en la zona de estudio, pues las humedades naturales son altas en todas las muestras, y además, en el talud existe un deslizamiento donde el cambio de volumen del suelo es un factor determinante. A pesar de esto, el suelo puede seguir sufriendo leves hinchamientos por el aumento de humedad. Se debe tomar en cuenta el problema de contracción en épocas de verano donde la humedad descienda considerablemente.

En conclusión, se puede decir que el suelo en la zona de estudio puede clasificarse como una arcilla de alta plasticidad y alto grado de expansión. La humedad influye bastante en la magnitud de hinchamiento, pues, si el suelo tiene altas propiedades expansivas pero no se produce un cambio de humedad el suelo en cuestión no producirá un cambio de volumen.

CAPÍTULO IV

MODELACIÓN DEL TALUD

4.1. Topografía de la zona.

La topografía en la zona es bastante irregular, predominan las vertientes convexas que ocupan el 48,88% del territorio parroquial, el porcentaje correspondiente a las vertientes irregulares es también considerable debido a que ocupa el 39,22% de la parroquia. (GAD Parroquial Rural de Nulti, 2015)

La mayor superficie en la zona presenta pendientes que fluctúan entre 16 y 30%, consideradas como fuertes. Corresponden a sectores donde existe la mayor explotación minera de la parroquia. El segundo porcentaje de importancia ya que ocupa el 29.96% del territorio corresponde a pendientes consideradas como moderadas, es decir aquellas que fluctúan entre 8 y 16%. Lugares que presentan en la actualidad, una importante ocupación para vivienda. (GAD Parroquial Rural de Nulti, 2015)

4.2. Determinación del perfil estratigráfico.

Tomando en cuenta los ensayos realizados, se estableció un perfil estratigráfico para el análisis de talud que es objeto de estudio. Basándose en las calicatas y ensayos SPT descritos en el capítulo 3, se observa que la presencia de finos es dominante por lo que se clasifica el suelo como arcillas y arenas. El porcentaje promedio de arcillas es de 86%, mientras que el porcentaje promedio de arenas es 14%.

En base a la topografía de la zona y los ensayos anteriormente realizados, se determinó el perfil estratigráfico para la modelación del talud. Conformado en su totalidad por arcillas inorgánicas de alta compresibilidad.

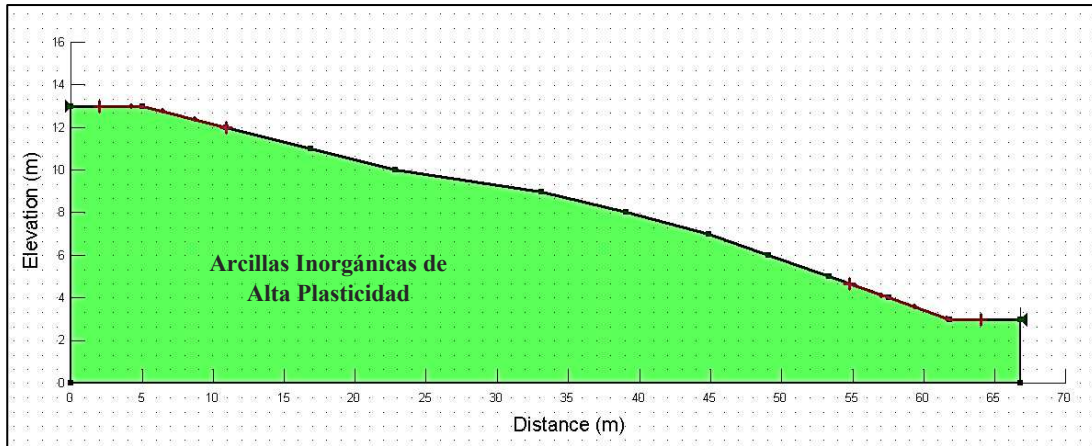


Ilustración 19: Modelo de perfil estratigráfico para análisis.

Los parámetros necesarios para la modelación se tomaron del promedio de datos obtenidos en los ensayos SPT para una arcilla de alta plasticidad. Estos valores de cohesión, fricción y peso específico fueron comparados a diferentes fuentes y están representados en la Tabla 35, posteriormente.

4.3. Generación de perfiles para análisis.

El software “GeoStudio (Slope/W)”, que se utilizó, fue diseñado especialmente para el análisis de estabilidad de taludes. Basa su uso, principalmente, en el método de equilibrio límite permitiendo modelar suelos homogéneos y estratificados, con superficies geométricas complejas y mediante la presencia de nivel freático. Este software permite analizar la estabilidad del talud mediante diferentes modelos, tales como propuestos por Fellenius, Bishop, Janbú, Spencer y Morgenstern – Price, entre otros.

Para este caso se utiliza el método de Bishop en falla circular; además, se realiza un análisis pseudo-estático que consiste en considerar las fuerzas sísmicas (verticales y horizontales) mediante factores aplicados al peso de cada dovela. De esta manera una vez efectuados los cálculos, el software entrega las distintas superficies de rotura examinadas, la superficie de falla más desfavorable, la distribución de las dovelas consideradas dentro de la masa deslizante y los diagramas de cuerpo libre para cada una de las dovelas dentro de la superficie de falla ensayada.

Para el análisis se suponen dos casos. En el primero se modela el talud en condiciones normales (natural-húmedo); y para el segundo caso se considera condiciones saturadas modificando los parámetros de ingreso (cohesión, fricción y peso específico), para así asimilar casos extremos como puede suceder en épocas de invierno. Para ambos casos se ha usado factores sísmicos en el análisis, puesto que un evento sísmico puede generar aceleraciones en el deslizamiento de la masa.

4.4. Condiciones de análisis

El análisis respectivo se realizó de la siguiente forma:

- Análisis del talud en condiciones normales en función de la información recopilada y plano de falla crítico determinado por el programa.
- Análisis del talud en condiciones saturadas variando sus parámetros iniciales y asemejando el mayor grado de saturación en arcillas.
- Para los dos casos se consideraron condiciones pseudo-estáticas, es decir, se utilizó factores sísmicos recopilados para la zona de estudio.
- Análisis de correlación entre factores de seguridad calculados y resultados de ensayos.

4.4.1. Parámetros en condiciones normales

A raíz de la investigación realizada, se seleccionan los parámetros geomecánicos, siendo los mismos importantes pues de estos depende el comportamiento y el valor de factor de seguridad del talud. Se tiene en cuenta que el tipo de suelo dominante en el caso de estudio son las arcillas inorgánicas de alta compresibilidad, compuestas en su mayoría por granos muy finos.

Tabla 35: Parámetros geomecánicos utilizado en el análisis para arcillas inorgánicas de alta compresibilidad.

ARCILLA INORGÁNICA DE ALTA COMPRESIBILIDAD (CH)			
ESTRATO	COHESIÓN C (kPa)	ÁNGULO DE FRICCIÓN ϕ (°)	PESO ESPECIFICO γ (g/cm ³)
1	23,80	8,76	1,65

Los parámetros relacionados se obtuvieron del promedio de los datos encontrados para cada ensayo SPT anteriormente y se compararon a diferentes fuentes como resultado a la investigación de los datos requeridos para la elaboración del presente documento.

- Cohesión: están resumidos los valores c , obtenidos de las muestras tomadas en campo antes de ser tratados, el análisis es efectivo porque el suelo se presenta en estado natural.
- Ángulo de fricción: tomado para el suelo natural sin ningún tipo de estabilización ni alteración en el contenido del mismo, inducido artificialmente en el laboratorio para identificar el comportamiento del mismo en cuanto a la resistencia al cortante donde el ángulo de fricción interna determina su comportamiento junto con la cohesión.
- Peso específico: similar a los demás parámetros, este valor está tomado para el suelo natural antes de ser tratados.

4.4.2. Parámetros en condiciones saturadas

Para el caso supuesto donde las arcillas han alcanzado su grado mayor de saturación, se ha modificado los parámetros de la Tabla 35 para su posterior análisis; esto debido a que en condiciones saturadas el material no presenta las mismas propiedades que en condiciones normales.

Un evento de este tipo puede suceder en épocas de invierno, cuando las incesantes lluvias saturan las arcillas, provocando de esta manera, escorrentía superficial y favoreciendo a la rotura del talud o deslizamiento.

Tabla 36: Parámetros geomecánicos utilizado en el análisis para condiciones saturadas.

ARCILLA INORGÁNICA DE ALTA COMPRESIBILIDAD (CH)			
ESTRATO	COHESIÓN C (kPa)	ÁNGULO DE FRICCIÓN ϕ (°)	PESO ESPECIFICO Y (g/cm ³)
1	21,42	0	2,04

Estos parámetros han sido analizados y comparados en diferentes fuentes para su uso posterior en el análisis caso dos. A continuación se detalla cada uno:

- **Cohesión:** Debido a la cantidad excesiva de agua, el factor cohesivo tiende a reducirse. Para nuestro caso de estudio se redujo este factor en un 10 %.
- **Ángulo de fricción:** El ángulo de fricción para condiciones saturadas se toma igual a cero pues por efectos del agua se pierde esta propiedad.
- **Peso específico:** El peso específico de las arcillas en condiciones saturadas se considera constante e igual a 20 kN/m^3 (González de Vallejo, 2012).

4.4.3. Parámetros sísmicos

Para los 2 casos en el análisis se coloca sobre todos los elementos analizados en el talud, una fuerza horizontal y vertical correspondiente a un coeficiente k multiplicado por el peso del elemento.

Basándose en la NEC-SE-CM el coeficiente de carga sísmica K_h equivale a:

$$K_h = 0.60 * z * F_a \quad \text{[Ecuación 30]}$$

Donde:

z : Aceleración en roca para el sismo de diseño

F_a : Factor de amplificación sísmica de sitio

En la ecuación 30 se considera el valor de 0.6 debido a que la fuerza horizontal equivalente se la aplica en un tiempo infinito, siendo una carga temporal, donde probablemente una vez o dos veces durante el evento sísmico ocurra el valor máximo de aceleración. (NEC-SE-CM, 2014)

La aceleración en roca para el sismo de diseño (Z) se obtiene mediante el mapa de zonificación sísmica del Ecuador. La zona de estudio de este proyecto está catalogada como zona sísmica II. El factor de amplificación sísmica de sitio (F_a) es obtenido mediante el tipo de suelo que se encuentra

en la zona de estudio, para nuestro caso el perfil de suelo se clasifica como E. Los valores de z y F_a se presentan en la Tabla 37 (Ver anexos 15, 16 y 17).

Tabla 37: Parámetros para coeficiente sísmico horizontal.

Zona Sísmica	Z	Tipo de perfil	F_a
II	0.25	E	1,5

Reemplazando los valores anteriores en la ecuación 30, se obtiene el siguiente valor de coeficiente sísmico horizontal:

$$K_h = 0.6 * z * F_a$$

$$K_h = 0.6 * 0.25 * 1.5$$

$$K_h = 0.225$$

El coeficiente de carga sísmica vertical K_v es una proporción de K_h . La NEC recomienda utilizar un valor de $1/3$ de K_h . Por lo tanto, el coeficiente sísmico vertical es:

$$K_v = 0.075$$

4.5. Resultados de la modelación.

Para el primer caso, se realiza la modelación del talud compuesto por CH: Arcillas de alta plasticidad, en condiciones normales – naturales y coeficientes sísmicos descritos en el punto 4.4.3.

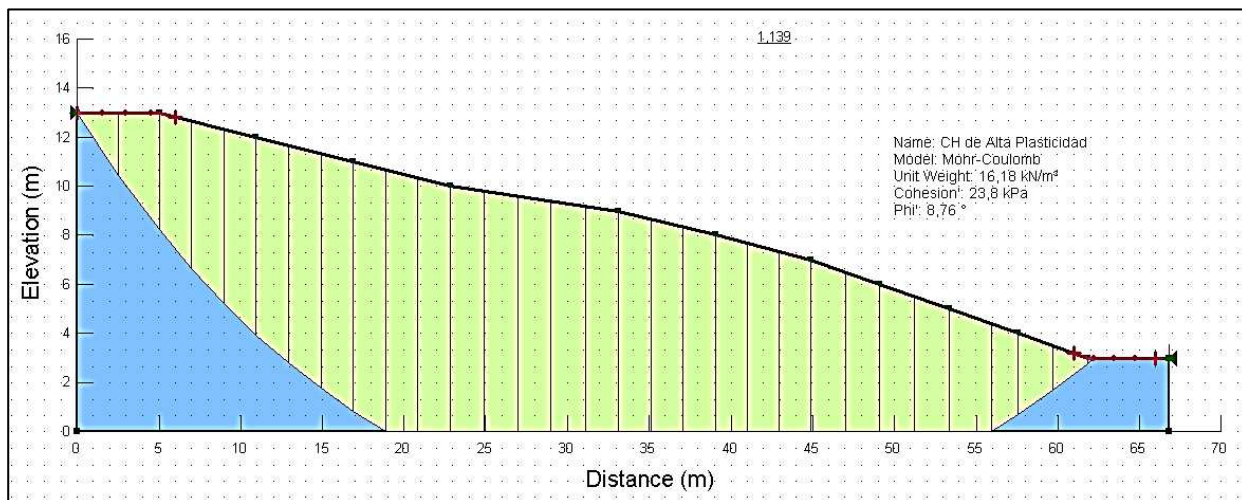


Ilustración 20: Factor de seguridad para talud en condiciones naturales.

En la ilustración 20, se observa el valor de FS crítico igual a 1,139. Correspondiente al análisis en condiciones normales.

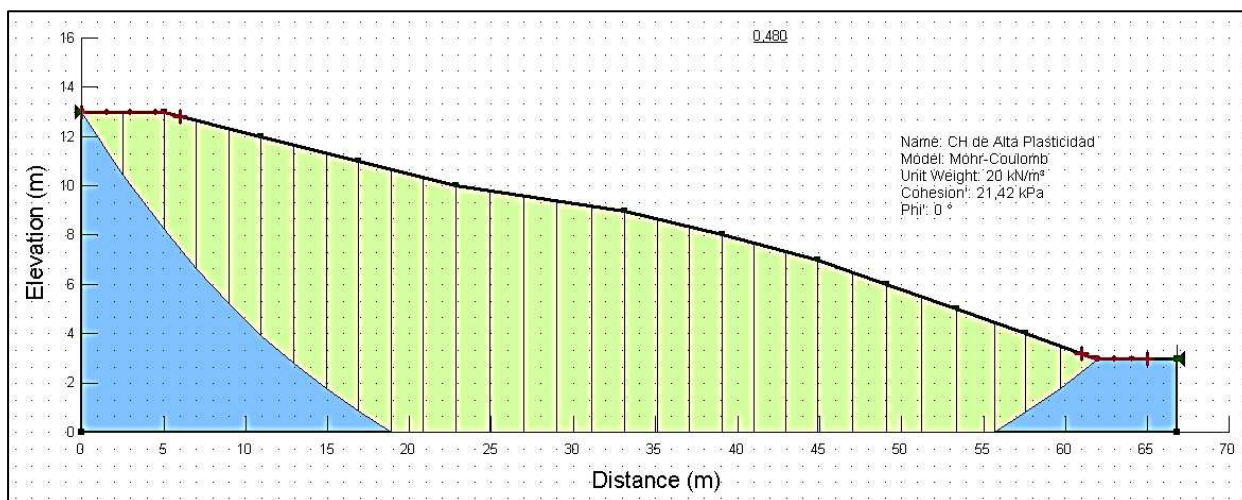


Ilustración 21: Factor de seguridad para talud en condiciones saturadas.

Para el segundo caso propuesto se observa en la Ilustración 21 que el valor de FS crítico es de 0,48. Este valor se analizó para el talud en condiciones saturadas.

En la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-CM, sobre Geotecnia y Cimentaciones, se encuentra la tabla a continuación, la cual se utiliza para relacionar los factores encontrados anteriormente.

Tabla 38: Factores de seguridad por cortes mínimos.

Condición	FS corte mínimo	
	Diseño	Construcción
Carga muerta + Carga viva nominal	1,50	1,25
Carga muerta + carga viva máxima	1,25	1,10
Carga muerta + carga viva nominal + sismo de diseño pseudo-estático	1,10	1,00
Taludes - condición estática y agua subterránea normal	1,50	1,25
Taludes - condición pseudo-estática con agua subterránea normal y coeficiente sísmico de diseño	1,05	1,00

Fuente: (NEC-SE-CM, 2014)

De la Tabla 38, se ha tomado el valor de 1,00 (taludes - condición pseudo-estáticas) para factor de seguridad mínimo en este caso de estudio.

Tabla 39: Comparación entre FS de análisis y FS de norma.

Condiciones de entrada	FS de análisis	FS norma
Normales - Naturales	1,14	1,00
Saturadas	0,48	1,00

Como se observa en la Tabla 39, el factor de seguridad realizado en condiciones normales da un valor mayor al factor de seguridad que proporciona la norma. Esto representa que el talud es estable lo que no se puede verificar en campo, pues ya existe un deslizamiento en la zona de estudio. El valor de 1,14 no difiere en mucho del valor de FS norma, esto quiere decir que una variación mínima en sus parámetros puede aumentar o reducir su valor. En este caso el talud está compuesto mayormente por arcillas con un alto índice expansivo por lo que una variación en su humedad provocaría fuerzas internas de expansión volviéndolo más vulnerable.

Se comprueba lo anterior con el valor de FS igual a 0,48 realizado para condiciones saturadas, mediante una variación de los parámetros y asemejando el análisis a lo que sucedería frente a una fuerte lluvia, el factor de seguridad es relativamente bajo en comparación a FS norma. Esto quiere decir que el suelo es muy propenso a cambios de humedad, además como se vio en el capítulo anterior, su potencial expansivo es alto.

En conclusión, el talud en estudio en condiciones normales - naturales muestra estabilidad, esto quiere decir que con humedades bajas no sufre algún tipo de falla, pero, a medida que sube la humedad va siendo más susceptible a sufrir rotura y se vuelve inestable, esto por las características que presenta su tipo de suelo el cual se clasificó anteriormente como arcillas de alta plasticidad y potencialmente expansivas.

La inestabilidad en la zona se debe principalmente a la reptación fruto del aumento de peso al absorber agua, por lo cual, es lógico inferir que la inestabilidad se da en épocas de invierno, es decir, el talud al ser expansivo aumenta de peso por la lluvia y consecuentemente produce

movimiento de masas; mientras que en épocas de estiaje al no sufrir variaciones de humedad el suelo o talud presentará condiciones estables.

Los movimientos sísmicos también son muy importantes, pues, pueden activar deslizamientos de tierra. En el caso de un sismo existe el triple efecto de aumento de esfuerzo cortante, disminución de resistencia por aumento de la presión de poros y deformación asociados con la onda sísmica, pudiéndose llegar rápidamente a la falla por cortante (Suarez Díaz, 1998).

Además, se debe considerar que los efectos de expansión y retracción en suelos expansivos, producidos por la acción de absorción de agua y pérdida de humedad, provocan el debilitamiento del suelo aumentando el riesgo de sufrir un deslizamiento.

Cabe recalcar que el FS es inversamente proporcional al ángulo de inclinación y a la altura. Por lo que en zonas donde la pendiente sea mayor a la expuesta en este análisis, el valor de FS será menor. Por tal motivo, se evidencia que ciertas zonas con pendientes altas sufren de inestabilidad, presentando fallas como grietas, desprendimientos de tierra e inclusive deslizamientos como se presenta el talud de estudio.

Debe tenerse en cuenta que en el análisis puede producirse errores u omisiones como:

- Datos de entrada inexistentes o errados
- Análisis poco real en el diseño
- Criterios de diseño insuficientes
- Diseño poco efectivo

Los taludes naturales habitualmente se encuentran cerca del equilibrio límite en grandes áreas, de esta manera las medidas preventivas suelen ser costosas y difíciles.

CAPÍTULO V

MECANISMOS DE ESTABILIZACIÓN, CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

5.1. Métodos de estabilización recomendados

Cuando un talud ha sufrido rotura o deformaciones que implican riesgo de inestabilidad, debe adoptarse medidas de estabilización. Para ello deben llevarse a cabo los estudios geológicos e hidrogeológicos correspondientes y efectuarse las investigaciones de detalle y reconocimientos in situ que, complementados con ensayos de laboratorio, permitirán la definición de las propiedades y parámetros geotécnicos de los materiales.

Para el diseño de las medidas de estabilización deben tomarse en consideración:

- Los medios económicos y materiales disponibles
- La urgencia de intervención
- La magnitud y dimensiones de la inestabilidad

Las medidas estabilizadoras pueden consistir en:

5.1.1. Modificación de la geometría

Mediante la modificación de la geometría de los taludes se redistribuyen las fuerzas debido al peso de los materiales, obteniéndose una nueva configuración más estable. Las actuaciones más comunes son:

- Disminuir la inclinación del talud
- Eliminar peso de la cabecera del talud (descabezamiento)
- Incrementar el peso en el pie del talud (tacones o escolleras)
- Construir bancos y bermas (escalonar el talud)

5.1.2. Drenajes

Las medidas de drenaje tienen por finalidad eliminar o disminuir el agua presente en el talud y, por tanto, las presiones intersticiales que actúan como factor desestabilizador en las superficies de rotura y grietas de tracción.

Estas medidas son, generalmente, las más efectivas ya que el agua es el principal agente que desencadena los problemas de inestabilidad en taludes, aumentando el peso de la masa inestable, elevando el nivel freático y las presiones intersticiales, creando empujes hidrostáticos, reblandeciendo el terreno, erosionando el pie del talud, etc.

El drenaje puede ser superficial, mediante zanjas de drenaje y canalizaciones, o profundo, mediante drenes verticales, galerías de drenaje y pantallas drenantes. Los elementos drenantes pueden ser puntuales (como los pozos o drenes) o continuos (zanjas y galerías).

5.1.3. Elementos estructurales resistentes

La introducción de elementos resistentes en el terreno tiene por finalidad aumentar la resistencia al corte mediante alguno de los siguientes sistemas:

- Introduciendo elementos que mejoran la resistencia del terreno en la superficie de rotura (por ejemplo pilotes o micropilotes)
- Introduciendo elementos que aumentan las fuerzas tangenciales de rozamiento en la superficie de rotura (por ejemplo anclajes y bulones)

5.1.4. Muros y elementos de contención

Los muros se construyen a pie de talud como elementos resistentes, de contención o sostenimiento, siendo efectivos frente a inestabilidades superficiales. Los muros de contención tienen un inconveniente muy habitual que es excavar el pie del talud para su construcción, esto favorece la inestabilidad y, no evita posibles deslizamientos a favor de superficies de rotura por encima o por debajo del muro.

Los muros de sostenimiento se construyen separados del pie del talud, rellorando posteriormente el trasdós (espacio entre el muro y el talud); los de revestimiento tienen como misión proteger el terreno de la erosión y proporcionar un peso estabilizador a pie del talud. Los diferentes tipos de muros presentan una serie de peculiaridades que los hacen adecuados para diferentes casos de estabilización, según se requieran muros flexibles o rígidos, se quiera detener un movimiento o aportar una resistencia adicional.

El drenaje es un aspecto que debe ser considerado en la construcción de muros, ya que se puede producir la saturación del terreno en su trasdós, generando elevadas presiones intersticiales y empujes sobre la estructura.

5.1.5. Medidas de protección superficial

Estas medidas están encaminadas a:

- Aumentar la seguridad del talud frente a roturas superficiales
- Evitar o reducir la erosión y la meteorización en el frente del talud
- Evitar la entrada de agua de escorrentía

Las actuaciones más frecuentes consisten en:

- Instalación de mallas metálicas
- Gunitado de taludes (cubrir con mortero de cemento la superficie del talud)
- Construcción de muros de revestimiento a pie de talud
- Instalación de materiales geotextiles
- Impermeabilización
- Siembra de especies que contribuyen a reforzar el terreno superficial en taludes excavados en suelos

En la práctica se combinan varios sistemas de estabilización simultáneamente. Dado que el agua es el principal agente desestabilizador en los taludes, es normal (y debería ser una regla) que cualquier solución lleve consigo la construcción de zanjas de captación del agua de escorrentía por encima y en los laterales de la cabecera del talud inestable, y de cunetas impermeables de drenaje en bermas y al pie del talud.

5.2. Métodos aplicables a suelos expansivos

Ante los diferentes problemas que puede presentar los suelos expansivos, se detallan a continuación, algunas propuestas que posibilitarían disminuir y/o atenuar estos efectos.

- **Desmante de tierras:** Consiste en mover volúmenes grandes de tierra en las zonas más desfavorables, y reforzar el pie de talud para contener su derrame, provocando en éste, un escalonamiento en su geometría, Ilustración 22. Contribuye a evitar que se produzcan roturas superficiales que afecten a todo el frente del talud, al cortarse los posibles planos de rotura.

Además, el escalonamiento o bermas, sirve para instalación de medidas de drenaje y accesos para las obras de saneamiento y control del talud.

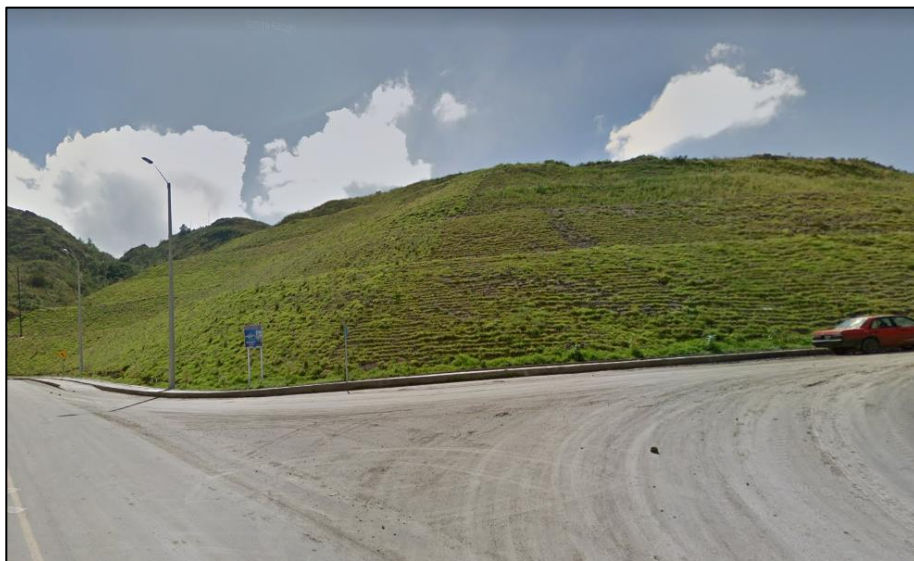


Ilustración 22: Talud con bermas intermedias y capa vegetal.

- **Muros de sostenimiento:** Los muros son elementos constructivos cuya principal misión es servir de contención, ya sea un terreno natural o bien de un relleno de terreno artificial o de un elemento a almacenar. Se emplean para reforzar la zona de pie de los taludes evitando la degradación en esta zona crítica.

Los muros de gaviones son de extrema resistencia ya que al no permitir la acumulación de presiones hidrostáticas (son totalmente permeables y permite el paso directo del agua) alivian las importantes tensiones, Ilustración 23.



Ilustración 23: Muro de contención tipo gaviones.

Los muros gaviones además de su extrema resistencia, se integran con facilidad dentro del paisaje ya que permite el desarrollo de la vegetación mitigando los efectos negativos hacia el ambiente.

- **Drenes de agua:** Son sistemas de drenaje para las aguas de escorrentía. Este tipo de medidas, más que estabilizadoras son preventivas.

Éstas deben ser diseñadas para evitar la llegada y acumulación de agua sobre el talud, sobre todo en la zona de la cabecera, principalmente en el caso de taludes escalonados o

bermas pues en épocas de lluvia las zonas planas suelen inundarse y provocar deslizamientos.

- **Presencia de vegetación:** El trabajo de vegetación se ejecuta para prevenir la erosión por agua de lluvia. Al cubrir con plantas las raíces se amarran con las caras del talud evitando así el colapso o expansión por cambios de humedad, ver Ilustración 22.

Las anteriores medidas de estabilidad son las más comúnmente usadas en taludes compuestos por materiales expansivos. Existe otro método para hacer más estable un suelo expansivo, se trata de mezclar un suelo con cemento Portland, cal hidratada, asfalto o cloruro de sodio. Estos se utilizan para disminuir la plasticidad y potencial de hinchamiento en este tipo de suelos. Son más utilizados en vías para mejorar la base de una carpeta asfáltica.

5.2.1. Medidas recomendadas para la zona de estudio

Siendo la presencia de agua una de las causas principales de inestabilidad en el talud de estudio, es fundamental disminuir el volumen de líquido que ingresa al talud; por lo que se recomienda la construcción de drenes colocados en diferentes cotas con el propósito de captar esta agua y evitar que sature el suelo provocando la inestabilidad del mismo.

Otra medida aplicable a nuestra zona de estudio es realizar una compactación del material o arcillas en el sitio. Con este proceso se logran dos puntos importantes: primero, se reduce el contenido de vacíos en el suelo, es decir, se elimina los espacios donde el agua se hospeda y, segundo, se rompe la cadena química que hace que el suelo se expanda.

Las medidas recomendadas acompañado de un continuo mantenimiento e inspección del talud, permitirán mantener al mismo en óptimas condiciones, asegurando su estabilidad y evitando futuros fallos o desastres.

5.3. Conclusiones

- Los resultados encontrados mediante ensayos para determinar la resistencia del suelo, otorgaron valores similares tanto para muestras extraídas en calicatas, como para ensayos de penetración estándar SPT.
- Se determinó un perfil estratigráfico en base a los resultados de calicatas, conformándose el terreno en un mayor porcentaje por material fino y clasificándose como arcillas inorgánicas de alta compresibilidad igual al 75% y la diferencia conformada por arenas arcillosas.
- Mediante los ensayos de expansión y correlaciones se clasificó al suelo como potencial alto. En base al hinchamiento libre el potencial expansivo resultó medio para dos ensayos, esto debido a que la humedad natural es alta en las muestras de suelo y puede haber sufrido ya del factor de expansión. Se concluye que la humedad natural de una arcilla controla en gran medida los valores de la expansión, pues utilizando el límite líquido e índice de plasticidad, los resultados entregan un potencial de expansión alto para todas las muestras.
- En la estabilidad del talud se constata que el agente externo es el responsable de la inestabilidad, en especial los efectos de infiltración (presencia de agua). Un suelo con peso menor por temas de humedad es favorable para la estabilidad, es decir, reduciendo considerablemente el porcentaje de vacíos el agua no tendrá lugar para hospedarse, por lo que no aumentará el peso en el talud y no se producirá el proceso de expansión debido a la presencia de agua.
- Frente a las incertidumbres en los parámetros del suelo, se encontró dos valores de factor de seguridad utilizando condiciones pseudo-estáticas, los factores sísmicos ingresados se obtuvieron mediante la NEC pues estos varían según la zona y el tipo de suelo presente en el área de estudio. Considerar el factor sísmico permite asimilar el análisis a la realidad, y

de esta manera aumentar seguridad al momento de la construcción o intervención en campo.

- Una vez analizados los factores de seguridad encontrados mediante la modelación con respecto al que impone la norma, se concluye que el talud en condiciones normales y con la presencia de humedad baja es estable. Mientras que al subir la humedad por las características expansivas tiende a perder estabilidad y en casos extremos o de lluvias torrenciales inclusive puede provocar deslizamientos.
- Se puede constatar con este estudio la incidencia que tiene los suelos expansivos en la estabilidad del talud. Características como su potencial de hinchamiento, provocan la formación de fisuras internas por donde ingresa agua y aumentan su presión hidrostática, provocando así presiones internas que son causantes de fenómenos como erosión y reptación y hasta incluso provocando desastres más grandes como son los deslizamientos.
- Además de las características geomecánicas como son el índice de plasticidad, nivel de hinchamiento y grado de saturación, se puede concluir que, el grado de expansión en un suelo depende también de la cantidad de mineral expansivo en la zona.

5.4. Recomendaciones

- Se recomienda especial atención al momento de trabajar en este tipo de suelos, el ingeniero o técnico encargado debería estar en la capacidad de tomar decisiones al momento de encontrarse con suelos expansivos.
- Se recomienda realizar análisis utilizando nivel freático, para esto se debería realizar ensayos SPT a profundidades mayores, pues en este caso, únicamente en un ensayo se evidencio nivel freático, lo cual dificultaba la ubicación del mismo.

- Se recomienda analizar la variación en humedad natural que los suelos podrían llegar a tener y su afectación en el comportamiento expansivo, pues para realizar el presente trabajo se ha utilizado únicamente una humedad la cual presentó el material al momento del muestreo. Esto se puede lograr mediante un estudio continuo de la zona de estudio y realizando análisis para diferentes casos o épocas del año.
- Frente a taludes conformados por material expansivo, se recomienda la creación de bermas en taludes con alturas grandes, además de afinar sus sistemas de drenaje para evitar futuros incidentes. En taludes pequeños la incorporación de una capa vegetal acompañado de un sistema de drenaje óptimo, servirá para salvaguardar su integridad.
- De igual manera, con el propósito de disminuir la infiltración y la escorrentía en la zona, se debe considerar la construcción de geodrenes pues el agua es el principal causante de inestabilidad en este tipo de suelos.

BIBLIOGRAFIA

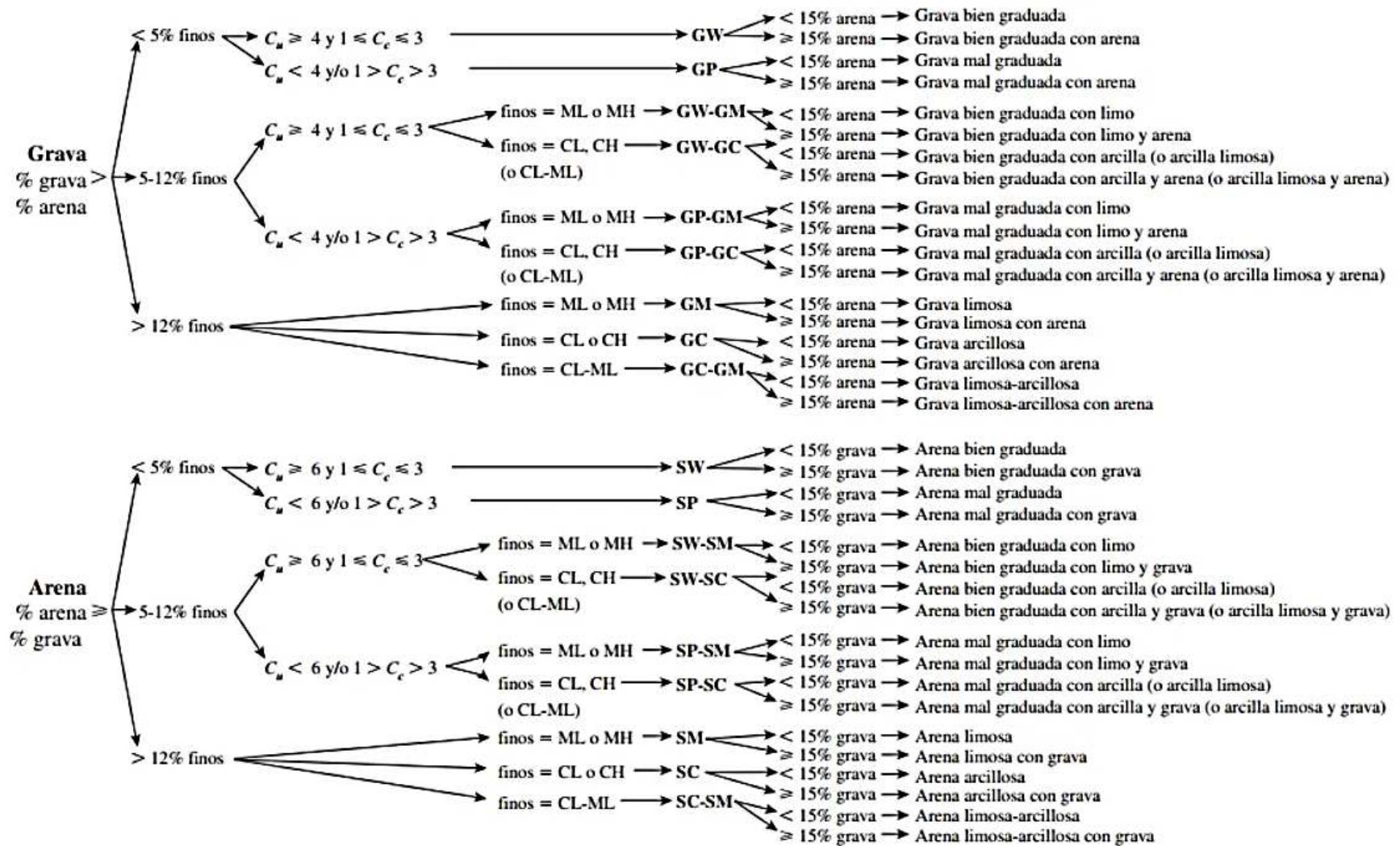
- Armas Novoa, R., & Horta Mestas, E. (1987). *Presas de tierra*. Editorial ISPJAE.
- Asociación de Carreteras del Japón. (1984). *Manual de Protección de Taludes*. Masonic.
- ASTM International. (1996). Standard test method for standard penetration test (SPT) and split-barrel sampling of soils: ASTM D1586-11. *ASTM International - New York*.
- Bolton Seed, H., Tokimatsu, K., Harder, L. F., & Chung, R. M. (1985). Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations. *Journal of geotechnical engineering*, *111*(12), 1425-1445.
- Cruz D'howitt, M. A. (2017). Amenazas naturales recurrentes, concurrentes y concatenadas en la ciudad de esmeraldas. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa - Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*, *II*, 68.
- Das, B. M. (2001). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. International Thomson.
- GAD Parroquial Rural de Nulti. (2015). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia Nulti*.
- García Navarro, A. (2005). *Área de Edafología y Química Agrícola*. Eweb - Universidad de Extremadura. <https://www.eweb.unex.es/eweb/edafo/>
- González Clemente, O. J., Bezada Díaz, M., Del Valle Millán Boadas, Z., & Carrera, J. M. (2014). Caracterización de las arenas y arcillas minerales de los depósitos de canal y planicie de inundación del río Portuguesa, Venezuela. *Investigaciones geográficas*, *85*, 18-32. <https://doi.org/10.14350/rig.35291>
- González de Vallejo, L. I. (2012). *Ingeniería geológica*. Pearson Educación.
- Grases, J., & Contreras, I. (1997). Vulnerabilidad de los sistemas de agua potable y alcantarillado frente a deslizamientos, sismos y otras amenazas naturales: Caso de estudio Caracas, 1997. En *Vulnerabilidad de los sistemas de agua potable y alcantarillado frente a*

- deslizamientos, sismos y otras amenazas naturales: Caso de estudio Caracas, 1997.*
Organización Panamericana de la Salud.
- Idrovo Angumba, B. (2019). *Caracterización de suelos expansivos de la ciudad de Cuenca.*
Universidad de Cuenca.
- Londoño Manrique, N., & Ardila Montiel, C. S. (2016). Comportamiento de parámetros
geomecánicos en taludes compuestos por suelos expansivos. *Global Sustainability*, 9.
- López Lara, T., Hernández Saragoza, J. B., Horta Rangel, J., Rodríguez Morales, N. P., &
Bimbela Osuna, C. A. (2014). Análisis de estructuras huecas invertidas colocadas sobre
suelos expansivos. *Recuperado de http://www.smig.org.mx/admArticulos/eventos/19_XXVII_Reunion_Nacional_de_Ingenieria_Geotecnica/36_Reunion_Nacional/83_SUELOS_NO_SATURADOS/A10L_OLT_1.docx.*
- Marín Nieto, L. (1991). *Mecánica de suelos.* Universidad de Guayaquil, Vicerrectorado
Académico.
- Matteis, A. de. (2003). Estabilidad de Taludes. *Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura.*
- Meza Ochoa, V. E. (2012). Unsaturated soils, from research to the university lecture. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 31, 23-38.
- NEC-SE-CM. (2014). *Norma Ecuatoriana de la Construcción-NEC: NEC-SE-CM Geotecnia y Cimentaciones.*
- Patrone, J., & Prefumo, J. E. (2005). La acción de los suelos expansivos sobre las cimentaciones. *Primeras Jornadas de Ingeniería de Cimentaciones.*
- Quesada, S. (s. f.). Clasificación de un suelo según SUCS. *Instituto Tecnológico de Costa Rica.*

- Skempton, A. W. (1986). Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation. *Geotechnique*, 36(3), 425-447.
- Snethen, D. R., Johnson, L. D., & Patrick, D. M. (1977). *An evaluation of expedient methodology for identification of potentially expansive soils*. FHWA-RE-77-94, NTIS PB-289-164. Washington, DC, USA: Federal Highway
- Suarez Díaz, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos.
- Suarez, J. (2009). *Deslizamientos: Análisis geotécnico* (Vol. 1). Universidad Industrial de Santander.
- Valiente Sanz, R., Sobrecases Martí, S., & Díaz Orrego, A. (2015). *Estabilidad de Taludes: Conceptos Básicos, Parámetros de Diseño y Métodos de Cálculo*. <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/civilizate/article/view/16157>
- Vélez Dávila, P. (2012). *Comprobación de las correlaciones de la presión de expansión con las propiedades índices en suelos del sector Chaullabamba, Cuenca, recomendaciones para la construcción de cimentaciones*. Universidad de Cuenca.
- Yuk Gehling, W. Y. (1994). *Suelos expansivos: Estudio experimental y aplicación de un modelo teórico*. Universitat Politècnica de Catalunya.

ANEXOS

ANEXO 1: Diagrama de flujo para la clasificación de suelos de partículas gruesas (SUCS ASTM D2487).



ANEXO 2: Ensayos para clasificación de suelo en calicata 1.

LABORATORIO DE SUELOS						1/2
ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						
Proyecto: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
Uso: Estabilidad		Calicata: 1				
Procedencia: Multi						
Profundidad: 3,50 mt		Fecha: julio de 2020				
NORMAS: AASHTO T-11 T-27 ASTM: D422-83						
TAMIZ (mm)	Pulg.	PESO RETENIDO PARCIAL (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA	
3"	76,200		-	-	100,0	
2 1/2"	63,500		-	-	100,0	
2"	50,800		-	-	100,0	
1 1/2"	38,100		-	-	100,0	
1"	25,400		-	-	100,0	
3/4 "	19,050		-	-	100,0	
1/2 "	12,700		-	-	100,0	
3/8 "	9,525		-	-	100,0	
Nº 4	4,750		-	-	100,0	
< Nº 4	4,750	-	500	(100,0)	100,0	
Nº 10	2,000		-	-	100,0	
Nº 40	0,425	8,9	8,9	1,8	98,2	
Nº 200	0,075	243,3	252,2	50,4	(48,6)	
< Nº 200	<0,075	247,8	247,8	(49,6)		
* Abertura de los tamices tomado del libro "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica", Braja M. Das, Pg. 8						
PESO TOTAL DE LA MUESTRA			500,00		CUARTEO	
CLASIFICACIÓN		GRAVA =	0,00%		Peso total antes del lavado	
SUCS	SC	ARENA =	50,00%		500,00	
AASHTO	A-7-6 (9)	FINOS =	50,00%		Peso total después del lavado	
						252,20
OBSERVACIONES: Arena arcillosa						
CURVA GRANULOMÉTRICA						
<p style="text-align: right;">● Porcentaje que Pasa</p>						

LABORATORIO DE SUELOS

2/2

Proyecto: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

Uso: Estabilidad

Calculado:

Pozo: 1

Procedencia: Multi

Profundidad: 3,50 mt

Fecha: julio del 2020

HUMEDAD NATURAL

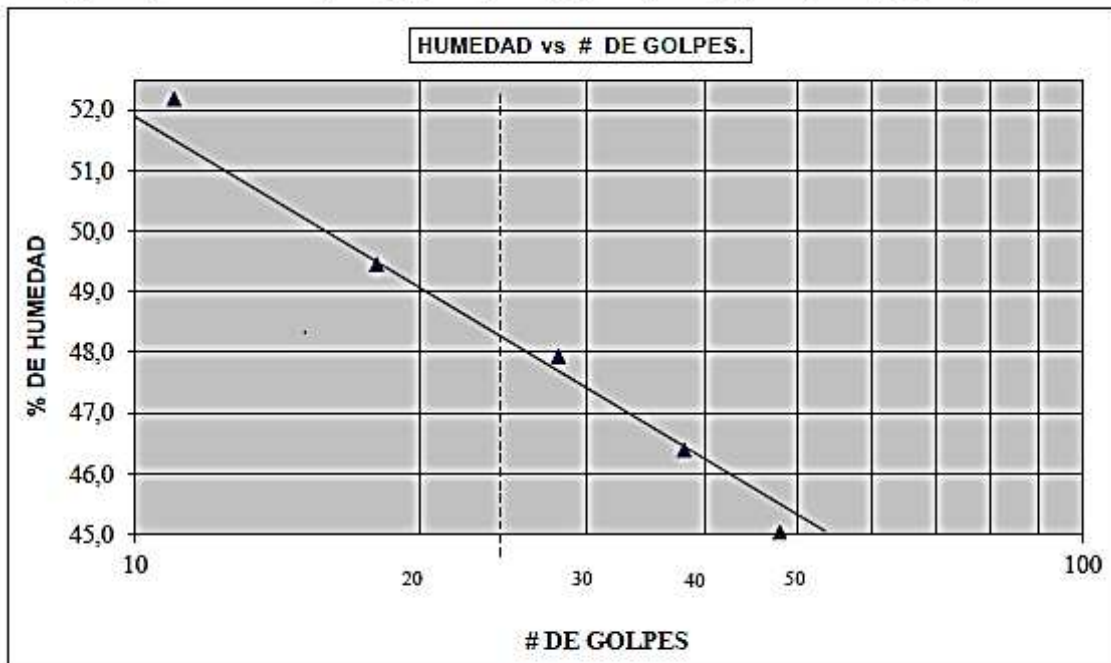
N° de Tarro	N° de golpes	Peso suelo húmedo + tarro	Peso suelo seco + tarro	Peso tarro	% de Humedad	PROMEDIO
17	—	47,26	41,55	17,74	23,98	24,66
8	—	43,37	38,01	16,62	25,06	
4	—	43,80	38,31	17,11	24,95	

LIMITE LIQUIDO

16	11	31,81	26,57	18,91	52,17	48,23
14	18	29	24,95	16,76	49,45	
19	28	30,34	25,94	16,76	47,93	
3	38	30,20	26,09	17,23	46,39	
18	48	28,56	25,12	17,48	45,03	

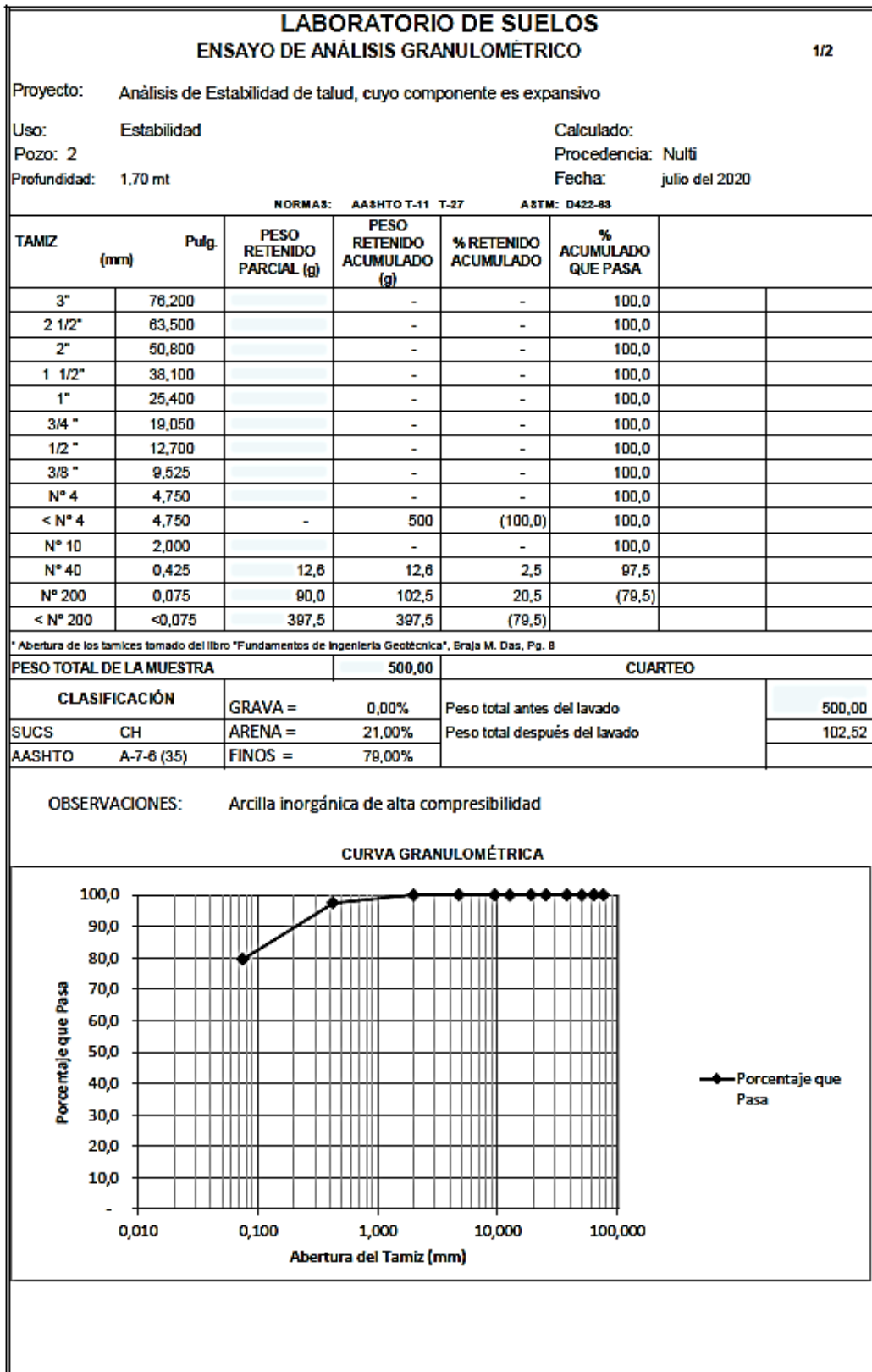
LIMITE PLASTICO

9	—	17,91	17,69	16,73	22,92	22,29
15	—	18,33	18,08	16,98	22,73	
20	—	18,14	17,90	16,77	21,24	



Límite Líquido a 25 golpes = 48,23% Índice de plasticidad = 25,93

ANEXO 3: Ensayos para clasificación de suelo en calicata 2.



LABORATORIO DE SUELOS

2/2

Proyecto: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

Uso: Estabilidad

Calculado:

Pozo: 2

Procedencia: Nulti

Profundidad: 1,70 mt

Fecha: julio del 2020

HUMEDAD NATURAL

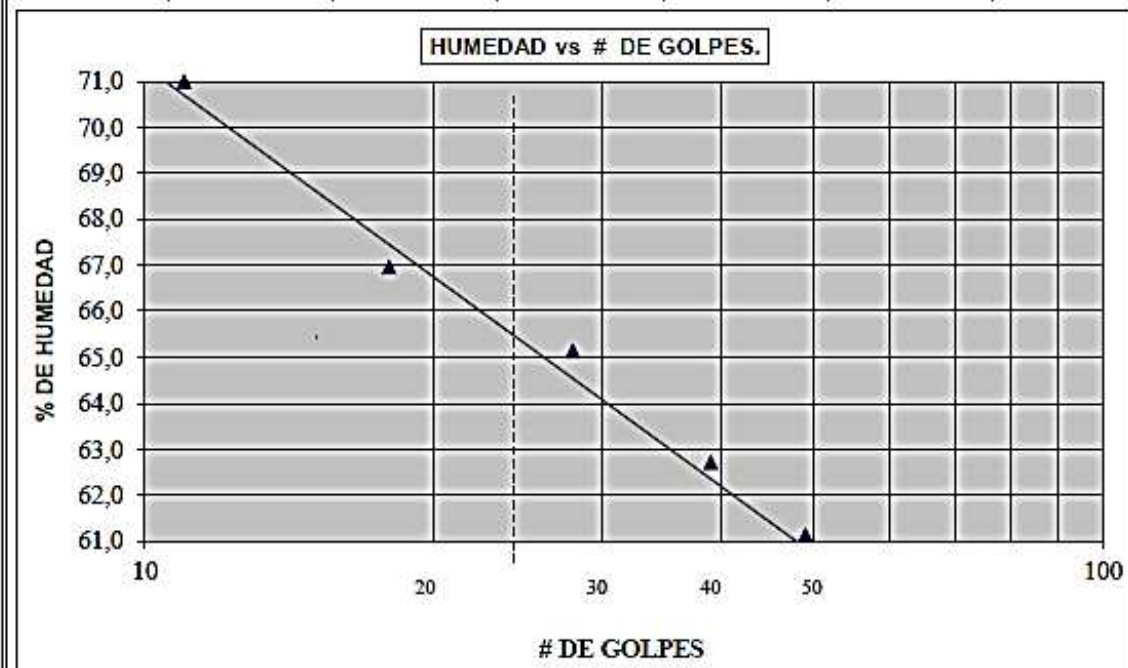
Nº de Tarro	Nº de golpes	Peso suelo húmedo + tarro	Peso suelo seco + tarro	Peso tarro	% de Humedad	PROMEDIO
13	—	44,57	39,37	17,38	23,63	24,29
16	—	40,49	35,87	16,91	24,37	
18	—	47,81	41,77	17,48	24,87	

LIMITE LIQUIDO

16	11	28,23	23,53	16,91	71,00	65,49
7	18	28,25	23,57	16,58	68,95	
1	28	28,47	23,80	16,63	65,13	
3	39	29,14	24,55	17,23	62,70	
12	49	28,90	24,34	16,88	61,13	

LIMITE PLASTICO

18	—	18,75	18,51	17,48	23,30	23,25
10	—	17,97	17,72	16,64	23,15	
5	—	18,21	17,97	16,94	23,30	



Límite Líquido a 25 golpes = 65,49% Índice de plasticidad = 42,24

LABORATORIO DE SUELOS						1/2																										
ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO																																
Proyecto: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo																																
Uso: Estabilidad			Calculado:																													
Pozo: 2 M - 2			Procedencia: Multi																													
Profundidad: 3,50 mt			Fecha: julio del 2020																													
NORMAS: AASHTO T-11 T-27 ASTM: D422-83																																
TAMIZ (mm)	Pulg.	PESO RETENIDO PARCIAL (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA																											
3"	76,200		-	-	100,0																											
2 1/2"	63,500		-	-	100,0																											
2"	50,800	362	362	14,5	85,5																											
1 1/2"	38,100	240	601	24,1	76,0																											
1"	25,400	188	789	31,6	68,4																											
3/4 "	19,050	127	916	36,6	63,4																											
1/2 "	12,700	209	1.124	45,0	55,0																											
3/8 "	9,525	127	1.251	50,1	50,0																											
N° 4	4,750	242	1.493	59,7	40,3																											
< N° 4	4,750	1.493	1.007	(40,3)	40,3																											
N° 10	2,000	85,1	85,1	66,6	33,4																											
N° 40	0,425	294,0	379,1	90,3	9,7																											
N° 200	0,075	87,1	466,2	97,3	(2,7)																											
< N° 200	<0,075	33,8	33,8	(2,7)																												
* Abertura de los tamices tomado del libro "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica", Braja M. Das, Pg. 8																																
PESO TOTAL DE LA MUESTRA			2.500,00	CUARTEO																												
CLASIFICACIÓN		GRAVA =	60,00%	Peso total antes del lavado		500,00																										
SUCS	GP	ARENA =	37,00%	Peso total después del lavado		466,21																										
AASHTO	A-2-6 (0)	FINOS =	3,00%																													
OBSERVACIONES: Grava mal graduada																																
CURVA GRANULOMÉTRICA																																
<p>El gráfico muestra la curva granulométrica con el eje vertical etiquetado como 'Porcentaje que Pasa' (rango 0-100,0) y el eje horizontal etiquetado como 'Abertura del Tamiz (mm)' (rango logarítmico de 0,010 a 100,000). La curva, representada por una línea con marcadores de diamante, muestra un comportamiento de grava mal graduada. Los datos clave extraídos de la tabla anterior son:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Abertura del Tamiz (mm)</th> <th>Porcentaje que Pasa (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,075</td><td>0</td></tr> <tr><td>0,150</td><td>10</td></tr> <tr><td>0,300</td><td>33,4</td></tr> <tr><td>0,600</td><td>40,3</td></tr> <tr><td>1,200</td><td>50,0</td></tr> <tr><td>2,500</td><td>59,7</td></tr> <tr><td>5,000</td><td>68,4</td></tr> <tr><td>10,000</td><td>76,0</td></tr> <tr><td>20,000</td><td>85,5</td></tr> <tr><td>40,000</td><td>90,3</td></tr> <tr><td>75,000</td><td>97,3</td></tr> <tr><td>150,000</td><td>100,0</td></tr> </tbody> </table>							Abertura del Tamiz (mm)	Porcentaje que Pasa (%)	0,075	0	0,150	10	0,300	33,4	0,600	40,3	1,200	50,0	2,500	59,7	5,000	68,4	10,000	76,0	20,000	85,5	40,000	90,3	75,000	97,3	150,000	100,0
Abertura del Tamiz (mm)	Porcentaje que Pasa (%)																															
0,075	0																															
0,150	10																															
0,300	33,4																															
0,600	40,3																															
1,200	50,0																															
2,500	59,7																															
5,000	68,4																															
10,000	76,0																															
20,000	85,5																															
40,000	90,3																															
75,000	97,3																															
150,000	100,0																															

LABORATORIO DE SUELOS

2/2

Proyecto: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

Uso: Estabilidad

Calculado:

Pozo: 2 M - 2

Procedencia: Nulti

Profundidad: 3,50 mt

Fecha: julio del 2020

HUMEDAD NATURAL

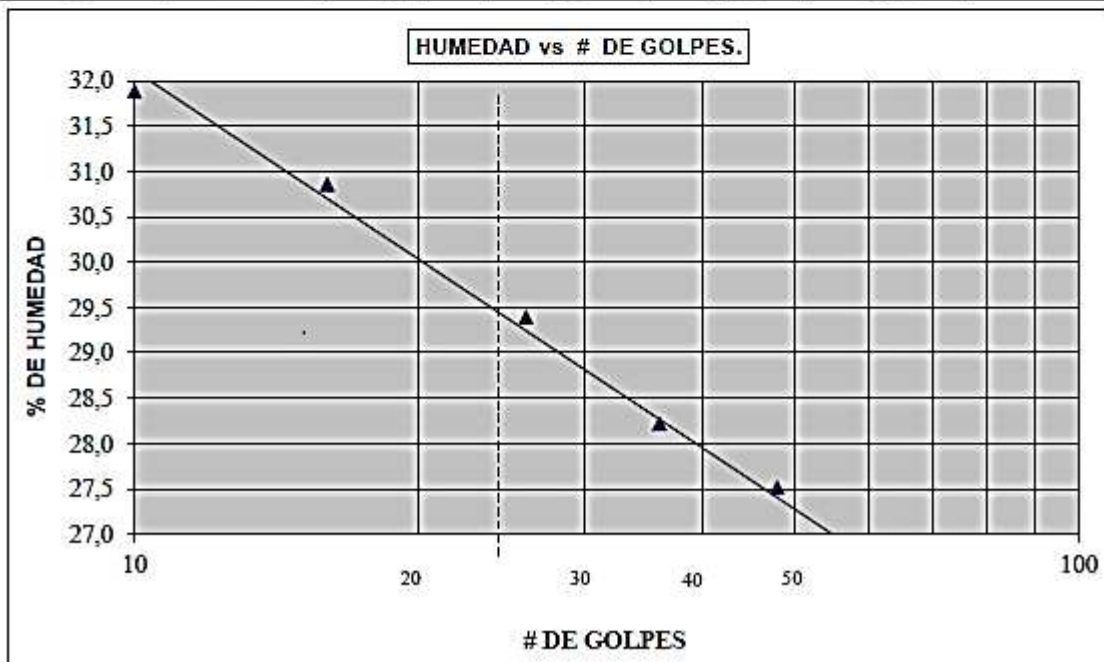
N° de Tarro	N° de golpes	Peso suelo húmedo + tarro	Peso suelo seco + tarro	Peso tarro	% de Humedad	PROMEDIO
9	—	44,87	43,03	18,73	6,24	5,99
19	—	40,55	39,20	18,76	6,02	
14	—	45,61	44,05	18,76	5,72	

LIMITE LIQUIDO

N° de Tarro	N° de golpes	Peso suelo húmedo + tarro	Peso suelo seco + tarro	Peso tarro	% de Humedad	PROMEDIO
2	10	30,08	26,86	18,76	31,88	29,39
15	16	28,43	25,73	18,98	30,86	
20	26	30,11	27,08	18,77	29,39	
9	36	28,50	25,91	18,73	28,21	
13	48	30,08	27,32	17,36	27,51	

LIMITE PLASTICO

N° de Tarro	N° de golpes	Peso suelo húmedo + tarro	Peso suelo seco + tarro	Peso tarro	% de Humedad	PROMEDIO
6	—	18,22	18,00	18,83	18,80	19,20
5	—	18,27	18,05	18,94	19,82	
7	—	17,96	17,74	18,58	18,97	



Límite Líquido a 25 golpes = 29,39% Índice de plasticidad = 10,20

ANEXO 4: Ensayos para clasificación de suelo en calicata 3.

LABORATORIO DE SUELOS						1/2
ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						
Proyecto: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
Uso: Estabilidad			Calculado:			
Pozo: 3			Procedencia: Multi			
Profundidad: 5,00 mt			Fecha: julio del 2020			
NORMAS: AASHTO T-11 T-27 ASTM: D422-83						
TAMIZ (mm)	Pulg.	PESO RETENIDO PARCIAL (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA	
3"	76,200		-	-	100,0	
2 1/2"	63,500		-	-	100,0	
2"	50,800		-	-	100,0	
1 1/2"	38,100		-	-	100,0	
1"	25,400		-	-	100,0	
3/4 "	19,050		-	-	100,0	
1/2 "	12,700		-	-	100,0	
3/8 "	9,525		-	-	100,0	
N° 4	4,750		-	-	100,0	
< N° 4	4,750	-	500	(100,0)	100,0	
N° 10	2,000	3,8	3,8	0,8	99,2	
N° 40	0,425	64,5	68,3	13,7	86,3	
N° 200	0,075	31,1	99,5	19,9	(80,1)	
< N° 200	<0,075	400,5	400,5	(80,1)		
<small>* Abertura de los tamices tomado del libro "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica", Braja M. Das, Pg. 8</small>						
PESO TOTAL DE LA MUESTRA			500,00	CUARTEO		
CLASIFICACIÓN		GRAVA =	0,00%	Peso total antes del lavado		500,00
SUCS	CH	ARENA =	20,00%	Peso total después del lavado		99,47
AASHTO	A-7-5 (27)	FINOS =	80,00%			
OBSERVACIONES: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad						
CURVA GRANULOMÉTRICA						
<p style="text-align: right;">◆ Porcentaje que Pasa</p>						

LABORATORIO DE SUELOS

2/2

Proyecto: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

Uso: Estabilidad

Calculado:

Pozo: 3

Procedencia: Nulti

Profundidad: 5,00 mt

Fecha: julio del 2020

HUMEDAD NATURAL

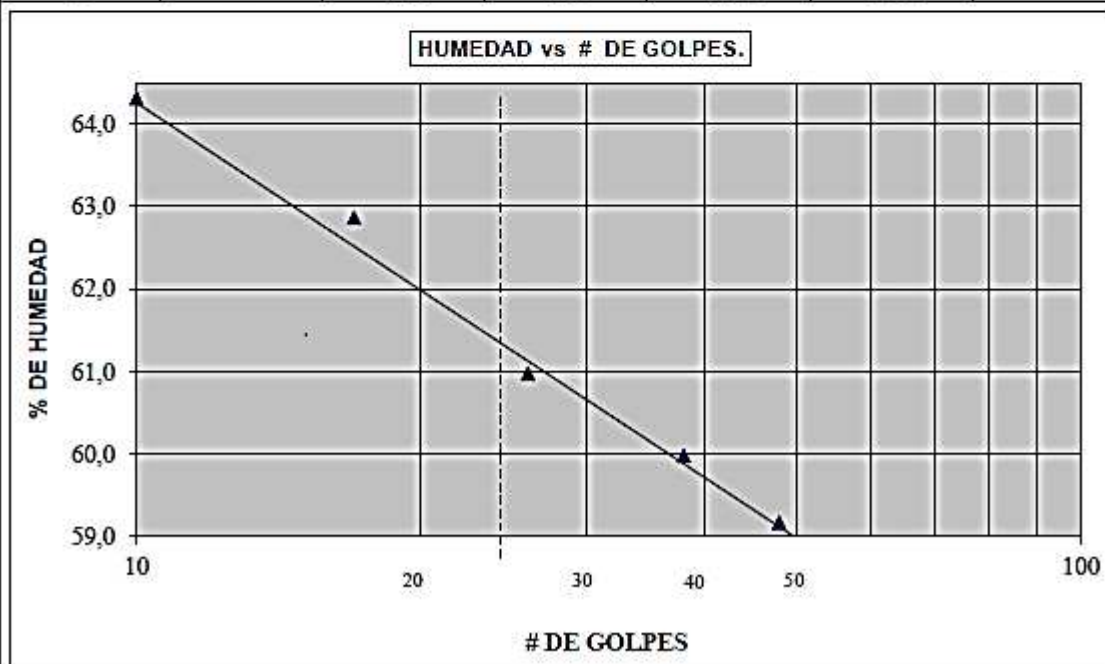
N° de Tarro	N° de golpes	Peso suelo húmedo + tarro	Peso suelo seco + tarro	Peso tarro	% de Humedad	PROMEDIO
19	—	42,05	35,67	18,76	33,74	33,52
4	—	41,18	35,23	17,11	32,84	
8	—	42,57	35,99	18,62	33,97	

LIMITE LIQUIDO

5	10	29,28	24,45	18,94	64,31	61,33
11	17	27,83	23,5	18,93	62,86	
6	26	29,45	24,67	18,83	60,97	
1	38	29,22	24,50	18,63	59,97	
16	48	28,84	24,28	18,91	59,16	

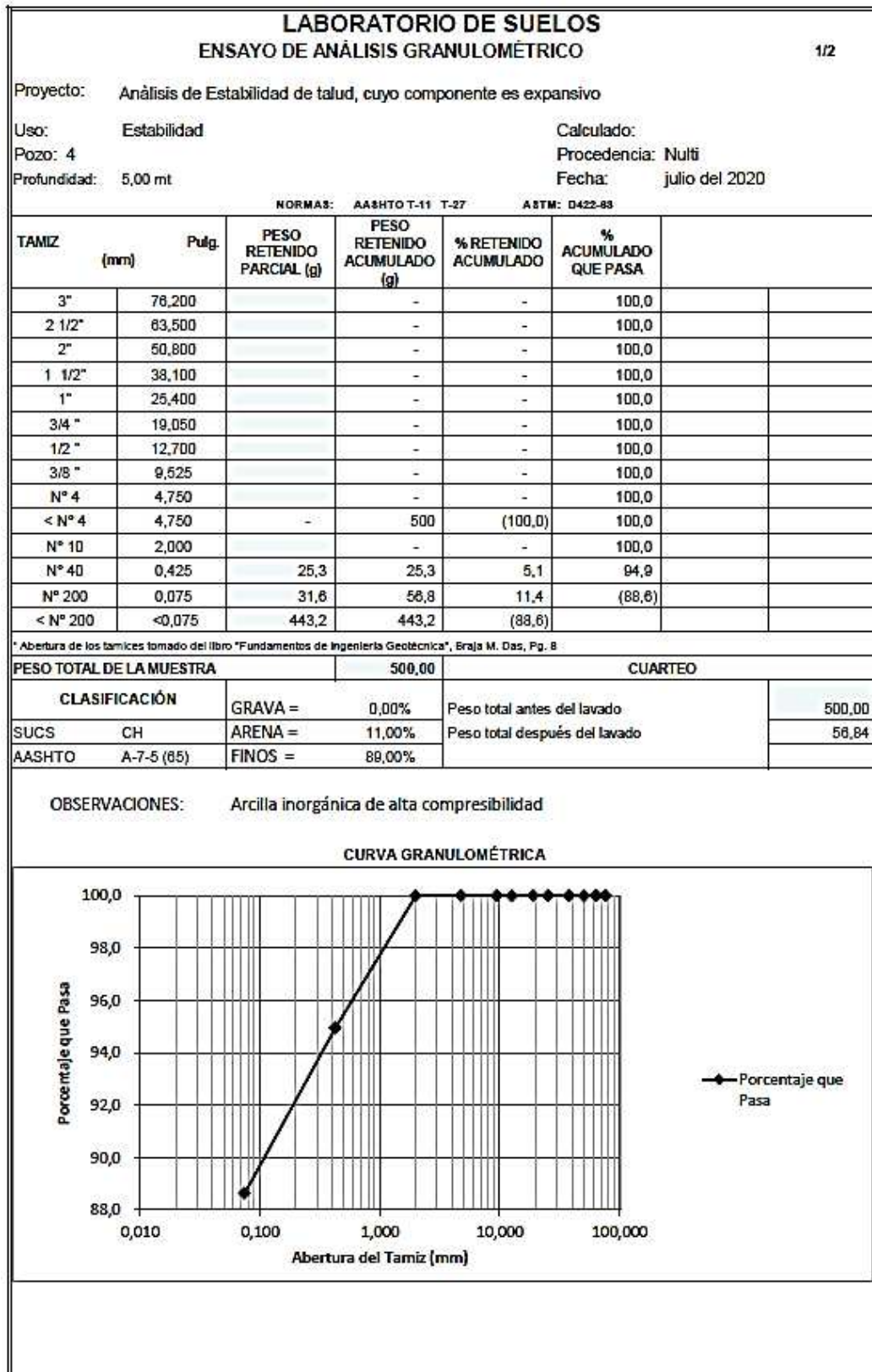
LIMITE PLASTICO

15	—	18,20	17,91	18,98	31,18	30,90
20	—	17,95	17,67	18,77	31,11	
2	—	18,09	17,78	18,76	30,39	



Límite Líquido a 25 golpes = 61,33% Índice de plasticidad = 30,43

ANEXO 5: Ensayos para clasificación de suelo en calicata 4.



LABORATORIO DE SUELOS

2/2

Proyecto: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

Uso: Estabilidad

Calculado:

Pozo: 4

Procedencia: Nulti

Profundidad: 5,00 mt

Fecha: julio del 2020

HUMEDAD NATURAL

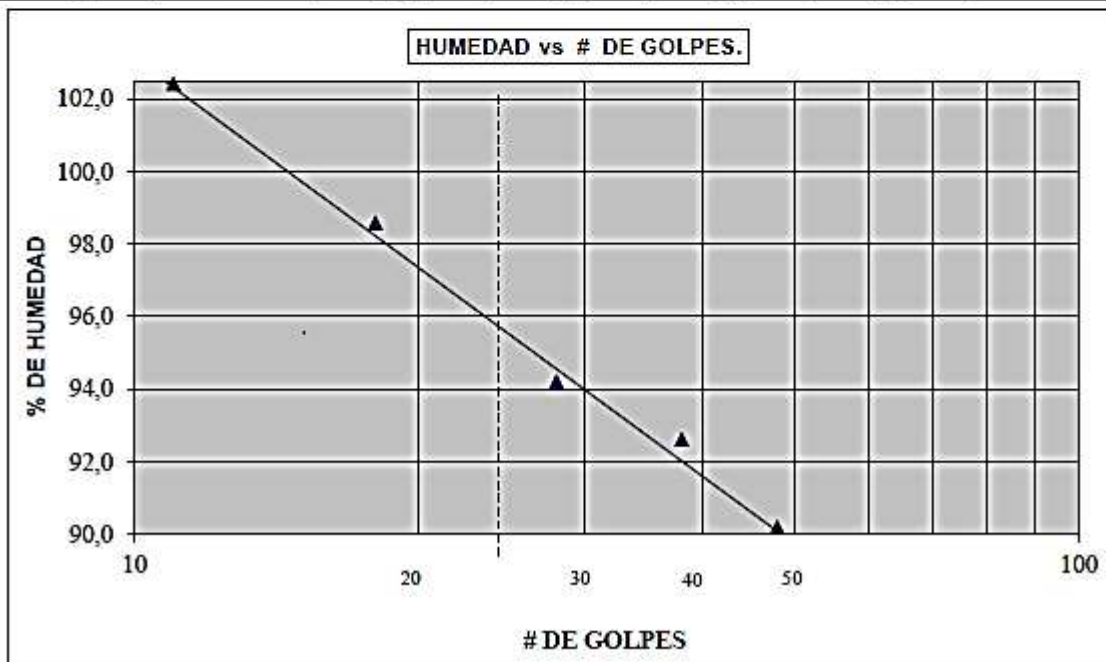
N° de Tarro	N° de golpes	Peso suelo húmedo + tarro	Peso suelo seco + tarro	Peso tarro	% de Humedad	PROMEDIO
14	—	40,47	33,44	18,76	42,15	41,96
9	—	40,50	33,27	18,73	43,71	
17	—	43,03	35,80	17,74	40,03	

LIMITE LIQUIDO

18	11	29,24	23,29	17,48	102,41	95,65
3	18	28,37	22,84	17,23	98,57	
7	28	27,30	22,10	18,58	94,20	
5	38	27,88	22,62	18,94	92,61	
1	48	27,88	22,44	18,63	90,19	

LIMITE PLASTICO

14	—	18,13	17,79	18,76	33,01	32,55
16	—	18,23	17,91	18,91	32,00	
19	—	18,08	17,74	18,76	32,65	



Límite Líquido a 25 golpes = 95,65% Índice de plasticidad = 63,10

ANEXO 6: Ensayo de corte directo para diferentes muestras en calicata 1.

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulfi						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arena arcillosa						
PERFORACIÓN: C - 1				PROFUNDIDAD: 3,50 mt		
FECHA: julio del 2020				No. Muestra: M1		
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3086
Características de la muestra:						
Diametro (cm):	6,16	Humedad (%):	24,28%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	101,61			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1696,91			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1365,44			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máxuma (mm/min) =		0,65				
Carga normal (Kg) =		12,75				
σ (Kg/cm ²) =		0,43				
τ (Kg/cm ²) =		0,34				
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	0,43	0,00%
15,00	34	3,468	29,800	0,12	0,43	0,17%
15,00	46	4,692	29,800	0,16	0,43	0,30%
15,00	55	5,610	29,800	0,19	0,43	0,47%
15,00	60	6,120	29,800	0,21	0,43	0,60%
15,00	68	6,936	29,800	0,23	0,43	0,77%
15,00	73	7,446	29,800	0,25	0,43	0,90%
15,00	78	7,956	29,800	0,27	0,43	1,07%
15,00	82	8,364	29,800	0,28	0,43	1,20%
15,00	85	8,670	29,800	0,29	0,43	1,37%
15,00	88	8,976	29,800	0,30	0,43	1,49%
30,00	93	9,486	29,800	0,32	0,43	1,78%
30,00	97	9,894	29,800	0,33	0,43	2,05%
30,00	100	10,200	29,800	0,34	0,43	2,38%
30,00	100	10,200	29,800	0,34	0,43	2,70%
60,00	99	10,098	29,800	0,34	0,43	3,10%
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulfi

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arena arcillosa

PERFORACIÓN: C - 1

PROFUNDIDAD: 3,50 mt

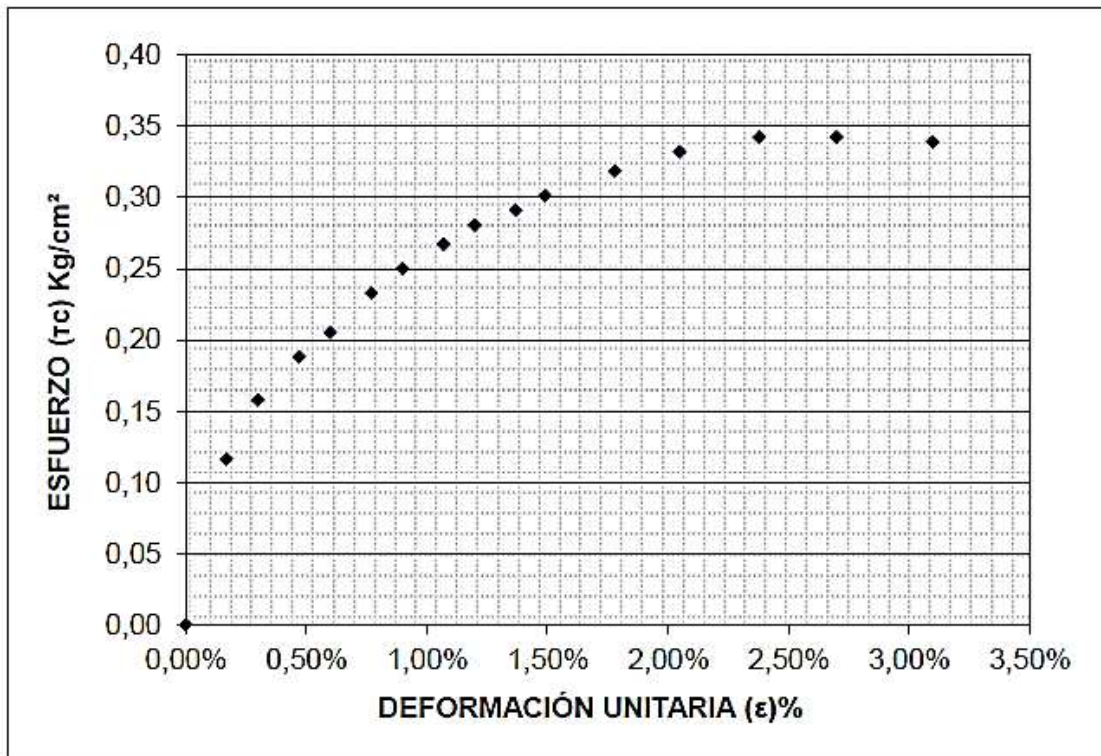
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M1

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 1		
Esfuerzo Cortante		
τ max=	0,34	Kg/cm^2
Esfuerzo Normal		
σ =	0,43	Kg/cm^2

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulfi

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arena arcillosa

PERFORACIÓN: C - 1 **PROFUNDIDAD:** 3,50 mt

FECHA DE ENSAYO: julio del 2020

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA ASTM D-3084

Características del espécimen:

Espécimen	Altura	Diametro A	Diametro B	Area	Volumen	W molde	W molde + muestra	W húmedo muestra	ph
#	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm ³)	(gr)	(gr)	(gr)	(Kg/m ³)
1	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	41,62	143,23	101,61	1696,91
2	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	40,74	142,34	101,60	1696,74
3	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	42,96	144,78	101,82	1700,42

Contenido de humedad:

Espécimen	# tarro	W tarro	W tarro+muestra	W seco	Humedad ω (%)	Promedio parcial ω (%)
1	9	16,73	27,89	25,71	24,28%	24,28%
2	4	17,11	28,12	26,01	23,71%	23,71%
3	7	16,58	30,45	27,82	23,40%	23,40%

Resumen de Datos

Humedad Promedio Total:	23,79	%
Densidad Húmeda Prom. Total:	1698	(Kg/m ³)

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulfi						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arena arcillosa						
PERFORACIÓN: C - 1				PROFUNDIDAD: 3,50 mt		
FECHA: julio del 2020				No. Muestra: M2		
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3086
Características de la muestra:						
Diametro (cm):	6,16	Humedad (%):	23,71%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	101,60			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1696,74			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1371,57			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máquina (mm/min) =				0,65		
Carga normal (Kg) =				25,5		
σ (Kg/cm ²) =				0,86		
τ (Kg/cm ²) =				0,46		
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA CORREGIDA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	0,86	0,00%
15,00	44	4,488	29,800	0,15	0,86	0,15%
15,00	67	6,834	29,800	0,23	0,86	0,30%
15,00	82	8,364	29,800	0,28	0,86	0,45%
15,00	94	9,588	29,800	0,32	0,86	0,60%
15,00	104	10,608	29,800	0,36	0,86	0,75%
15,00	111	11,322	29,800	0,38	0,86	0,90%
15,00	117	11,934	29,800	0,40	0,86	1,05%
15,00	121	12,342	29,800	0,41	0,86	1,21%
15,00	125	12,750	29,800	0,43	0,86	1,34%
15,00	128	13,056	29,800	0,44	0,86	1,51%
30,00	133	13,566	29,800	0,46	0,86	1,81%
30,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00						
90,00						

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulli

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arena arcillosa

PERFORACIÓN: C - 1

PROFUNDIDAD: 3,50 mt

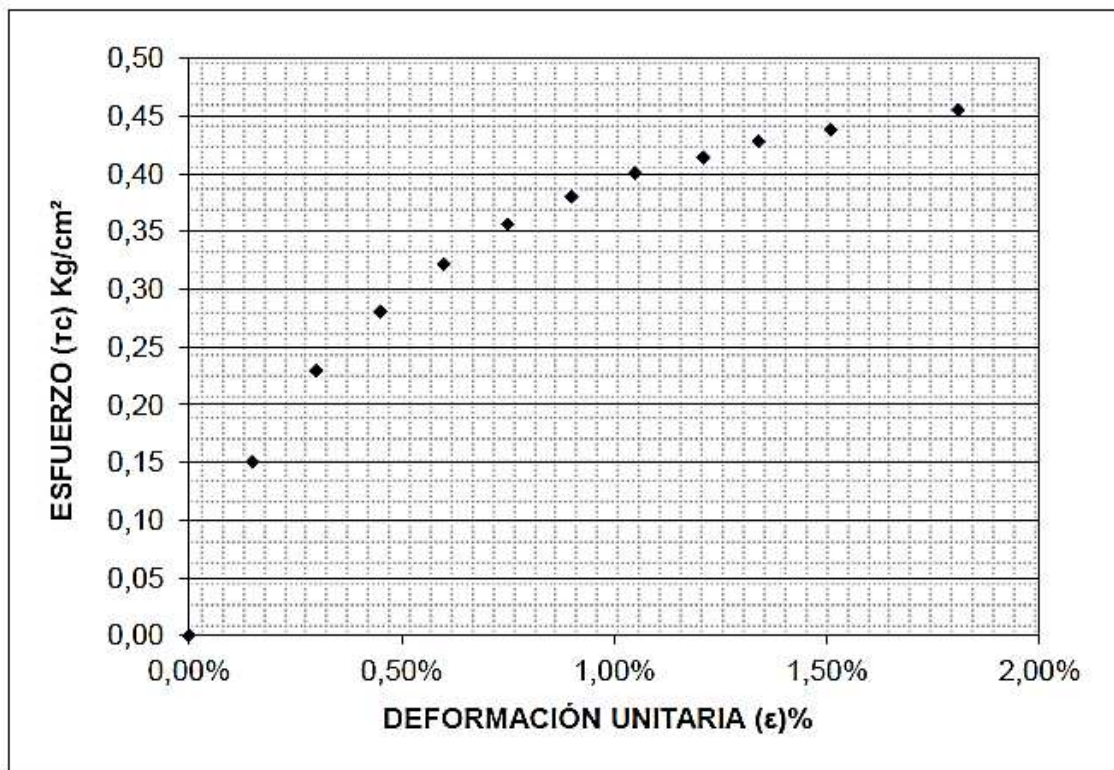
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M2

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 2		
Esfuerzo Cortante		
τ max=	0,46	Kg/cm ²
Esfuerzo Normal		
σ =	0,86	Kg/cm ²

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulti						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arena arcillosa						
PERFORACIÓN: C - 1				PROFUNDIDAD: 3,50 mt		
FECHA: julio del 2020				No. Muestra: M3		
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3086
Características de la muestra:						
Diametro (cm):	6,16	Humedad (%):	23,40%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	101,60			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1700,42			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1377,99			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máquina (mm/min) =				0,65		
Carga normal (Kg) =				51		
σ (Kg/cm ²) =				1,71		
τ (Kg/cm ²) =				0,82		
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	1,71	0,00%
15,00	60	6,120	29,800	0,21	1,71	0,19%
15,00	84	8,568	29,800	0,29	1,71	0,30%
15,00	110	11,220	29,800	0,38	1,71	0,52%
15,00	123	12,546	29,800	0,42	1,71	0,61%
15,00	141	14,382	29,800	0,48	1,71	0,77%
15,00	157	16,014	29,800	0,54	1,71	0,90%
15,00	179	18,258	29,800	0,61	1,71	1,06%
15,00	201	20,502	29,800	0,69	1,71	1,20%
15,00	217	22,134	29,800	0,74	1,71	1,37%
15,00	227	23,154	29,800	0,78	1,71	1,52%
30,00	234	23,868	29,800	0,80	1,71	1,81%
30,00	237	24,174	29,800	0,81	1,71	2,10%
30,00	239	24,378	29,800	0,82	1,71	2,40%
30,00	240	24,480	29,800	0,82	1,71	2,70%
60,00	238	24,276	29,800	0,81	1,71	3,33%
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulvi

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arena arcillosa

PERFORACIÓN: C - 1

PROFUNDIDAD: 3,50 mt

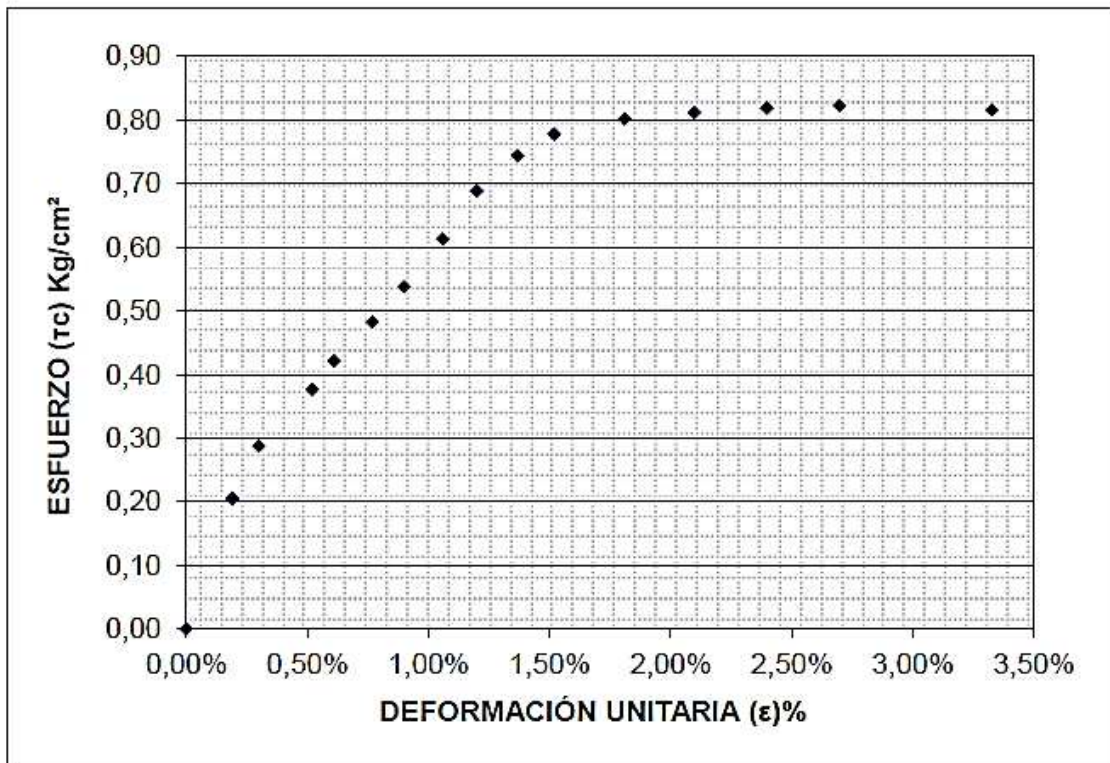
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M3

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3084

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 3		
Esfuerzo Cortante		
$\tau_{max} =$	0,82	Kg/cm ²
Esfuerzo Normal		
$\sigma =$	1,71	Kg/cm ²

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulfi

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arena arcillosa

PERFORACIÓN: C - 1

PROFUNDIDAD: 3,50 mt

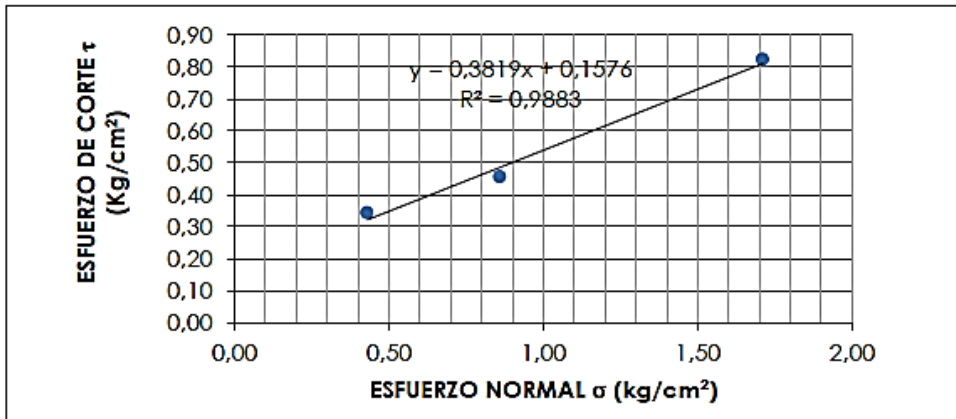
FECHA: julio del 2020

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3084

GRÁFICO DE LA ENVOLVENTE DE FALLA: MUESTRAS REMOLDEADAS

DATOS				
Especimen	Esfuerzo Normal σ	Esfuerzo de Corte τ	$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi$	
			C	ϕ
#	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	(°)
1	0,43	0,34	0,16	20,90
2	0,86	0,46		
3	1,71	0,82		



RESULTADOS			ENVOLVENTE DE FALLA
C=	0,16	Kg/cm ²	
ϕ =	21	°	

ANEXO 7: Ensayo de corte directo para diferentes muestras en calicata 2.

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Multi						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Grava mal graduada con arena						
PERFORACIÓN: C - 2				PROFUNDIDAD: 3,50 mt		
FECHA: julio del 2020				No. Muestra: M1		
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3084
Características de la muestra:						
Diametro (cm):	6,16	Humedad (%):	5,79%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	115,61			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1930,71			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1825,04			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máquina (mm/min) =				0,65		
Carga normal (Kg) =				12,75		
σ (Kg/cm²) =				0,43		
τ (Kg/cm²) =				0,34		
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	0,43	0,00%
15,00	35	3,570	29,800	0,12	0,43	0,17%
15,00	49	4,998	29,800	0,17	0,43	0,30%
15,00	60	6,120	29,800	0,21	0,43	0,47%
15,00	71	7,242	29,800	0,24	0,43	0,65%
15,00	79	8,058	29,800	0,27	0,43	0,77%
15,00	86	8,772	29,800	0,29	0,43	0,93%
15,00	92	9,384	29,800	0,31	0,43	1,07%
15,00	96	9,792	29,800	0,33	0,43	1,20%
15,00	99	10,098	29,800	0,34	0,43	1,37%
15,00	99	10,098	29,800	0,34	0,43	1,49%
30,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulli

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Grava mal graduada con arena

PERFORACIÓN: C - 2

PROFUNDIDAD: 3,50 mt

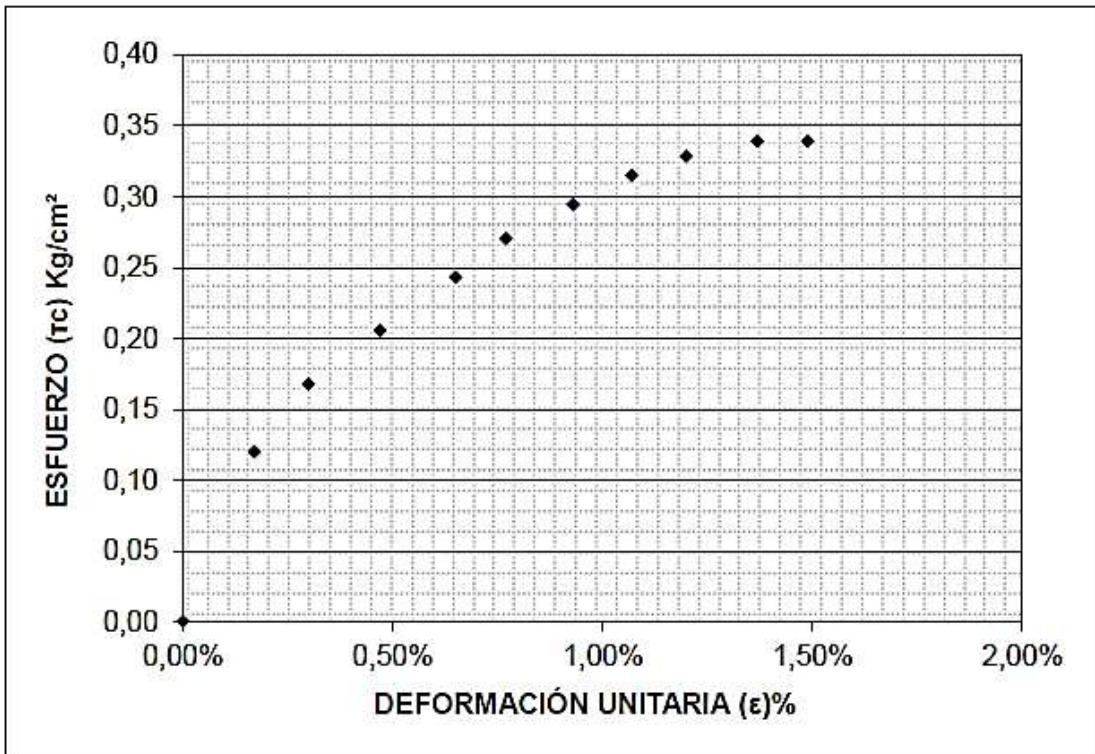
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M1

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 1		
Esfuerzo Cortante		
$\tau_{max} =$	0,34	Kg/cm ²
Esfuerzo Normal		
$\sigma =$	0,43	Kg/cm ²

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulfi

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Grava mal graduada con arena

PERFORACIÓN: C - 2 **PROFUNDIDAD:** 3,50 mt

FECHA DE ENSAYO: julio del 2020

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA ASTM D-3086

Características del espécimen:

Espécimen	Altura	Diametro A	Diametro B	Area	Volumen	W molde	W molde + muestra	W húmedo muestra	ph
#	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm ³)	(gr)	(gr)	(gr)	(Kg/m ³)
1	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	41,62	157,23	115,61	1930,71
2	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	40,74	156,34	115,60	1930,55
3	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	42,96	158,78	115,82	1934,22

Contenido de humedad:

Espécimen	# tarro	W tarro	W tarro+muestra	W seco	Humedad ω (%)	Promedio parcial ω (%)
1	13	17,36	24,12	23,75	5,79%	5,79%
2	6	16,83	27,87	27,26	5,85%	5,85%
3	8	16,62	28,45	27,87	5,16%	5,16%

Resumen de Datos		
Humedad Promedio Total:	5,60	%
Densidad Húmeda Prom. Total:	1932	(Kg/m ³)

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulfi						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Grava mal graduada con arena						
PERFORACIÓN: C - 2				PROFUNDIDAD: 3,50 mt		
FECHA: julio del 2020				No. Muestra: M2		
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3086
Características de la muestra:						
Diametro (cm):	6,16	Humedad (%):	5,85%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	115,60			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1930,55			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1823,88			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máxima (mm/min) =		0,65				
Carga normal (Kg) =		25,5				
σ (Kg/cm ²) =		0,86				
τ (Kg/cm ²) =		0,61				
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA CORREGIDA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	0,86	0,00%
15,00	46	4,692	29,800	0,16	0,86	0,15%
15,00	73	7,446	29,800	0,25	0,86	0,30%
15,00	95	9,690	29,800	0,33	0,86	0,45%
15,00	111	11,322	29,800	0,38	0,86	0,60%
15,00	124	12,648	29,800	0,42	0,86	0,75%
15,00	137	13,974	29,800	0,47	0,86	0,90%
15,00	149	15,198	29,800	0,51	0,86	1,05%
15,00	159	16,218	29,800	0,54	0,86	1,21%
15,00	165	16,830	29,800	0,56	0,86	1,37%
15,00	173	17,646	29,800	0,59	0,86	1,57%
30,00	178	18,156	29,800	0,61	0,86	1,81%
30,00	178	18,156	29,800	0,61	0,86	2,11%
30,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00						
90,00						

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulti

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Grava mal graduada con arena

PERFORACIÓN: C - 2

PROFUNDIDAD: 3,50 mt

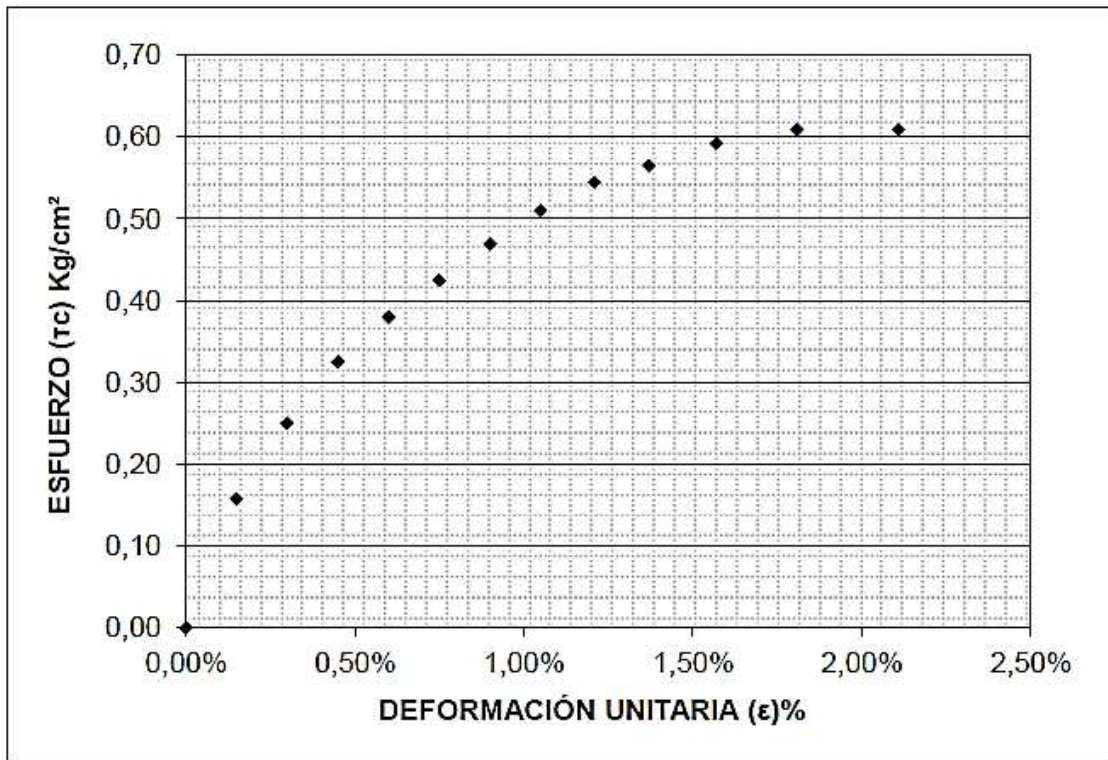
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M2

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3084

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 2		
Esfuerzo Cortante		
$\tau_{max} =$	0,61	Kg/cm ²
Esfuerzo Normal		
$\sigma =$	0,86	Kg/cm ²

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulfi						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Grava mal graduada con arena						
PERFORACIÓN: C - 2				PROFUNDIDAD: 3,50 mt		
FECHA: julio del 2020				No. Muestra: M3		
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3086
Características de la muestra:						
Díametro (cm):	6,16	Humedad (%):	5,16%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	115,60			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1934,22			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1839,39			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máxima (mm/min) =				0,65		
Carga normal (Kg) =				51		
σ (Kg/cm²) =				1,71		
τ (Kg/cm²) =				1,22		
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	1,71	0,00%
15,00	99	10,098	29,800	0,34	1,71	0,19%
15,00	158	16,116	29,800	0,54	1,71	0,30%
15,00	209	21,318	29,800	0,72	1,71	0,52%
15,00	249	25,398	29,800	0,85	1,71	0,61%
15,00	278	28,356	29,800	0,95	1,71	0,77%
15,00	306	31,212	29,800	1,05	1,71	0,90%
15,00	328	33,456	29,800	1,12	1,71	1,06%
15,00	345	35,190	29,800	1,18	1,71	1,20%
15,00	349	35,598	29,800	1,19	1,71	1,37%
15,00	354	36,108	29,800	1,21	1,71	1,52%
30,00	356	36,312	29,800	1,22	1,71	1,81%
30,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
30,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
30,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulfi

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Grava mal graduada con arena

PERFORACIÓN: C - 2

PROFUNDIDAD: 3,50 mt

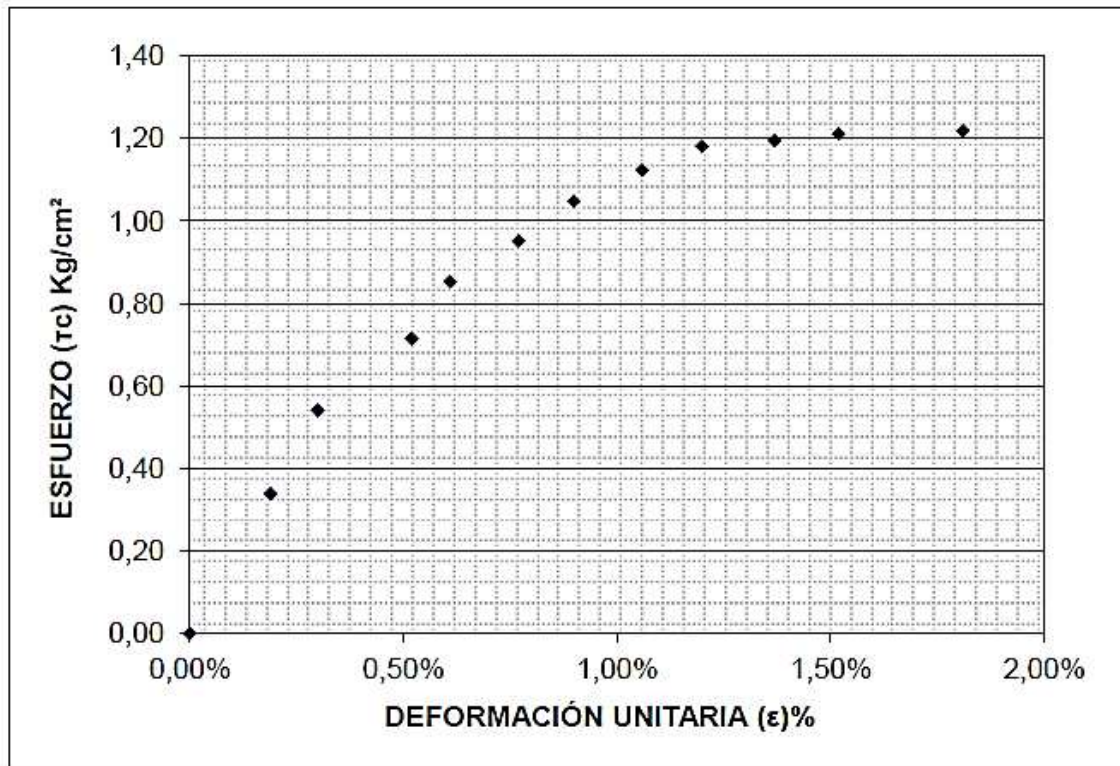
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M3

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3084

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 3		
Esfuerzo Cortante		
$\tau_{max} =$	1,22	Kg/cm^2
Esfuerzo Normal		
$\sigma =$	1,71	Kg/cm^2

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulfi

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Grava mal graduada con arena

PERFORACIÓN: C - 2

PROFUNDIDAD: 3,50 mt

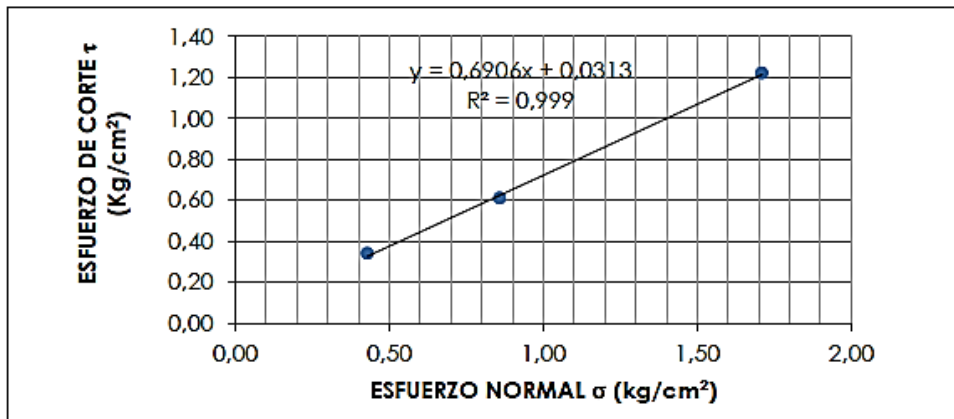
FECHA: julio del 2020

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

GRÁFICO DE LA ENVOLVENTE DE FALLA: MUESTRAS REMOLDEADAS

DATOS				
Espécimen	Esfuerzo Normal σ Kg/cm ²	Esfuerzo de Corte τ Kg/cm ²	$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi$	
			C Kg/cm ²	ϕ (°)
1	0,43	0,34	0,03	34,63
2	0,86	0,61		
3	1,71	1,22		



RESULTADOS			ENVOLVENTE DE FALLA
C=	0,03	Kg/cm ²	
ϕ =	35	°	

ANEXO 8: Ensayo de corte directo para diferentes muestras en calicata 3.

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulti						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad						
PERFORACIÓN: C - 3				PROFUNDIDAD: 5,00 mt		
FECHA: julio del 2020				No. Muestra: M1		
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3086
Características de la muestra:						
Díametro (cm):	6,16	Humedad (%):	33,74%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	97,61			
Área (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1630,11			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1218,88			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máquina (mm/min) =				0,65		
Carga normal (Kg) =				12,75		
σ (Kg/cm ²) =				0,43		
τ (Kg/cm ²) =				0,38		
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	0,43	0,00%
15,00	36	3,672	29,800	0,12	0,43	0,19%
15,00	56	5,712	29,800	0,19	0,43	0,32%
15,00	69	7,038	29,800	0,24	0,43	0,44%
15,00	79	8,058	29,800	0,27	0,43	0,60%
15,00	88	8,976	29,800	0,30	0,43	0,75%
15,00	97	9,894	29,800	0,33	0,43	0,91%
15,00	102	10,404	29,800	0,35	0,43	1,06%
15,00	106	10,812	29,800	0,36	0,43	1,21%
15,00	109	11,118	29,800	0,37	0,43	1,33%
15,00	110	11,220	29,800	0,38	0,43	1,50%
30,00	111	11,322	29,800	0,38	0,43	1,80%
30,00	111	11,322	29,800	0,38	0,43	2,06%
30,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulti

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: C - 3

PROFUNDIDAD: 5,00 mt

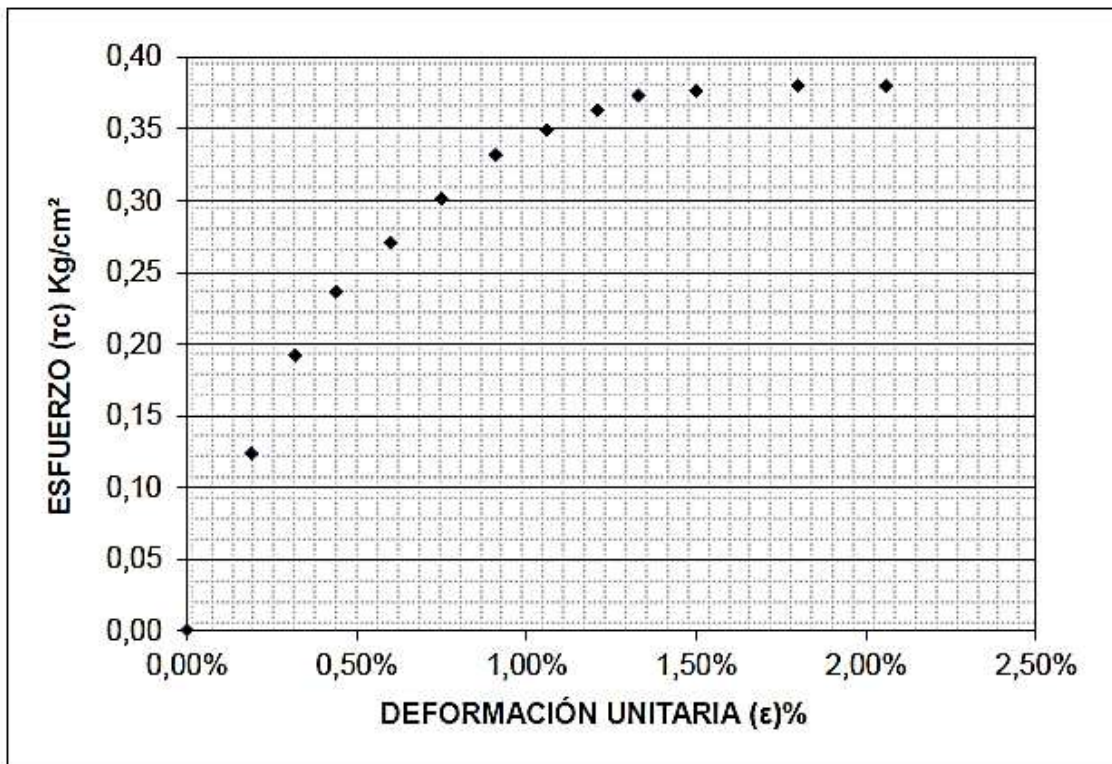
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M1

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 1		
Esfuerzo Cortante		
$\tau_{max} =$	0,38	Kg/cm^2
Esfuerzo Normal		
$\sigma =$	0,43	Kg/cm^2

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulti

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: C - 3 **PROFUNDIDAD:** 5,00 mt

FECHA DE ENSAYO: julio del 2020

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA ASTM D-3086

Características del espécimen:

Espécimen	Altura	Diámetro A	Diámetro B	Area	Volumen	W molde	W molde + muestra	W húmedo muestra	ph
#	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm ³)	(gr)	(gr)	(gr)	(Kg/m ³)
1	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	41,62	139,23	97,61	1630,11
2	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	40,74	138,34	97,60	1629,94
3	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	42,96	140,78	97,82	1633,62

Contenido de humedad:

Espécimen	# tarro	W tarro	W tarro+muestra	W seco	Humedad ω (%)	Promedio parcial ω (%)
1	19	16,76	42,05	35,67	33,74%	33,74%
2	4	17,11	41,18	35,23	32,84%	32,84%
3	8	16,62	42,57	35,99	33,97%	33,97%

Resumen de Datos

Humedad Promedio Total:	33,52	%
Densidad Húmeda Prom. Total:	1631	(Kg/m ³)

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulfi						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad						
PERFORACIÓN: C - 3			PROFUNDIDAD: 5,00 mt			
FECHA: julio del 2020			No. Muestra: M2			
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3086
Características de la muestra:						
Diametro (cm):	6,16	Humedad (%):	32,84%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	97,60			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1629,94			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1227,03			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máquima (mm/min) =		0,65				
Carga normal (Kg) =		25,5				
σ (Kg/cm ²) =		0,86				
τ (Kg/cm ²) =		0,47				
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA CORREGIDA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	0,86	0,00%
15,00	42	4,284	29,800	0,14	0,86	0,13%
15,00	72	7,344	29,800	0,25	0,86	0,30%
15,00	93	9,486	29,800	0,32	0,86	0,45%
15,00	108	11,016	29,800	0,37	0,86	0,60%
15,00	119	12,138	29,800	0,41	0,86	0,76%
15,00	127	12,954	29,800	0,43	0,86	0,92%
15,00	132	13,464	29,800	0,45	0,86	1,08%
15,00	135	13,770	29,800	0,46	0,86	1,23%
15,00	137	13,974	29,800	0,47	0,86	1,41%
15,00	137	13,974	29,800	0,47	0,86	1,53%
30,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00						
90,00						

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulñi

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: C - 3

PROFUNDIDAD: 5,00 mt

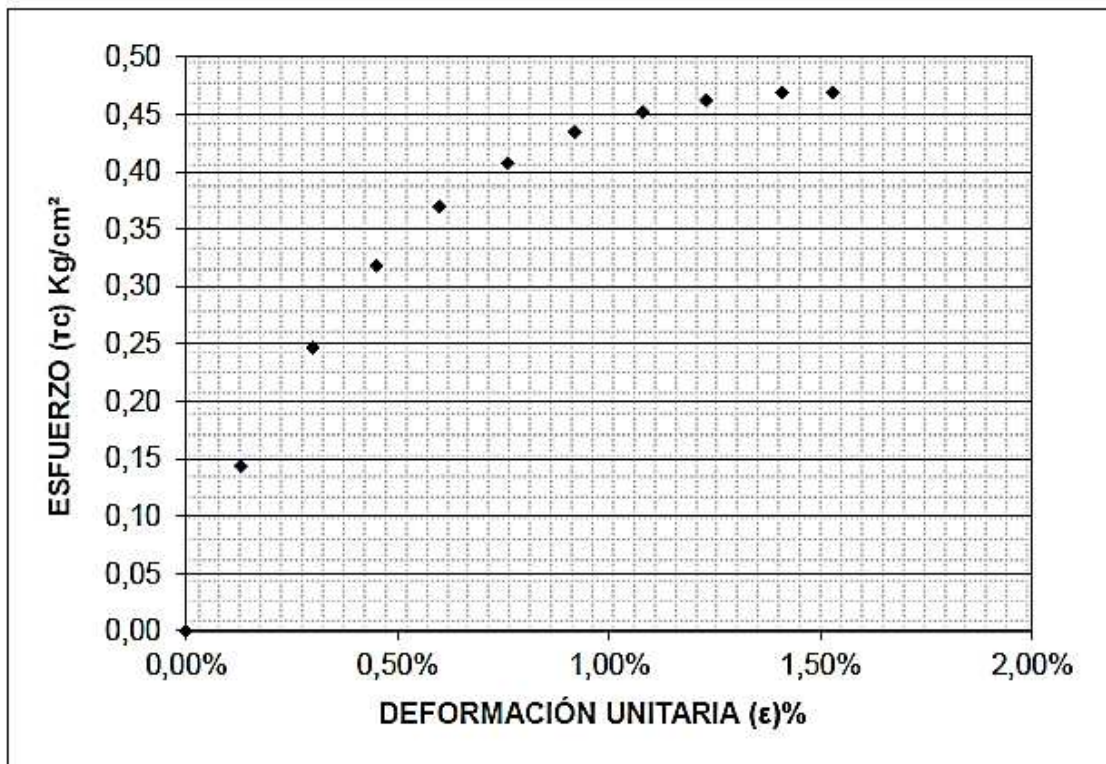
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M2

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 2		
Esfuerzo Cortante		
$\tau_{max} =$	0,47	Kg/cm^2
Esfuerzo Normal		
$\sigma =$	0,86	Kg/cm^2

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulfi						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad						
PERFORACIÓN: C - 3				PROFUNDIDAD: 5,00 mt		
FECHA: julio del 2020				No. Muestra: M3		
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3086
Características de la muestra:						
Díametro (cm):	6,16	Humedad (%):	33,97%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	97,60			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1633,62			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1219,39			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máxima (mm/min) =				0,65		
Carga normal (Kg) =				51		
σ (Kg/cm²) =				1,71		
τ (Kg/cm²) =				0,60		
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	1,71	0,00%
15,00	73	7,446	29,800	0,25	1,71	0,19%
15,00	103	10,506	29,800	0,35	1,71	0,34%
15,00	124	12,648	29,800	0,42	1,71	0,48%
15,00	138	14,076	29,800	0,47	1,71	0,61%
15,00	150	15,300	29,800	0,51	1,71	0,72%
15,00	159	16,218	29,800	0,54	1,71	0,87%
15,00	165	16,830	29,800	0,56	1,71	1,01%
15,00	168	17,136	29,800	0,58	1,71	1,17%
15,00	172	17,544	29,800	0,59	1,71	1,31%
15,00	176	17,952	29,800	0,60	1,71	1,47%
30,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
30,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
30,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
30,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulti

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: C - 3

PROFUNDIDAD: 5,00 mt

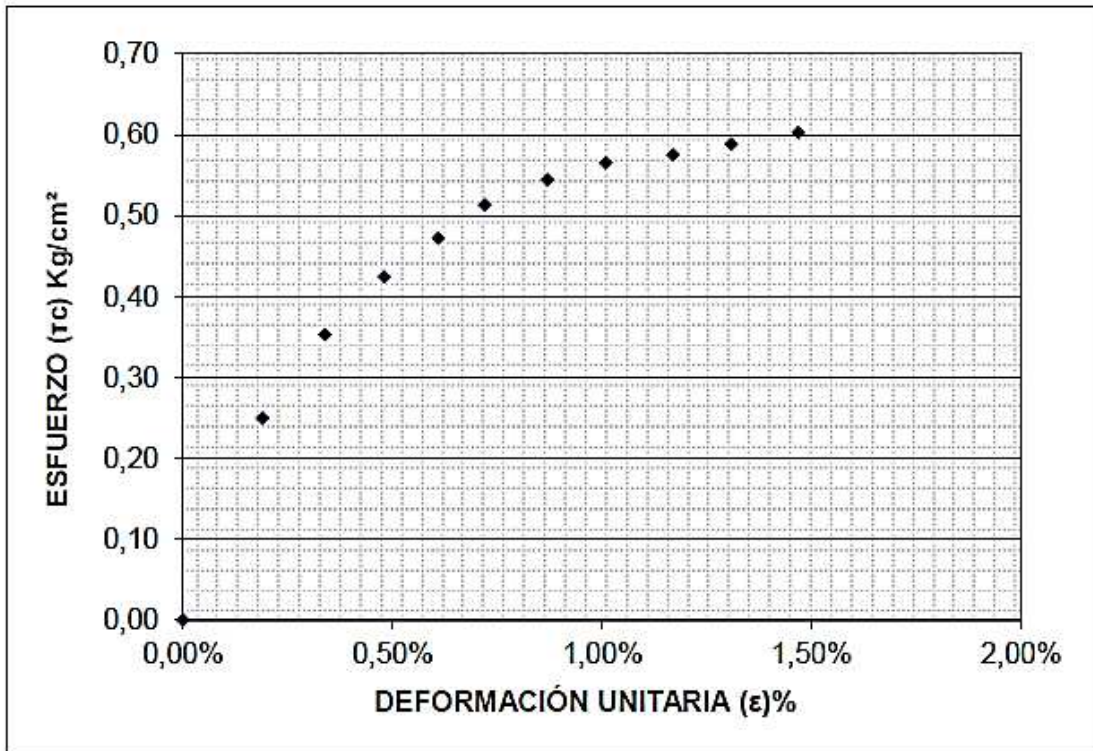
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M3

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 3		
Esfuerzo Cortante		
$\tau_{\text{max}} =$	0,60	Kg/cm^2
Esfuerzo Normal		
$\sigma =$	1,71	Kg/cm^2

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulfi

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: C - 3

PROFUNDIDAD: 5,00 mt

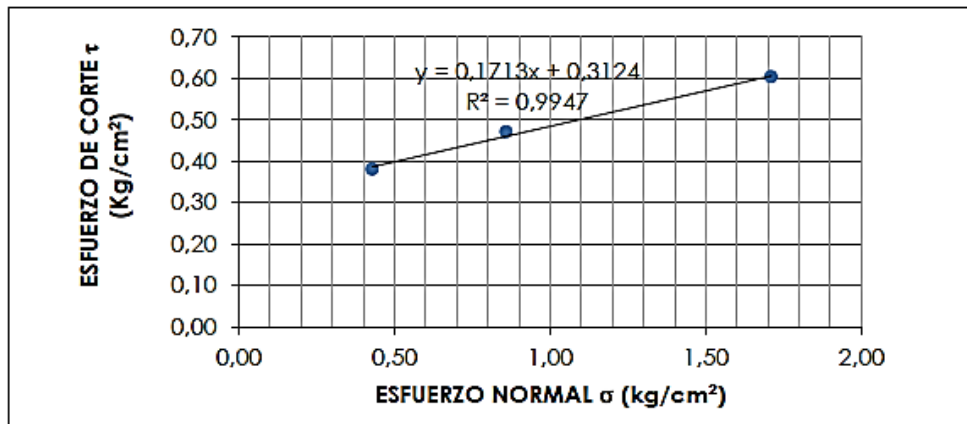
FECHA: julio del 2020

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

GRÁFICO DE LA ENVOLVENTE DE FALLA: MUESTRAS REMOLDEADAS

DATOS				
Espécimen	Esfuerzo Normal σ	Esfuerzo de Corte τ	$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi$	
			C	ϕ
#	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	(°)
1	0,43	0,38	0,31	9,72
2	0,86	0,47		
3	1,71	0,60		



RESULTADOS			ENVOLVENTE DE FALLA
C=	0,31	Kg/cm ²	
ϕ =	10	°	

ANEXO 9: Ensayo de corte directo para diferentes muestras en calicata 4.

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulti						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad						
PERFORACIÓN: C - 4				PROFUNDIDAD: 5,00 mt		
FECHA: julio del 2020				No. Muestra: M1		
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3084
Características de la muestra:						
Diametro (cm):	6,16	Humedad (%):	42,44%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	97,61			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1630,11			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1144,45			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máquina (mm/min) =				0,65		
Carga normal (Kg) =				12,75		
σ (Kg/cm²) =				0,43		
τ (Kg/cm²) =				0,39		
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	0,43	0,00%
15,00	34	3,468	29,800	0,12	0,43	0,19%
15,00	51	5,202	29,800	0,17	0,43	0,32%
15,00	65	6,630	29,800	0,22	0,43	0,44%
15,00	77	7,854	29,800	0,26	0,43	0,60%
15,00	88	8,976	29,800	0,30	0,43	0,75%
15,00	95	9,690	29,800	0,33	0,43	0,91%
15,00	102	10,404	29,800	0,35	0,43	1,06%
15,00	106	10,812	29,800	0,36	0,43	1,21%
15,00	110	11,220	29,800	0,38	0,43	1,33%
15,00	112	11,424	29,800	0,38	0,43	1,50%
30,00	114	11,628	29,800	0,39	0,43	1,80%
30,00	114	11,628	29,800	0,39	0,43	2,06%
30,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulti

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: C - 4

PROFUNDIDAD: 5,00 mt

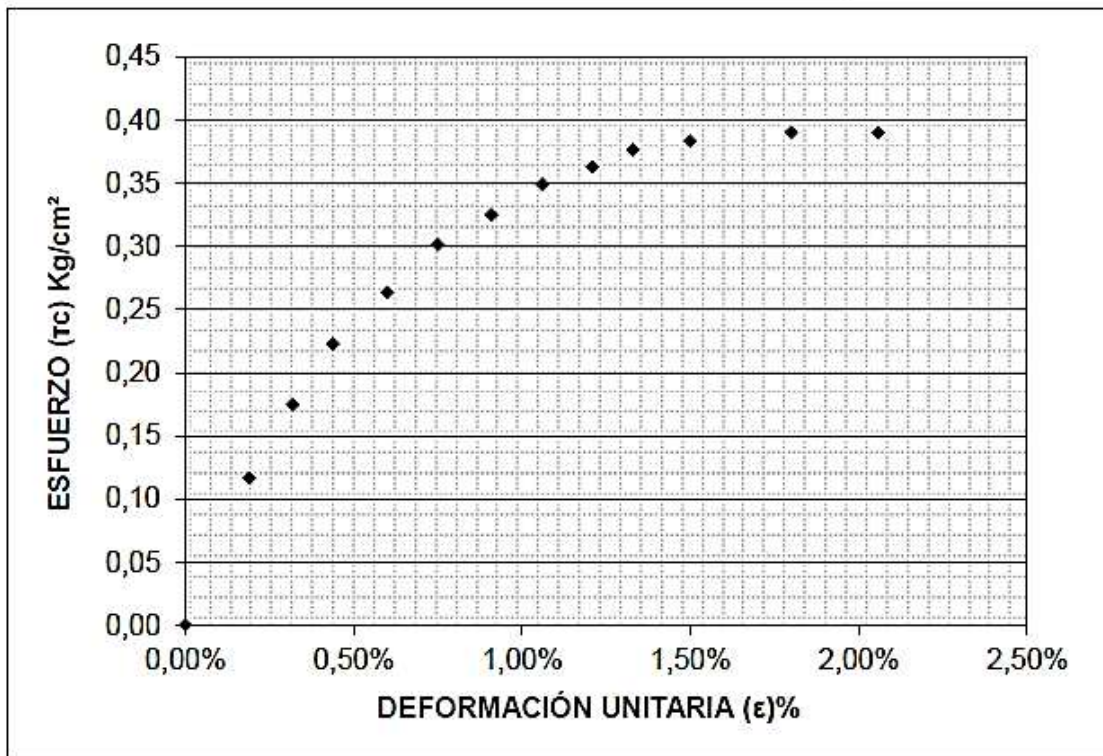
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M1

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 1		
Esfuerzo Cortante		
τ max=	0,39	Kg/cm ²
Esfuerzo Normal		
σ =	0,43	Kg/cm ²

PROYECTO:	Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo								
UBICACIÓN:	Nulfi								
DESCRIPCIÓN DEL SUELO:	Arcilla inorgánica de alta compresibilidad								
PERFORACIÓN:	C - 4						PROFUNDIDAD:	5,00 mt	
FECHA DE ENSAYO:	julio del 2020								
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA									ASTM D-3086
Características del espécimen:									
Espécimen	Altura	Diametro A	Diametro B	Area	Volumen	W molde	W molde + muestra	W húmedo muestra	ph
#	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm ³)	(gr)	(gr)	(gr)	(Kg/m ³)
1	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	41,62	139,23	97,61	1630,11
2	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	40,74	138,34	97,60	1629,94
3	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	42,96	140,78	97,82	1633,62
Contenido de humedad:									
Espécimen	# tarro	W tarro	W tarro+muestra	W seco	Humedad ω (%)	Promedio parcial ω (%)			
1	3	17,23	35,12	29,79	42,44%	42,44%			
2	12	16,88	40,23	33,26	42,55%	42,55%			
3	7	16,58	40,08	33,12	42,08%	42,08%			
Resumen de Datos									
Humedad Promedio Total:					42,36	%			
Densidad Húmeda Prom. Total:					1631	(Kg/m ³)			

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulti						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad						
PERFORACIÓN: C - 4				PROFUNDIDAD: 5,00 mt		
FECHA: julio del 2020				No. Muestra: M2		
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3086
Características de la muestra:						
Diametro (cm):	6,16	Humedad (%):	42,55%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	97,60			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1629,94			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1143,40			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máquina (mm/min) =		0,65				
Carga normal (Kg) =		25,5				
σ (Kg/cm ²) =		0,86				
τ (Kg/cm ²) =		0,44				
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA CORREGIDA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	0,86	0,00%
15,00	45	4,590	29,800	0,15	0,86	0,13%
15,00	71	7,242	29,800	0,24	0,86	0,30%
15,00	88	8,976	29,800	0,30	0,86	0,45%
15,00	102	10,404	29,800	0,35	0,86	0,60%
15,00	114	11,628	29,800	0,39	0,86	0,76%
15,00	121	12,342	29,800	0,41	0,86	0,92%
15,00	127	12,954	29,800	0,43	0,86	1,08%
15,00	129	13,158	29,800	0,44	0,86	1,23%
15,00	130	13,260	29,800	0,44	0,86	1,41%
15,00	130	13,260	29,800	0,44	0,86	1,53%
30,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00						
90,00						

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulfi

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: C - 4

PROFUNDIDAD: 5,00 mt

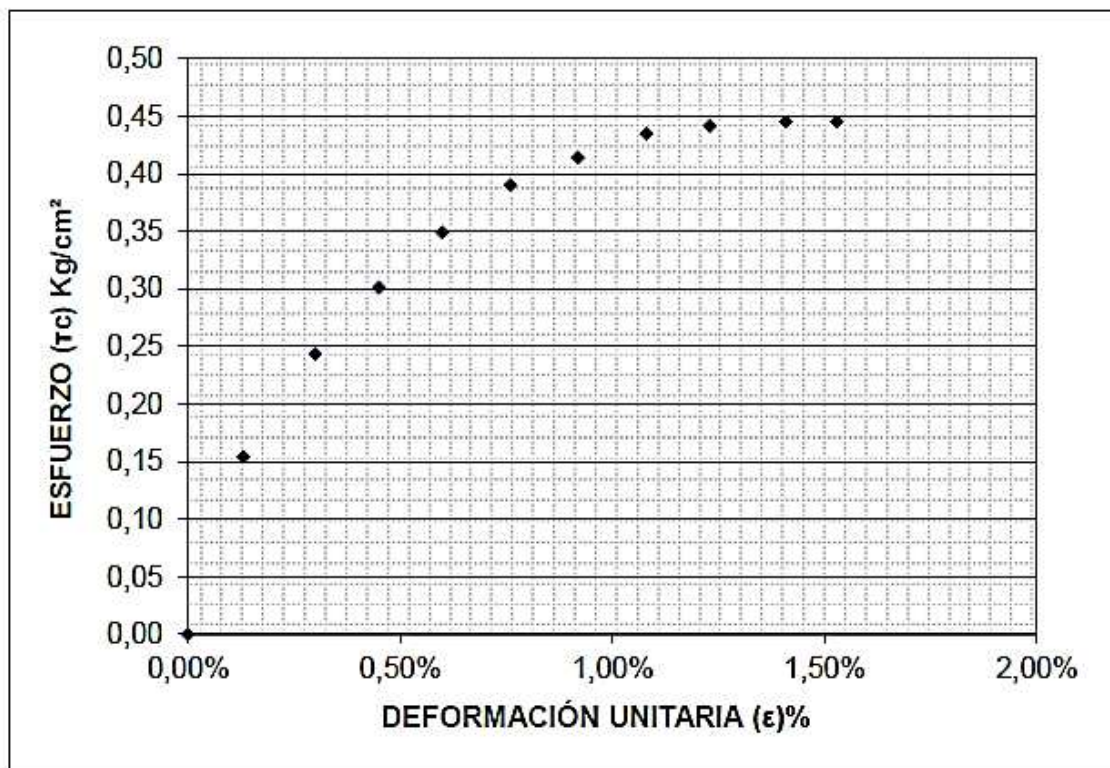
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M2

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 2		
Esfuerzo Cortante		
$\tau_{max} =$	0,44	Kg/cm ²
Esfuerzo Normal		
$\sigma =$	0,86	Kg/cm ²

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulfi						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad						
PERFORACIÓN: C - 4				PROFUNDIDAD: 5,00 mt		
FECHA: julio del 2020				No. Muestra: M3		
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3086
Características de la muestra:						
Díametro (cm):	6,16	Humedad (%):	42,08%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	97,60			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1633,62			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1149,79			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máquina (mm/min) =				0,65		
Carga normal (Kg) =				51		
σ (Kg/cm²) =				1,71		
τ (Kg/cm²) =				0,56		
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	1,71	0,00%
15,00	60	6,120	29,800	0,21	1,71	0,19%
15,00	95	9,690	29,800	0,33	1,71	0,34%
15,00	119	12,138	29,800	0,41	1,71	0,48%
15,00	135	13,770	29,800	0,46	1,71	0,61%
15,00	146	14,892	29,800	0,50	1,71	0,72%
15,00	156	15,912	29,800	0,53	1,71	0,87%
15,00	163	16,626	29,800	0,56	1,71	1,01%
15,00	165	16,830	29,800	0,56	1,71	1,17%
15,00	165	16,830	29,800	0,56	1,71	1,31%
15,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
30,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
30,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
30,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
30,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulti

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: C - 4

PROFUNDIDAD: 5,00 mt

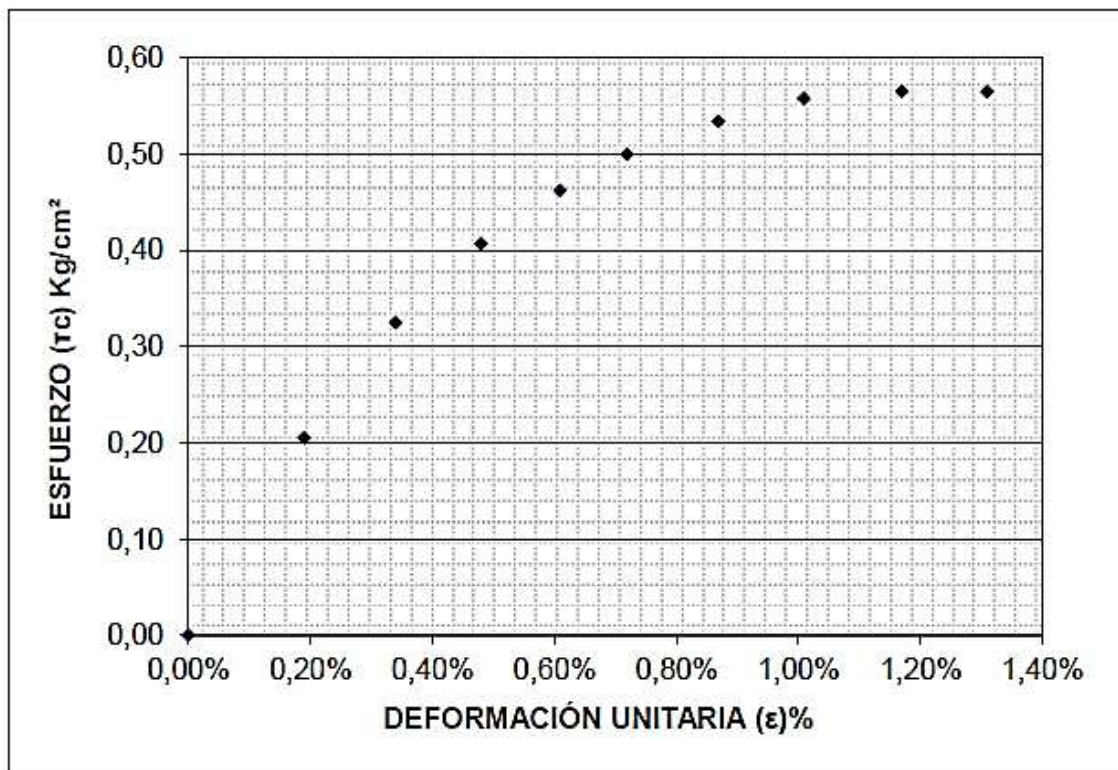
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M3

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 3		
Esfuerzo Cortante		
$\tau_{max} =$	0,56	Kg/cm ²
Esfuerzo Normal		
$\sigma =$	1,71	Kg/cm ²

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulfi

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: C - 4

PROFUNDIDAD: 5,00 mt

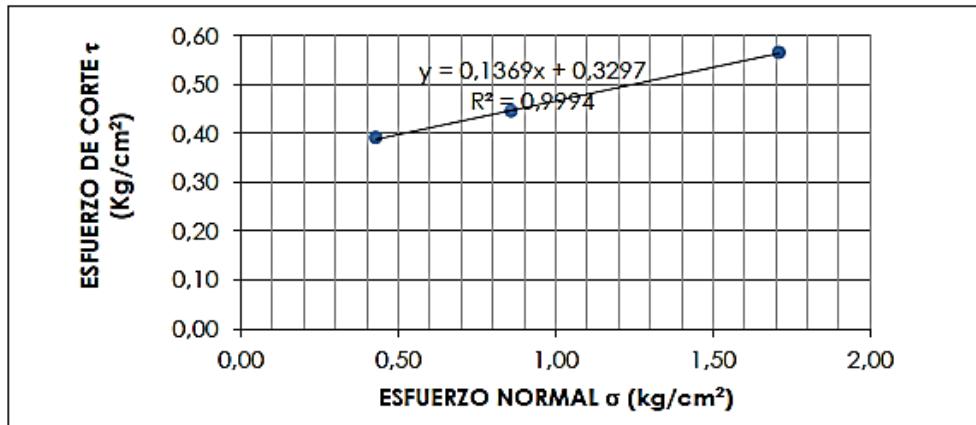
FECHA: julio del 2020

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

GRÁFICO DE LA ENVOLVENTE DE FALLA: MUESTRAS REMOLDEADAS

DATOS				
Espécimen	Esfuerzo Normal σ	Esfuerzo de Corte τ	$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi$	
			C	ϕ
#	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	(°)
1	0,43	0,39	0,33	7,79
2	0,86	0,44		
3	1,71	0,56		



RESULTADOS			ENVOLVENTE DE FALLA
C=	0,33	Kg/cm ²	
ϕ =	8	°	

ANEXO 10: Ensayos realizados en SPT 1.

LABORATORIO DE SUELOS						1/2
ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						
Proyecto: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
Uso: Estabilidad			Calculado:			
Pozo: SPT 1			Procedencia: Multi			
Profundidad: 2,50 mt			Fecha: julio del 2020			
NORMAS: AASHTO T-11 T-27 ASTM: D422-83						
TAMIZ (mm)	Pulg.	PESO RETENIDO PARCIAL (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA	
3"	76,200		-	-	100,0	
2 1/2"	63,500		-	-	100,0	
2"	50,800		-	-	100,0	
1 1/2"	38,100		-	-	100,0	
1"	25,400		-	-	100,0	
3/4"	19,050		-	-	100,0	
1/2"	12,700		-	-	100,0	
3/8"	9,525		-	-	100,0	
Nº 4	4,750		-	-	100,0	
< Nº 4	4,750	-	500	(100,0)	100,0	
Nº 10	2,000		-	-	100,0	
Nº 40	0,425	25,0	25,0	5,0	95,0	
Nº 200	0,075	7,3	32,3	6,5	(93,5)	
< Nº 200	<0,075	467,7	467,7	(93,5)		
* Abertura de los tamices tomado del libro "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica", Braja M. Das, Pg. 8						
PESO TOTAL DE LA MUESTRA			500,00	CUARTEO		
CLASIFICACIÓN		GRAVA =	0,00%	Peso total antes del lavado		500,00
SUCS	CH	ARENA =	8,00%	Peso total después del lavado		32,29
AASHTO	A-7-5 (50)	FINOS =	94,00%			
OBSERVACIONES: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad						
CURVA GRANULOMÉTRICA						

LABORATORIO DE SUELOS

2/2

Proyecto: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

Uso: Estabilidad

Calculado:

Pozo: SPT 1

Procedencia: Nulti

Profundidad: 2,50 mt

Fecha: julio del 2020

HUMEDAD NATURAL

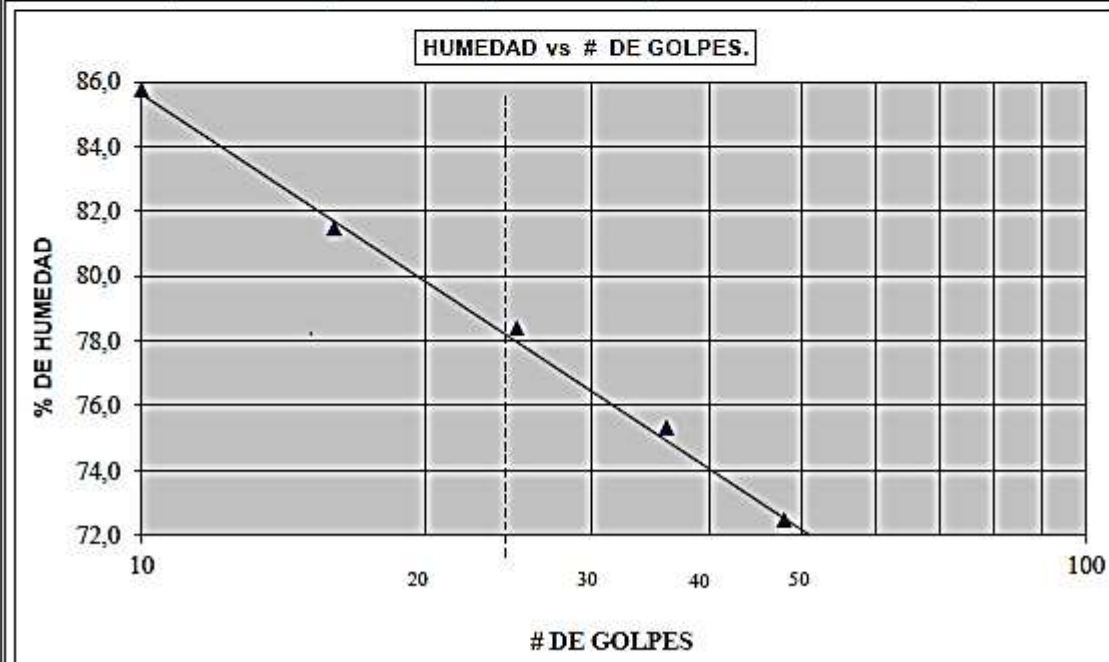
N° de Tarro	N° de golpes	Peso suelo húmedo + tarro	Peso suelo seco + tarro	Peso tarro	% de Humedad	PROMEDIO
20	—	39,77	34,91	16,77	26,79	26,65
17	—	33,99	30,56	17,74	26,76	
7	—	38,32	33,78	16,58	26,40	

LIMITE LIQUIDO

14	10	27,7	22,65	16,76	85,74	78,10
15	16	28,83	23,51	16,98	81,47	
10	25	28,11	23,07	16,64	78,38	
7	36	27,80	22,98	16,58	75,31	
5	48	28,46	23,62	16,94	72,46	

LIMITE PLASTICO

2	—	18,04	17,72	16,76	33,33	32,95
1	—	17,99	17,65	16,63	33,33	
18	—	18,63	18,35	17,48	32,18	



Límite Líquido a 25 golpes = 78,10% Índice de plasticidad = 45,15

LABORATORIO DE SUELOS						1/2
ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						
Proyecto: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
Uso: Estabilidad		Calculado:				
Pozo: SPT 1		Procedencia: Nulli				
Profundidad: 6,50 mt		Fecha: julio del 2020				
NORMAS: AASHTO T-11 T-27 ASTM: D422-88						
TAMIZ	Pulg.	PESO RETENIDO PARCIAL (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA	
3"	76,200		-	-	100,0	
2 1/2"	63,500		-	-	100,0	
2"	50,800		-	-	100,0	
1 1/2"	38,100		-	-	100,0	
1"	25,400		-	-	100,0	
3/4 "	19,050		-	-	100,0	
1/2 "	12,700		-	-	100,0	
3/8 "	9,525		-	-	100,0	
N° 4	4,750		-	-	100,0	
< N° 4	4,750	-	400	(100,0)	100,0	
N° 10	2,000		-	-	100,0	
N° 40	0,425	18,3	18,3	4,6	95,4	
N° 200	0,075	6,9	25,3	6,3	(93,7)	
< N° 200	<0,075	374,7	374,7	(93,7)		
* Abertura de los tamices tomado del libro "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica", Braja M. Das, Pg. 8						
PESO TOTAL DE LA MUESTRA			400,00	CUARTEO		
CLASIFICACIÓN		GRAVA =	0,00%	Peso total antes del lavado		400,00
SUCS	CH	ARENA =	6,00%	Peso total después del lavado		25,27
AASHTO	A-7-6 (47)	FINOS =	94,00%			
OBSERVACIONES: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad						
CURVA GRANULOMÉTRICA						
<p style="text-align: right;">◆ Porcentaje que Pasa</p>						

LABORATORIO DE SUELOS

2/2

Proyecto: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

Uso: Estabilidad

Calculado:

Pozo: SPT 1

Procedencia: Nulti

Profundidad: 6,50 mt

Fecha: julio del 2020

HUMEDAD NATURAL

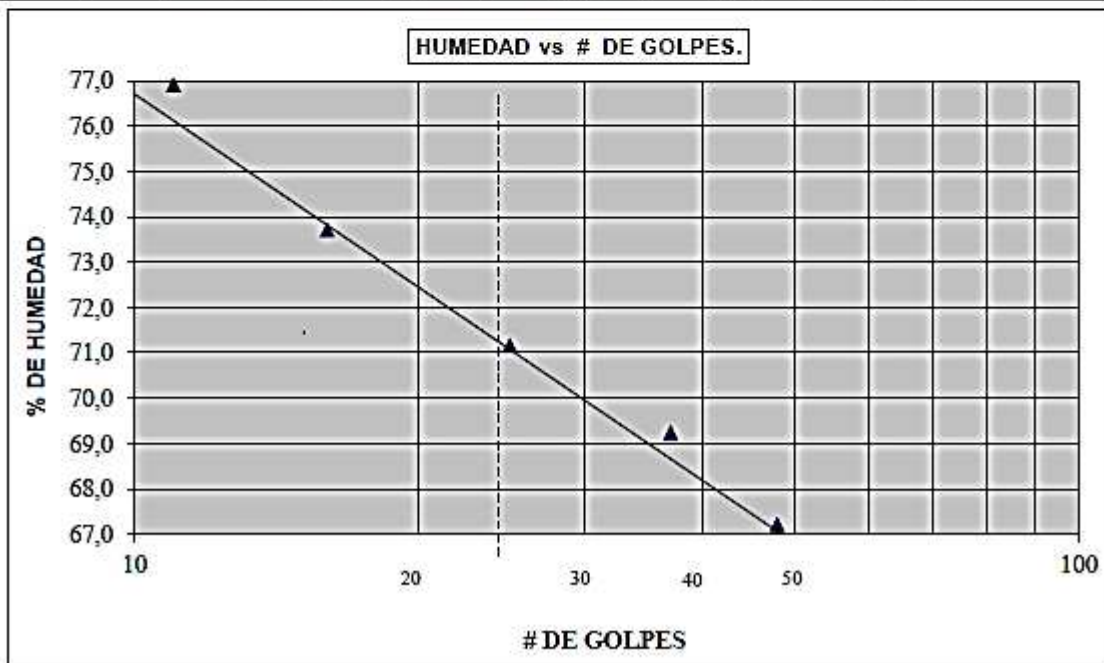
N° de Tarro	N° de golpes	Peso suelo húmedo + tarro	Peso suelo seco + tarro	Peso tarro	% de Humedad	PROMEDIO
13	—	41,35	36,98	17,36	22,27	21,90
4	—	43,80	38,80	17,11	23,05	
36	—	42,73	36,86	8,05	20,37	

LIMITE LIQUIDO

7	11	27,76	22,9	16,58	76,90	71,36
1	16	28,06	23,21	16,63	73,71	
15	25	28,67	23,81	16,98	71,16	
14	37	27,76	23,26	16,76	69,23	
11	48	27,38	23,18	16,93	67,20	

LIMITE PLASTICO

9	—	17,99	17,71	16,73	28,57	27,80
10	—	17,93	17,65	16,64	27,72	
18	—	18,84	18,55	17,48	27,10	



Limite Líquido a 25 golpes = 71,36% Índice de plasticidad = 43,56

LABORATORIO DE SUELOS						
ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						
1/2						
Proyecto: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
Uso: Estabilidad			Calculado:			
Pozo: SPT 1			Procedencia: Multi			
Profundidad: 7,50 mt			Fecha: julio del 2020			
NORMAS: AASHTO T-11 T-27 ASTM: D422-83						
TAMIZ	(mm)	Pulg.	PESO RETENIDO PARCIAL (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA
3"	76,200			-	-	100,0
2 1/2"	63,500			-	-	100,0
2"	50,800			-	-	100,0
1 1/2"	38,100			-	-	100,0
1"	25,400			-	-	100,0
3/4 "	19,050			-	-	100,0
1/2 "	12,700			-	-	100,0
3/8 "	9,525			-	-	100,0
N° 4	4,750			-	-	100,0
< N° 4	4,750		-	500	(100,0)	100,0
N° 10	2,000			-	-	100,0
N° 40	0,425		27,7	27,7	5,5	94,5
N° 200	0,075		13,2	40,9	8,2	(91,8)
< N° 200	<0,075		459,1	459,1	(91,8)	
* Abertura de los tamices tomado del libro "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica", Braja M. Das, Pg. 8						
PESO TOTAL DE LA MUESTRA				500,00	CUARTEO	
CLASIFICACIÓN			GRAVA = 0,00%	Peso total antes del lavado		500,00
SUCS	CH	ARENA = 8,00%	Peso total después del lavado		40,89	
AASHTO	A-7-5 (50)	FINOS = 92,00%				
OBSERVACIONES: Arcilla densa arenosa						
CURVA GRANULOMÉTRICA						
<p style="text-align: right;">◆ Porcentaje que Pasa</p>						

LABORATORIO DE SUELOS

2/2

Proyecto: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

Uso: Estabilidad

Calculado:

Pozo: SPT 1

Procedencia: Nulti

Profundidad: 7,50 mt

Fecha: julio del 2020

HUMEDAD NATURAL

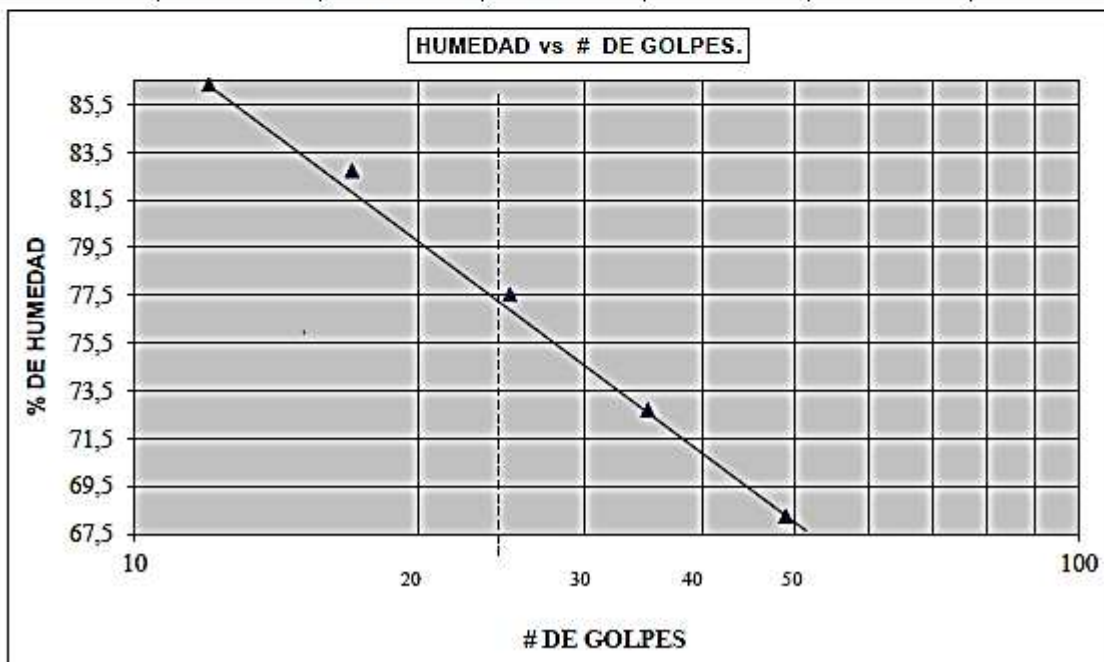
N° de Tarro	N° de golpes	Peso suelo húmedo + tarro	Peso suelo seco + tarro	Peso tarro	% de Humedad	PROMEDIO
2	—	40,89	36,40	18,76	22,86	22,98
14	—	43,21	38,41	18,76	22,17	
16	—	43,03	37,99	18,91	23,81	

LIMITE LIQUIDO

17	12	28,55	24,08	17,74	86,31	77,20
5	17	28,54	23,29	18,94	82,71	
12	25	28,88	23,64	18,88	77,51	
7	35	28,91	23,72	18,58	72,69	
10	49	27,78	23,25	18,64	68,23	

LIMITE PLASTICO

11	—	18,29	17,97	18,93	30,29	30,58
14	—	18,21	17,87	18,76	30,81	
13	—	18,37	18,90	17,36	30,65	



Límite Líquido a 25 golpes = 77,20% Índice de plasticidad = 46,62

LABORATORIO DE SUELOS									
ENSAYO DE PRESIÓN DE HINCHAMIENTO LIBRE (ASTM D 4546)									
PROYECTO:	Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo								
UBICACIÓN:	Nulfi								
DESCRIPCIÓN DEL SUELO:	Arcilla inorgánica de alta compresibilidad								
PERFORACIÓN:	SPT 1	PROFUNDIDAD:	2.50 mt						
FECHA:	julio del 2020								
PRESIÓN DE EXPANSIÓN									
DATOS DEL MOLDE		CARACTERÍSTICAS DEL ESPÉCIMEN							
Diámetro del molde	$\phi = 6,16$ cm	W molde	Wm= 41,56 g						
Altura del molde	h = 2,01 cm	W molde + muestra	Wm+s= 139,99 g						
Área	A = 29,80 cm ²	W húmedo muestra	Ws= 98,43 g						
Volumen	V = 59,90 cm ³	Densidad húmeda	Yh= 1,643 g/cm ³						
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Longitud Inicial (cm)</th> <th style="text-align: center;">Longitud Final (cm)</th> <th style="text-align: center;">% de Expansión</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1,9</td> <td style="text-align: center;">2,212</td> <td style="text-align: center;">16,42 %</td> </tr> </tbody> </table>				Longitud Inicial (cm)	Longitud Final (cm)	% de Expansión	1,9	2,212	16,42 %
Longitud Inicial (cm)	Longitud Final (cm)	% de Expansión							
1,9	2,212	16,42 %							

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulti						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad						
PERFORACIÓN: SPT 1				PROFUNDIDAD: 2,50 m		
FECHA: julio del 2020				No. Muestra: M1		
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3086
Características de la muestra:						
Diametro (cm):	6,16	Humedad (%):	31,42%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	97,61			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1630,11			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1240,37			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máxuma (mm/min) =				0,65		
Carga normal (Kg) =				12,75		
σ (Kg/cm²) =				0,43		
τ (Kg/cm²) =				0,31		
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	0,43	0,00%
15,00	31	3,162	29,800	0,11	0,43	0,13%
15,00	43	4,386	29,800	0,15	0,43	0,26%
15,00	52	5,304	29,800	0,18	0,43	0,42%
15,00	57	5,814	29,800	0,20	0,43	0,57%
15,00	64	6,528	29,800	0,22	0,43	0,72%
15,00	70	7,140	29,800	0,24	0,43	0,84%
15,00	76	7,752	29,800	0,26	0,43	0,99%
15,00	79	8,058	29,800	0,27	0,43	1,12%
15,00	82	8,364	29,800	0,28	0,43	1,29%
15,00	85	8,670	29,800	0,29	0,43	1,45%
30,00	89	9,078	29,800	0,30	0,43	1,72%
30,00	90	9,180	29,800	0,31	0,43	2,04%
30,00	90	9,180	29,800	0,31	0,43	2,37%
30,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulti

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 1

PROFUNDIDAD: 2,50 m

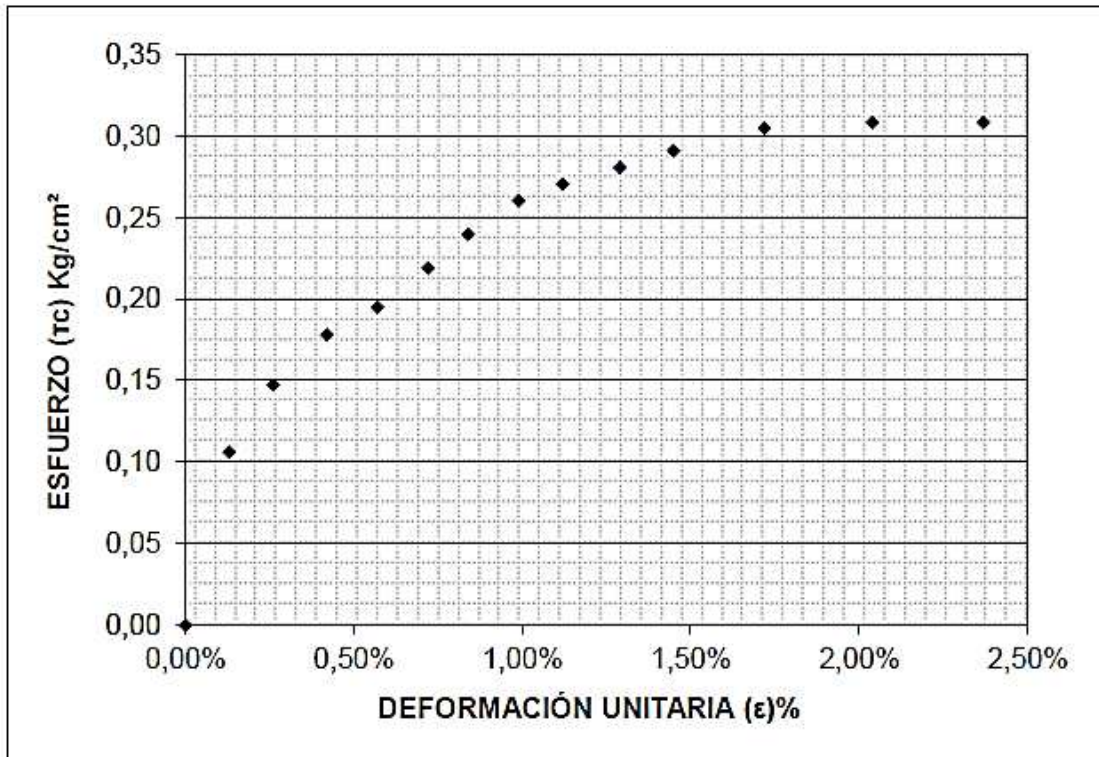
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M1

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 1		
Esfuerzo Cortante		
τ max=	0,31	Kg/cm ²
Esfuerzo Normal		
σ =	0,43	Kg/cm ²

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulfi

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 1 **PROFUNDIDAD:** 2,50 m

FECHA DE ENSAYO: julio del 2020

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA ASTM D-3086

Características del espécimen:

Espécimen	Altura	Diametro A	Diametro B	Area	Volumen	W molde	W molde + muestra	W húmedo muestra	ph
#	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm ³)	(gr)	(gr)	(gr)	(Kg/m ³)
1	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	41,62	139,23	97,61	1630,11
2	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	40,74	138,34	97,60	1629,94
3	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	42,96	140,78	97,82	1633,62

Contenido de humedad:

Espécimen	# tarro	W tarro	W tarro+muestra	W seco	Humedad ω (%)	Promedio parcial ω (%)
1	10	16,64	26,26	23,96	31,42%	31,42%
2	7	16,58	29,94	26,84	30,21%	30,21%
3	9	16,73	31,68	28,23	30,00%	30,00%

Resumen de Datos

Humedad Promedio Total:	30,55	%
Densidad Húmeda Prom. Total:	1631	(Kg/m ³)

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulti						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad						
PERFORACIÓN: SPT 1			PROFUNDIDAD: 2,50 m			
FECHA: julio del 2020			No. Muestra: M2			
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3086
Características de la muestra:						
Diametro (cm):	6,16	Humedad (%):	30,21%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	97,60			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1629,94			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1251,74			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máquina (mm/min) =		0,65				
Carga normal (Kg) =		25,5				
σ (Kg/cm ²) =		0,86				
τ (Kg/cm ²) =		0,42				
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA CORREGIDA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	0,86	0,00%
15,00	46	4,692	29,800	0,16	0,86	0,15%
15,00	64	6,528	29,800	0,22	0,86	0,31%
15,00	82	8,364	29,800	0,28	0,86	0,46%
15,00	92	9,384	29,800	0,31	0,86	0,60%
15,00	104	10,608	29,800	0,36	0,86	0,77%
15,00	111	11,322	29,800	0,38	0,86	0,90%
15,00	116	11,832	29,800	0,40	0,86	1,03%
15,00	119	12,138	29,800	0,41	0,86	1,20%
15,00	121	12,342	29,800	0,41	0,86	1,36%
15,00	122	12,444	29,800	0,42	0,86	1,49%
30,00	122	12,444	29,800	0,42	0,86	1,81%
30,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00						
90,00						

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulti

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 1

PROFUNDIDAD: 2,50 m

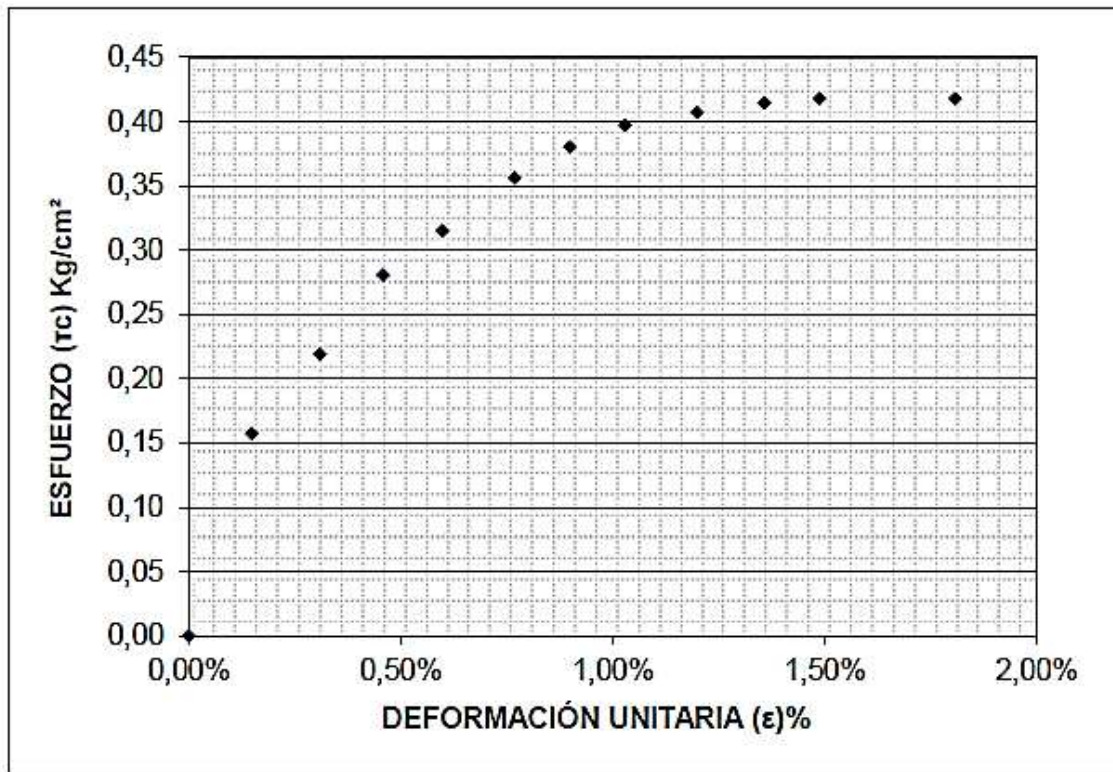
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M2

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 2		
Esfuerzo Cortante		
$\tau_{max} =$	0,42	Kg/cm ²
Esfuerzo Normal		
$\sigma =$	0,86	Kg/cm ²

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulvi						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad						
PERFORACIÓN: SPT 1			PROFUNDIDAD: 2,50 m			
FECHA: julio del 2020			No. Muestra: M3			
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3086
Características de la muestra:						
Diametro (cm):	6,16	Humedad (%):	30,00%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	97,60			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1633,62			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1256,63			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máquina (mm/min) =		0,65				
Carga normal (Kg) =		51				
σ (Kg/cm²) =		1,71				
τ (Kg/cm²) =		0,56				
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	1,71	0,00%
15,00	59	6,018	29,800	0,20	1,71	0,14%
15,00	82	8,364	29,800	0,28	1,71	0,29%
15,00	98	9,996	29,800	0,34	1,71	0,44%
15,00	110	11,220	29,800	0,38	1,71	0,59%
15,00	127	12,954	29,800	0,43	1,71	0,74%
15,00	142	14,484	29,800	0,49	1,71	0,91%
15,00	150	15,300	29,800	0,51	1,71	1,04%
15,00	157	16,014	29,800	0,54	1,71	1,18%
15,00	160	16,320	29,800	0,55	1,71	1,34%
15,00	163	16,626	29,800	0,56	1,71	1,51%
30,00	165	16,830	29,800	0,56	1,71	1,81%
30,00	165	16,830	29,800	0,56	1,71	2,12%
30,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
30,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulfi

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 1

PROFUNDIDAD: 2,50 m

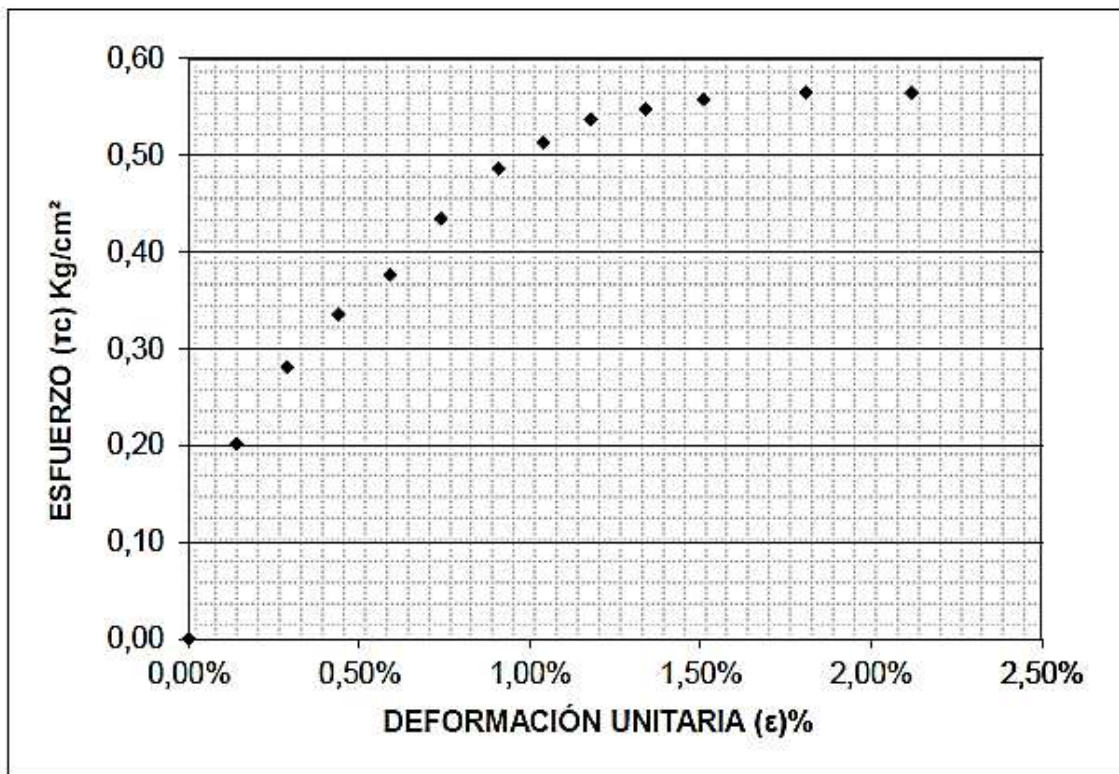
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M3

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 3		
Esfuerzo Cortante		
$\tau_{max} =$	0,56	Kg/cm ²
Esfuerzo Normal		
$\sigma =$	1,71	Kg/cm ²

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nuliti

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 1

PROFUNDIDAD: 2,50 m

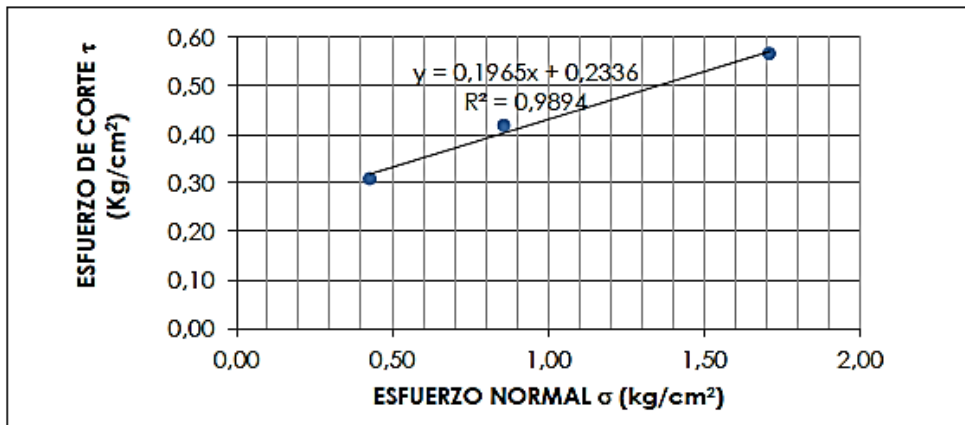
FECHA: julio del 2020

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

GRÁFICO DE LA ENVOLVENTE DE FALLA: MUESTRAS REMOLDEADAS

DATOS				
Especímen	Esfuerzo Normal σ	Esfuerzo de Corte τ	$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi$	
			C	ϕ
#	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	(°)
1	0,43	0,31	0,23	11,12
2	0,86	0,42		
3	1,71	0,56		



RESULTADOS			ENVOLVENTE DE FALLA
C=	0,23	Kg/cm ²	
ϕ =	11	°	

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulfi

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 1

PROFUNDIDAD: 7,50 m

FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M1

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Características de la muestra:

Díametro (cm):	6,16	Humedad (%):	32,80%
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	97,61
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1630,11
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1227,51

Aplicaciones de carga

Velocidad de carga de máquina (mm/min) = 0,65

Carga normal (Kg) = 12,75

σ (Kg/cm²) = 0,43

τ (Kg/cm²) = 0,37

LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0,01 mm)	(x0,002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	0,43	0,00%
15,00	43	4,386	29,800	0,15	0,43	0,13%
15,00	60	6,120	29,800	0,21	0,43	0,26%
15,00	71	7,242	29,800	0,24	0,43	0,42%
15,00	81	8,262	29,800	0,28	0,43	0,57%
15,00	88	8,976	29,800	0,30	0,43	0,72%
15,00	95	9,690	29,800	0,33	0,43	0,84%
15,00	98	9,996	29,800	0,34	0,43	0,99%
15,00	101	10,302	29,800	0,35	0,43	1,12%
15,00	103	10,506	29,800	0,35	0,43	1,29%
15,00	105	10,710	29,800	0,36	0,43	1,45%
30,00	107	10,914	29,800	0,37	0,43	1,72%
30,00	109	11,118	29,800	0,37	0,43	2,04%
30,00	109	11,118	29,800	0,37	0,43	2,37%
30,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulfi

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 1

PROFUNDIDAD: 7,50 m

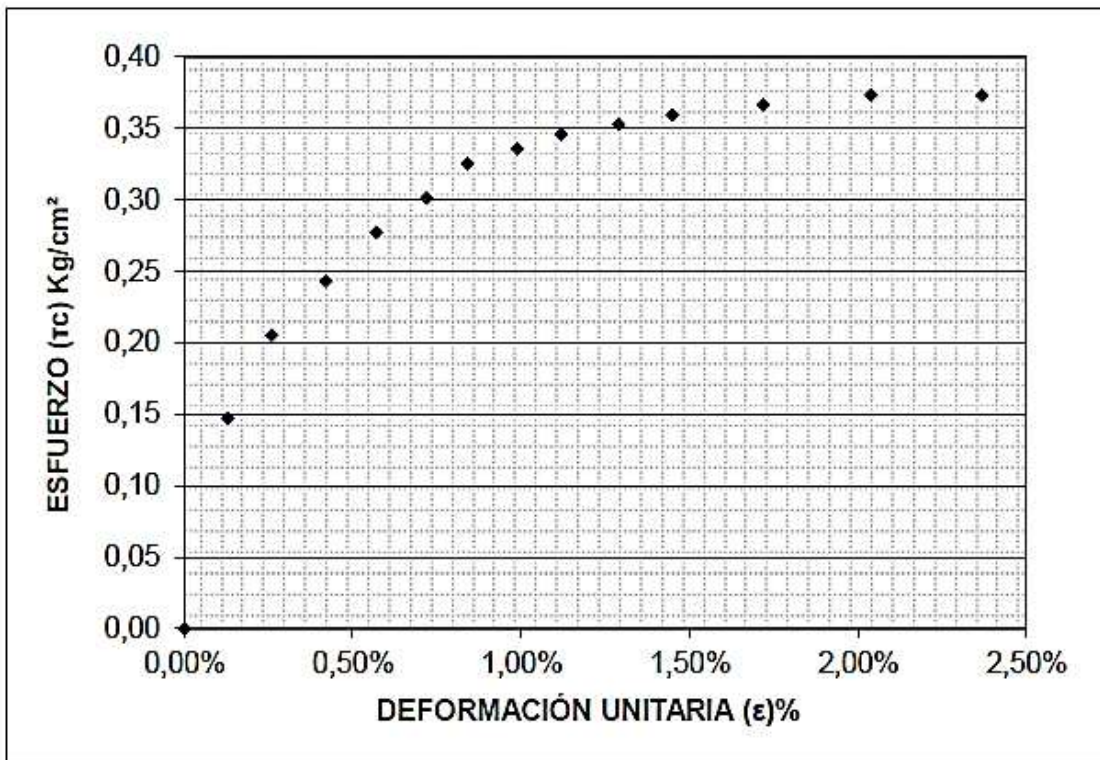
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M1

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 1		
Esfuerzo Cortante		
$\tau_{max} =$	0,37	Kg/cm ²
Esfuerzo Normal		
$\sigma =$	0,43	Kg/cm ²

PROYECTO:	Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo								
UBICACIÓN:	Nulli								
DESCRIPCIÓN DEL SUELO:	Arcilla inorgánica de alta compresibilidad								
PERFORACIÓN:	SPT 1						PROFUNDIDAD:	7,50 m	
FECHA DE ENSAYO:	julio del 2020								
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA									ASTM D-3086
Características del espécimen:									
Espécimen	Altura	Diametro A	Diametro B	Area	Volumen	W molde	W molde + muestra	W húmedo muestra	ph
#	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm ³)	(gr)	(gr)	(gr)	(Kg/m ³)
1	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	41,62	139,23	97,61	1630,11
2	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	40,74	138,34	97,60	1629,94
3	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	42,96	140,78	97,82	1633,62
Contenido de humedad:									
Espécimen	# tarro	W tarro	W tarro+muestra	W seco	Humedad ω (%)	Promedio parcial ω (%)			
1	14	16,76	32,47	28,59	32,80%	32,80%			
2	15	16,98	36,56	31,84	31,76%	31,76%			
3	1	16,63	35,73	31	32,92%	32,92%			
Resumen de Datos									
Humedad Promedio Total:					32,49	%			
Densidad Húmeda Prom. Total:					1631	(Kg/m ³)			

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulti						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad						
PERFORACIÓN: SPT 1			PROFUNDIDAD: 7,50 m			
FECHA: julio del 2020			No. Muestra: M2			
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3086
Características de la muestra:						
Diametro (cm):	6,16	Humedad (%):	31,76%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	97,60			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1629,94			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1237,02			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máxima (mm/min) =		0,65				
Carga normal (Kg) =		25,5				
σ (Kg/cm ²) =		0,86				
τ (Kg/cm ²) =		0,42				
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA CORREGIDA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0,01 mm)	(x0,002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	0,86	0,00%
15,00	53	5,406	29,800	0,18	0,86	0,18%
15,00	69	7,038	29,800	0,24	0,86	0,30%
15,00	81	8,262	29,800	0,28	0,86	0,47%
15,00	91	9,282	29,800	0,31	0,86	0,60%
15,00	99	10,098	29,800	0,34	0,86	0,78%
15,00	106	10,812	29,800	0,36	0,86	0,90%
15,00	111	11,322	29,800	0,38	0,86	1,03%
15,00	115	11,730	29,800	0,39	0,86	1,20%
15,00	118	12,036	29,800	0,40	0,86	1,36%
15,00	121	12,342	29,800	0,41	0,86	1,54%
30,00	123	12,546	29,800	0,42	0,86	1,81%
30,00	123	12,546	29,800	0,42	0,86	2,10%
30,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00						
90,00						

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulti

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 1

PROFUNDIDAD: 7,50 m

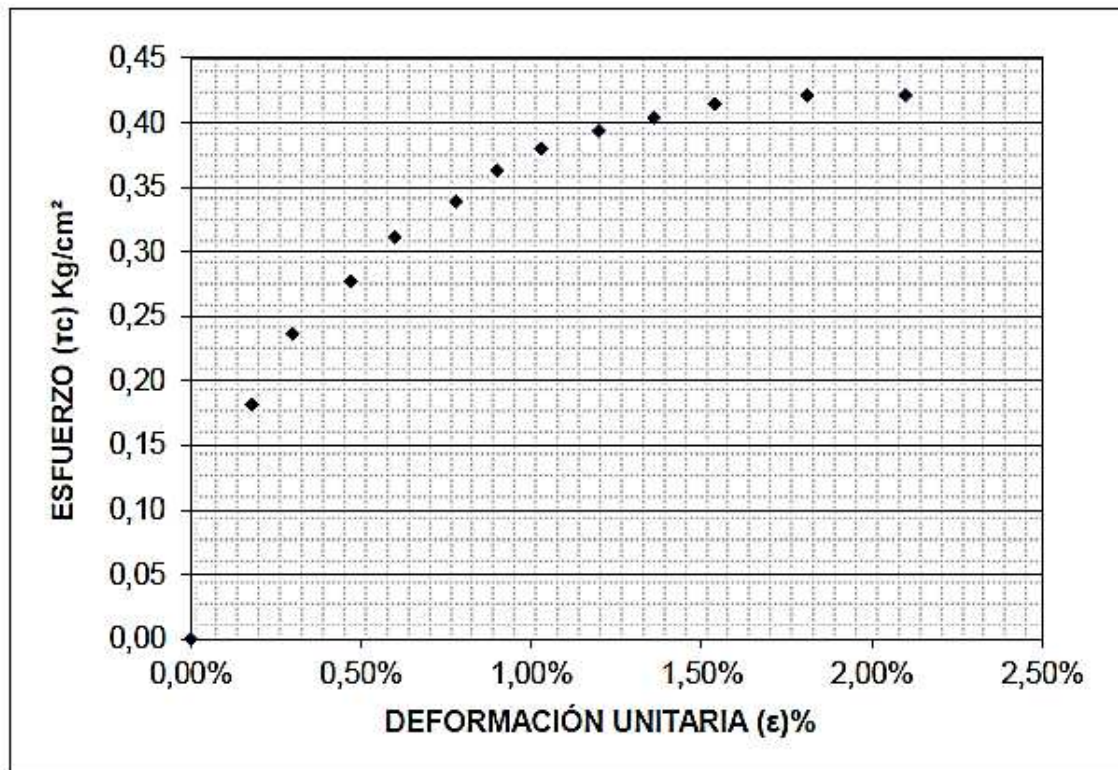
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M2

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 2		
Esfuerzo Cortante		
$\tau_{max} =$	0,42	Kg/cm ²
Esfuerzo Normal		
$\sigma =$	0,86	Kg/cm ²

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulli						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad						
PERFORACIÓN: SPT 1				PROFUNDIDAD: 7,50 m		
FECHA: julio del 2020				No. Muestra: M3		
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3086
Características de la muestra:						
Diametro (cm):	6,16	Humedad (%):	32,92%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	97,60			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1633,62			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1229,06			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máquina (mm/min) =				0,65		
Carga normal (Kg) =				51		
σ (Kg/cm²) =				1,71		
τ (Kg/cm²) =				0,58		
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	1,71	0,00%
15,00	68	6,936	29,800	0,23	1,71	0,14%
15,00	99	10,098	29,800	0,34	1,71	0,29%
15,00	121	12,342	29,800	0,41	1,71	0,44%
15,00	140	14,280	29,800	0,48	1,71	0,59%
15,00	153	15,606	29,800	0,52	1,71	0,74%
15,00	164	16,728	29,800	0,56	1,71	0,91%
15,00	170	17,340	29,800	0,58	1,71	1,04%
15,00	170	17,340	29,800	0,58	1,71	1,18%
15,00	168	17,136	29,800	0,58	1,71	1,31%
15,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
30,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
30,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
30,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
30,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulfi

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 1

PROFUNDIDAD: 7,50 m

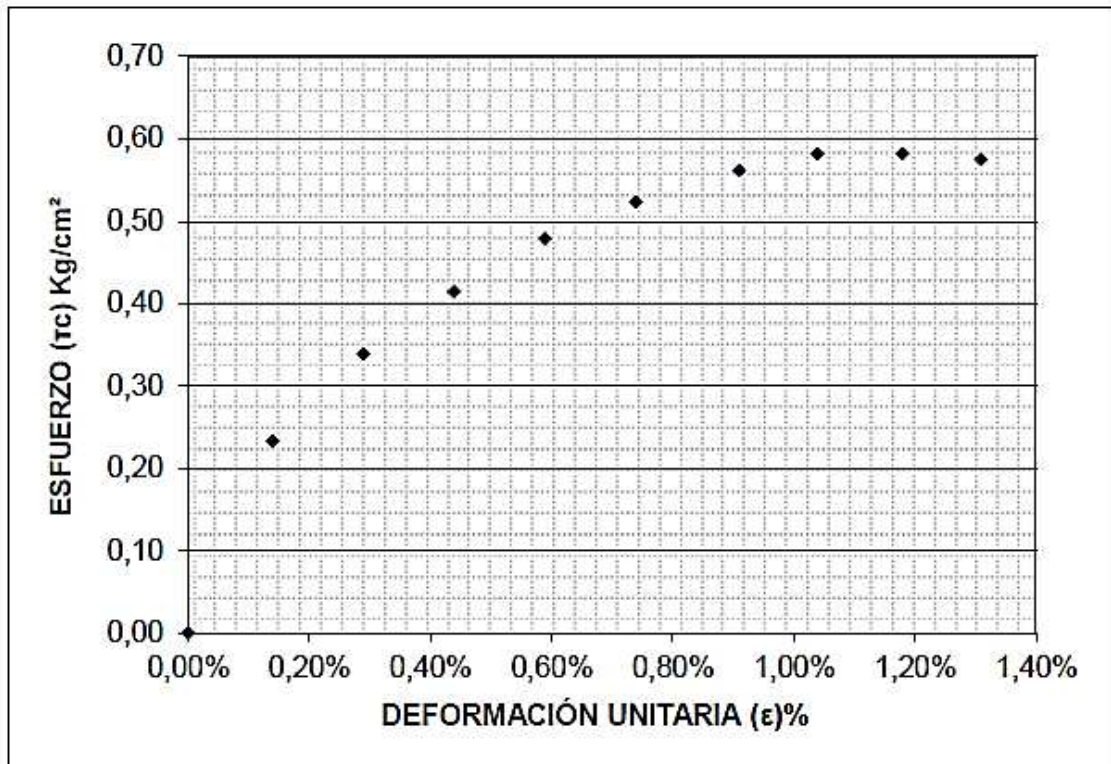
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M3

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 3		
Esfuerzo Cortante		
$\tau_{max} =$	0,58	Kg/cm ²
Esfuerzo Normal		
$\sigma =$	1,71	Kg/cm ²

PROYECTO: Análisis de Estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulfi

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 1

PROFUNDIDAD: 7,50 m

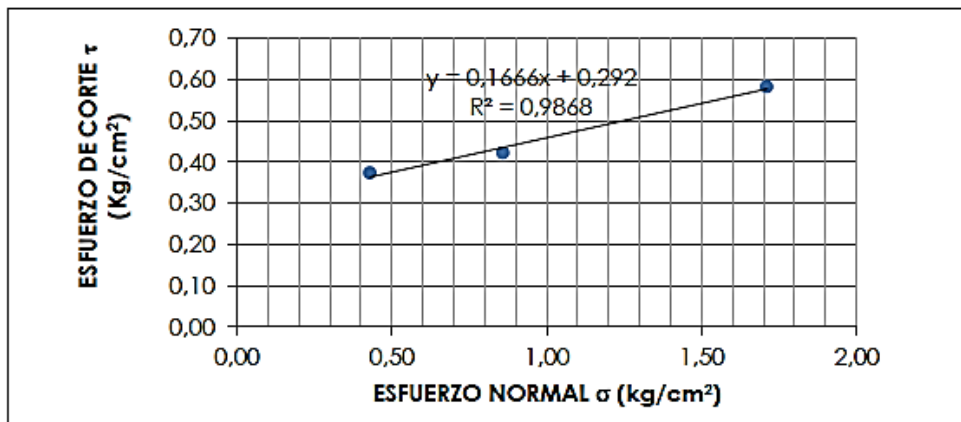
FECHA: julio del 2020

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

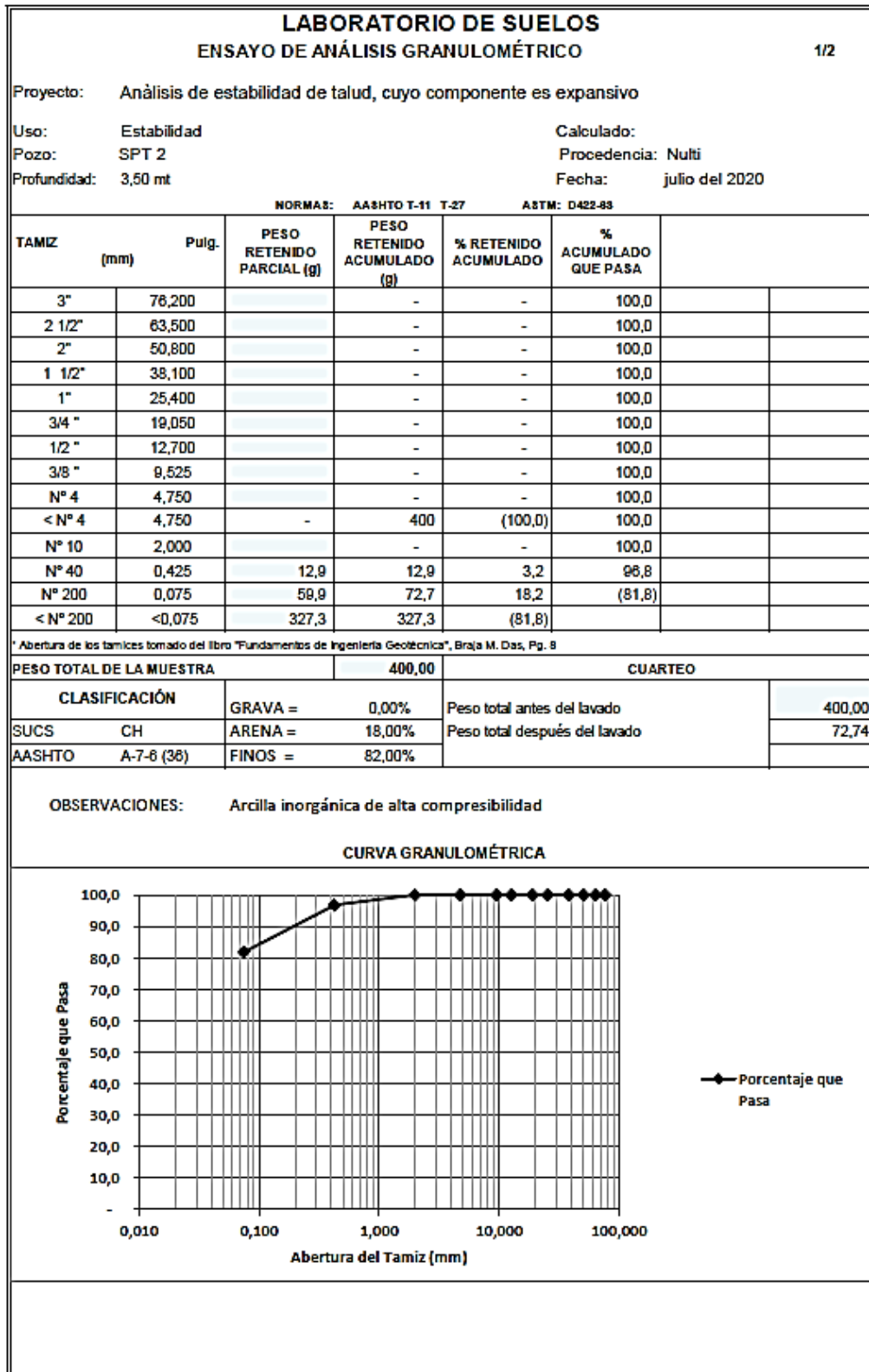
GRÁFICO DE LA ENVOLVENTE DE FALLA: MUESTRAS REMOLDEADAS

DATOS				
Especimen	Esfuerzo Normal σ Kg/cm ²	Esfuerzo de Corte τ Kg/cm ²	$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi$	
			C Kg/cm ²	ϕ (°)
1	0,43	0,37	0,29	9,46
2	0,86	0,42		
3	1,71	0,58		



RESULTADOS			ENVOLVENTE DE FALLA
C=	0,29	Kg/cm ²	
ϕ =	9	°	

ANEXO 11: Ensayos realizados en SPT 2.



LABORATORIO DE SUELOS

2/2

Proyecto: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

Uso: Estabilidad

Calculado:

Pozo: SPT 2

Procedencia: Multi

Profundidad: 3,50 mt

Fecha: julio del 2020

HUMEDAD NATURAL

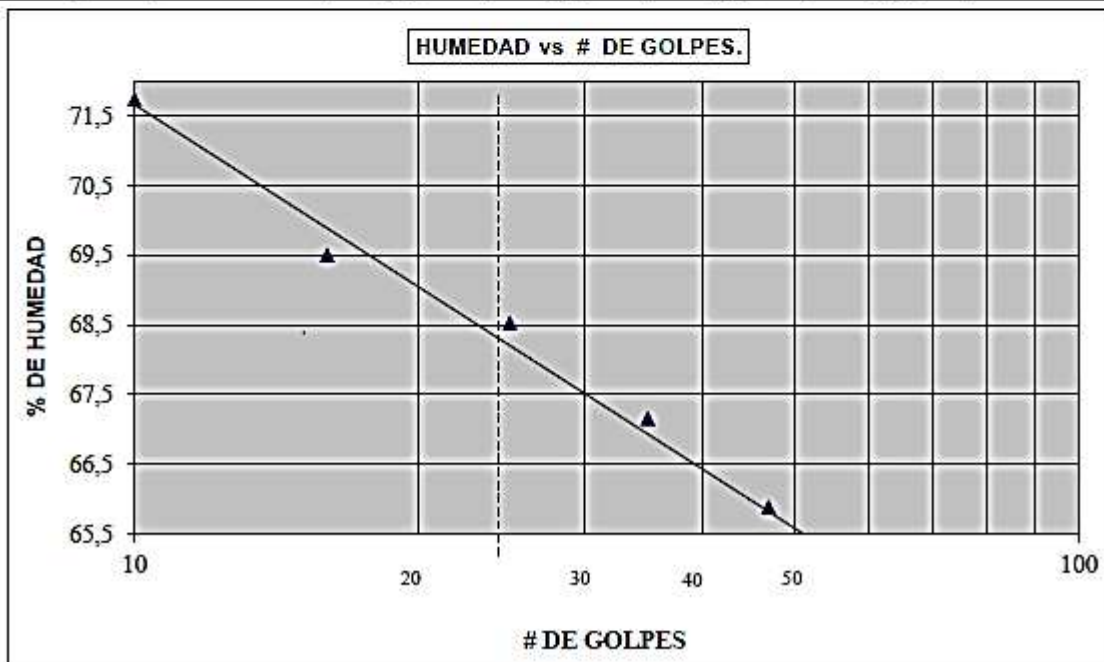
N° de Tarro	N° de golpes	Peso suelo húmedo + tarro	Peso suelo seco + tarro	Peso tarro	% de Humedad	PROMEDIO
9	—	31,58	28,17	18,73	29,81	30,39
7	—	32,26	28,53	18,58	31,21	
6	—	31,20	27,87	18,83	30,16	

LIMITE LIQUIDO

6	10	28,25	23,48	18,83	71,73	68,27
4	18	29,89	24,65	17,11	69,50	
18	25	29,31	24,50	17,48	68,52	
2	35	29,38	24,31	18,76	67,15	
11	47	27,48	23,29	18,93	65,88	

LIMITE PLASTICO

1	—	18,34	17,96	18,63	28,57	27,71
20	—	17,99	17,73	18,77	27,08	
12	—	18,89	18,30	18,88	27,46	



Límite Líquido a 25 golpes = 68,27% Índice de plasticidad = 40,56

LABORATORIO DE SUELOS					
ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
1/2					
Proyecto: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo					
Uso: Estabilidad		Calculado:		Procedencia: Multi	
Pozo: SPT 2		Fecha: julio del 2020			
Profundidad: 5,50 mt					
<small>NORMAS: AASHTO T-11 T-27 ASTM: D422-85</small>					
TAMIZ (mm)	Pulg.	PESO RETENIDO PARCIAL (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA
3"	76,200		-	-	100,0
2 1/2"	63,500		-	-	100,0
2"	50,800		-	-	100,0
1 1/2"	38,100		-	-	100,0
1"	25,400		-	-	100,0
3/4 "	19,050		-	-	100,0
1/2 "	12,700		-	-	100,0
3/8 "	9,525		-	-	100,0
N° 4	4,750		-	-	100,0
< N° 4	4,750	-	500	(100,0)	100,0
N° 10	2,000		-	-	100,0
N° 40	0,425	54,7	54,7	10,9	89,1
N° 200	0,075	48,7	103,5	20,7	(79,3)
< N° 200	<0,075	396,5	396,5	(79,3)	
<small>* Abertura de los tamices tomado del libro "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica", Erala M. Das, Pg. 8</small>					
PESO TOTAL DE LA MUESTRA			500,00	CUARTEO	
CLASIFICACIÓN		GRAVA = 0,00%	Peso total antes del lavado		500,00
SUCS CH	ARENA = 21,00%	Peso total después del lavado		103,48	
AASHTO A-7-5 (32)	FINOS = 79,00%				
OBSERVACIONES: Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad					
CURVA GRANULOMÉTRICA					

LABORATORIO DE SUELOS

2/2

Proyecto: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

Uso: Estabilidad

Calculado:

Pozo: SPT 2

Procedencia: Multi

Profundidad: 5,50 mt

Fecha: julio del 2020

HUMEDAD NATURAL

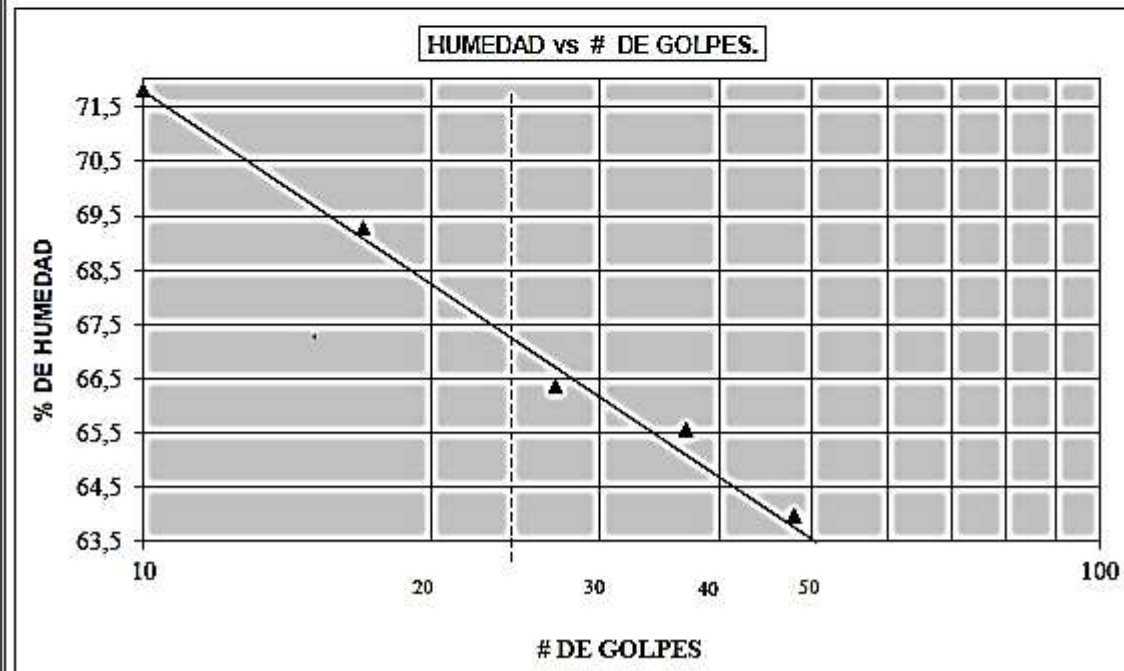
N° de Tarro	N° de golpes	Peso suelo húmedo + tarro	Peso suelo seco + tarro	Peso tarro	% de Humedad	PROMEDIO
5	—	28,41	26,09	16,94	25,36	25,02
14	—	28,31	24,44	16,76	24,35	
16	—	28,28	25,98	16,91	25,36	

LIMITE LIQUIDO

9	10	29,1	23,93	16,73	71,81	67,21
3	17	29,62	24,55	17,23	69,26	
19	27	29,27	24,28	16,76	66,36	
4	37	29,51	24,60	17,11	65,55	
13	48	29,74	24,91	17,36	63,97	

LIMITE PLASTICO

17	—	19,24	18,88	17,74	31,58	30,98
18	—	19,11	18,73	17,48	30,40	
15	—	18,63	18,24	16,98	30,95	



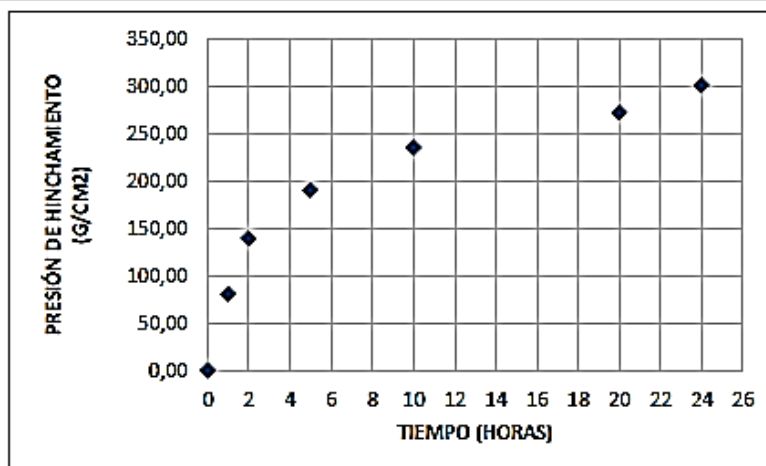
Límite Líquido a 25 golpes = 67,21% Índice de plasticidad = 36,23

LABORATORIO DE SUELOS**ENSAYO DE PRESIÓN DE HINCHAMIENTO CONTROLADO (ASTM D 4546)****PROYECTO:** Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo**UBICACIÓN:** Nulli**DESCRIPCIÓN DEL SUELO:** Arcilla inorgánica de alta compresibilidad**PERFORACIÓN:** SPT 2 **PROFUNDIDAD:** 3,50 mt**FECHA:** julio del 2020**PRESIÓN DE EXPANSIÓN**

DATOS DEL MOLDE			CARACTERÍSTICAS DEL ESPÉCIMEN		
Diámetro del molde	$\phi =$	6,16 cm	W molde	Wm=	41,6 g
Altura del molde	h =	2,01 cm	W molde + muestra	Wm+s=	138,74 g
Área	A =	29,80 cm ²	W húmedo muestra	Ws=	97,14 g
Volumen	V =	59,90 cm ³	Densidad húmeda	$\gamma_h =$	1,622 g/cm ³

EJECUCIÓN DEL ENSAYO

Fecha	Tiempo	Carga Parcial	Carga Acumulada	Carga P aplicada a la muestra	Presión de Expansión
dia/mes/año	horas	g (10)	g (10)	g	g/cm ²
18/07/2020	0	0	0	0	0,00
18/07/2020	1	240	240	2400	80,53
18/07/2020	2	175	415	4150	139,25
18/07/2020	5	150	565	5650	189,58
18/07/2020	10	135	700	7000	234,88
19/07/2020	20	110	810	8100	271,79
19/07/2020	24	86	896	8960	300,65

**RESULTADOS****Presión de Hinchamiento** 300,65 g/cm²

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulti						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad						
PERFORACIÓN: SPT 2			PROFUNDIDAD: 5,50 m			
FECHA: julio del 2020			No. Muestra: M1			
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3084
Características de la muestra:						
Diametro (cm):	6,16	Humedad (%):	25,36%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	100,61			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1680,21			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1340,36			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máquina (mm/min) =		0,65				
Carga normal (Kg) =		12,75				
σ (Kg/cm ²) =		0,43				
τ (Kg/cm ²) =		0,33				
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	0,43	0,00%
15,00	25	2,550	29,800	0,09	0,43	0,14%
15,00	38	3,876	29,800	0,13	0,43	0,27%
15,00	49	4,998	29,800	0,17	0,43	0,42%
15,00	60	6,120	29,800	0,21	0,43	0,58%
15,00	68	6,936	29,800	0,23	0,43	0,72%
15,00	75	7,650	29,800	0,26	0,43	0,84%
15,00	79	8,058	29,800	0,27	0,43	0,99%
15,00	84	8,568	29,800	0,29	0,43	1,14%
15,00	88	8,976	29,800	0,30	0,43	1,29%
15,00	92	9,384	29,800	0,31	0,43	1,47%
30,00	94	9,588	29,800	0,32	0,43	1,72%
30,00	96	9,792	29,800	0,33	0,43	2,05%
30,00	96	9,792	29,800	0,33	0,43	2,38%
30,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulfi

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 2

PROFUNDIDAD: 5,50 m

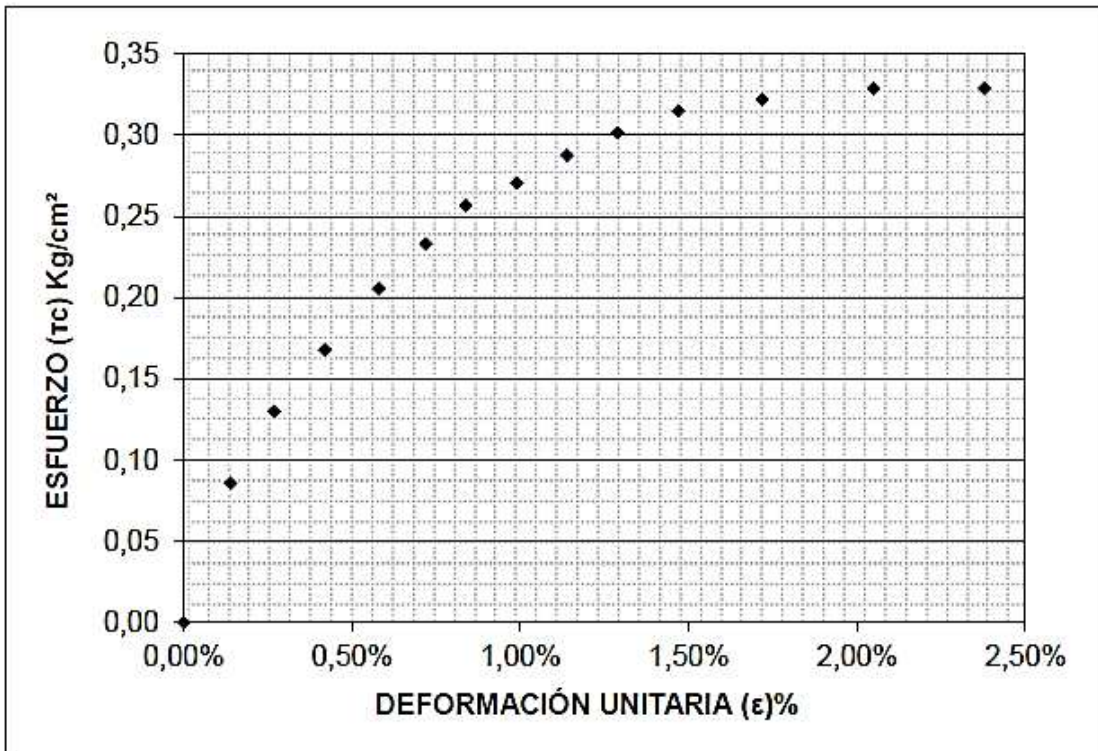
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M1

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 1		
Esfuerzo Cortante		
$\tau_{max} =$	0,33	Kg/cm ²
Esfuerzo Normal		
$\sigma =$	0,43	Kg/cm ²

PROYECTO:	Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo								
UBICACIÓN:	Nulfi								
DESCRIPCIÓN DEL SUELO:	Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad								
PERFORACIÓN:	SPT 2						PROFUNDIDAD:	5,50 m	
FECHA DE ENSAYO:	julio del 2020								
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA									ASTM D-3086
Características del espécimen:									
Espécimen	Altura	Diametro A	Diametro B	Area	Volumen	W molde	W molde + muestra	W húmedo muestra	ph
#	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm ³)	(gr)	(gr)	(gr)	(Kg/m ³)
1	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	41,62	142,23	100,61	1680,21
2	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	40,74	141,34	100,60	1680,04
3	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	42,96	143,78	100,82	1683,72
Contenido de humedad:									
Espécimen	# tarro	W tarro	W tarro+muestra	W seco	Humedad ω (%)	Promedio parcial ω (%)			
1	5	16,94	28,41	26,09	25,36%	25,36%			
2	14	16,76	26,31	24,44	24,35%	24,35%			
3	16	16,91	28,28	25,98	25,36%	25,36%			
Resumen de Datos									
Humedad Promedio Total:				25,02	%				
Densidad Húmeda Prom. Total:				1681	(Kg/m ³)				

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulfi						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad						
PERFORACIÓN: SPT 2			PROFUNDIDAD: 5,50 m			
FECHA: julio del 2020			No. Muestra: M2			
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3086
Características de la muestra:						
Diametro (cm):	6,16	Humedad (%):	24,35%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	100,60			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1680,04			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1351,07			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máquina (mm/min) =		0,65				
Carga normal (Kg) =		25,5				
σ (Kg/cm ²) =		0,86				
τ (Kg/cm ²) =		0,43				
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA CORREGIDA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	0,86	0,00%
15,00	46	4,692	29,800	0,16	0,86	0,15%
15,00	69	7,038	29,800	0,24	0,86	0,31%
15,00	86	8,772	29,800	0,29	0,86	0,46%
15,00	98	9,996	29,800	0,34	0,86	0,60%
15,00	109	11,118	29,800	0,37	0,86	0,77%
15,00	117	11,934	29,800	0,40	0,86	0,90%
15,00	120	12,240	29,800	0,41	0,86	1,03%
15,00	122	12,444	29,800	0,42	0,86	1,20%
15,00	124	12,648	29,800	0,42	0,86	1,36%
15,00	125	12,750	29,800	0,43	0,86	1,49%
30,00	126	12,852	29,800	0,43	0,86	1,81%
30,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00						
90,00						

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulfi

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 2

PROFUNDIDAD: 5,50 m

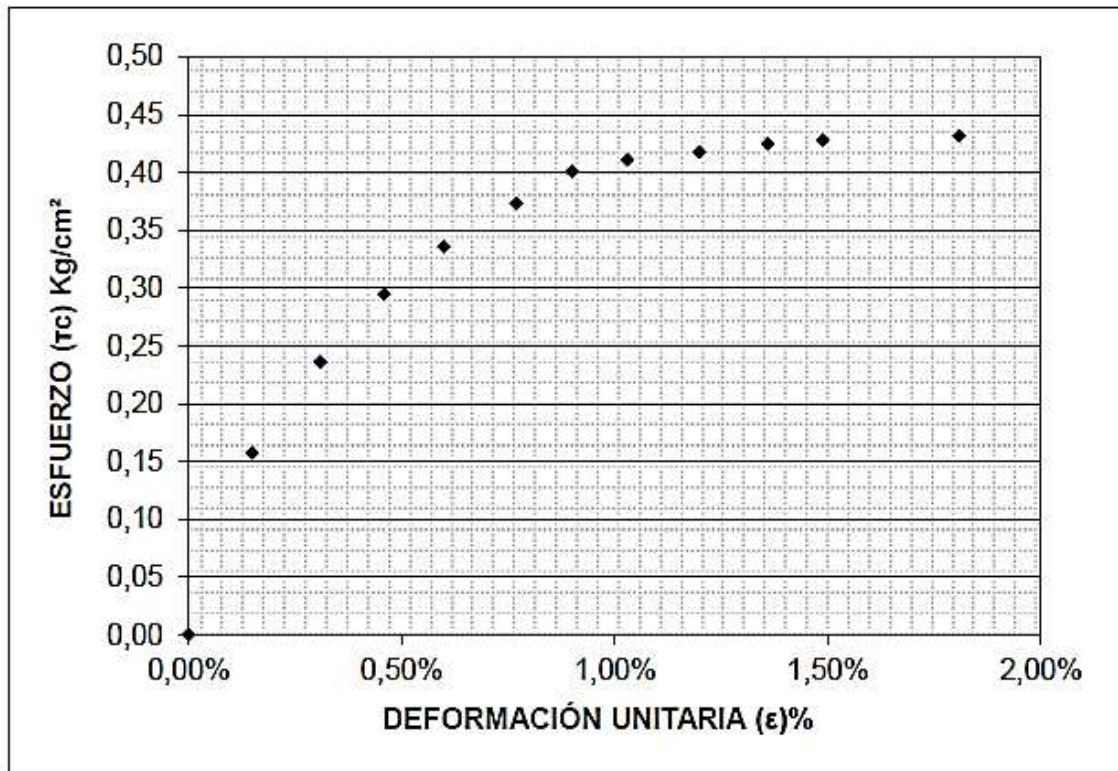
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M2

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 2		
Esfuerzo Cortante		
τ max=	0,43	Kg/cm ²
Esfuerzo Normal		
σ =	0,86	Kg/cm ²

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulti						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad						
PERFORACIÓN: SPT 2			PROFUNDIDAD:		5,50 m	
FECHA: julio del 2020			No. Muestra:		M3	
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3086
Características de la muestra:						
Diametro (cm):	6,16	Humedad (%):	25,36%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	100,60			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1683,72			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1343,12			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máquina (mm/min) =		0,65				
Carga normal (Kg) =		51				
σ (Kg/cm ²) =		1,71				
τ (Kg/cm ²) =		0,58				
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	1,71	0,00%
15,00	59	6,018	29,800	0,20	1,71	0,14%
15,00	82	8,364	29,800	0,28	1,71	0,29%
15,00	104	10,608	29,800	0,36	1,71	0,44%
15,00	121	12,342	29,800	0,41	1,71	0,59%
15,00	135	13,770	29,800	0,46	1,71	0,74%
15,00	150	15,300	29,800	0,51	1,71	0,91%
15,00	157	16,014	29,800	0,54	1,71	1,04%
15,00	163	16,626	29,800	0,56	1,71	1,18%
15,00	166	16,932	29,800	0,57	1,71	1,34%
15,00	168	17,136	29,800	0,58	1,71	1,51%
30,00	169	17,238	29,800	0,58	1,71	1,81%
30,00	169	17,238	29,800	0,58	1,71	2,12%
30,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
30,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulti

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 2

PROFUNDIDAD: 5,50 m

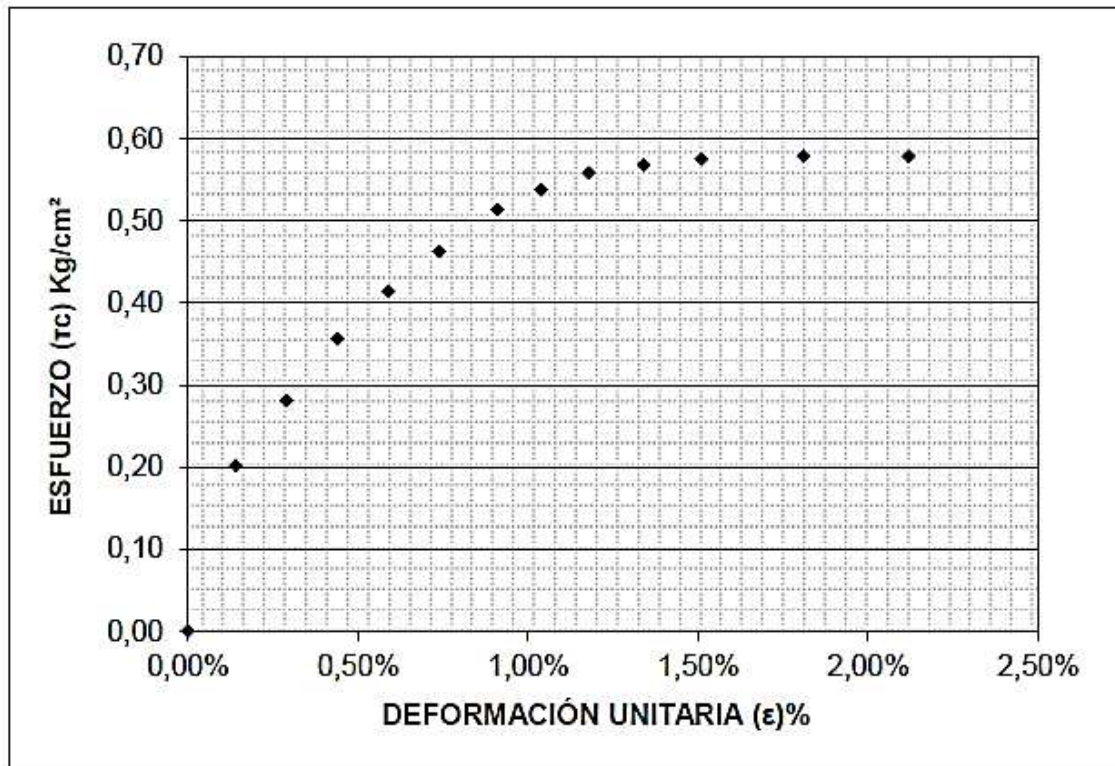
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M3

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 3		
Esfuerzo Cortante		
τ max=	0,58	Kg/cm ²
Esfuerzo Normal		
σ =	1,71	Kg/cm ²

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulfi

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 2

PROFUNDIDAD: 5,50 m

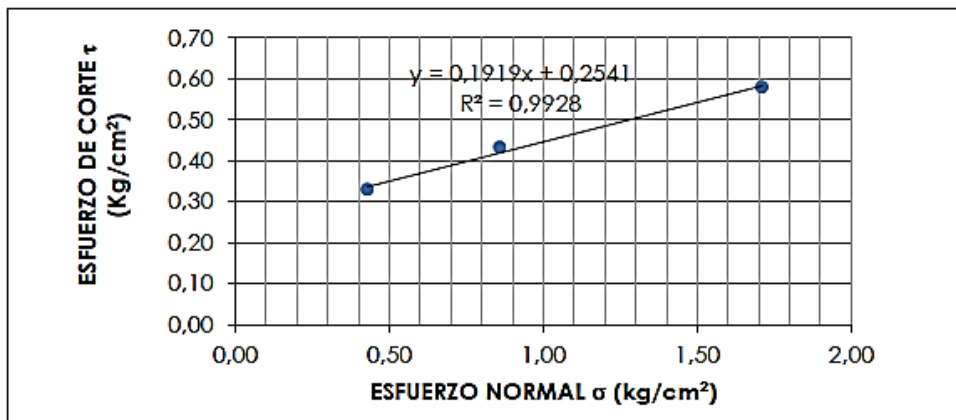
FECHA: julio del 2020

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

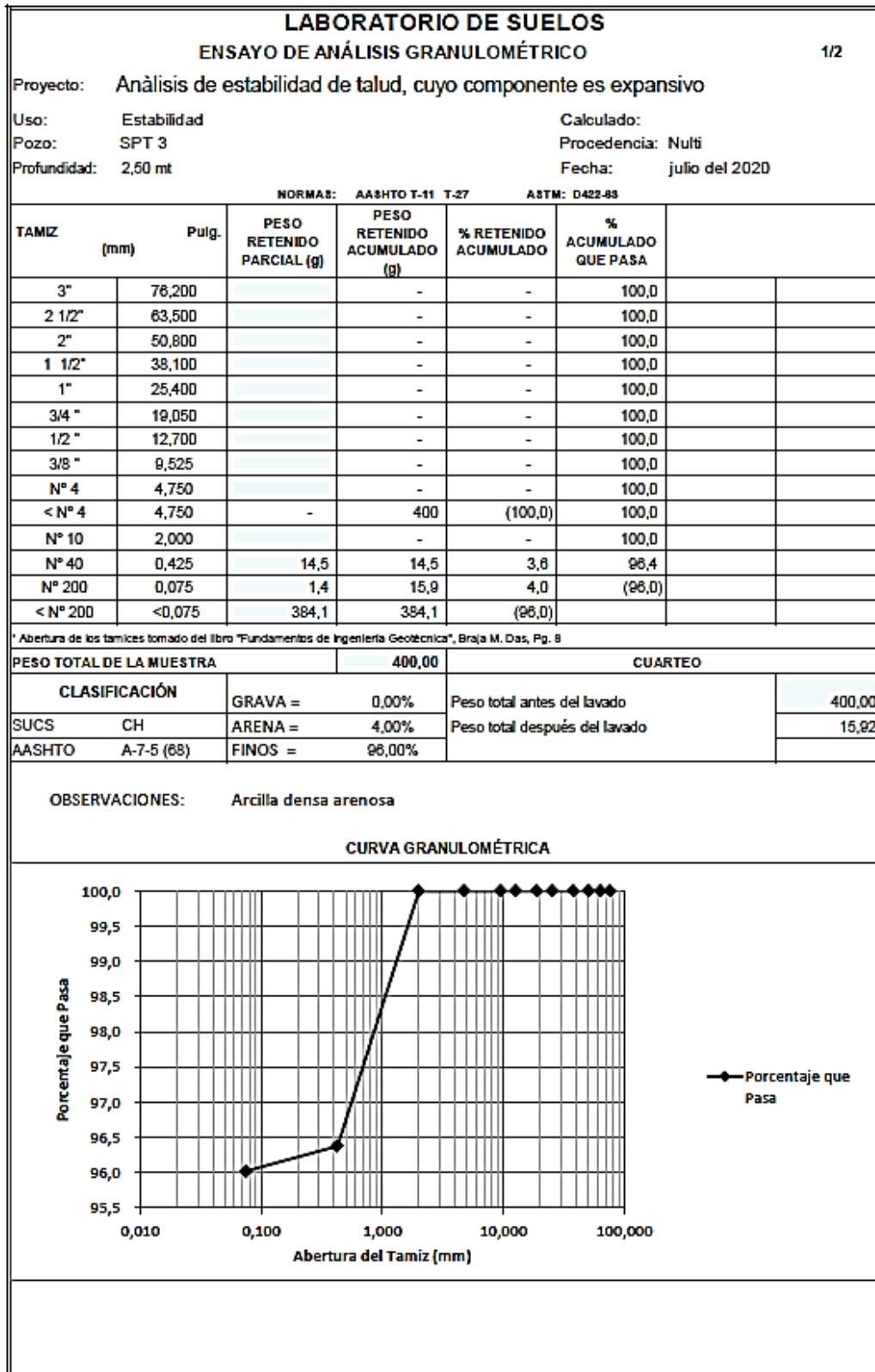
GRÁFICO DE LA ENVOLVENTE DE FALLA: MUESTRAS REMOLDEADAS

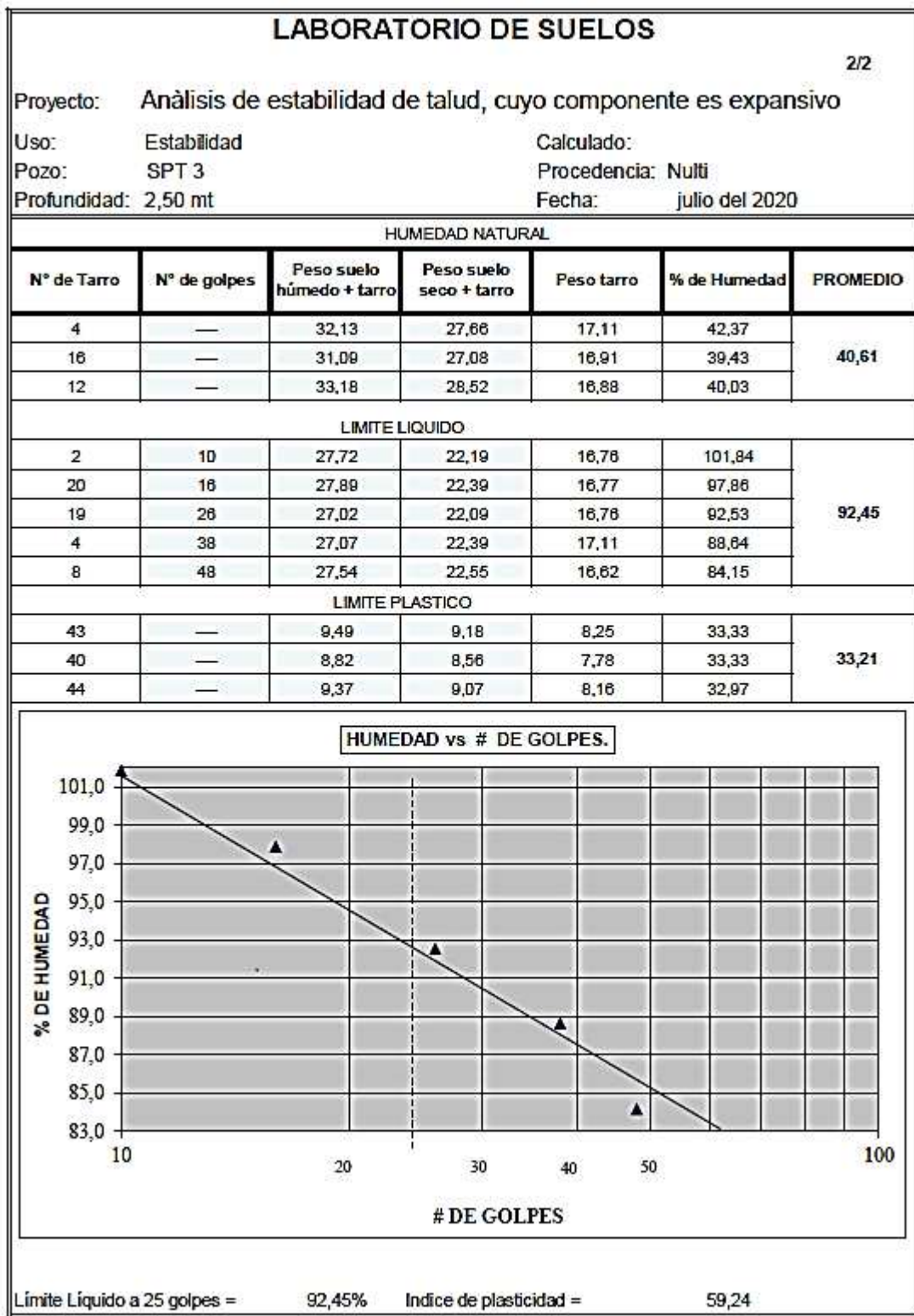
DATOS				
Especimen	Esfuerzo Normal σ Kg/cm ²	Esfuerzo de Corte τ Kg/cm ²	$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi$	
			C Kg/cm ²	ϕ (°)
1	0,43	0,33	0,25	10,86
2	0,86	0,43		
3	1,71	0,58		



RESULTADOS			ENVOLVENTE DE FALLA
C=	0,25	Kg/cm ²	
ϕ =	11	°	

ANEXO 12: Ensayos realizados en SPT 3.





LABORATORIO DE SUELOS						
ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						
1/2						
Proyecto: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
Uso: Estabilidad		Calculado:				
Pozo: SPT 3		Procedencia: Nulti				
Profundidad: 6,50 mt		Fecha: julio del 2020				
NORMAS: AASHTO T-11 T-27 ASTM: D422-63						
TAMIZ	Pulg.	PESO RETENIDO PARCIAL (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA	
3"	76,200		-	-	100,0	
2 1/2"	63,500		-	-	100,0	
2"	50,800		-	-	100,0	
1 1/2"	38,100		-	-	100,0	
1"	25,400		-	-	100,0	
3/4 "	19,050		-	-	100,0	
1/2 "	12,700		-	-	100,0	
3/8 "	9,525		-	-	100,0	
Nº 4	4,750	13	13	2,7	97,4	
< Nº 4	4,750	13	487	(97,4)	97,4	
Nº 10	2,000	26,7	26,7	8,0	92,0	
Nº 40	0,425	70,0	96,7	22,0	78,0	
Nº 200	0,075	50,3	147,0	32,0	(68,0)	
< Nº 200	<0,075	339,8	339,8	(68,0)		
<small>* Abertura de los tamices tomado del libro "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica", Braja M. Das, Pg. 8</small>						
PESO TOTAL DE LA MUESTRA			500,00	CUARTEO		
CLASIFICACIÓN		GRAVA =	3,00%	Peso total antes del lavado		486,76
SUCS	CH	ARENA =	29,00%	Peso total después del lavado		146,97
AASHTO	A-7-6 (31)	FINOS =	68,00%			
OBSERVACIONES: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad						
CURVA GRANULOMÉTRICA						
<p>El gráfico muestra la curva granulométrica con el eje Y etiquetado como 'Porcentaje que Pasa' (rango 0-100) y el eje X etiquetado como 'Abertura del Tamiz (mm)' (escala logarítmica de 0,010 a 100,000). La curva, representada por una línea con marcadores de diamante, muestra un porcentaje de 68,0% que pasa a través de un tamiz de 0,075 mm, aumentando gradualmente hasta alcanzar el 100% que pasa a través de tamices de 10 mm y mayores.</p>						

LABORATORIO DE SUELOS

2/2

Proyecto: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

Uso: Estabilidad

Calculado:

Pozo: SPT 3

Procedencia: Nulti

Profundidad: 6,50 mt

Fecha: julio del 2020

HUMEDAD NATURAL

N° de Tarro	N° de golpes	Peso suelo húmedo + tarro	Peso suelo seco + tarro	Peso tarro	% de Humedad	PROMEDIO
6	—	35,34	29,26	16,83	48,91	47,78
17	—	35,24	29,63	17,74	47,18	
19	—	38,83	31,75	16,78	47,23	

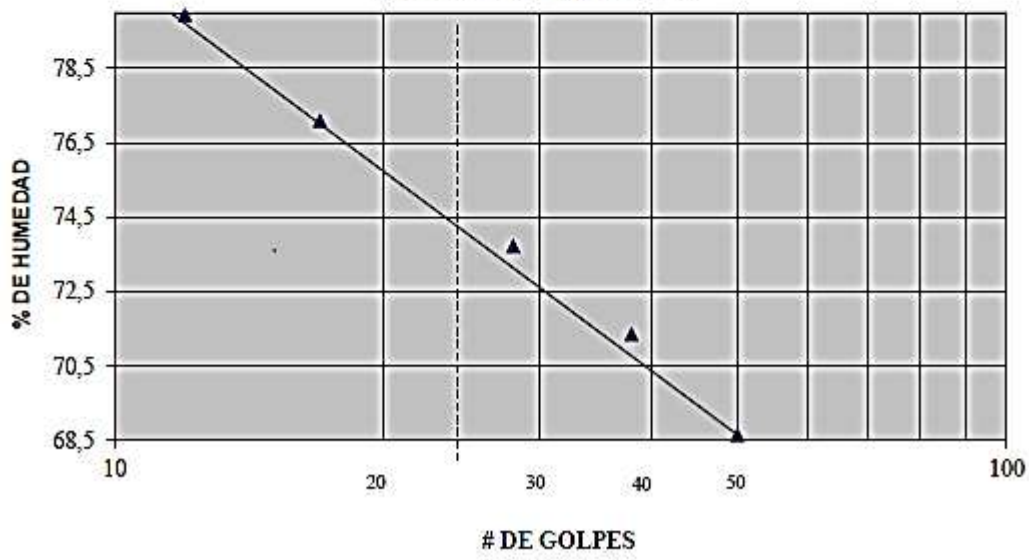
LIMITE LIQUIDO

N° de Tarro	N° de golpes	Peso suelo húmedo + tarro	Peso suelo seco + tarro	Peso tarro	% de Humedad	PROMEDIO
13	12	27,49	22,99	17,36	79,93	74,30
19	17	27,19	22,65	16,78	77,08	
12	28	27,65	23,08	16,88	73,71	
6	38	27,95	23,32	16,83	71,34	
20	50	27,31	23,02	16,77	68,64	

LIMITE PLASTICO

N° de Tarro	N° de golpes	Peso suelo húmedo + tarro	Peso suelo seco + tarro	Peso tarro	% de Humedad	PROMEDIO
8	—	18,00	17,70	16,62	27,78	28,44
17	—	19,12	18,81	17,74	28,97	
3	—	18,58	18,28	17,23	28,57	

HUMEDAD vs # DE GOLPES.



Límite Líquido a 25 golpes = 74,30% Índice de plasticidad = 45,86

LABORATORIO DE SUELOS						1/2
ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						
Proyecto: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
Uso: Estabilidad		Calculado:				
Pozo: SPT 3		Procedencia: Nulti				
Profundidad: 8,50 mt		Fecha: julio del 2020				
NORMAS: AASHTO T-11 T-27 ASTM: D422-83						
TAMIZ (mm)	Pulg.	PESO RETENIDO PARCIAL (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA	
3"	76,200		-	-	100,0	
2 1/2"	63,500		-	-	100,0	
2"	50,800		-	-	100,0	
1 1/2"	38,100		-	-	100,0	
1"	25,400		-	-	100,0	
3/4"	19,050		-	-	100,0	
1/2"	12,700		-	-	100,0	
3/8"	9,525		-	-	100,0	
Nº 4	4,750		-	-	100,0	
< Nº 4	4,750	-	400	(100,0)	100,0	
Nº 10	2,000		-	-	100,0	
Nº 40	0,425	12,8	12,8	3,2	96,8	
Nº 200	0,075	7,5	20,3	5,1	(94,9)	
< Nº 200	<0,075	379,7	379,7	(94,9)		
<small>* Abertura de los tamices tomado del libro "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica", Braja M. Das, Pg. 8</small>						
PESO TOTAL DE LA MUESTRA			400,00	CUARTEO		
CLASIFICACIÓN		GRAVA =	0,00%	Peso total antes del lavado		400,00
SUCS	CH	ARENA =	5,00%	Peso total después del lavado		20,31
AASHTO	A-7-6 (60)	FINOS =	95,00%			
OBSERVACIONES: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad						
CURVA GRANULOMÉTRICA						
<p style="text-align: right;">◆ Porcentaje que Pasa</p>						

LABORATORIO DE SUELOS

2/2

Proyecto: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

Uso: Estabilidad

Calculado:

Pozo: SPT 3

Procedencia: Nulli

Profundidad: 8,50 mt

Fecha: julio del 2020

HUMEDAD NATURAL

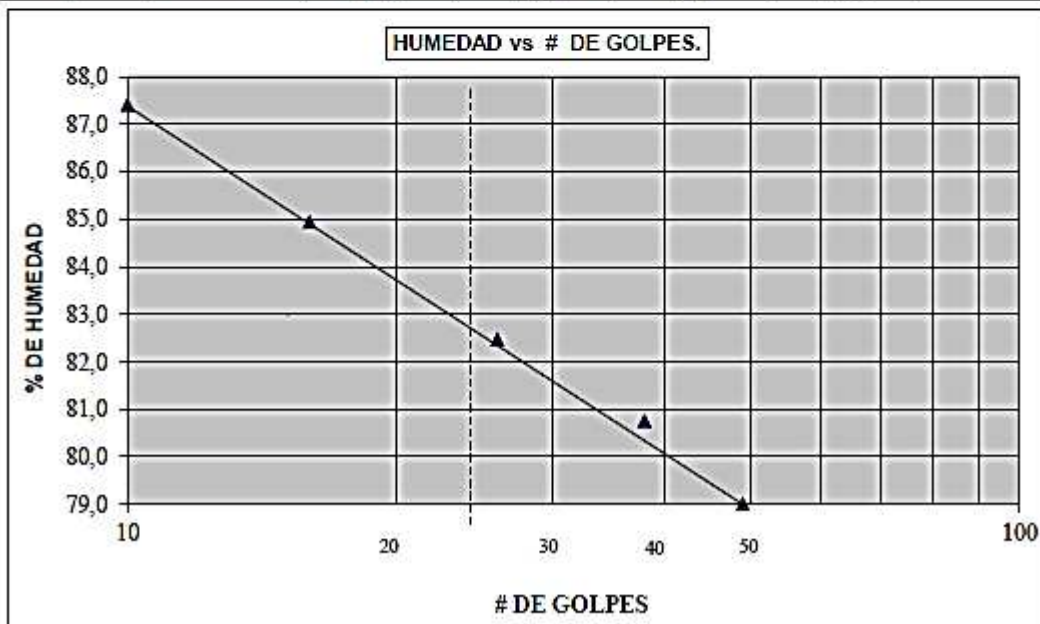
N° de Tarro	N° de golpes	Peso suelo húmedo + tarro	Peso suelo seco + tarro	Peso tarro	% de Humedad	PROMEDIO
41	—	32,07	25,69	7,46	35,00	34,47
37	—	31,70	25,63	8,13	34,69	
38	—	30,58	24,84	7,82	33,73	

LIMITE LIQUIDO

3	10	28,98	23,5	17,23	87,40	82,67
6	18	27,83	22,67	16,83	84,93	
17	28	28,25	23,50	17,74	82,47	
20	38	28,79	23,42	16,77	80,75	
2	49	29,04	23,62	16,76	79,01	

LIMITE PLASTICO

16	—	18,09	17,83	16,91	28,26	28,91
5	—	18,10	17,84	16,94	28,89	
11	—	18,20	17,91	16,93	29,59	



Límite Líquido a 25 golpes = 82,67% Índice de plasticidad = 53,76

LABORATORIO DE SUELOS									
ENSAYO DE PRESIÓN DE HINCHAMIENTO LIBRE (ASTM D 4546)									
PROYECTO:	Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo								
UBICACIÓN:	Nulfi								
DESCRIPCIÓN DEL SUELO:	Arcilla inorgánica de alta compresibilidad								
PERFORACIÓN:	SPT 3	PROFUNDIDAD: 2,50 mt							
FECHA:	julio del 2020								
PRESIÓN DE EXPANSIÓN									
DATOS DEL MOLDE			CARACTERÍSTICAS DEL ESPÉCIMEN						
Diámetro del molde	$\phi =$	6,16 cm	W molde Wm= 41,56 g						
Altura del molde	h =	2,01 cm	W molde + muestra Wm+s= 139,99 g						
Área	A =	29,80 cm ²	W húmedo muestra Ws= 98,43 g						
Volumen	V =	59,90 cm ³	Densidad húmeda $\gamma_h =$ 1,643 g/cm ³						
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Longitud Inicial (cm)</th> <th style="text-align: center;">Longitud Final (cm)</th> <th style="text-align: center;">% de Expansión</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1,9</td> <td style="text-align: center;">2,198</td> <td style="text-align: center;">15,68 %</td> </tr> </tbody> </table>				Longitud Inicial (cm)	Longitud Final (cm)	% de Expansión	1,9	2,198	15,68 %
Longitud Inicial (cm)	Longitud Final (cm)	% de Expansión							
1,9	2,198	15,68 %							

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulti						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad						
PERFORACIÓN: SPT 3			PROFUNDIDAD: 2,50 m			
FECHA: julio del 2020			No. Muestra: M1			
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3086
Características de la muestra:						
Diametro (cm):	6,16	Humedad (%):	39,93%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	97,61			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1630,11			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1164,93			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máquina (mm/min) =		0,65				
Carga normal (Kg) =		12,75				
σ (Kg/cm ²) =		0,43				
τ (Kg/cm ²) =		0,28				
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	0,43	0,00%
15,00	36	3,672	29,800	0,12	0,43	0,13%
15,00	45	4,590	29,800	0,15	0,43	0,26%
15,00	52	5,304	29,800	0,18	0,43	0,42%
15,00	58	5,916	29,800	0,20	0,43	0,57%
15,00	63	6,426	29,800	0,22	0,43	0,72%
15,00	67	6,834	29,800	0,23	0,43	0,84%
15,00	70	7,140	29,800	0,24	0,43	0,99%
15,00	73	7,446	29,800	0,25	0,43	1,12%
15,00	75	7,650	29,800	0,26	0,43	1,29%
15,00	77	7,854	29,800	0,26	0,43	1,45%
30,00	80	8,160	29,800	0,27	0,43	1,72%
30,00	81	8,262	29,800	0,28	0,43	2,04%
30,00	82	8,364	29,800	0,28	0,43	2,37%
30,00	82	8,364	29,800	0,28	0,43	2,70%
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulñi

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 3

PROFUNDIDAD: 2,50 m

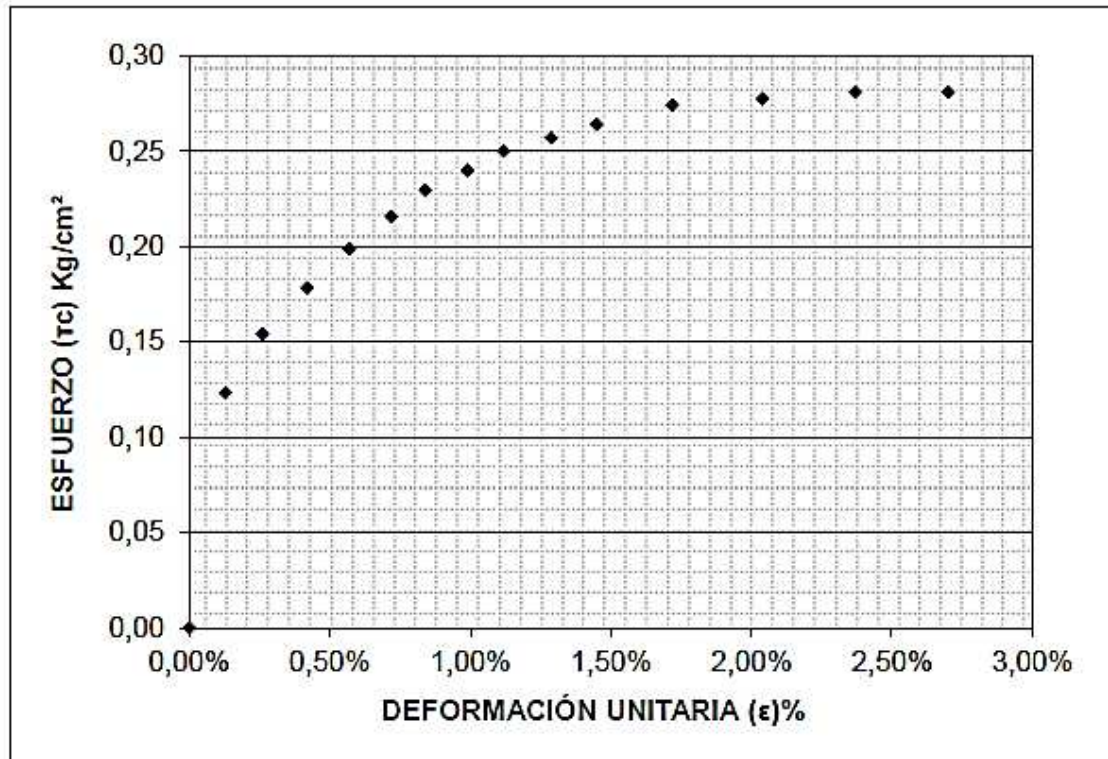
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M1

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 1		
Esfuerzo Cortante		
τ max=	0,28	Kg/cm ²
Esfuerzo Normal		
σ =	0,43	Kg/cm ²

PROYECTO:	Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo								
UBICACIÓN:	Nulfi								
DESCRIPCIÓN DEL SUELO:	Arcilla inorgánica de alta compresibilidad								
PERFORACIÓN:	SPT 3						PROFUNDIDAD:	2,50 m	
FECHA DE ENSAYO:	julio del 2020								
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA									ASTM D-3086
Características del espécimen:									
Espécimen	Altura	Diámetro A	Diámetro B	Area	Volumen	W molde	W molde + muestra	W húmedo muestra	ph
#	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm ³)	(gr)	(gr)	(gr)	(Kg/m ³)
1	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	41,62	139,23	97,61	1630,11
2	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	40,74	138,34	97,60	1629,94
3	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	42,96	140,78	97,82	1633,62
Contenido de humedad:									
Espécimen	# tarro	W tarro	W tarro+muestra	W seco	Humedad ω (%)	Promedio parcial ω (%)			
1	4	17,11	29,41	25,9	39,93%	39,93%			
2	5	16,94	32,68	28,34	38,07%	38,07%			
3	18	17,48	29,56	26,18	38,85%	38,85%			
Resumen de Datos									
Humedad Promedio Total:				38,95	%				
Densidad Húmeda Prom. Total:				1631	(Kg/m ³)				

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulfi						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad						
PERFORACIÓN: SPT 3			PROFUNDIDAD: 2,50 m			
FECHA: julio del 2020			No. Muestra: M2			
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3086
Características de la muestra:						
Diametro (cm):	6,16	Humedad (%):	38,07%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	97,60			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1629,94			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1180,52			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máquina (mm/min) =		0,65				
Carga normal (Kg) =		25,5				
σ (Kg/cm ²) =		0,86				
τ (Kg/cm ²) =		0,33				
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA CORREGIDA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	0,86	0,00%
15,00	46	4,692	29,800	0,16	0,86	0,14%
15,00	57	5,814	29,800	0,20	0,86	0,29%
15,00	67	6,834	29,800	0,23	0,86	0,45%
15,00	73	7,446	29,800	0,25	0,86	0,60%
15,00	78	7,956	29,800	0,27	0,86	0,75%
15,00	83	8,466	29,800	0,28	0,86	0,90%
15,00	86	8,772	29,800	0,29	0,86	1,06%
15,00	88	8,976	29,800	0,30	0,86	1,22%
15,00	92	9,384	29,800	0,31	0,86	1,40%
15,00	93	9,486	29,800	0,32	0,86	1,53%
30,00	96	9,792	29,800	0,33	0,86	1,84%
30,00	97	9,894	29,800	0,33	0,86	2,14%
30,00	95	9,690	29,800	0,33	0,86	2,44%
30,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00						
90,00						

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulfi

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 3

PROFUNDIDAD: 2,50 m

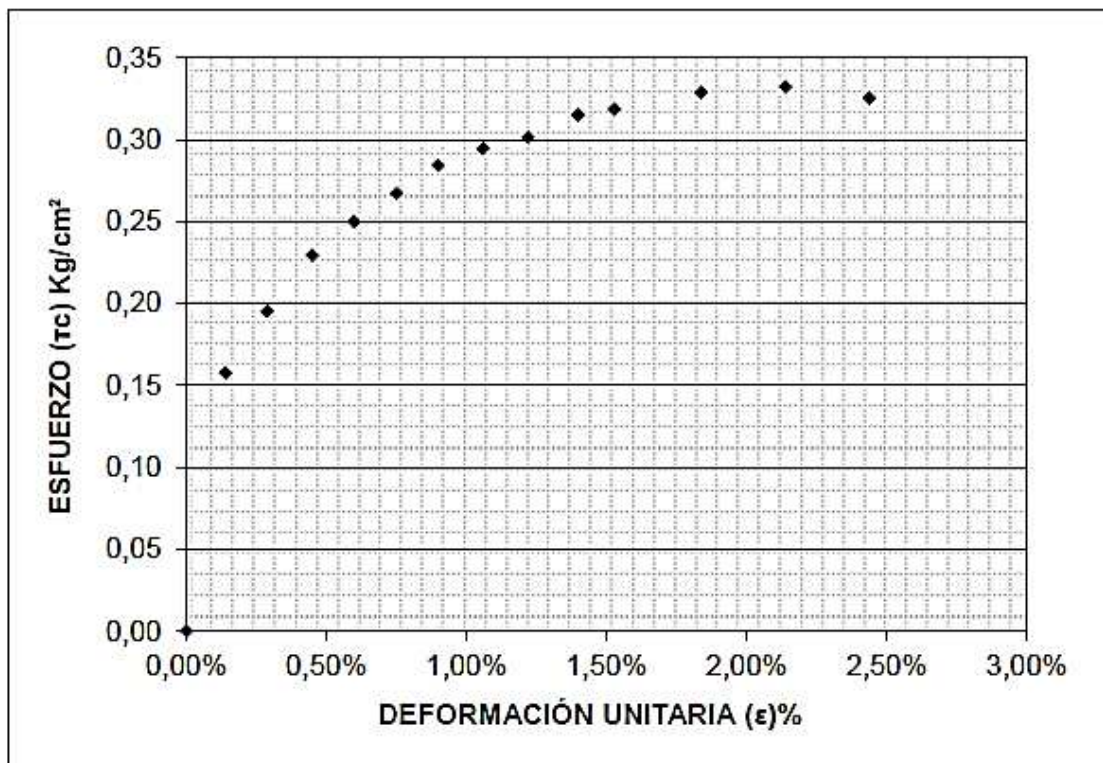
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M2

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Espécimen #: 2		
Esfuerzo Cortante		
$\tau_{max} =$	0,33	Kg/cm ²
Esfuerzo Normal		
$\sigma =$	0,86	Kg/cm ²

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulfi						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad						
PERFORACIÓN: SPT 3			PROFUNDIDAD: 2,50 m			
FECHA: julio del 2020			No. Muestra: M3			
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3086
Características de la muestra:						
Diametro (cm):	6,16	Humedad (%):	38,85%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	97,60			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1633,62			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1176,53			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máquina (mm/min) =		0,65				
Carga normal (Kg) =		51				
σ (Kg/cm²) =		1,71				
τ (Kg/cm²) =		0,38				
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	1,71	0,00%
15,00	47	4,794	29,800	0,16	1,71	0,14%
15,00	70	7,140	29,800	0,24	1,71	0,30%
15,00	82	8,364	29,800	0,28	1,71	0,45%
15,00	90	9,180	29,800	0,31	1,71	0,60%
15,00	96	9,792	29,800	0,33	1,71	0,76%
15,00	101	10,302	29,800	0,35	1,71	0,90%
15,00	104	10,608	29,800	0,36	1,71	1,07%
15,00	106	10,812	29,800	0,36	1,71	1,21%
15,00	108	11,016	29,800	0,37	1,71	1,39%
15,00	110	11,220	29,800	0,38	1,71	1,54%
30,00	112	11,424	29,800	0,38	1,71	1,85%
30,00	112	11,424	29,800	0,38	1,71	2,15%
30,00	110	11,220	29,800	0,38	1,71	2,44%
30,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nuñi

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 3

PROFUNDIDAD: 2,50 m

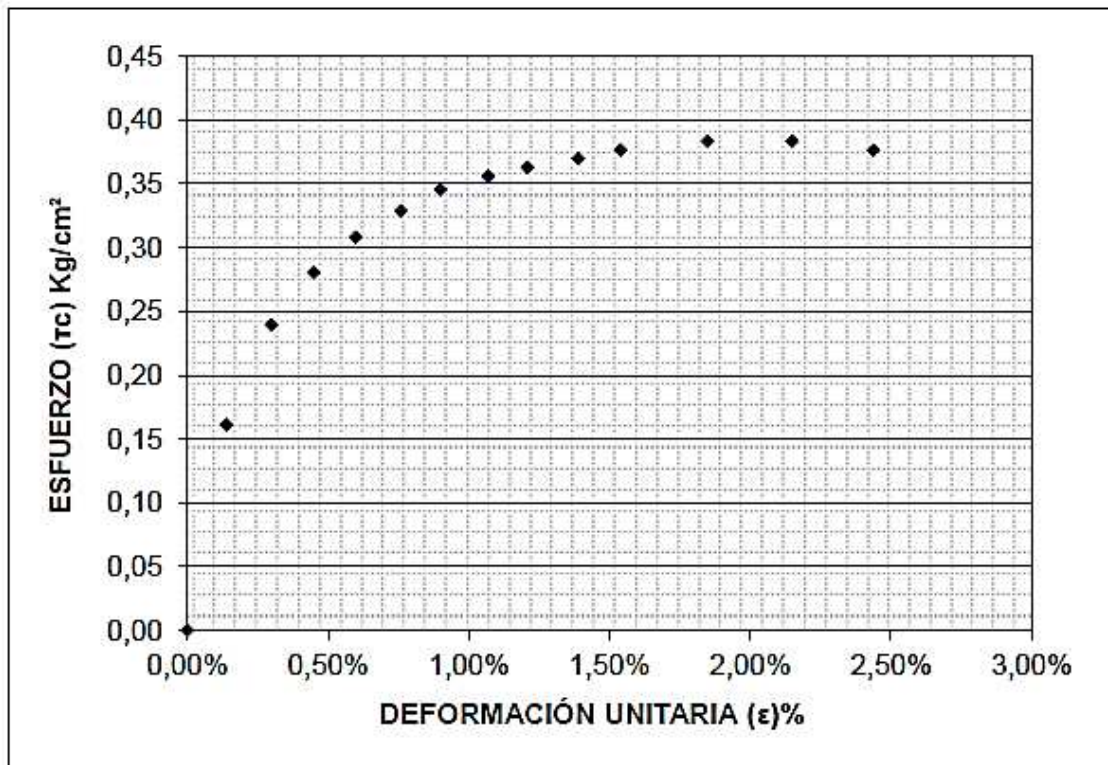
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M3

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 3		
Esfuerzo Cortante		
τ max=	0,38	Kg/cm ²
Esfuerzo Normal		
σ =	1,71	Kg/cm ²

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulti

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 3

PROFUNDIDAD: 2,50 m

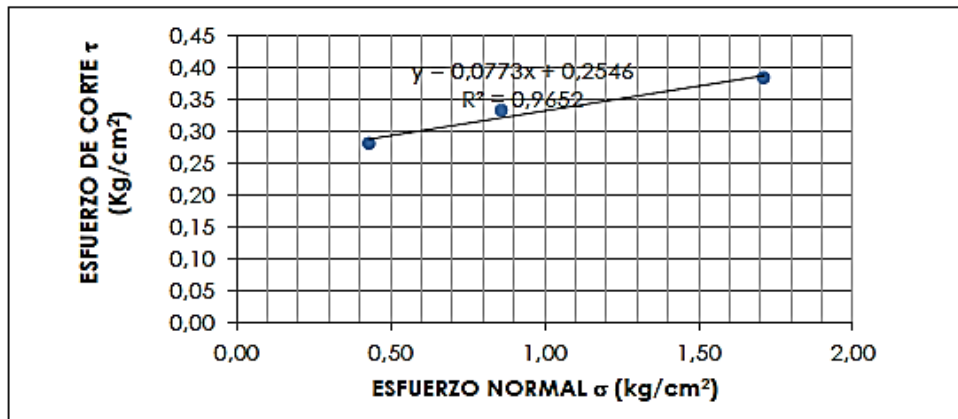
FECHA: julio del 2020

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

GRÁFICO DE LA ENVOLVENTE DE FALLA: MUESTRAS REMOLDEADAS

DATOS				
Especimen	Esfuerzo Normal σ	Esfuerzo de Corte τ	$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi$	
			C	ϕ
#	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	(°)
1	0,43	0,28	0,25	4,42
2	0,86	0,33		
3	1,71	0,38		



RESULTADOS			ENVOLVENTE DE FALLA
C=	0,25	Kg/cm ²	
ϕ =	4	°	

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulti						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad						
PERFORACIÓN: SPT 3			PROFUNDIDAD: 8,50 mt			
FECHA: julio del 2020			No. Muestra: M1			
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3086
Características de la muestra:						
Diametro (cm):	6,16	Humedad (%):	35,00%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	101,61			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1696,91			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1257,00			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máxima (mm/min) =		0,65				
Carga normal (Kg) =		12,75				
σ (Kg/cm ²) =		0,43				
τ (Kg/cm ²) =		0,30				
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	0,43	0,00%
15,00	33	3,366	29,800	0,11	0,43	0,13%
15,00	47	4,794	29,800	0,16	0,43	0,26%
15,00	56	5,712	29,800	0,19	0,43	0,42%
15,00	67	6,834	29,800	0,23	0,43	0,57%
15,00	74	7,548	29,800	0,25	0,43	0,72%
15,00	78	7,956	29,800	0,27	0,43	0,84%
15,00	82	8,364	29,800	0,28	0,43	0,99%
15,00	84	8,568	29,800	0,29	0,43	1,12%
15,00	86	8,772	29,800	0,29	0,43	1,29%
15,00	87	8,874	29,800	0,30	0,43	1,45%
30,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulti

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 3

PROFUNDIDAD: 8,50 mt

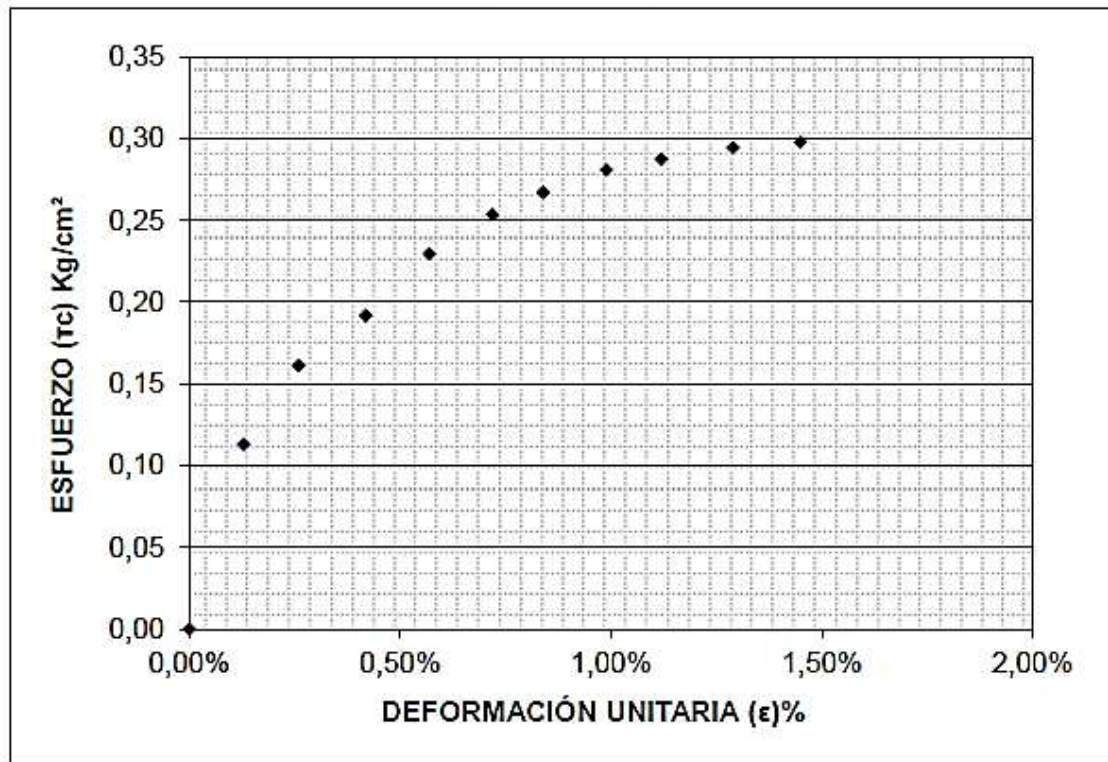
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M1

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 1		
Esfuerzo Cortante		
τ max=	0,30	Kg/cm ²
Esfuerzo Normal		
σ =	0,43	Kg/cm ²

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo
UBICACIÓN: Nulfi
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad
PERFORACIÓN: SPT 3 **PROFUNDIDAD:** 8,50 m
FECHA DE ENSAYO: julio del 2020

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Características del espécimen:

Espécimen	Altura	Diámetro A	Diámetro B	Area	Volumen	W molde	W molde + muestra	W húmedo muestra	ph
#	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm ³)	(gr)	(gr)	(gr)	(Kg/m ³)
1	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	41,62	143,23	101,61	1696,91
2	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	40,74	142,34	101,60	1696,74
3	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	42,96	144,78	101,82	1700,42

Contenido de humedad:

Espécimen	# tarro	W tarro	W tarro+muestra	W seco	Humedad ω (%)	Promedio parcial ω (%)
1	41	7,46	32,07	25,69	35,00%	35,00%
2	37	8,13	31,70	25,63	34,69%	34,69%
3	38	7,82	30,58	24,84	33,73%	33,73%

Resumen de Datos

Humedad Promedio Total:	34,47	%
Densidad Húmeda Prom. Total:	1698	(Kg/m ³)

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulti						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad						
PERFORACIÓN: SPT 3			PROFUNDIDAD: 8,50 mt			
FECHA: julio del 2020			No. Muestra: M2			
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3086
Características de la muestra:						
Diametro (cm):	6,16	Humedad (%):	34,69%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	101,60			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1696,74			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1259,78			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máquina (mm/min) =		0,65				
Carga normal (Kg) =		25,5				
σ (Kg/cm ²) =		0,86				
τ (Kg/cm ²) =		0,36				
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA CORREGIDA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	0,86	0,00%
15,00	44	4,488	29,800	0,15	0,86	0,14%
15,00	54	5,508	29,800	0,18	0,86	0,29%
15,00	65	6,630	29,800	0,22	0,86	0,45%
15,00	73	7,446	29,800	0,25	0,86	0,60%
15,00	80	8,160	29,800	0,27	0,86	0,75%
15,00	85	8,670	29,800	0,29	0,86	0,90%
15,00	89	9,078	29,800	0,30	0,86	1,06%
15,00	95	9,690	29,800	0,33	0,86	1,22%
15,00	97	9,894	29,800	0,33	0,86	1,40%
15,00	99	10,098	29,800	0,34	0,86	1,53%
30,00	102	10,404	29,800	0,35	0,86	1,84%
30,00	103	10,506	29,800	0,35	0,86	2,14%
30,00	104	10,608	29,800	0,36	0,86	2,44%
30,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00						
90,00						

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulvi

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 3

PROFUNDIDAD: 8,50 mt

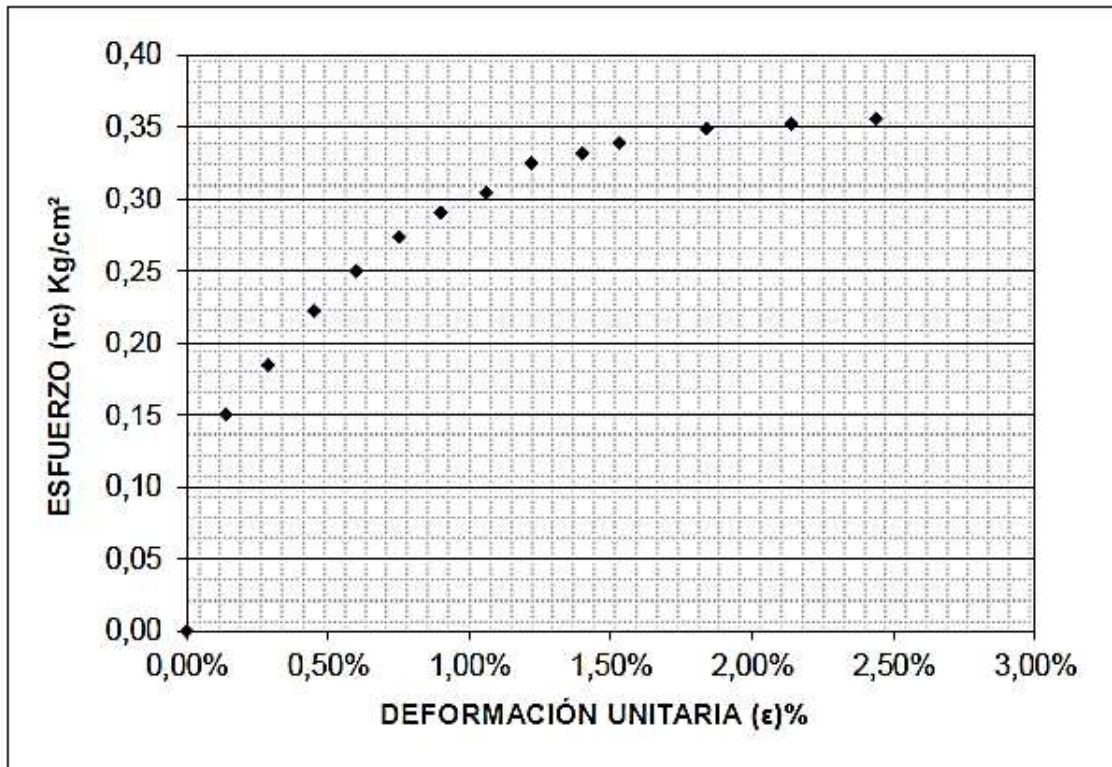
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M2

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 2		
Esfuerzo Cortante		
τ max=	0,36	Kg/cm ²
Esfuerzo Normal		
σ =	0,86	Kg/cm ²

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulti						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad						
PERFORACIÓN: SPT 3			PROFUNDIDAD: 8,50 mt			
FECHA: julio del 2020			No. Muestra: M3			
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3086
Características de la muestra:						
Diametro (cm):	6,16	Humedad (%):	33,73%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	101,60			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1700,42			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1271,58			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máquina (mm/min) =		0,65				
Carga normal (Kg) =		51				
σ (Kg/cm ²) =		1,71				
τ (Kg/cm ²) =		0,40				
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	1,71	0,00%
15,00	47	4,794	29,800	0,16	1,71	0,14%
15,00	70	7,140	29,800	0,24	1,71	0,30%
15,00	82	8,364	29,800	0,28	1,71	0,45%
15,00	94	9,588	29,800	0,32	1,71	0,60%
15,00	103	10,506	29,800	0,35	1,71	0,76%
15,00	108	11,016	29,800	0,37	1,71	0,90%
15,00	113	11,526	29,800	0,39	1,71	1,07%
15,00	115	11,730	29,800	0,39	1,71	1,21%
15,00	118	12,036	29,800	0,40	1,71	1,39%
15,00	118	12,036	29,800	0,40	1,71	1,54%
30,00	115	11,730	29,800	0,39	1,71	1,85%
30,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
30,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
30,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulli

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 3

PROFUNDIDAD: 8,50 mt

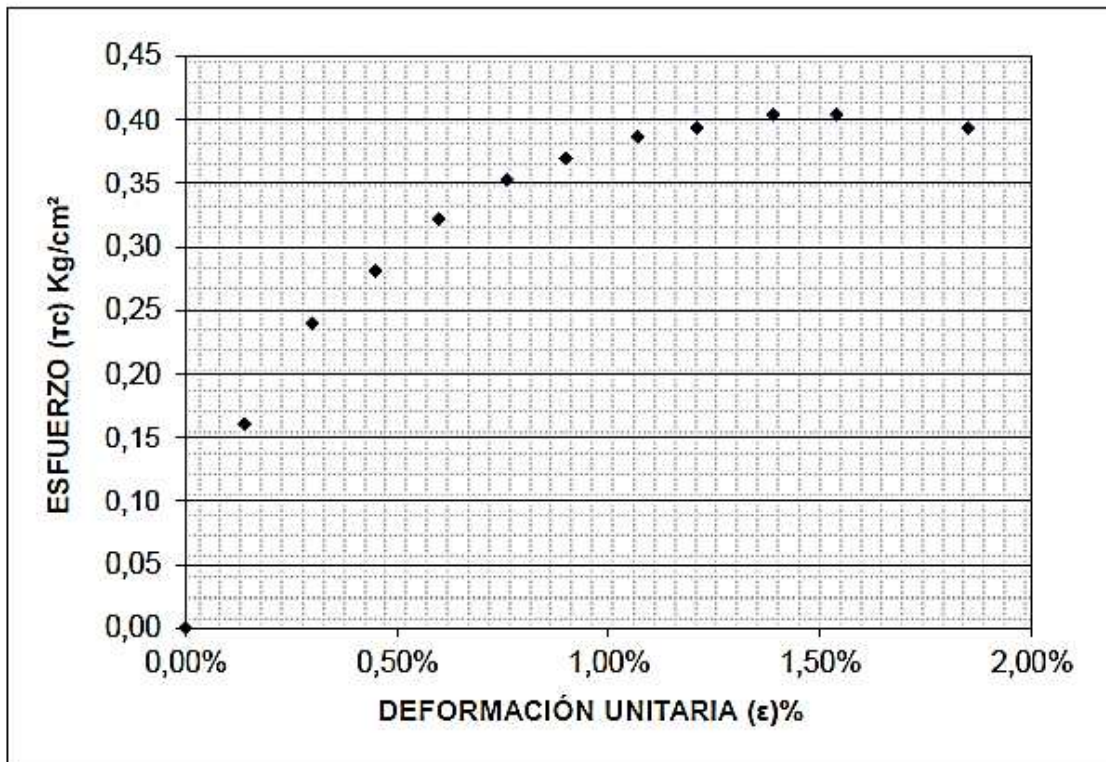
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M3

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 3		
Esfuerzo Cortante		
$\tau_{max} =$	0,40	Kg/cm ²
Esfuerzo Normal		
$\sigma =$	1,71	Kg/cm ²

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulti

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 3

PROFUNDIDAD: 8,50 mt

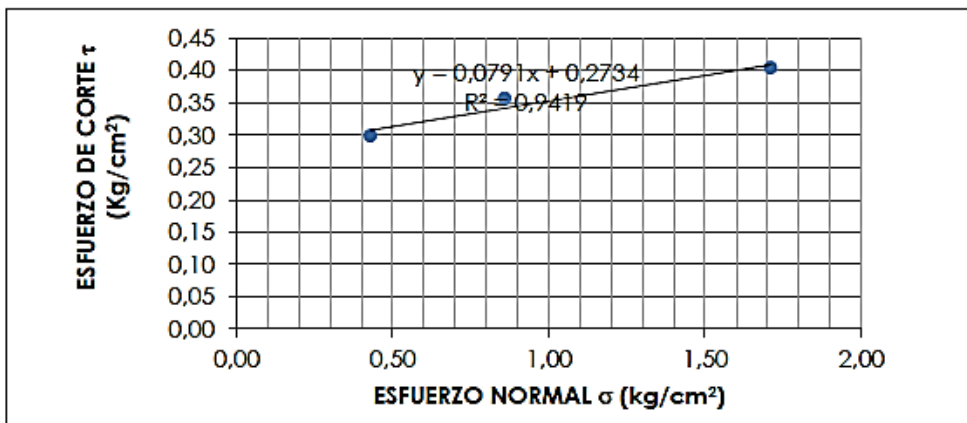
FECHA: julio del 2020

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

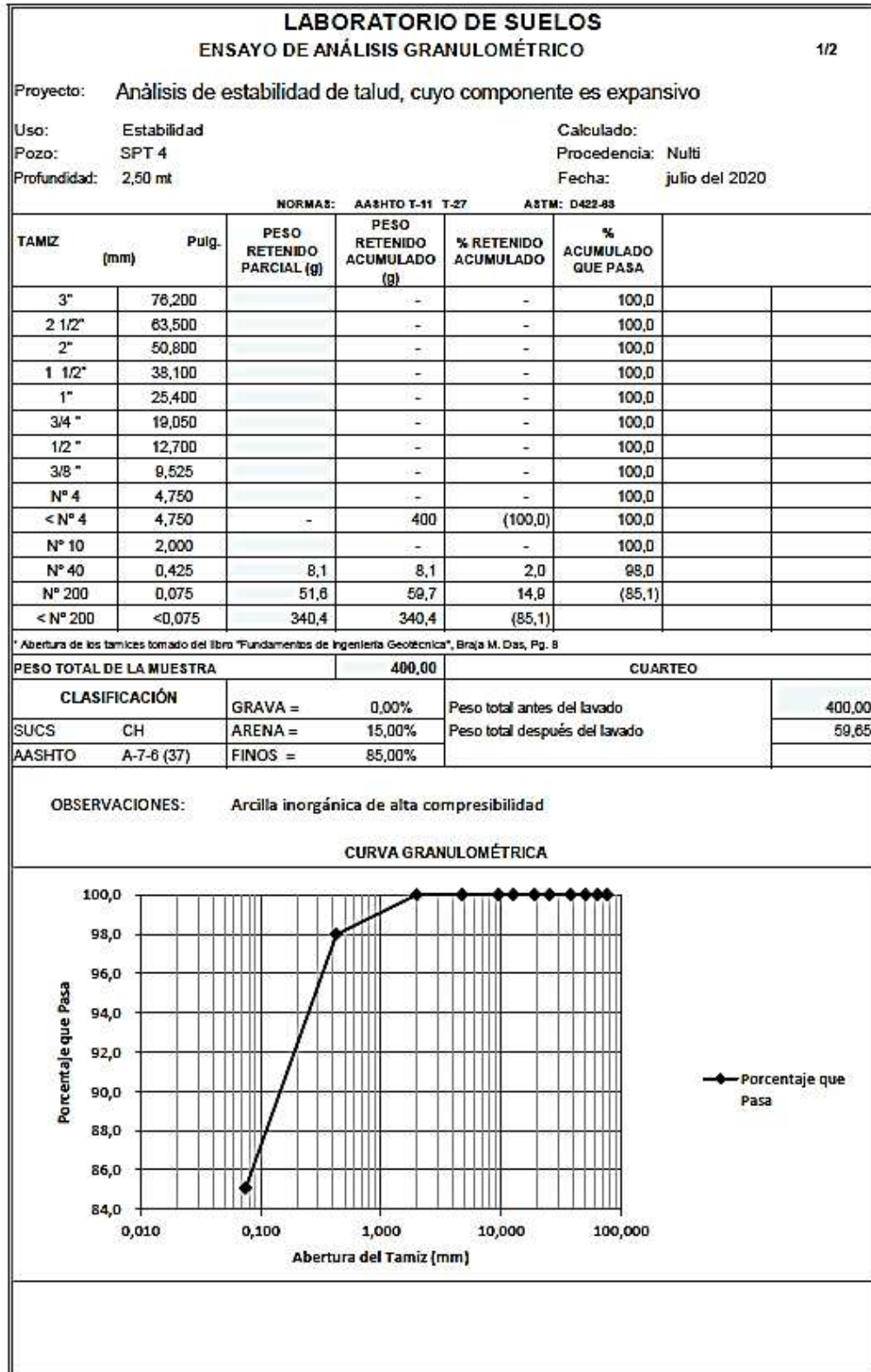
GRÁFICO DE LA ENVOLVENTE DE FALLA: MUESTRAS REMOLDEADAS

DATOS				
Especimen	Esfuerzo Normal σ Kg/cm ²	Esfuerzo de Corte τ Kg/cm ²	$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi$	
			C Kg/cm ²	ϕ (°)
1	0,43	0,30	0,27	4,52
2	0,86	0,36		
3	1,71	0,40		



RESULTADOS			ENVOLVENTE DE FALLA
C=	0,27	Kg/cm ²	
ϕ =	5	°	

ANEXO 13: Ensayos realizados en SPT 4.



LABORATORIO DE SUELOS						1/2	
ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO							
Proyecto: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo							
Uso: Estabilidad		Calculado:					
Pozo: SPT 4		Procedencia: Multi					
Profundidad: 5,50 mt		Fecha: julio del 2020					
NORMAS: AASHTO T-11 T-27 ASTM: D422-83							
TAMIZ	Pulg.	PESO RETENIDO PARCIAL (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA		
3"	76,200		-	-	100,0		
2 1/2"	63,500		-	-	100,0		
2"	50,800		-	-	100,0		
1 1/2"	38,100		-	-	100,0		
1"	25,400		-	-	100,0		
3/4 "	19,050		-	-	100,0		
1/2 "	12,700		-	-	100,0		
3/8 "	9,525		-	-	100,0		
Nº 4	4,750		-	-	100,0		
< Nº 4	4,750	-	500	(100,0)	100,0		
Nº 10	2,000		-	-	100,0		
Nº 40	0,425	14,4	14,4	2,9	97,1		
Nº 200	0,075	176,9	191,3	38,3	(61,7)		
< Nº 200	<0,075	308,7	308,7	(61,7)			
* Abertura de los tamices tomado del libro "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica", Braja M. Das, Pg. 8							
PESO TOTAL DE LA MUESTRA			500,00	CUARTEO			
CLASIFICACIÓN		GRAVA =	0,00%	Peso total antes del lavado		500,00	
SUCS	MH	ARENA =	38,00%	Peso total después del lavado		191,29	
AASHTO	A-7-5 (13)	FINOS =	62,00%				
OBSERVACIONES: Limos orgánicos de alta compresibilidad							
CURVA GRANULOMÉTRICA							
<p style="text-align: center;">● Porcentaje que Pasa</p>							

LABORATORIO DE SUELOS.

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE(ASTM D2166)

PROYECTO:	Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo		
SECTOR:	Nulti	SPT No:	4
USO:	Estabilidad		
FECHA:	julio del 2020	PROFUNDIDAD :	5,50 mt

DATOS DE LA MUESTRA:

DIAMETRO:	4,00	cm.
ALTURA :	8,10	cm.
AREA :	12,57	cm ² .
VOLUMEN :	101,79	cm ³ .
PESO :	190,25	gr.
DENSIDAD:	1,869	gr/cm ³

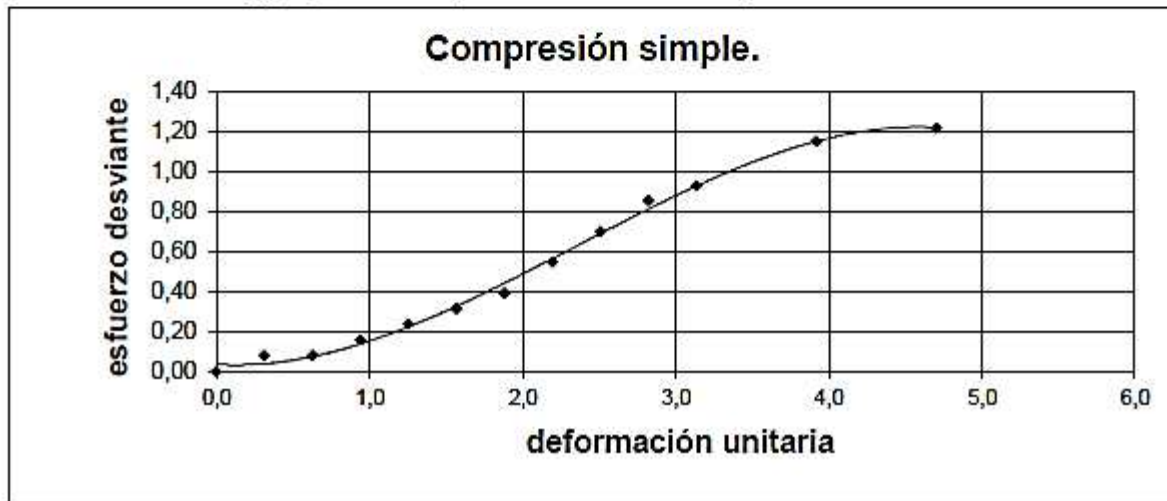
CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso Hum. :	48,81
Peso Seco :	42,74
Peso Cap. :	16,64
w (%):	23,26
constante(k)=	1,0000

DATOS DE LA PRUEBA

lectura		Deform. Unit. (%)	Carga (Kg.)	Area corregida (cm ²)	Tensión Desviante (Kg/cm ²)
Deform. .001"	Carga .001"				
0	0	0,00	0,00	12,57	0,00
10	1	0,31	1,00	12,61	0,08
20	1	0,63	1,00	12,65	0,08
30	2	0,94	2,00	12,69	0,16
40	3	1,25	3,00	12,73	0,24
50	4	1,57	4,00	12,77	0,31
60	5	1,88	5,00	12,81	0,39
70	7	2,20	7,00	12,85	0,54
80	9	2,51	9,00	12,89	0,70
90	11	2,82	11,00	12,93	0,85
100	12	3,14	12,00	12,97	0,92
125	15	3,92	15,00	13,08	1,15
150	18	4,70	18,00	13,19	1,21
175					
200					
225					
250					
275					
300					
350					
400					

COMPRESIÓN SIMPLE: (Kg/cm²) = 1,213 C_u (Kg/cm²)= 0,61
 $\phi = 0$



PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulfi						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad						
PERFORACIÓN: SPT 4			PROFUNDIDAD: 2,50 mt			
FECHA: julio del 2020			No. Muestra: M1			
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3086
Características de la muestra:						
Diametro (cm):	6,16	Humedad (%):	14,58%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	97,61			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1630,11			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1422,71			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máxima (mm/min) =		0,65				
Carga normal (Kg) =		12,75				
σ (Kg/cm ²) =		0,43				
τ (Kg/cm ²) =		0,36				
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	0,43	0,00%
15,00	38	3,876	29,800	0,13	0,43	0,16%
15,00	49	4,998	29,800	0,17	0,43	0,28%
15,00	58	5,916	29,800	0,20	0,43	0,44%
15,00	68	6,936	29,800	0,23	0,43	0,60%
15,00	76	7,752	29,800	0,26	0,43	0,75%
15,00	82	8,364	29,800	0,28	0,43	0,91%
15,00	89	9,078	29,800	0,30	0,43	1,06%
15,00	95	9,690	29,800	0,33	0,43	1,21%
15,00	99	10,098	29,800	0,34	0,43	1,33%
15,00	102	10,404	29,800	0,35	0,43	1,50%
30,00	104	10,608	29,800	0,36	0,43	1,80%
30,00	104	10,608	29,800	0,36	0,43	2,06%
30,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulti

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 4

PROFUNDIDAD: 2,50 mt

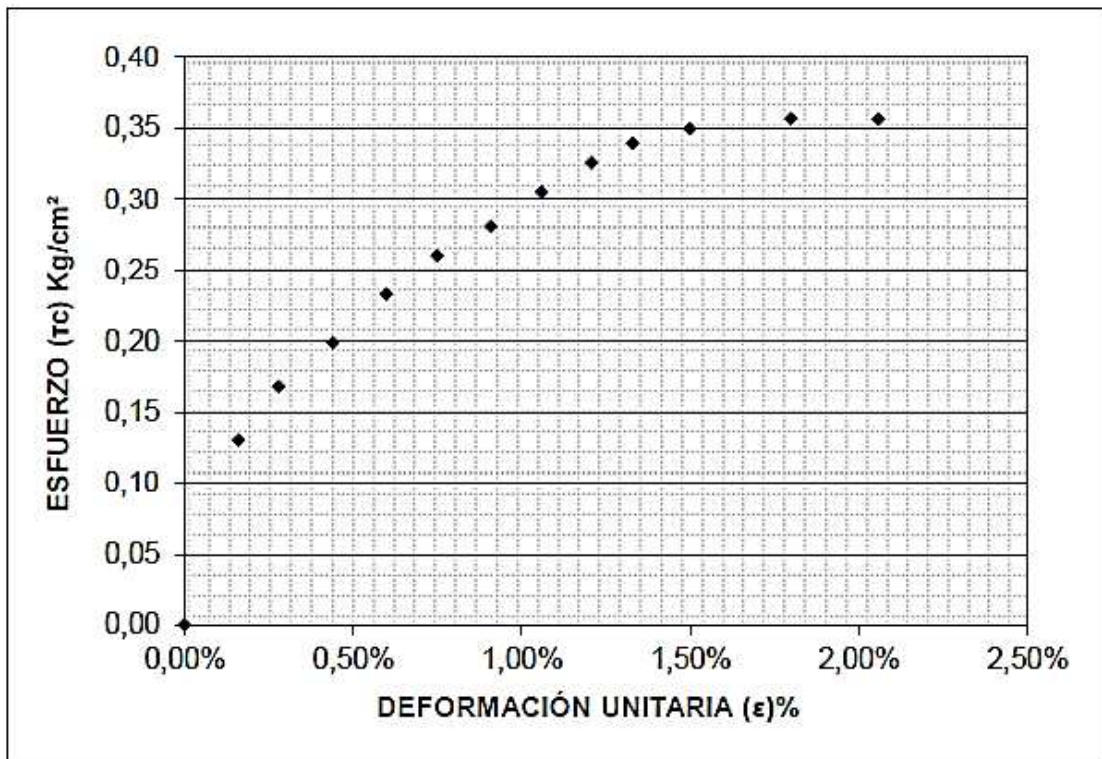
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M1

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Espécimen #: 1		
Esfuerzo Cortante		
$\tau_{max} =$	0,36	Kg/cm ²
Esfuerzo Normal		
$\sigma =$	0,43	Kg/cm ²

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulfi

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 4 **PROFUNDIDAD:** 2,50 mt

FECHA DE ENSAYO: julio del 2020

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA ASTM D-3086

Características del espécimen:

Espécimen	Altura	Diametro A	Diametro B	Area	Volumen	W molde	W molde + muestra	W húmedo muestra	ph
#	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm ³)	(gr)	(gr)	(gr)	(Kg/m ³)
1	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	41,62	139,23	97,61	1630,11
2	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	40,74	138,34	97,60	1629,94
3	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	42,96	140,78	97,82	1633,62

Contenido de humedad:

Espécimen	# tarro	W tarro	W tarro+muestra	W seco	Humedad ω (%)	Promedio parcial ω (%)
1	4	17,11	33,93	31,79	14,58%	14,58%
2	17	17,74	36,72	34,3	14,61%	14,61%
3	8	16,62	36,09	33,66	14,26%	14,26%

Resumen de Datos

Humedad Promedio Total:	14,48	%
Densidad Húmeda Prom. Total:	1631	(Kg/m ³)

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Multi						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad						
PERFORACIÓN: SPT 4			PROFUNDIDAD: 2,50 mt			
FECHA: julio del 2020			No. Muestra: M2			
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3086
Características de la muestra:						
Diametro (cm):	6,16	Humedad (%):	14,61%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	97,60			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1629,94			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1422,12			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máquina (mm/min) =		0,65				
Carga normal (Kg) =		25,5				
σ (Kg/cm ²) =		0,86				
τ (Kg/cm ²) =		0,45				
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA CORREGIDA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	0,86	0,00%
15,00	59	6,018	29,800	0,20	0,86	0,13%
15,00	77	7,854	29,800	0,26	0,86	0,30%
15,00	93	9,486	29,800	0,32	0,86	0,45%
15,00	104	10,608	29,800	0,36	0,86	0,60%
15,00	116	11,832	29,800	0,40	0,86	0,76%
15,00	124	12,648	29,800	0,42	0,86	0,90%
15,00	129	13,158	29,800	0,44	0,86	1,08%
15,00	130	13,260	29,800	0,44	0,86	1,23%
15,00	131	13,362	29,800	0,45	0,86	1,41%
15,00	131	13,362	29,800	0,45	0,86	1,53%
30,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00						
90,00						

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulli

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 4

PROFUNDIDAD: 2,50 mt

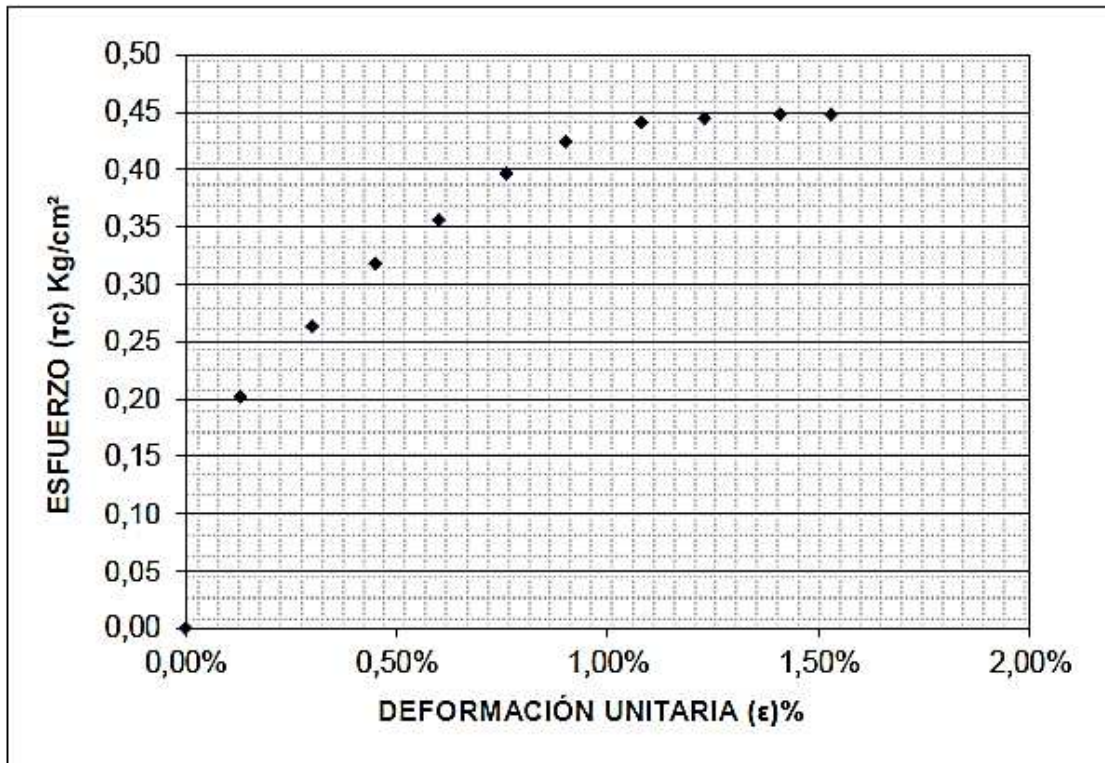
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M2

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 2		
Esfuerzo Cortante		
$\tau_{max} =$	0,45	Kg/cm ²
Esfuerzo Normal		
$\sigma =$	0,86	Kg/cm ²

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulñi						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad						
PERFORACIÓN: SPT 4			PROFUNDIDAD: 2,50 mt			
FECHA: julio del 2020			No. Muestra: M3			
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3086
Características de la muestra:						
Diametro (cm):	6,16	Humedad (%):	14,26%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	97,60			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1633,62			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1429,73			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máxima (mm/min) =		0,65				
Carga normal (Kg) =		51				
σ (Kg/cm ²) =		1,71				
τ (Kg/cm ²) =		0,60				
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	1,71	0,00%
15,00	65	6,630	29,800	0,22	1,71	0,16%
15,00	88	8,976	29,800	0,30	1,71	0,30%
15,00	108	11,016	29,800	0,37	1,71	0,50%
15,00	123	12,546	29,800	0,42	1,71	0,61%
15,00	139	14,178	29,800	0,48	1,71	0,77%
15,00	154	15,708	29,800	0,53	1,71	0,92%
15,00	163	16,626	29,800	0,56	1,71	1,07%
15,00	171	17,442	29,800	0,59	1,71	1,21%
15,00	173	17,646	29,800	0,59	1,71	1,37%
15,00	175	17,850	29,800	0,60	1,71	1,51%
30,00	175	17,850	29,800	0,60	1,71	1,80%
30,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
30,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
30,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulli

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 4

PROFUNDIDAD: 2,50 mt

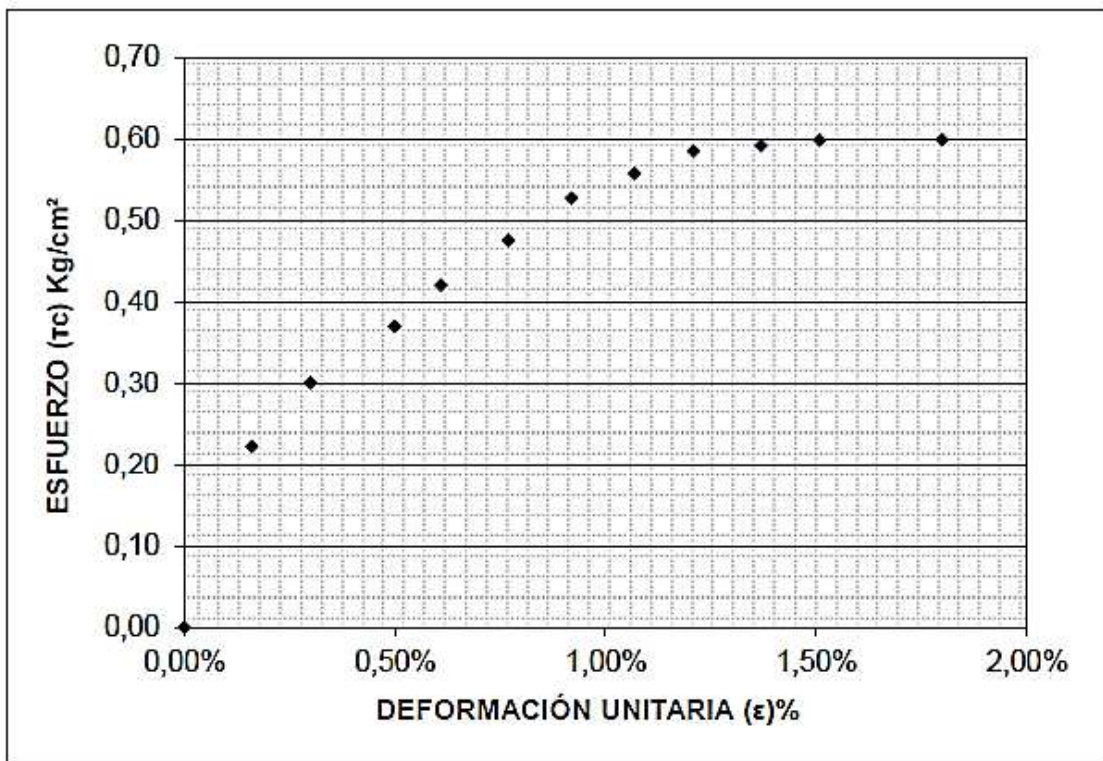
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M3

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 3		
Esfuerzo Cortante		
$\tau_{max} =$	0,60	Kg/cm ²
Esfuerzo Normal		
$\sigma =$	1,71	Kg/cm ²

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulfi

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 4

PROFUNDIDAD: 2,50 mt

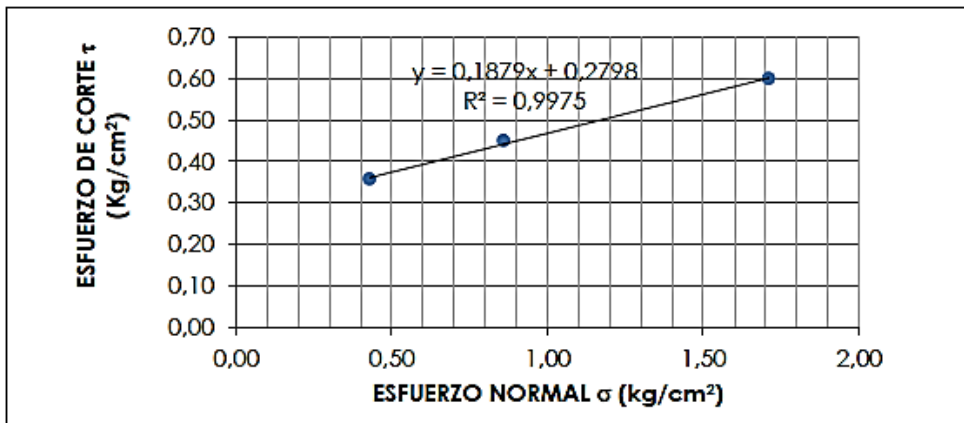
FECHA: julio del 2020

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

GRÁFICO DE LA ENVOLVENTE DE FALLA: MUESTRAS REMOLDEADAS

DATOS				
Especímen	Esfuerzo Normal σ Kg/cm ²	Esfuerzo de Corte τ Kg/cm ²	$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi$	
			C Kg/cm ²	ϕ (°)
1	0,43	0,36	0,28	10,64
2	0,86	0,45		
3	1,71	0,60		

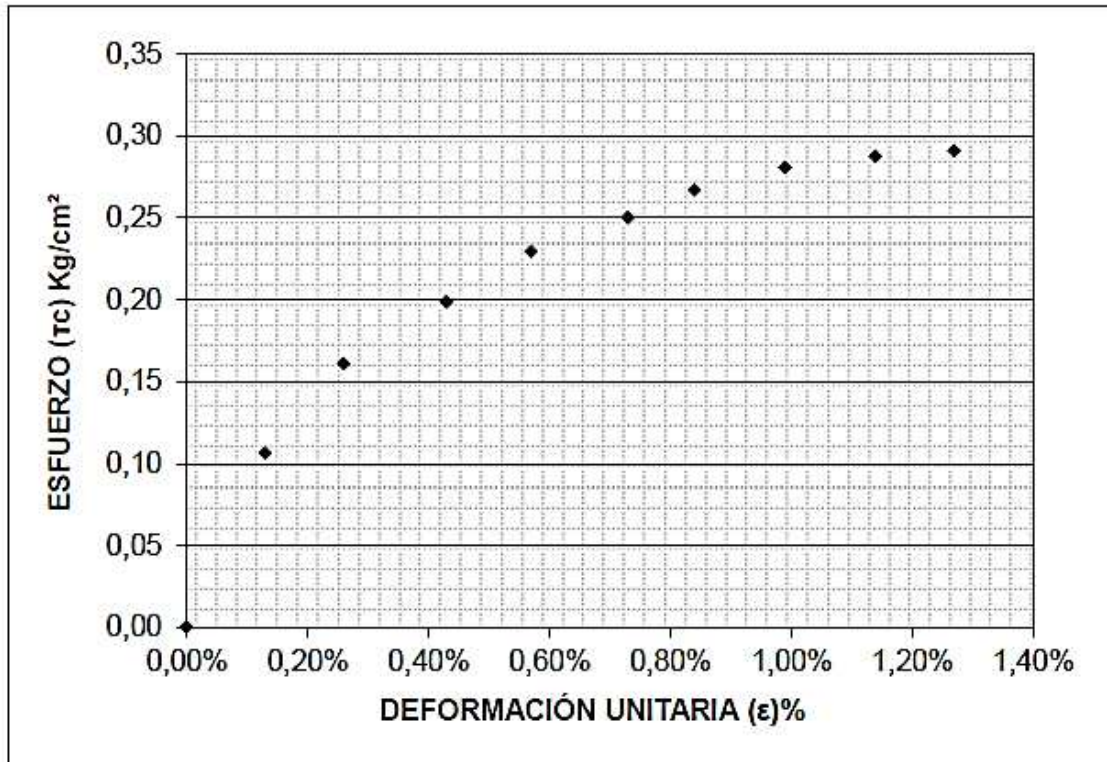


RESULTADOS			ENVOLVENTE DE FALLA
C=	0,28	Kg/cm ²	
ϕ =	11	°	

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Multi						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Limos orgánicos de alta compresibilidad						
PERFORACIÓN: SPT 4				PROFUNDIDAD: 5,50 m		
FECHA: julio del 2020				No. Muestra: M1		
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3084
Características de la muestra:						
Diametro (cm):	6,16	Humedad (%):	28,39%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	90,61			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1513,21			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1178,64			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máxima (mm/min) =				0,65		
Carga normal (Kg) =				12,75		
σ (Kg/cm ²) =				0,43		
τ (Kg/cm ²) =				0,29		
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	0,43	0,00%
15,00	31	3,162	29,800	0,11	0,43	0,13%
15,00	47	4,794	29,800	0,16	0,43	0,26%
15,00	58	5,916	29,800	0,20	0,43	0,43%
15,00	67	6,834	29,800	0,23	0,43	0,57%
15,00	73	7,446	29,800	0,25	0,43	0,73%
15,00	78	7,956	29,800	0,27	0,43	0,84%
15,00	82	8,364	29,800	0,28	0,43	0,99%
15,00	84	8,568	29,800	0,29	0,43	1,14%
15,00	85	8,670	29,800	0,29	0,43	1,27%
15,00	85	8,670	29,800	0,29	0,43	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo		
UBICACIÓN: Nulfi		
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Limos orgánicos de alta compresibilidad		
PERFORACIÓN:	SPT 4	PROFUNDIDAD: 5,50 m
FECHA:	julio del 2020	No. Muestra: M1
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA		<small>ASTM D-3086</small>

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 1		
Esfuerzo Cortante		
$\tau_{max} =$	0,29	Kg/cm ²
Esfuerzo Normal		
$\sigma =$	0,43	Kg/cm ²

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo									
UBICACIÓN: Nulfi									
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Limos orgánicos de alta compresibilidad									
PERFORACIÓN: SPT 4					PROFUNDIDAD: 5,50				
FECHA: julio del 2020					No. Muestra:				
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA									ASTM D-3086
Características del espécimen:									
Espécimen	Altura	Díametro A	Díametro B	Area	Volumen	W molde	W molde + muestra	W húmedo muestra	ph
#	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm ³)	(gr)	(gr)	(gr)	(Kg/m ³)
1	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	41,62	132,23	90,61	1513,21
2	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	40,74	131,34	90,60	1513,04
3	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	42,96	133,78	90,82	1516,72
Contenido de humedad:									
Espécimen	# tarro	W tarro	W tarro+muestra	W seco	Humedad ω (%)	Promedio parcial ω (%)			
1	4	17,11	30,00	27,15	28,39%	28,39%			
2	20	16,77	29,65	26,79	28,54%	28,54%			
3	17	17,74	29,72	27,06	28,54%	28,54%			
Resumen de Datos									
Humedad Promedio Total:				28,49	%				
Densidad Húmeda Prom. Total:				1514	(Kg/m ³)				

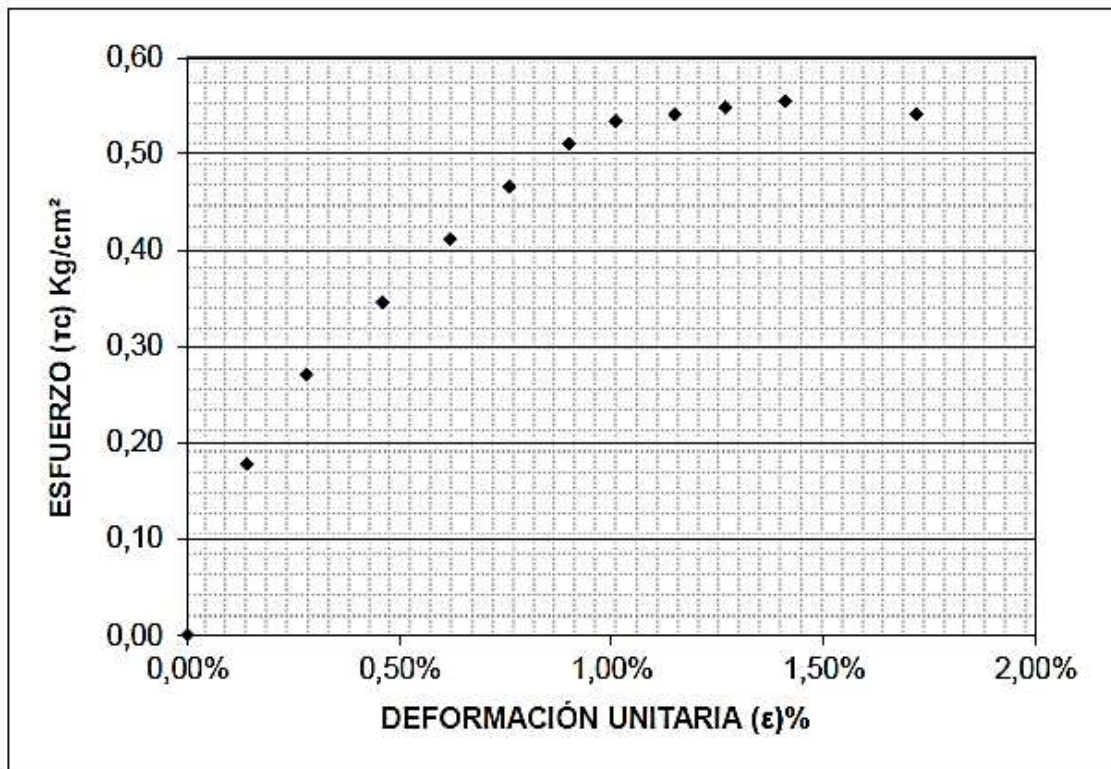
PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulvi						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Limos orgánicos de alta compresibilidad						
PERFORACIÓN: SPT 4				PROFUNDIDAD: 5,50 m		
FECHA: julio del 2020				No. Muestra: M2		
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3086
Características de la muestra:						
Diametro (cm):	6,16	Humedad (%):	28,54%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	90,60			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1513,04			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1177,07			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máquina (mm/min) =				0,65		
Carga normal (Kg) =				25,5		
σ (Kg/cm ²) =				0,86		
τ (Kg/cm ²) =				0,55		
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA CORREGIDA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	0,86	0,00%
15,00	52	5,304	29,800	0,18	0,86	0,14%
15,00	79	8,058	29,800	0,27	0,86	0,28%
15,00	101	10,302	29,800	0,35	0,86	0,46%
15,00	120	12,240	29,800	0,41	0,86	0,62%
15,00	136	13,872	29,800	0,47	0,86	0,76%
15,00	149	15,198	29,800	0,51	0,86	0,90%
15,00	156	15,912	29,800	0,53	0,86	1,01%
15,00	158	16,116	29,800	0,54	0,86	1,15%
15,00	160	16,320	29,800	0,55	0,86	1,27%
15,00	162	16,524	29,800	0,55	0,86	1,41%
30,00	158	16,116	29,800	0,54	0,86	1,72%
30,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00						
90,00						

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo
UBICACIÓN: Nulti
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Limos orgánicos de alta compresibilidad
PERFORACIÓN: SPT 4
FECHA: julio del 2020
PROFUNDIDAD: 5,50 m
No. Muestra: M2

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)

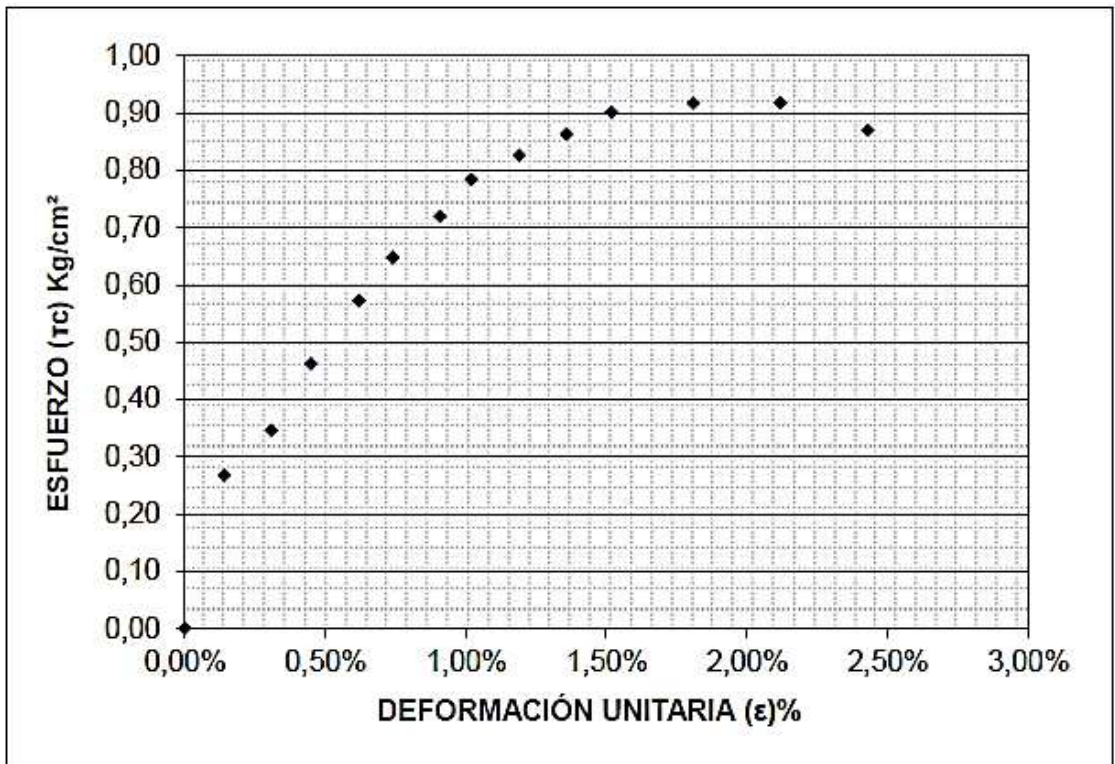


Especimen #: 2		
Esfuerzo Cortante		
$\tau_{max} =$	0,55	Kg/cm^2
Esfuerzo Normal		
$\sigma =$	0,86	Kg/cm^2

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulfi						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Limos orgánicos de alta compresibilidad						
PERFORACIÓN: SPT 4				PROFUNDIDAD: 5,50 m		
FECHA: julio del 2020				No. Muestra: M3		
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3086
Características de la muestra:						
Diametro (cm):	6,16	Humedad (%):	28,54%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	90,60			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1516,72			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1179,95			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máxima (mm/min) =				0,65		
Carga normal (Kg) =				51		
σ (Kg/cm²) =				1,71		
τ (Kg/cm²) =				0,92		
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	1,71	0,00%
15,00	78	7,956	29,800	0,27	1,71	0,14%
15,00	101	10,302	29,800	0,35	1,71	0,31%
15,00	135	13,770	29,800	0,46	1,71	0,45%
15,00	167	17,034	29,800	0,57	1,71	0,62%
15,00	189	19,278	29,800	0,65	1,71	0,74%
15,00	210	21,420	29,800	0,72	1,71	0,91%
15,00	229	23,358	29,800	0,78	1,71	1,02%
15,00	241	24,582	29,800	0,82	1,71	1,19%
15,00	252	25,704	29,800	0,86	1,71	1,36%
15,00	263	26,826	29,800	0,90	1,71	1,52%
30,00	268	27,336	29,800	0,92	1,71	1,81%
30,00	268	27,336	29,800	0,92	1,71	2,12%
30,00	254	25,908	29,800	0,87	1,71	2,43%
30,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	

PROYECTO:	Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo		
UBICACIÓN:	Nulli		
DESCRIPCIÓN DEL SUELO:	Limos orgánicos de alta compresibilidad		
PERFORACIÓN:	SPT 4	PROFUNDIDAD:	5,50 m
FECHA:	julio del 2020	No. Muestra:	M3
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA			<small>ASTM D-3086</small>

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 3		
Esfuerzo Cortante		
$\tau_{max} =$	0,92	Kg/cm^2
Esfuerzo Normal		
$\sigma =$	1,71	Kg/cm^2

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulti

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Limos orgánicos de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 4

PROFUNDIDAD: 5,50 m

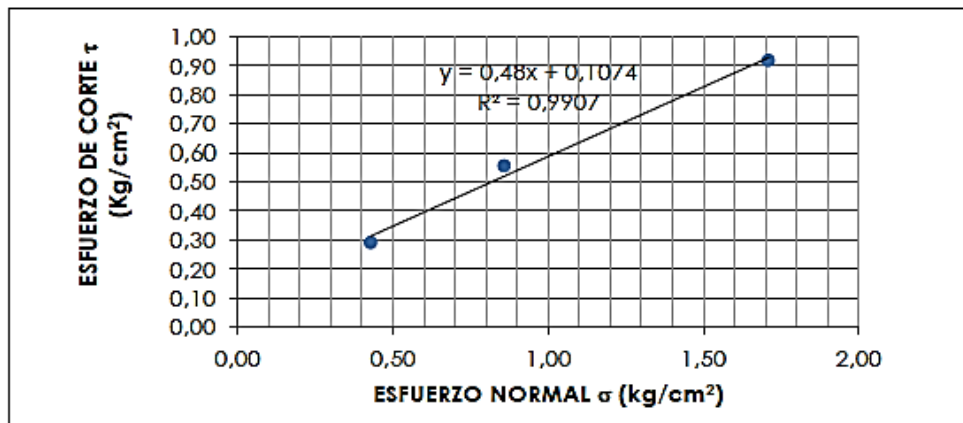
FECHA: julio del 2020

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

GRÁFICO DE LA ENVOLVENTE DE FALLA: MUESTRAS REMOLDEADAS

DATOS				
Especimen	Esfuerzo Normal σ	Esfuerzo de Corte τ	$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi$	
			C	ϕ
#	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	(°)
1	0,43	0,29	0,11	25,64
2	0,86	0,55		
3	1,71	0,92		



RESULTADOS			ENVOLVENTE DE FALLA
C=	0,11	Kg/cm ²	
ϕ =	26	°	

ANEXO 14: Ensayos realizados en SPT 5.

LABORATORIO DE SUELOS						1/2
ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						
Proyecto: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
Uso: Estabilidad		Calculado:				
Pozo: SPT 5		Procedencia: Multi				
Profundidad: 3,50 mt		Fecha: julio del 2020				
NORMAS: AASHTO T-11 T-27 ASTM: D422-88						
TAMIZ (mm)	Pulg.	PESO RETENIDO PARCIAL (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA	
3"	76,200		-	-	100,0	
2 1/2"	63,500		-	-	100,0	
2"	50,800		-	-	100,0	
1 1/2"	38,100		-	-	100,0	
1"	25,400		-	-	100,0	
3/4 "	19,050		-	-	100,0	
1/2 "	12,700		-	-	100,0	
3/8 "	9,525		-	-	100,0	
Nº 4	4,750		-	-	100,0	
< Nº 4	4,750	-	335	(100,0)	100,0	
Nº 10	2,000		-	-	100,0	
Nº 40	0,425	5,5	5,5	1,6	98,4	
Nº 200	0,075	8,1	14,6	4,3	(95,7)	
< Nº 200	<0,075	320,4	320,4	(95,7)		
* Abertura de los tamices tomado del libro "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica", Braja M. Das, Pg. 8						
PESO TOTAL DE LA MUESTRA			335,00	CUARTEO		
CLASIFICACIÓN		GRAVA =	0,00%	Peso total antes del lavado		335,00
SUCS	CH	ARENA =	4,00%	Peso total después del lavado		14,56
AASHTO	A-7-6 (31)	FINOS =	98,00%			
OBSERVACIONES: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad						
CURVA GRANULOMÉTRICA						
<p style="text-align: right;">● Porcentaje que Pasa</p>						

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulli						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad						
PERFORACIÓN: SPT 5			PROFUNDIDAD: 3,50 mt			
FECHA: julio del 2020			No. Muestra: M1			
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3086
Características de la muestra:						
Diametro (cm):	6,16	Humedad (%):	10,17%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	97,61			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1630,11			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1479,58			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máxima (mm/min) =		0,65				
Carga normal (Kg) =		12,75				
σ (Kg/cm ²) =		0,43				
τ (Kg/cm ²) =		0,33				
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	0,43	0,00%
15,00	22	2,244	29,800	0,08	0,43	0,17%
15,00	35	3,570	29,800	0,12	0,43	0,30%
15,00	48	4,896	29,800	0,16	0,43	0,46%
15,00	57	5,814	29,800	0,20	0,43	0,61%
15,00	67	6,834	29,800	0,23	0,43	0,76%
15,00	76	7,752	29,800	0,26	0,43	0,91%
15,00	84	8,568	29,800	0,29	0,43	1,07%
15,00	89	9,078	29,800	0,30	0,43	1,21%
15,00	93	9,486	29,800	0,32	0,43	1,36%
15,00	96	9,792	29,800	0,33	0,43	1,51%
30,00	97	9,894	29,800	0,33	0,43	1,80%
30,00	97	9,894	29,800	0,33	0,43	2,10%
30,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
30,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,43	

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulfi

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 5

PROFUNDIDAD: 3,50 mt

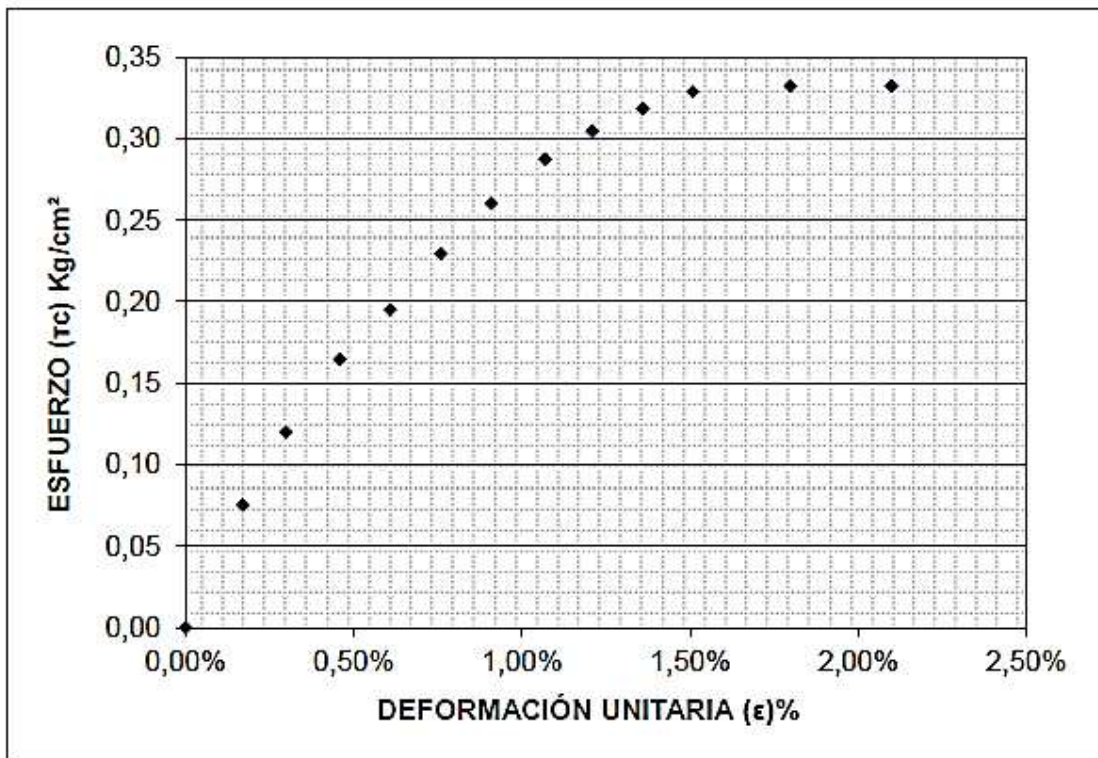
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M1

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 1		
Esfuerzo Cortante		
$\tau_{max} =$	0,33	Kg/cm^2
Esfuerzo Normal		
$\sigma =$	0,43	Kg/cm^2

PROYECTO:	Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo								
UBICACIÓN:	Nulfi								
DESCRIPCIÓN DEL SUELO:	Arcilla inorgánica de alta compresibilidad								
PERFORACIÓN:	SPT 5						PROFUNDIDAD:	3,50 m	
FECHA DE ENSAYO:	julio del 2020								
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA									ASTM D-3086
Características del espécimen:									
Espécimen	Altura	Diametro A	Diametro B	Area	Volumen	W molde	W molde + muestra	W húmedo muestra	ph
#	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm ³)	(gr)	(gr)	(gr)	(Kg/m ³)
1	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	41,62	139,23	97,61	1630,11
2	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	40,74	138,34	97,60	1629,94
3	2,01	6,16	6,16	29,79	59,88	42,96	140,78	97,82	1633,62
Contenido de humedad:									
Espécimen	# tarro	W tarro	W tarro+muestra	W seco	Humedad ω (%)	Promedio parcial ω (%)			
1	10	16,64	37,54	35,61	10,17%	10,17%			
2	12	16,88	35,77	33,96	10,60%	10,60%			
3	11	16,93	35,04	33,42	9,82%	9,82%			
Resumen de Datos									
Humedad Promedio Total:					10,20	%			
Densidad Húmeda Prom. Total:					1631	(Kg/m ³)			

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulfi						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad						
PERFORACIÓN: SPT 5			PROFUNDIDAD: 3,50 mt			
FECHA: julio del 2020			No. Muestra: M2			
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3086
Características de la muestra:						
Diametro (cm):	6,16	Humedad (%):	10,60%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	97,60			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1629,94			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1473,76			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máquina (mm/min) =		0,65				
Carga normal (Kg) =		25,5				
σ (Kg/cm ²) =		0,86				
τ (Kg/cm ²) =		0,41				
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA CORREGIDA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	0,86	0,00%
15,00	35	3,570	29,800	0,12	0,86	0,16%
15,00	53	5,406	29,800	0,18	0,86	0,32%
15,00	67	6,834	29,800	0,23	0,86	0,47%
15,00	77	7,854	29,800	0,26	0,86	0,63%
15,00	83	8,466	29,800	0,28	0,86	0,77%
15,00	87	8,874	29,800	0,30	0,86	0,93%
15,00	91	9,282	29,800	0,31	0,86	1,10%
15,00	94	9,588	29,800	0,32	0,86	1,24%
15,00	96	9,792	29,800	0,33	0,86	1,38%
15,00	99	10,098	29,800	0,34	0,86	1,54%
30,00	103	10,506	29,800	0,35	0,86	1,84%
30,00	106	10,812	29,800	0,36	0,86	2,15%
30,00	109	11,118	29,800	0,37	0,86	2,47%
30,00	112	11,424	29,800	0,38	0,86	2,77%
60,00	118	12,036	29,800	0,40	0,86	3,33%
60,00	121	12,342	29,800	0,41	0,86	3,97%
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
60,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00		0,000	29,800	0,00	0,86	
90,00						
90,00						

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulñi

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 5

PROFUNDIDAD: 3,50 mt

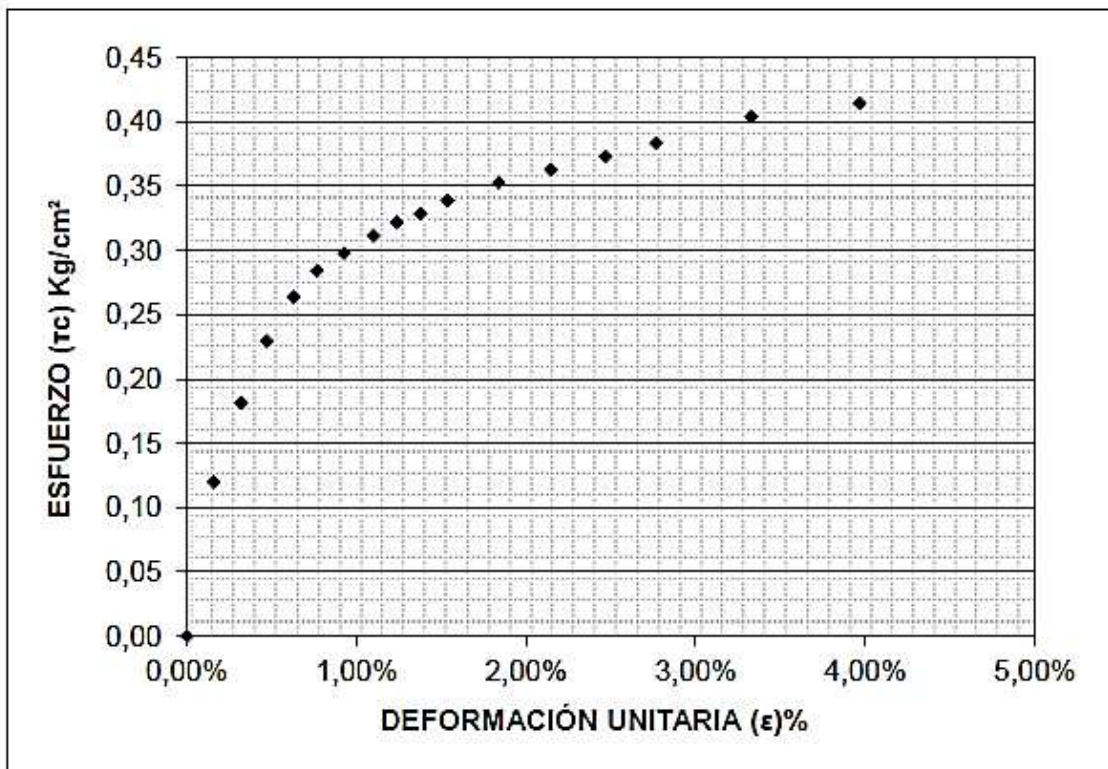
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M2

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Espécimen #: 2		
Esfuerzo Cortante		
$\tau_{max} =$	0,41	Kg/cm^2
Esfuerzo Normal		
$\sigma =$	0,86	Ka/cm^2

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo						
UBICACIÓN: Nulti						
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad						
PERFORACIÓN: SPT 5			PROFUNDIDAD: 3,50 mt			
FECHA: julio del 2020			No. Muestra: M3			
CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA						ASTM D-3086
Características de la muestra:						
Diametro (cm):	6,16	Humedad (%):	9,82%			
Altura (cm):	2,01	Peso (gr):	97,60			
Area (cm ²):	29,79	Densidad húmeda (Kg/m ³):	1633,62			
Volumen (cm ³):	59,88	Densidad seca (Kg/m ³):	1487,48			
Aplicaciones de carga						
Velocidad de carga de máquina (mm/min) =		0,65				
Carga normal (Kg) =		51				
σ (Kg/cm ²) =		1,71				
τ (Kg/cm ²) =		0,59				
LECTURA SEGUNDOS	LECTURA DIAL DE CARGA	CARGA CORTANTE	AREA	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	DEFORMACION UNITARIA
(x0.01 mm)	(x0.002 mm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0,00	0	0,000	29,800	0,00	1,71	0,00%
15,00	62	6,324	29,800	0,21	1,71	0,16%
15,00	90	9,180	29,800	0,31	1,71	0,30%
15,00	113	11,526	29,800	0,39	1,71	0,50%
15,00	132	13,464	29,800	0,45	1,71	0,61%
15,00	145	14,790	29,800	0,50	1,71	0,77%
15,00	158	16,116	29,800	0,54	1,71	0,92%
15,00	167	17,034	29,800	0,57	1,71	1,07%
15,00	169	17,238	29,800	0,58	1,71	1,21%
15,00	171	17,442	29,800	0,59	1,71	1,37%
15,00	170	17,340	29,800	0,58	1,71	1,51%
30,00	168	17,136	29,800	0,58	1,71	1,80%
30,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
30,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
30,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
60,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	
90,00		0,000	29,800	0,00	1,71	

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nuñi

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 5

PROFUNDIDAD: 3,50 mt

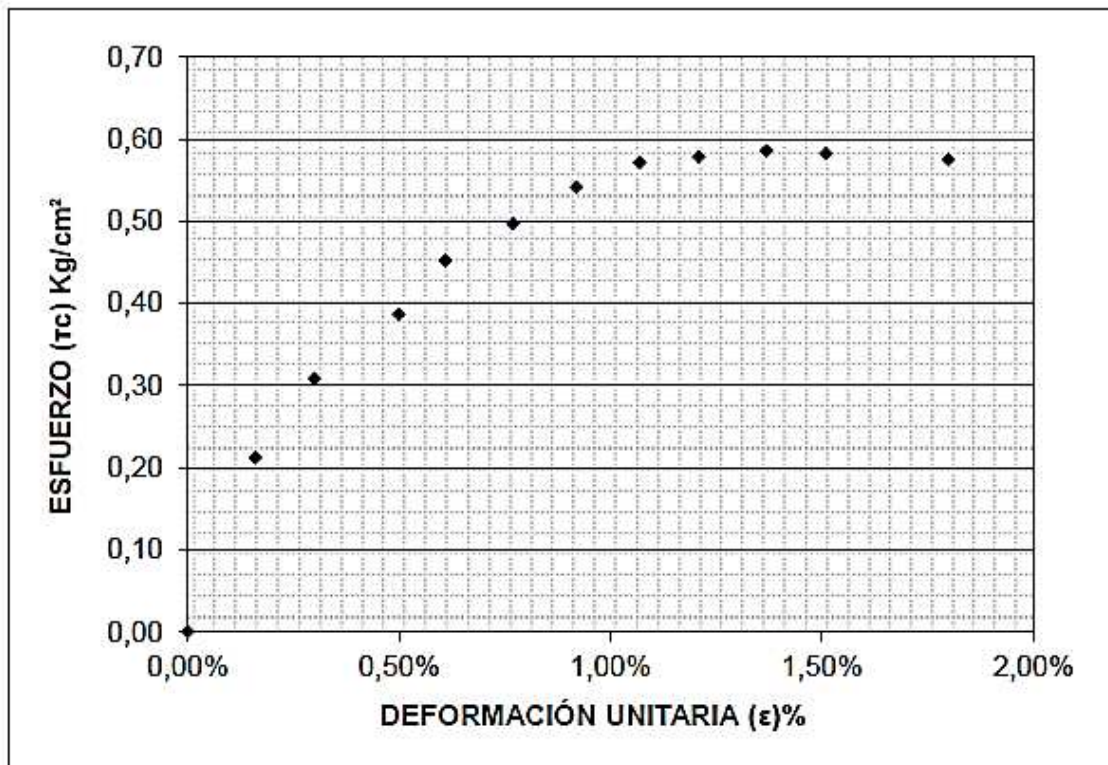
FECHA: julio del 2020

No. Muestra: M3

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3084

Gráfico esfuerzo cortante (τ_c) vs. deformación unitaria (ϵ)



Especimen #: 3		
Esfuerzo Cortante		
$\tau_{max} =$	0,59	Kg/cm^2
Esfuerzo Normal		
$\sigma =$	1,71	Kg/cm^2

PROYECTO: Análisis de estabilidad de talud, cuyo componente es expansivo

UBICACIÓN: Nulfi

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arcilla inorgánica de alta compresibilidad

PERFORACIÓN: SPT 5

PROFUNDIDAD: 3,50 m

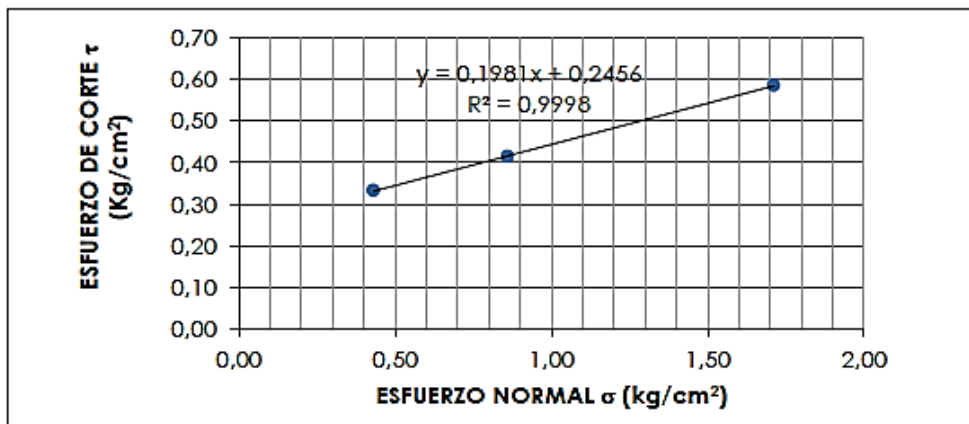
FECHA: julio del 2020

CORTE DIRECTO MUESTRA REMOLDEADA

ASTM D-3086

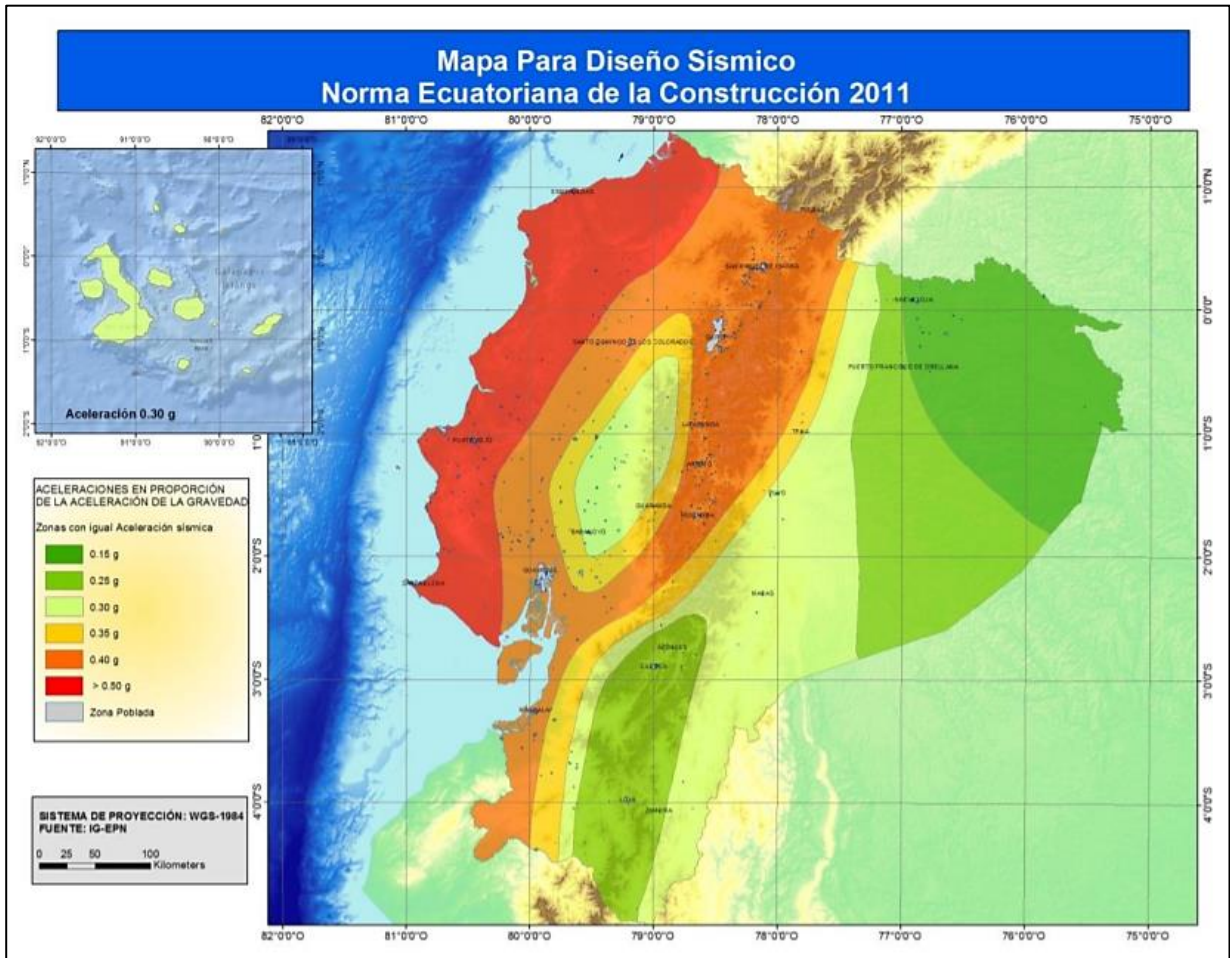
GRÁFICO DE LA ENVOLVENTE DE FALLA: MUESTRAS REMOLDEADAS

DATOS				
Especimen	Esfuerzo Normal σ Kg/cm ²	Esfuerzo de Corte τ Kg/cm ²	$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi$	
			C Kg/cm ²	ϕ (°)
1	0,43	0,33	0,25	11,21
2	0,86	0,41		
3	1,71	0,59		



RESULTADOS			ENVOLVENTE DE FALLA
C=	0,25	Kg/cm ²	
ϕ =	11	°	

ANEXO 15: Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valores del factor Z.



Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

ANEXO 16: Clasificación de los perfiles de suelos.

Tipo de perfil	Descripción	Definición
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100 \text{ KPa}$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180 \text{ m/s}$
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50 \text{ kPa}$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H >3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H >7.5 m con índice de Plasticidad IP >75)	
	F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H >30m)	
	F5—Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
	F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.	

ANEXO 17: Tipo de suelo y factores de sitio Fa.

Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.5	1.39	1.26	1.14	0.97
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.6.4					

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, **Adrián Geovanny Ortega Rivas** portador de la cédula de ciudadanía N° 0104594783. En calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE UN TALUD, CUYO COMPONENTE LITOLÓGICO ES EXPANSIVO” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 26 de enero de 2021



Firmado electrónicamente por:

**ADRIAN
GEOVANNY
ORTEGA RIVAS**

F:
Adrián Geovanny Ortega Rivas
0104594783