

**Estudio del comportamiento de un terraplen ubicado en el K2+140 de la vía El Bosque-
Anillo Vial**

Cristhian David Erazo Moreno

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Civil

Director:

Vladimir Merchan Jaimes

Ph.D en Ingeniería del Terreno Cartográfica y Geofísica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2018

Dedicatoria

Ante todo, agradezco a Dios por darme la perseverancia necesaria a lo largo de toda mi carrera, por guiar cada uno de mis pasos y decisiones tomadas hasta aquí.

A mi papá Jaime Alberto Erazo Meriño, por ser mi mejor amigo, mi más grande consejero, pero, sobre todo, mi mayor ejemplo a seguir.

A mi madre Maria Natividad Moreno Salazar, por su tenacidad y ejemplo como madre, porque sé que es la primera persona que celebra mis triunfos, pero también la primera que sufre mis caídas, por ser la persona que más me exige y la que me brinda el deseo de superación y victoria que se necesita para afrontar cualquier reto en la vida profesional y personal.

A mi director de proyecto, Vladimir Merchán Jaimes, por todo el conocimiento que me compartió como docente, por la paciencia y apoyo brindados para llevar este proyecto a buen término.

A mis compadres, Carlos Hurtado y Eliud Rico, por estar ahí siempre que necesité de su ayuda.

Por último, a mis compañeros de carrera por brindarme sus enseñanzas y experiencias a lo largo de este duro pero fructífero camino que todos decidimos abordar, con la esperanza de yo haber tenido la oportunidad de aportar algo para sus vidas también.

Cristhian David Erazo Moreno

Contenido

	Pág.
Introducción	14
1. Objetivos	15
1.1. Objetivo general.....	15
1.2 Objetivos específicos	15
2. Marco Teórico.....	16
2.1 Suelo	16
2.1.1 Agentes generadores de suelos	16
2.1.2 Identificación de los suelos.....	17
2.2 Propiedades de los suelos:	17
2.2.1 Propiedades mecánicas del suelo	18
2.2.2 Propiedades hidráulicas del suelo:	19
2.3 Asentamientos.....	20
2.3.1 Asentamientos inmediatos.	21
2.3.2 Asentamientos por consolidación.	21
2.3.3 Asentamientos por compresión secundaria.....	21
2.4 Métodos de exploración en campo:	21
2.4.1 Métodos de exploración de carácter preliminar.....	21
2.4.2 Métodos de sondeos definitivo	22

2.4.3 Métodos geofísicos	22
2.5 Método de penetración estándar (SPT):.....	22
2.6 Método refracción sísmica.....	25
2.7 Ensayo de determinación del índice de colapso	25
2.8 Terraplén.....	27
2.9 Tipos de terraplén	27
2.9.1 Terraplenes planos.	27
2.9.2 Terraplenes en zonas montañosas y escarpadas.....	27
2.9.3 Terraplenes en zonas onduladas.....	27
2.10 Proceso constructivo de un terraplén	27
2.11 Compactación de los terraplenes	28
3. Información del Sitio en Estudio	30
3.1 Ubicación	30
3.2 Geometría del tramo vial en estudio:.....	31
3.3 Caracterización geotécnica de la vía.....	32
3.4 Propiedades geotécnicas de los apiques:.....	33
4. Modelo de simulaciones numéricas mediante PLAXIS 2D PROFESSIONAL versión 2017 .	35
5. Resultados de las simulaciones numéricas hechas en el software PLAXIS 2D PROFESSIONAL versión 2017	40
5.1 Resultados obtenidos en la abscisa K2+100	40
5.1.1 Análisis de estabilidad	40
5.1.1 Desplazamientos verticales Uy.....	41
5.1.2 Desplazamientos horizontales Ux.....	41

5.1.3 Análisis de sensibilidad básico.	42
6. Conclusiones	44
Referencias Bibliográficas	46
Apéndices.....	47

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Esquema del penetrómetro estándar.....	23
Figura 2. Correlación entre el número de golpes de penetración estándar y el ángulo de fricción interna de las arenas.....	25
Figura 3. Magnitud del desplazamiento vertical a través del tiempo.	26
Figura 4. Graficas de resultados obtenidos de un ensayo de proctor estándar y proctor modificado.	29
Figura 5. Imagen satelital de la ubicación de la transversal El Bosque.....	31
Figura 6. Sección transversal del eje vial en la abscisa K2+100.	32
Figura 7. Ubicación de los apiques en el plano del eje vial.....	33
Figura 8. Modos de cálculo empleados en el software PLAXIS 2D.	36
Figura 9. Tipo de modelo usado en la simulación numérica, en este caso, para todas las secciones es Mohr-Coulomb.	37
Figura 10. Esquema del suelo de fundación en el modelo de simulación (fase inicial).	37
Figura 11. Montaje de la base del terraplén abscisa K2+100 (fase 1).	38
Figura 12. Montaje de la corona del terraplén abscisa K2+100 (fase 2).	38
Figura 13. Asignación de la carga externa al terraplén (fase 3).....	39
Figura 14. Comportamiento del factor de seguridad en la abscisa K2+100.	40
Figura 15. Desplazamientos verticales sección K2+100 del terraplén.	41

Figura 16. Desplazamientos en corte sección K2+100 del terraplén..... 42

Figura 17. Gráfica desplazamientos verticales U_y vs Módulo E (MPa) sección K2+100. 42

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Densidad relativa para suelos friccionantes en función del número de golpes N provenientes del ensayo SPT.	24
Tabla 2. Resistencia a la compresión para suelos arcillosos en función del número de golpes N provenientes del ensayo SPT.	24
Tabla 3. Coordenadas de los apiques requeridos en la zona de estudio.	32
Tabla 4. Propiedades requeridas para la creación del modelo del terraplén en el software.	34
Tabla 5. Valores numéricos correspondientes a las variables requeridas por el modelo Mohr- Coulomb en el software PLAXIS 2D para la abscisa K2+100.	34
Tabla 6. Valores numéricos correspondientes a las variables requeridas por el modelo Mohr- Coulomb en el software PLAXIS 2D para el suelo de fundación.	36

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Problemas preliminares de la transversal el bosque.	47
Apéndice B. Método de refracción sísmica.	49
Apéndice C. Información de laboratorio	54
Apéndice D. Propiedades del suelo usados en la simulación numérica	70
Apéndice E. Proceso de creación del modelo de simulación.....	71
Apéndice F. Resultados de proceso de modelación.....	80

Resumen

Titulo. Estudio del comportamiento de un terraplen ubicado en el k2+140 de la vía El Bosque-Anillo Vial *

Autor: Cristhian David Erazo Moreno **

Palabras Clave: Terraplén, suelo, compactación, asentamientos, deformaciones

La presente investigación se enfoca en estudiar las características geomecánicas de diseño y construcción del terraplén de acceso al puente de la vía ubicado en el sector K2+140 (costado occidental) de la vía El Bosque- Anillo Vial en la ciudad de Floridablanca, con el fin de determinar las posibles causas de algunos movimientos de terreno en términos de asentamientos observables en la zona de andenes y posibles movimientos horizontales en el terraplén, así como, poder brindar alternativas de solución. En particular, se estudia las características de compactación ya que por efectos de humedecimiento se pueden presentar deslizamientos entre las partículas que conlleven a una reducción de los vacíos y por tanto a asentamientos no deseables (Alonso et al., 1999).

Se puede observar a lo largo de este artículo que un suelo con baja compactación tiene como consecuencia un módulo de elasticidad bajo, lo que genera asentamientos importantes no deseados en el momento en el que el terraplén o la porción de suelo se vea sometido a cargas externas importantes, en este caso, cargas de tráfico.

El siguiente artículo busca hacer un retro análisis sobre el terraplén en mención a través de un análisis de sensibilidad básico de los desplazamientos verticales a medida que varía el módulo de elasticidad, con el fin de obtener graficas acerca del comportamiento deformacional de este

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Vladimir Merchan Jaimes

Abstract

Title: Study of the behavior of a terrain located on the hill + 140 of the El Bosque-Anillo Vial road *.

Author: Cristhian David Erazo Moreno**

Keywords: Embankment, soil, compaction, settlements, deformations

The present investigation focuses on studying the geomechanical characteristics of design and construction of the access embankment to the bridge of the road located in sector K2 + 140 (western side) of the El Bosque-Anillo Vial road in the city of Floridablanca, with the In order to determine the possible causes of some ground movements in terms of observable settlements in the area of platforms and possible horizontal movements in the embankment (see Annex 1.), as well as being able to provide alternative solutions. In particular, compaction characteristics are studied since, due to wetting effects, slides can occur between the particles that lead to a reduction of the voids and therefore to undesirable settlements (Alonso et al., 1999).

It can be observed throughout this article that a soil with low compaction has as a consequence a small modulus of elasticity, which generates important unwanted settlements at the moment in which the embankment or the portion of the soil is subjected to external loads important, in this case, traffic loads.

The present article seeks to make a retro analysis on the mentioned embankment through a basic sensitivity analysis of the vertical displacements as the modulus of elasticity varies, in order to obtain graphs about the deformational behavior of this

* Project of Grade

** Facultad de Ingenierias Fisicomecanicas. Escuela de Ingenieria Civil. Director: Director: Vladimir Merchan Jaimes

Introducción

Parte del desarrollo de un país se mide en la cantidad y calidad de la infraestructura vial que tiene. Colombia, ha sido un país con un rezago importante en este tema durante las últimas cinco décadas y como consecuencia, no se ha tenido alta conectividad entre las ciudades principales y las poblaciones. Incluso en el caso urbano, las ciudades intermedias apenas parecen presentar un incremento importante en su desarrollo vial en los últimos años. Por ejemplo, en el caso de Bucaramanga y su área metropolitana, se están terminando obras como el tercer carril y la conexión entre el Barrio el Bosque y el anillo vial. Ésta última afectada por algunos indicios de movimientos del terreno en términos de asentamientos observables en las zonas de andenes y posibles movimientos horizontales en el terraplén.

La presente investigación busca hacer un análisis geotécnico a una sección importante del terraplén de la vía que conecta el sector del El Bosque con el Anillo Vial, esto con el fin de obtener información que permita establecer las causas de los movimientos de terreno presentados en la zona, partiendo de tres posibles hipótesis: Mala compactación del terreno, problema de estabilidad de los taludes del terraplén y posibles desplazamientos de las partículas del suelo debido al humedecimiento de estas.

El análisis arriba mencionado consta de una caracterización geotécnica de la vía, a través de ensayos in situ y ensayos de laboratorio, así como también apiques y sondeos para tener información acerca de las variables requeridas para la creación de un modelo de simulación

numérica en el software PLAXIS 2D PROFESSIONAL VERSION 2017, usando la licencia proporcionada por la Universidad Industrial De Santander UIS.

1. Objetivos

1.1. Objetivo general

Estudiar el comportamiento esfuerzo-deformación del terraplén de acceso al puente de la vía entre el Bosque y el anillo vial de la ciudad de Floridablanca- Santander.

1.2 Objetivos específicos

- Establecer las propiedades geotécnicas del terraplén construido.
- Estudiar el comportamiento esfuerzo-deformación, mediante la realización de una serie de simulaciones numéricas con el programa de computador PLAXIS 2D.
- Establecer las causas de los desplazamientos observados en el terreno.
- Recomendar posibles soluciones para la problemática.

2. Marco Teórico

2.1 Suelo

El suelo representa todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicio, hasta areniscas ¹parcialmente cementadas o lutitas ²suaves. Quedan excluidas de esta definición las rocas sanas, ígneas o metamórficas y los depósitos sedimentarios altamente cementados, que no se ablanden o desintegran rápidamente por la acción de la intemperie. (*Juárez y Rico, 2005*)

2.1.1 Agentes generadores de suelos. La corteza terrestre es atacada principalmente por el aire y las aguas, siendo los medios de acción de estas sustancias sumamente variados. Sin embargo, los mecanismos de ataque a la corteza se pueden clasificar en dos grandes grupos: desintegración mecánica y desintegración química. (*Juárez y Rico, 2005*)

La desintegración mecánica se refiere a la intemperización de las rocas por agentes físicos, tales como cambios de temperatura o efectos de los organismos y plantas. Este fenómeno produce meteorización en las rocas, dando origen a la formación de arenas, y en un caso menos probable, arcillas y finos. (*Juarez y Rico, 2005*)

En cambio, la desintegración química es la acción de agentes que atacan las rocas afectando su composición mineralógica. El principal efecto en este fenómeno es el causado por el agua, ya que

¹ Areniscas: Roca sedimentaria que tiene clastos de tamaño de arena. Entre su uso más común es el de material de construcción.

² Lutita: es una roca sedimentaria detrítica o clástica de textura pelítica, variopinta; es decir, integrada por detritos clásticos constituidos por partículas de los tamaños de la arcilla y del limo.

esto da lugar a ataques como oxidación, hidratación y la carbonatación de la roca madre. Este tipo de desintegración produce generalmente arcillas en zonas húmedas y cálidas, y formaciones arenosas o limosas en climas más fríos. (Juarez y Rico, 2005)

2.1.2 Identificación de los suelos. Los suelos se clasifican en gravas, arenas y materiales finos, aunque generalmente en toda la corteza terrestre se encuentran múltiples combinaciones entre estos tres grupos.

Para poder identificar estas combinaciones, se suelen hacer ensayos de granulometría (pueden ser por tamizado o hidrómetro³). los resultados de estos ensayos generan un nombre específico para cada tipo de suelo, estos nombres pueden ser mediante dos nomenclaturas: Sistema unificado de Clasificación De Suelos (S.U.C. S⁴) y el American Association Of State Highway Officials (A.A.S.T.H.O)⁵.

2.2 Propiedades de los suelos:

Los suelos cuentan con propiedades mecánicas y propiedades hidráulicas. Entre las propiedades mecánicas están la resistencia al esfuerzo cortante y compactación, mientras que, algunas de las propiedades hidráulicas son: tensión superficial, permeabilidad y consolidación.

³ El ensayo de granulometría por tamizado se rige bajo la norma del INVIAS I.N.V. E-123 y el ensayo de hidrómetro se hace bajo la norma INVIAS I.N.V. E-124

⁴ S.U.C.S: Es un sistema de clasificación de suelos usado en ingeniería y geología para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo

⁵ A.A.S.H.T.O: La Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes o por sus siglas en inglés AASHTO, de American Association of State Highway and Transportation Officials, es un órgano que establece normas, publica especificaciones y hace pruebas de protocolos y guías usadas en el diseño y construcción de autopistas en todo los Estados Unidos. A pesar de su nombre, la asociación representa no sólo a las carreteras, sino también al transporte por aire, ferrocarril, agua y transporte público.

2.2.1 Propiedades mecánicas del suelo

- **Resistencia al esfuerzo cortante:**

La resistencia que ofrece una masa de suelo frente al deslizamiento de la otra está relacionada con las fuerzas friccionales que se desarrollan entre los granos que la componen. (Torrado y Rondón, 2016)

Las partículas de suelo generalmente están sufriendo tres tipos de sollicitaciones: tensiones normales (pueden ser de compresión o tracción), tensiones tangenciales o de corte y tensiones neutras (debido al incremento de la presión de agua en los poros del suelo). (Torrado y Rondón, 2016)

El físico e ingeniero C. A. Coulomb (1776) fue el que primero postuló un trabajo acerca de la resistencia de los suelos. La primera idea de Coulomb consistió en asumir que la fricción interna entre las partículas del suelo era la causante de la resistencia al esfuerzo de corte de este. (Juarez y Rico, 2005)

Coulomb admitió que los suelos fallan por esfuerzo cortante a lo largo de un plano de deslizamiento en específico. Entonces dada una masa de suelo y un plano potencial de falla de esta, Coulomb pudo encontrar que el esfuerzo cortante máximo susceptible; es decir, la resistencia al cortante del suelo es proporcional al valor del esfuerzo normal del suelo en ese mismo plano de falla. Esa relación de proporcionalidad está plasmada en la siguiente ecuación: (Juarez y Rico, 2005)

$$\tau = \sigma \cdot \tan(\phi)$$

Donde τ , es el esfuerzo cortante, σ , el esfuerzo normal y ϕ , un parámetro constante que Coulomb denominó “ángulo de fricción interno del suelo”.

Coulomb pudo apreciar que, teniendo en cuenta que al tratar la envolvente de resistencia como lineal, en materiales arcillosos y limosos aparece un valor de resistencia al corte para esfuerzo normal cero. Este intercepto se denomina cohesión aparente “c”, quedando la ecuación de la siguiente forma:

$$\tau = \sigma \cdot \tan(\phi) + c$$

Existen ensayos de laboratorio que permiten hallar la resistencia cortante de una muestra de suelo. Cada ensayo tiene un procedimiento diferente y unas condiciones totalmente específicas con respecto al otro. Algunos de estos ensayos son: ensayo de corte directo⁶, ensayo triaxial⁷ y ensayo de compresión encofinada⁸.

2.2.2 Propiedades hidráulicas del suelo:

- **Tensión superficial:**

Al alterar la forma de la superficie de un líquido, también se altera su área, aumentándose. Para ello se hace necesario realizar un trabajo. El trabajo requerido para aumentar el área de una superficie líquida es proporcional a dicho aumento. En donde, el coeficiente de tensión superficial (T_s) es la relación entre ambos. Este coeficiente tiene un valor constante de 0.074 g/cm^2 . (Juarez y Rico, 2005)

- **Permeabilidad:**

El flujo de agua a través de un medio poroso (en este caso el suelo), de gran interés en la mecánica de suelos, está gobernado por una ley descubierta de manera experimental por Henri

⁶ El ensayo de corte directo se realiza en Colombia de acuerdo con la norma INVIAS (INV. E 154-07)

⁷ El ensayo de compresión triaxial se realiza en Colombia de acuerdo con la norma INVIAS (INV. E 153-07)

⁸ El ensayo de compresión encofinada se realiza en Colombia de acuerdo con la norma INVIAS (INV.E 152-07)

Darcy⁹ en 1856. El resultado de este experimento es el llamado coeficiente de permeabilidad, este se define como la velocidad de descarga a través de un área unitaria bajo un gradiente hidráulico unitario. *(Juarez y Rico, 2005)*

El coeficiente de permeabilidad K, se da en unidades de velocidad.

Entre los factores que pueden llegar a afectar la permeabilidad están la viscosidad del fluido, el tamaño y la continuidad de los poros y la presencia de discontinuidades. *(Juarez y Rico, 2005)*

- **Consolidación:**

La consolidación es un proceso de reducción de volumen de los suelos finos cohesivos, provocados por las cargas externas sobre su masa y que ocurre en un transcurso de tiempo generalmente largo. Esa reducción de volumen da origen a los asentamientos o hundimientos verticales en las construcciones generando problemas de inestabilidad en las mismas. *(Juarez y Rico, 2005)*

El proceso de consolidación evalúa la magnitud y la velocidad en la que se producen los asentamientos. *(Juarez y Rico, 2005)*

2.3 Asentamientos

Los asentamientos son deformaciones que presentan los suelos al verse sometidas a cargas excesivas a lo largo de un periodo de tiempo. *(Ramírez, 2017)*

Pueden presentarse tres tipos de asentamientos en una masa de suelos:

⁹ Henry Darcy, ingeniero de puentes y caminos francés, también hidráulico, a su nombre se le atribuye la medida de permeabilidad de un cuerpo, debido a los tratados de Dijon.

2.3.1 Asentamientos inmediatos. Son causados por la deformación elástica de los suelos, se aprecia mejor en suelos granulares. *(Ramírez, 2017)*

2.3.2 Asentamientos por consolidación. Es el cambio de volumen en suelos *cohesivos saturados*, debido a la expulsión del agua que ocupan los poros. Es una deformación producida a lo largo del tiempo. *(Ramírez, 2017)*

2.3.3 Asentamientos por compresión secundaria. Parte de una deformación que ya sucedió y ocurrió con un esfuerzo efectivo constante. Resulta de un ajuste en la estructura del suelo. *(Ramírez, 2017)*

2.4 Métodos de exploración en campo:

Los tipos de sondeos que se usan con fines de muestreo y exploración del subsuelo, en general, son los siguientes: *(Juarez y Rico, 2005)*

2.4.1 Métodos de exploración de carácter preliminar

- Pozos a cielo abierto, con muestreo alterado o inalterado.
- Perforaciones con posteadora, barrenos o métodos similares.
- Métodos de lavado.
- Métodos de penetración estándar.
- Método de penetración cónica.

- Perforación en boleos y gravas.

2.4.2 Métodos de sondeos definitivo

- Pozos a cielo abierto con muestreo inalterado.
- Métodos de tubo con pared delgada.
- Métodos rotatorios para roca.

2.4.3 Métodos geofísicos

- Sísmicos.
- De resistencia eléctrica.
- Magnético y gravimétrico.

Para efectos del caso de estudio en particular se hace énfasis en los sondeos por penetración estándar y el método geofísico sísmico.

2.5 Método de penetración estándar (SPT):

Este procedimiento es, entre todos los exploratorios preliminares, quizá el que rinde mejores resultados en la práctica y proporciona más útil información en torno al subsuelo y no solo en lo referente a descripción. La figura 1 muestra el esquema del penetrómetro usado en un ensayo de SPT convencional. (*Juarez y Rico, 2005*)

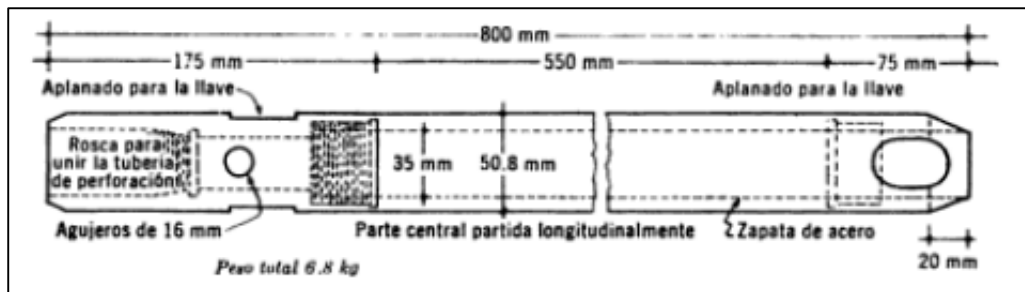


Figura 1. Esquema del penetrómetro estándar.

Nota. Adaptado de: *Juarez, Badillo; Rodriguez, Rico. (1975) Mecánica de suelos, fundamentos de la mecánica de suelos. Tomo 1. México. Limusa,*

En suelos puramente friccionantes la prueba permite conocer la compacidad de los mantos (característica fundamental respecto a su comportamiento mecánico. Además, el método lleva implícito un muestreo, que proporciona muestras alteradas representativas del suelo en estudio. (Juarez y Rico, 2005)

El penetrómetro se enrosca al extremo de la tubería de perforación y la prueba consiste en hacerlo penetrar a golpes dados por un martinete de 63.5 Kg que cae desde una altura de 76 cm, contando el número de golpes necesarios para lograr una penetración de 30 cm

La utilidad e importancia mayor de la prueba de penetración estándar radica en las correlaciones realizadas en campo y en el laboratorio en diversos suelos (sobre todo arenas), que permiten relacionar la compacidad, densidad relativa, ángulo de fricción interna y un valor estimativo de la resistencia a la compresión simple para arcillas. (ver tabla 1, tabla 2 y figura 2). Lo anterior, teniendo en cuenta que permite estimar ciertas propiedades en suelos granulares particularmente, los cuales son difíciles de muestrear.

Tabla 1.

Densidad relativa para suelos friccionantes en función del número de golpes N provenientes del ensayo SPT.

Número de penetración estándar N	Densidad relativa %	Estado del suelo
0 a 3	0 a 15	Muy Suelto
3 a 8	15 a 35	Suelto
8 a 25	35 a 65	Medio
25 a 42	65 a 85	Denso
42 a 58	85 a 100	Muy denso

Nota. Adaptado de: *Jamiel Kowski y otros, (1988) "New correlations of penetration tests for design practice" Penetration testing, 1988 ISOPT-1, Balkema,.*

Tabla 2.

Resistencia a la compresión para suelos arcillosos en función del número de golpes N provenientes del ensayo SPT.

Número de penetración estándar N	Consistencia	Resistencia a compresión KPa
0 a 2	Muy blanda	0 a 25
2 a 5	Blanda	25 a 50
5 a 10	Medio firme	50 a 100
10 a 20	Firme	100 a 200
20 a 30	Muy firme	200 a 400
> 30	Dura	> 400

Nota. Adaptado de: Braja Das (1999) "Principios de ingeniería de cimentaciones", Thomson Editores, México, 1999.

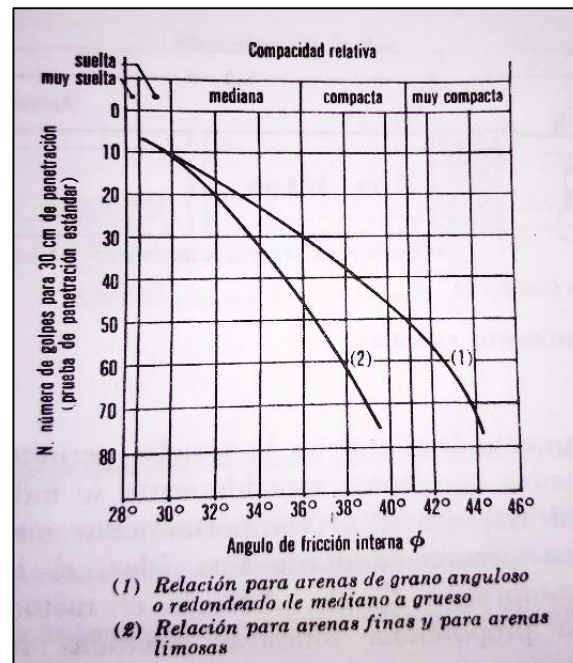


Figura 2. Correlación entre el número de golpes de penetración estándar y el ángulo de fricción interna de las arenas.

Nota. Adaptado de: Juárez, Badillo; Rodríguez, Rico. (1975) Mecánica de suelos, fundamentos de la mecánica de suelo. Tomo 1. México. Limusa.

2.6 Método refracción sísmica

Para ver la teoría relacionada al método de refracción sísmica, dirigirse al *Anexo 2*.

2.7 Ensayo de determinación del índice de colapso

El objetivo del ensayo es determinar la magnitud del colapso unidimensional o edométrico que se produce en el momento cuando se inunda un suelo parcialmente saturado. El colapso se define como una disminución de altura que experimenta una muestra de suelo inalterada, confinada lateralmente y sometida a un esfuerzo vertical constante, en el momento de ser inundada. Un suelo

con susceptibilidad al colapso puede experimentar deformaciones verticales pequeñas bajo el efecto de esfuerzos verticales importantes, mientras su contenido en humedad sea bajo; sin embargo, puede sufrir asentamientos importantes a partir del momento de ser inundado, manteniéndose constante la presión vertical. La figura 3, muestra el comportamiento de la muestra de suelo en estudio con respecto al colapso.

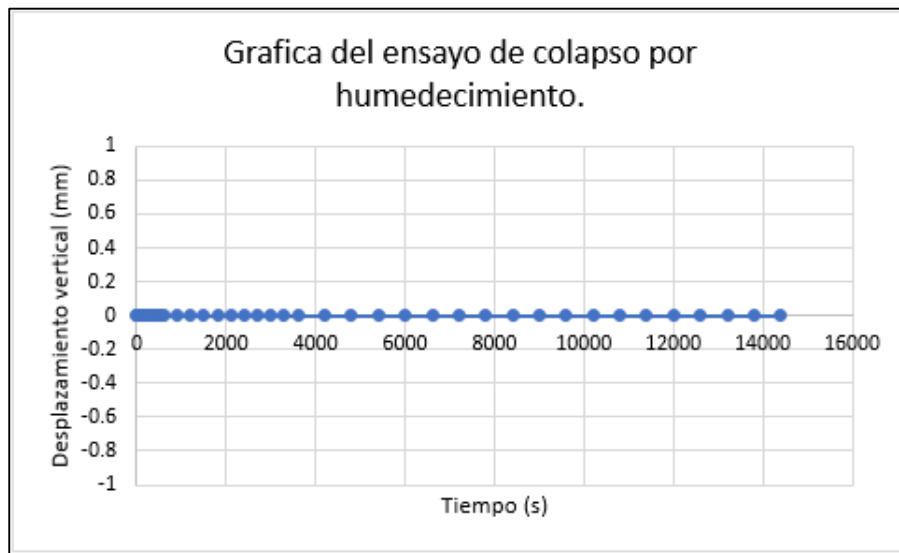


Figura 3. Magnitud del desplazamiento vertical a través del tiempo.

De acuerdo con los resultados experimentales, se concluye que los asentamientos observados no están relacionados al colapso de la estructura del terraplén por efectos de humedecimiento. Con lo cual la única hipótesis posible para explicar los asentamientos es la posibilidad de que el suelo del terraplén tenga un módulo elástico bajo, dado por mala compactación.

2.8 Terraplén

Los terraplenes son grandes cantidades de tierra previamente humectadas y compactadas que sirven de soporte para la posterior construcción de la vía. Existen varios tipos de terraplén en función de la topografía del terreno donde se planea construir la vía.

2.9 Tipos de terraplén

2.9.1 Terraplenes planos. Son terraplenes de alturas menores a cinco metros en sección transversal y que pueden tener varios kilómetros de longitud.

2.9.2 Terraplenes en zonas montañosas y escarpadas. A diferencia de los terraplenes planos, estos se caracterizan por tener alturas muy grandes y longitudes pequeñas

2.9.3 Terraplenes en zonas onduladas. Son un tipo de terraplén de características intermedias entre los dos tipos de relleno mencionados anteriormente. (*Universidad Nacional Sede Medellín, 2017*)

2.10 Proceso constructivo de un terraplén

El proceso constructivo de un terraplén comprende diversas etapas y operaciones encaminadas a conseguir las características necesarias de resistencia que aseguren un correcto funcionamiento de

este. El funcionamiento de una vía depende en gran medida de la correcta construcción del terraplén que la va a soportar. *(Bañon y Blázquez, 2000)*

Un mal proceso constructivo puede llegar a generar distintos problemas que afectaran la vida útil de la superficie de rodadura, por ejemplo, una compactación y humectación deficiente puede generar problemas de asentamientos no deseados en la vía. *(Bañon y Blázquez, 2000)*

La construcción de un terraplén comprende las siguientes fases: *(Bañon y Blázquez, 2000)*

- Remoción de la capa superficial del terreno.
- Extendido de la capa de suelo.
- Humectación a la humedad optima Proctor.
- Compactación

2.11 Compactación de los terraplenes

La compactación es un proceso en el que se busca reducir el índice de poros de un suelo usando medios mecánicos. La reducción del índice de poros se hace mediante la reducción del volumen del aire que presenta los suelos y esta se puede hacer mediante varias formas: *(Ramírez, 2017)*

- Reorientación de las partículas.
- Fractura de los granos y las ligaduras entre sí.

El proceso de compactación depende del tipo de suelo que se requiera compactar, por ejemplo, para suelos no cohesivos, el proceso de compactación incluye reorientación y fractura de los granos, mientras que, para los suelos cohesivos, la compactación está acompañada de distorsión y reorientación de partículas. *(Ramírez, 2017)*

Las pruebas estándar de laboratorio que se usan normalmente para determinar el grado de compactación de varios suelos son los ensayos de proctor estándar (*INV¹⁰-141*) y proctor modificado (*INV-142*). El suelo se compacta en un molde en varias capas por medio de un pisón, al hacer esto, la humedad del suelo cambia y se determina el peso específico seco en cada prueba. Estos ensayos determinan el peso específico seco máximo de compactación y el correspondiente contenido de agua (humedad óptima) mediante una gráfica (*Figura 4.*) entre estos dos parámetros.

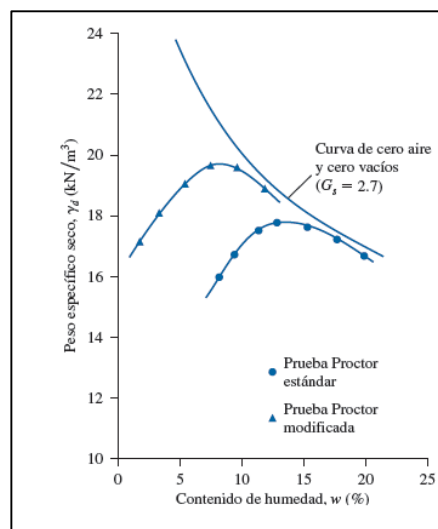


Figura 4. Gráficas de resultados obtenidos de un ensayo de proctor estándar y proctor modificado. Nota. Adaptado de: Braja Das. (1999) “Principios de ingeniería de cimentaciones”, Thomson Editores, México, 1999.

La maquinaria empleada en la compactación de terraplenes es muy diversa, aunque suelen emplearse compactadores vibratorios de llanta lisa metálica, compactadores de neumáticos o rodillos de pata de cabra según el tipo de suelo; en los márgenes y zonas difíciles se emplean vibro apisonadores o planchas vibrantes. (*Bañon y Blázquez, 2000*).

¹⁰ Instituto Nacional De Vías, entidad encargada de proporcionar las normas sobre los ensayos aplicados a los suelos en Colombia.

3. Información del Sitio en Estudio

3.1 Ubicación

El proyecto vial de la Transversal del Bosque Tramo 2, se localiza en el municipio de Floridablanca, departamento de Santander, entre las coordenadas $7^{\circ}04'00''$ Norte y $73^{\circ}07'14''$ Oeste. El proyecto de la Transversal El Bosque Tramo 2 se llevó a cabo para dar continuidad a la comunicación entre la autopista Bucaramanga - Floridablanca con el anillo vial Floridablanca - Girón.

El tramo en estudio es el sector donde se encuentra el puente de treinta metros de longitud, debido a que en esta zona se vienen presentando una serie de hundimientos en la vía. El tramo comprende desde el punto K2+100 hasta el punto K2+200. La figura 5, muestra una imagen satelital del sitio donde está construida la vía.



Figura 5. Imagen satelital de la ubicación de la transversal El Bosque.

Nota. Adaptado de: Revista Gente de Cañaveral, (8 de abril del 2011), UPB podría hacer estudios y diseños de la transversal El Bosque.

3.2 Geometría del tramo vial en estudio:

Haciendo uso del software Autodesk AutoCAD Civil 3D 2015 y un levantamiento topográfico se obtienen las dimensiones del terraplén en los puntos de interés del estudio, teniendo en cuenta que la vía se abscisó cada 20 metros en el software. La figura 6 muestra la geometría de una sección en específico del tramo vial en estudio.

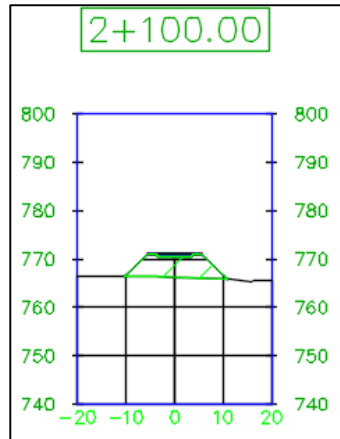


Figura 6. Sección transversal del eje vial en la abscisa K2+100.

3.3 Caracterización geotécnica de la vía

En el tramo en estudio se hacen apiques en diferentes puntos con el fin de obtener información del suelo que compone el terraplén en esa zona. Los apiques tienen las siguientes coordenadas (obtenidos del AutoCAD Civil 3D 2015) y se pueden apreciar en la tabla 3.

En el *Anexo 3*, se pueden observar los datos obtenidos del laboratorio, como, por ejemplo, resultados del SPT, granulometría, humedad, densidad seca, densidad húmeda, ángulo de fricción y cohesión.

Tabla 3.

Coordenadas de los apiques requeridos en la zona de estudio.

Abscisas	Apiques	Coordenadas abscisas	
		Norte	Este
K2+100	Apique # 3	1273164,946	1105672,141
K2+120	Apique # 3	1273144,99	1105673,472
K2+140	Apique # 3	1273105,034	1105674,802
K2+160	Apique # 7	1273105,079	1105676,132
K2+180	Apique # 7	1279085,123	1105677,462
K2+200	Apique # 7	1273065,167	1105678,793

En la figura 7, se puede observar la ubicación de los apiques alrededor del tramo del eje vial en estudio.

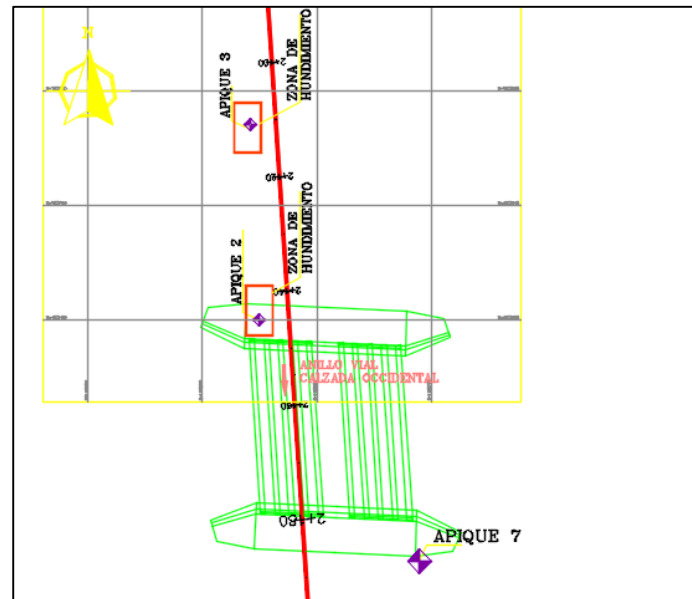


Figura 7. Ubicación de los apiques en el plano del eje vial.

3.4 Propiedades geotécnicas de los apiques:

Las propiedades geotécnicas de cada apique se tabulan en la siguiente tabla, de acuerdo con que el modelo de estudio en el software (Plaxis 2D professional versión 2017) será de acuerdo con las variables requeridas por el modelo de cálculo Mohr- Coulomb. La tabla 4 contiene las variables geotécnicas necesarias para la creación de la simulación de acuerdo con el modelo de cálculo especificado.

Tabla 4.

Propiedades requeridas para la creación del modelo del terraplén en el software.

Variables Mohr-Coulomb	Unidad
Modulo de corte (G)	KN/ m2
Angulo de fricción (ϕ)	°
Peso especifico seco	KN/m3
Peso especifico saturado	KN/m3
Cohesion	KN/m2
Relacion de Poisson	-

De acuerdo con la información consignada en la tabla 3, la tabla 5 muestra los valores numéricos correspondientes a las variables requeridas por el modelo MOHR-COULOMB en el software PLAXIS 2D.

Tabla 5.

Valores numéricos correspondientes a las variables requeridas por el modelo Mohr-Coulomb en el software PLAXIS 2D para la abscisa K2+100.

APIQUE 3		
Profundidad 0,0-2,50 m		
Variables Mohr-Coulomb	Unidad	Cantidad
Modulo de corte (G)	KN/ m2	27438.0998
Angulo de fricción (ϕ)	°	25
Peso especifico seco	KN/m3	15.548
Peso especifico saturado	KN/m3	17.656
Cohesion	KN/m2	18.616
Relacion de Poisson	-	0.2
Profundidad 2,50-6,0 m		
Variables Mohr-Coulomb	Unidad	Cantidad
Modulo de corte (G)	KN/ m2	27438.0998
Angulo de fricción (ϕ)	°	25
Peso especifico seco	KN/m3	15.548
Peso especifico saturado	KN/m3	17.656
Cohesion	KN/m2	18.616
Relacion de Poisson	-	0.2

Para ver las propiedades usadas para cada abscisa del tramo vial en estudio, ver *Anexo 4*.

4. Modelo de simulaciones numéricas mediante PLAXIS 2D PROFESSIONAL versión 2017

El modelo de las secciones del terraplén se hace mediante etapas de construcción y con dos modelos de cálculo, el primero usando un proceso de cálculo (ver figura 8) para obtener información acerca del comportamiento deformacional de la estructura del terraplén, y el segundo con un proceso de cálculo llamado: *safety* (ver figura 8) para analizar el comportamiento de los factores de seguridad de los taludes del terraplén. La primera etapa del modelo es la creación de un suelo de fundación (ver figura 10), este suelo de fundación tiene propiedades geotécnicas típicas de la zona donde está construido el terraplén, ver *tabla 6*, la etapa siguiente es el montaje de la parte inferior del terraplén apoyado sobre el suelo de fundación antes mencionado (ver figura 11), con las propiedades geotécnicas establecidas en los ensayos de laboratorio. La tercera etapa, corresponde a el montaje de la parte de la corona del terraplén con las propiedades geotécnicas correspondientes (ver figura 12). La última etapa es la asignación de una carga externa correspondiente a la presión de inflado de un eje de referencia de 8 toneladas de acuerdo con el manual de carreteras AASHTO (ver figura 13)

La simulación está condicionada a las variables requeridas por el software en función del modelo de cálculo Mohr-Coulomb. (ver figura 9).

Tabla 6.

Valores numéricos correspondientes a las variables requeridas por el modelo Mohr-Coulomb en el software PLAXIS 2D para el suelo de fundación.

SUELO FUNDACION		
Variabes Mohr-Coulomb	Unidad	Cantidad
Modulo de elasticidad (E)	KN/ m2	40000
Angulo de fricción (ϕ)	°	30
Peso especifico seco	KN/m3	19
Peso especifico saturado	KN/m3	20
Cohesion	KN/m2	20
Relacion de Poisson	-	0,2

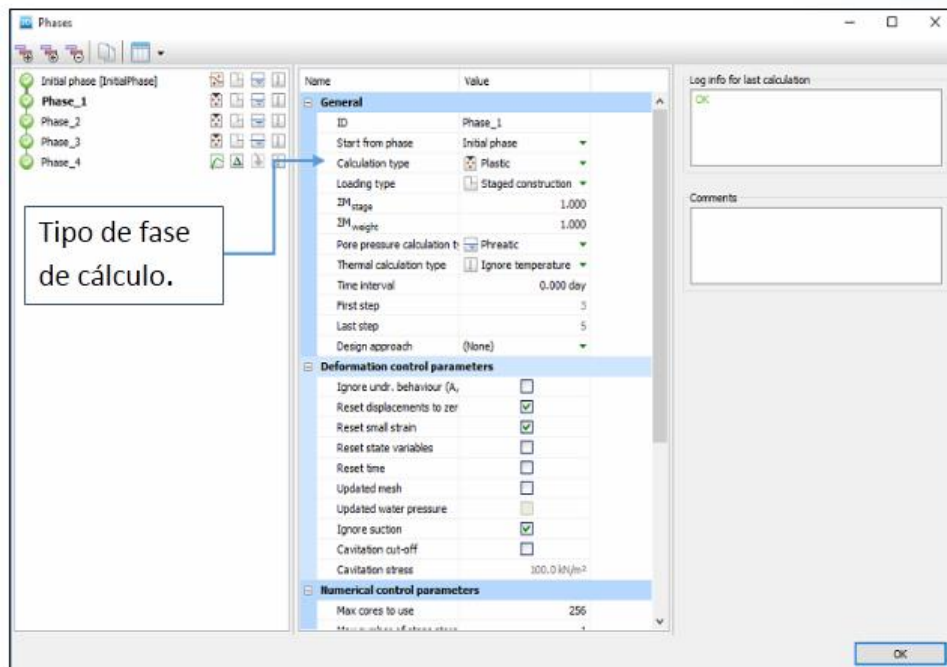


Figura 8. Modos de cálculo empleados en el software PLAXIS 2D.

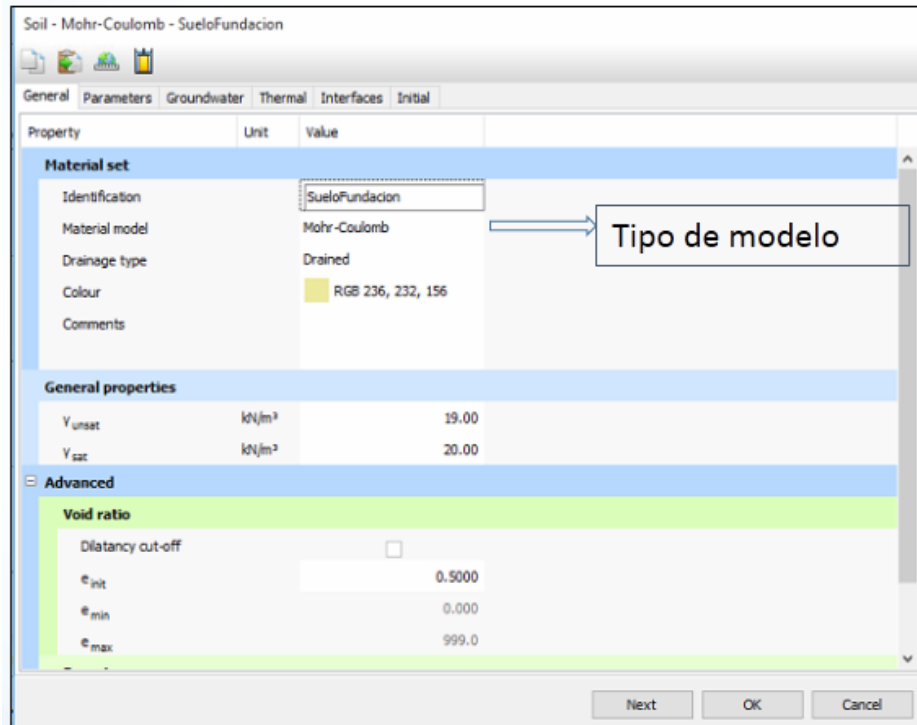


Figura 9. Tipo de modelo usado en la simulación numérica, en este caso, para todas las secciones es Mohr-Coulomb.

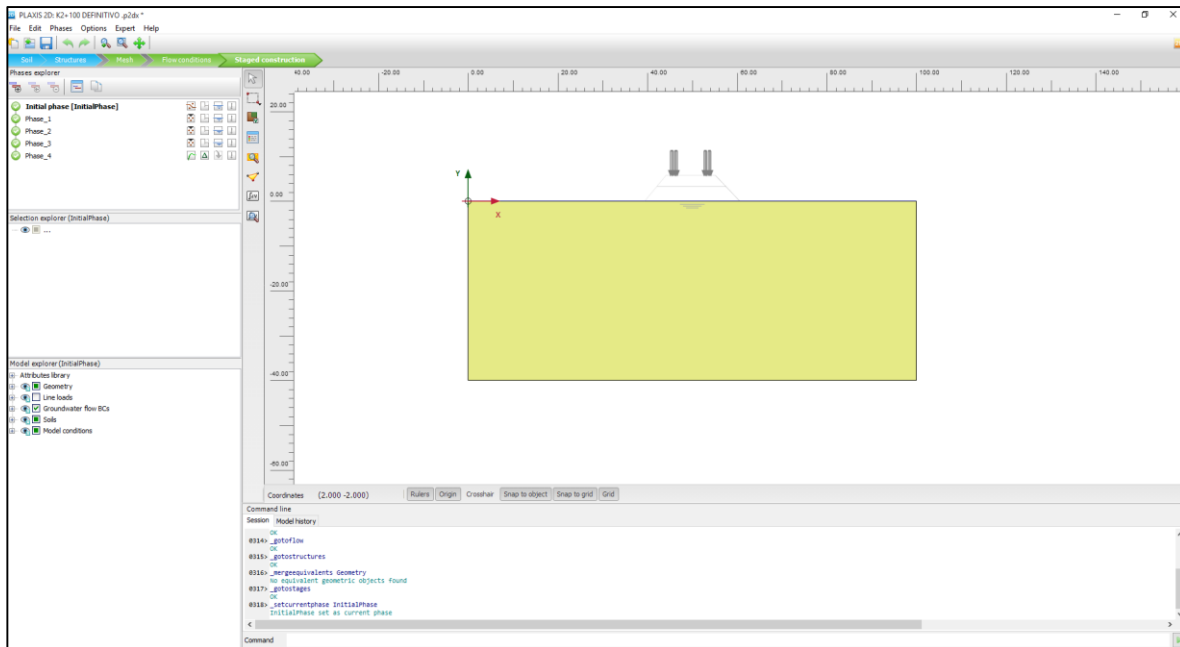


Figura 10. Esquema del suelo de fundación en el modelo de simulación (fase inicial).

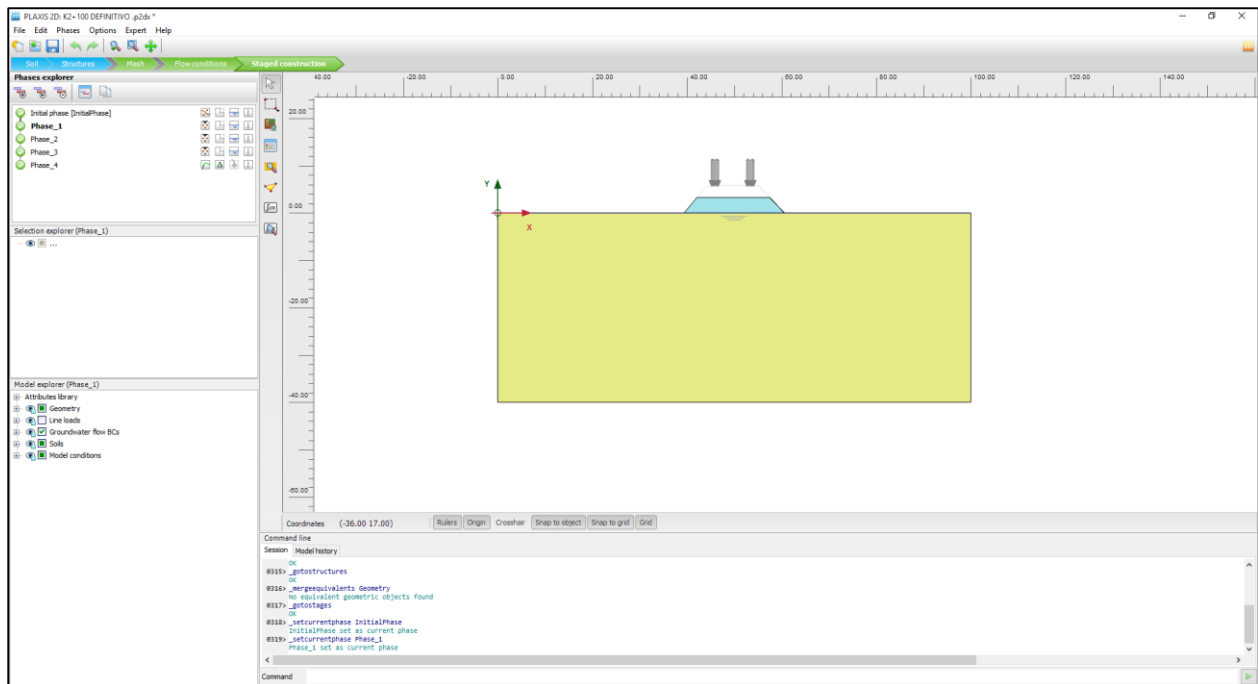


Figura 11. Montaje de la base del terraplén abscisa K2+100 (fase 1).

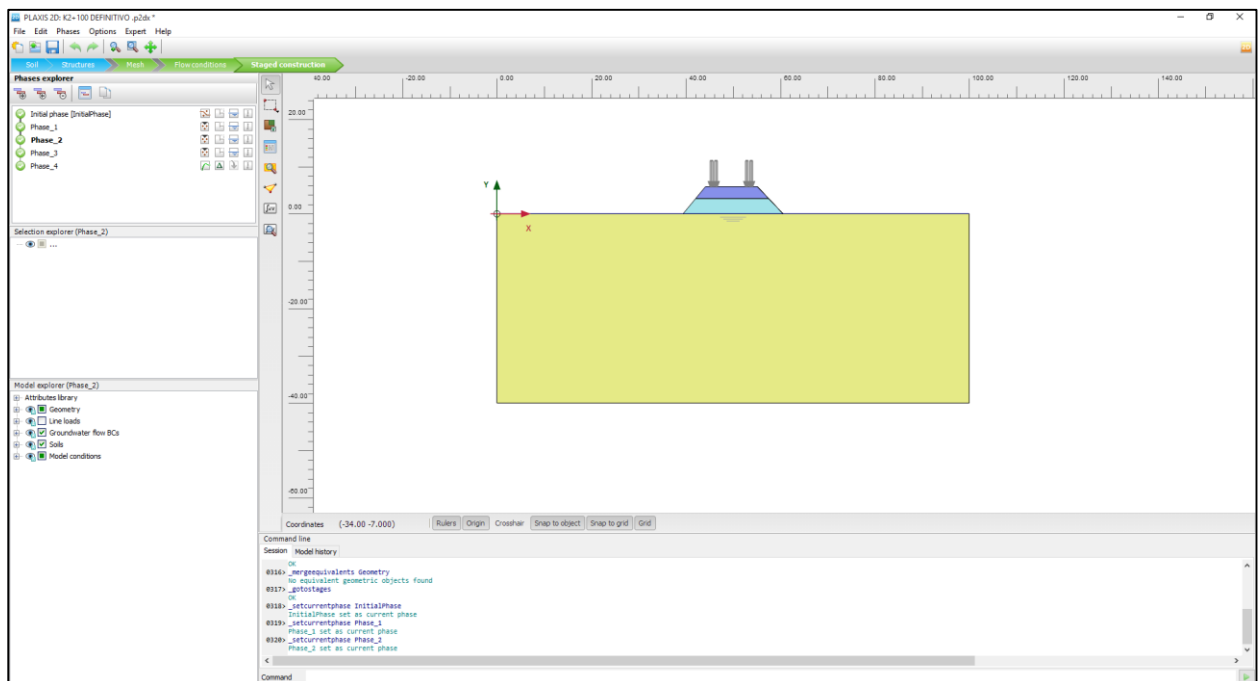


Figura 12. Montaje de la corona del terraplén abscisa K2+100 (fase 2).

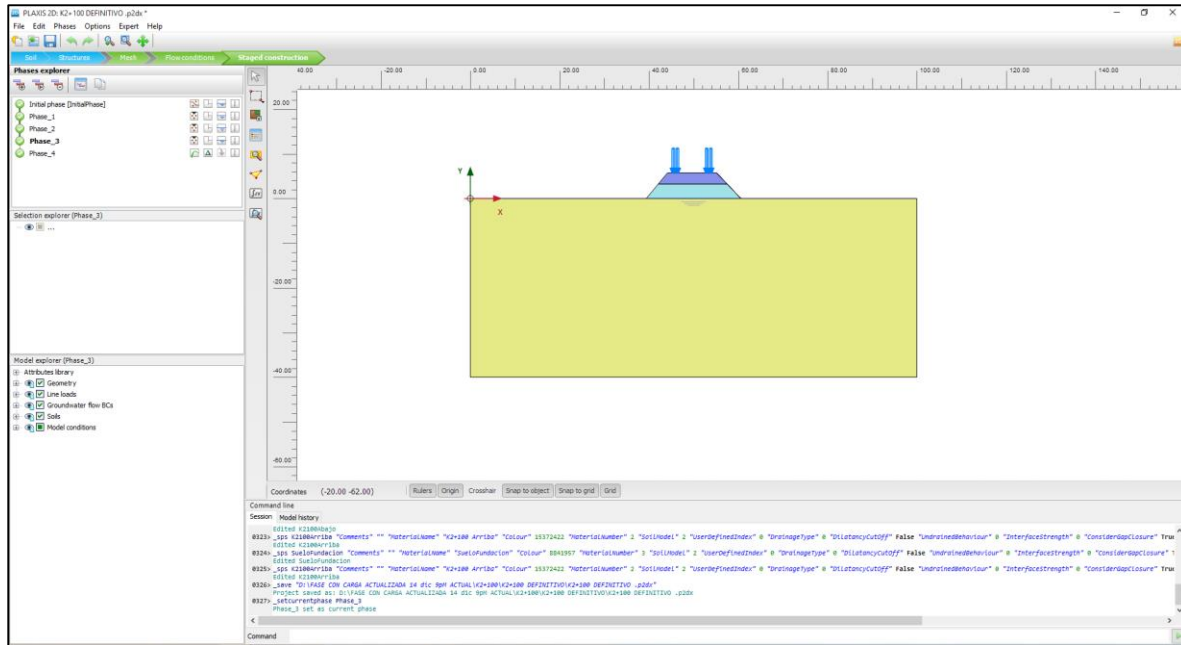


Figura 13. Asignación de la carga externa al terraplén (fase 3).

El modelo de simulaciones numéricas se realizó con la licencia del software proporcionada por la Universidad Industrial De Santander UIS.

Para observar el proceso de creación del modelo de simulaciones numéricas de todas las abscisas correspondientes a este estudio, ver *Anexo 5*.

5. Resultados de las simulaciones numéricas hechas en el software PLAXIS 2D

PROFESSIONAL versión 2017

5.1 Resultados obtenidos en la abscisa K2+100

5.1.1 Análisis de estabilidad El análisis de estabilidad de los taludes del terraplén en la abscisa antes mencionada es el comportamiento del factor de seguridad de estos a lo largo de los desplazamientos sufridos por el terraplén. Un factor de seguridad menor a 1, indica falla. La figura 14 muestra el comportamiento del factor de seguridad correspondiente a la abscisa K2+100.

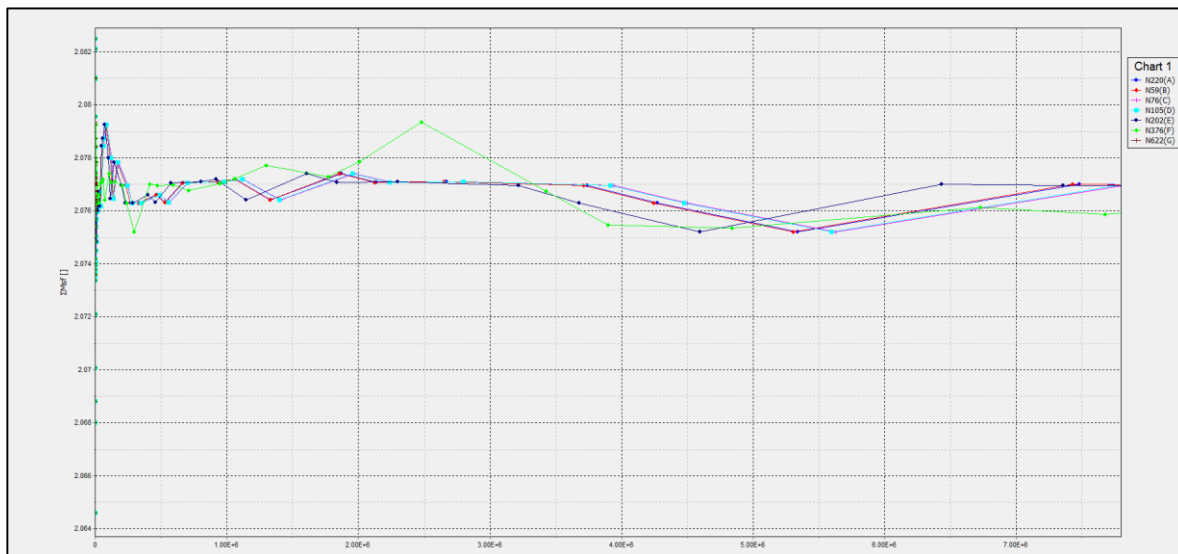


Figura 14. Comportamiento del factor de seguridad en la abscisa K2+100.

El factor de seguridad para la sección K2+100 es de 2.07.

Con lo anterior, se puede establecer que los desplazamientos observados en esta sección no corresponden a una condición de falla de los taludes del terraplén.

5.1.1 Desplazamientos verticales U_y . Los desplazamientos verticales presentados en el terraplén por efecto de su peso propio y la carga externa se aprecian en mayor magnitud en la parte de la corona del terraplén y a medida que se profundiza más en el terraplén, los desplazamientos se van reduciendo. En la figura 15, se observa la distribución de estos desplazamientos para esta sección:

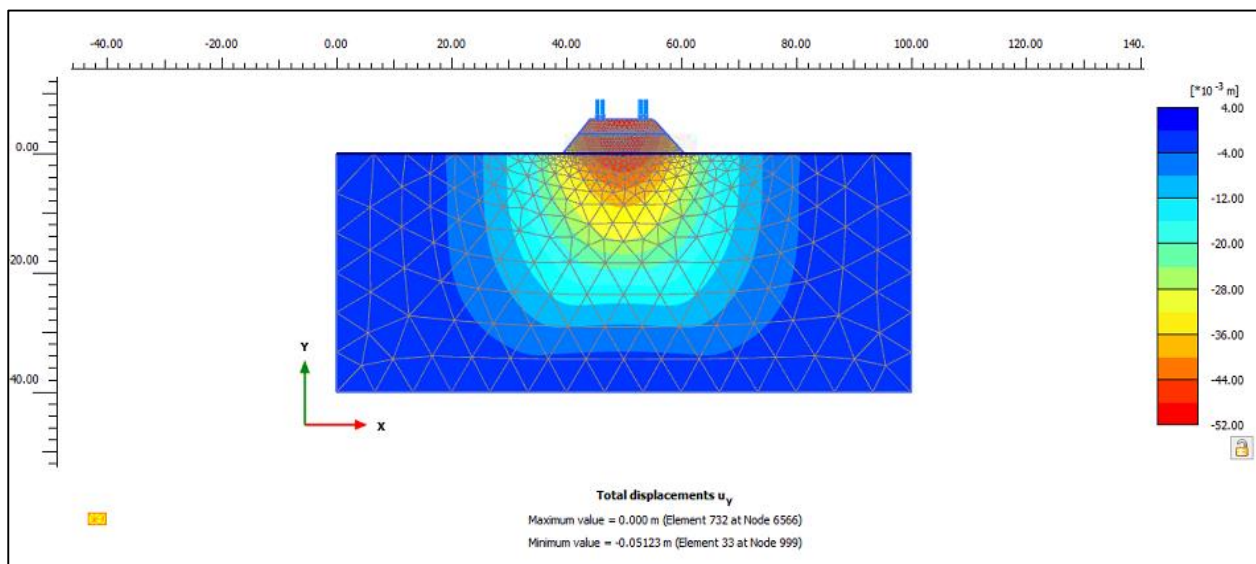


Figura 15. Desplazamientos verticales sección K2+100 del terraplén.

5.1.2 Desplazamientos horizontales U_x . Los desplazamientos horizontales se ven bajo el mismo análisis que el efectuado para los desplazamientos verticales. La importancia de estos es para identificar la posible curva de falla de los taludes. La figura 16 muestra la distribución de estos desplazamientos:

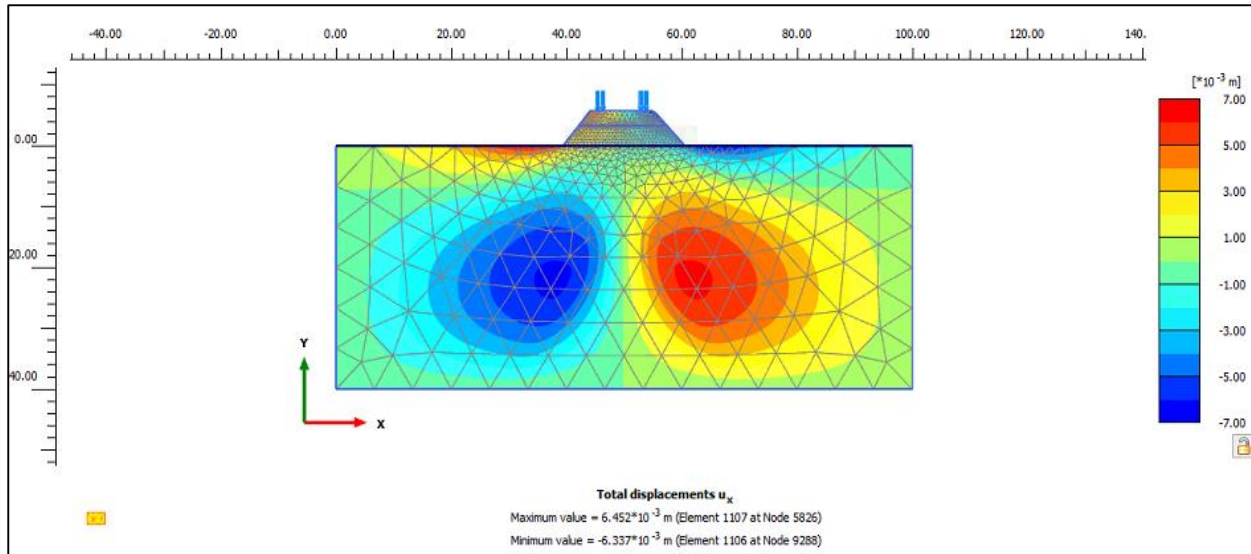


Figura 16. Desplazamientos en corte sección K2+100 del terraplén.

5.1.3 Análisis de sensibilidad básico. El análisis de sensibilidad consiste en revisar el comportamiento deformacional (vertical) de cada sección del terraplén al cambiar el módulo de elasticidad del suelo usado para su construcción. La figura 17 corresponde a el grafico del comportamiento del desplazamiento vertical máximo en la superficie del terraplén en función de la magnitud del módulo de elasticidad.

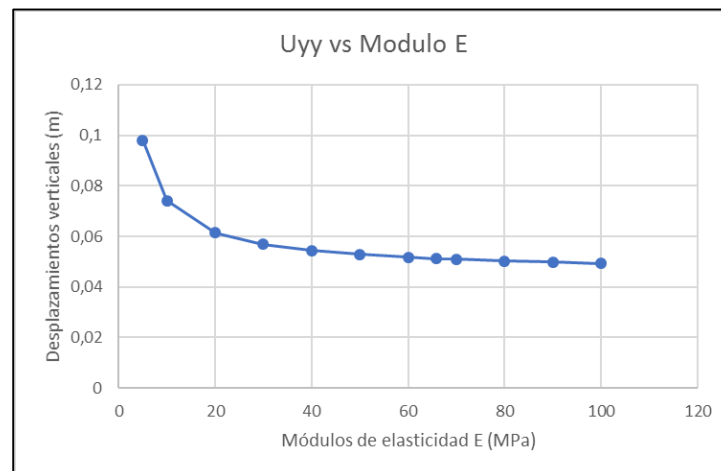


Figura 17. Gráfica desplazamientos verticales U_y vs Módulo E (MPa) sección K2+100.

Del análisis de sensibilidad se desprende que valores de módulo de deformación menores a 30MPa implican un incremento en la tasa de desplazamientos verticales considerable.

Los demás resultados y demás gráficos correspondientes a las demás secciones se pueden observar en el *Anexo 6*.

6. Conclusiones

- La caracterización geotécnica del terraplén se realizó con base en la información de campo y laboratorio realizada por el equipo de la UIS dentro de labores de extensión asociadas a este proyecto. Los datos se interpretaron para establecer las propiedades de entrada del modelo geotécnico.
- De acuerdo con el análisis de estabilidad aplicado a cada una de las secciones en estudio, se descarta posibilidad de falla de los taludes del terraplén en cada sección, ya que el factor de seguridad para cada sección dio un valor superior a 1, (Para ver resultados del análisis de estabilidad, ver anexo 6).
- Del análisis de sensibilidad se desprende que valores de módulo de deformación menores a 30MPa implican un incremento en la tasa de desplazamientos verticales por encima de los 6 cm. Lo cual coincide con los asentamientos observados en la estructura. Lo anterior, sugiere que el terraplén presentó problemas de compactación lo cual se comprobó efectivamente en las pruebas realizadas por el equipo de la UIS. En estas pruebas las densidades de compactación estuvieron alrededor del 80% de la densidad óptima. Por debajo de los establecido por la norma INVIAS.
- Con el ensayo de colapso se descarta que los asentamientos que presenta la vía son producto del humedecimiento de sus partículas, se concluye que la causa principal de la presencia de estos es la mala compactación de la vía. Además, con el ensayo de cono y arena aplicado

en la sección K2+140, los resultados muestran un porcentaje de compactación del proctor del 81.97 %, estando este por debajo del estipulado en la norma INVIAS.

- Como solución al problema presentado, se recomienda la demolición de la estructura asfáltica, un nuevo extendido de la capa de suelo y la re-compactación de este según lo indica la norma; es decir, al 95% del proctor modificado.

Referencias Bibliográficas

- Alonso E.E, A Lloret & Romero E. (1999) Efecto de lluvias en terraplenes. Documento presentado al Departamento De Ingeniería Del Terreno.
- Bañon Blázquez, L.; Beviá García, J. F. (2000). Manual de carreteras. Alicante: Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A., Vol. 2.
- Juarez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2005). Mecánica de suelos I: Fundamentos de la mecánica de suelos. México, México: Limusa.
- Ramírez C., Mario. H. Ing. MSc. (2017). Asentamientos. Documento presentado en Compactación., Bucaramanga, Colombia. Recuperado de www.ramirezarenas.com
- Torrado Gómez, Luz. M. Ing. MSc, & Rondón, Jose. A. Ing. MSc. (2016). Resistencia al esfuerzo cortante de los suelos. Documento presentado en Resistencia al esfuerzo cortante de los suelos., Bucaramanga, Colombia. Recuperado de www.ingeassas.com
- Universidad Industrial De Santander. (2017). Estudios Y Diseños De La Transversal Del Bosque Tramo 2. Recuperado de Escuela de Geomática perteneciente a la escuela de ingeniería civil UIS.
- Universidad Nacional Sede Medellín. Facultad de minas. (s.f.). Construcción de infraestructura vial. Documento presentado en Terraplenes, Medellín, Colombia. Recuperado de <http://www.docentes.unal.edu.co/eazapata/docs/CIV-CLASE%2017.pdf>

Apéndices

Apéndice A. Problemas preliminares de la transversal el bosque.

Apéndice 1.1. Desplazamientos verticales observados en la zona de andenes del terraplén.



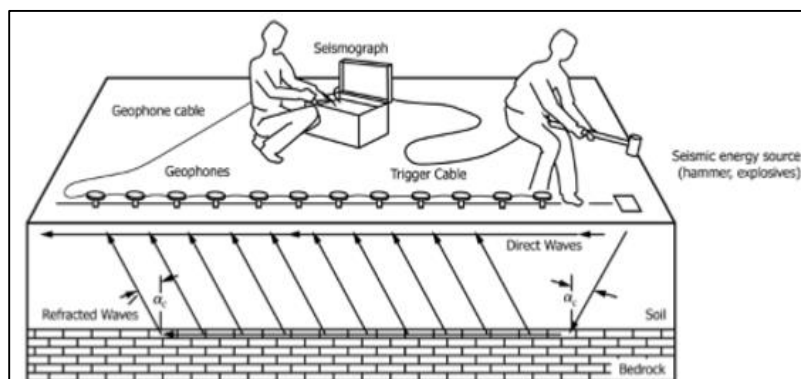
Apéndice 1.2. Desplazamientos horizontales observados en la zona de andenes del terraplén.



Apéndice B. Método de refracción sísmica.

El levantamiento de refracción sísmica es el método de prospección sísmica más generalizado, el cual consiste básicamente en la medición del tiempo de viaje de una Onda de compresión “P” desde una fuente sísmica hasta uno o varios geófonos (ver figura 1), la que a su vez se realiza desde la superficie del terreno y es de utilidad para la interpretación e identificación de materiales y condiciones de frontera del subsuelo. Estos tiempos de viaje, junto con las distancias planteadas entre la fuente y el arreglo de geófonos, se interpreta para deducir la profundidad de capas refractoras y las velocidades de propagación de las ondas refractadas. Las velocidades de propagación de las ondas sísmicas refractadas son usadas para caracterizar algunas de las propiedades del subsuelo natural o artificial, como un módulo de elasticidad tentativo. (Universidad Industrial De Santander, 2017)

Figura 1. Esquema general del ensayo de Refracción Sísmica por medio de martillo.



Fuente: ASTM Designation D5777 – 00

El método de refracción sísmica provee las velocidades de las ondas de compresión P en los materiales del subsuelo. A pesar de que la velocidad de la onda “P”, es un buen indicador del tipo de suelo o roca, este no es un indicador universal ya que cada tipo de sedimento o roca tiene un amplio rango de velocidades sísmicas, y muchos de estos rangos se traslapan. Mientras que la técnica de refracción sísmica mide la velocidad sísmica de las ondas sísmicas en los materiales terrestres, es el intérprete el que, basado en el conocimiento de las condiciones locales u información complementaria, debe interpretar los datos arrojados por el ensayo y llegar a una solución coherente y geológicamente factible.

En la tabla 1 se puede observar los intervalos de velocidad de onda dependiendo del tipo de material que pueda contener el subsuelo.

Tabla 1. Variación de la velocidad de onda Vp en función del material del subsuelo.

Materiales	Velocidad	
	ft/s	m/s
Suelo natural y roca		
Material de superficie degradada.	800-2000	240-610
Grava o arena seca.	1500-3000	460-915
Arena (Saturada).	4000-6000	1220-1830
Arcilla (Saturada).	3000-9000	915-2750
Agua.*	4700-5500	1430-1665
Agua salada.*	4800-5000	1460-1525
Arenisca.	6000-13000	1830-3960
Esquisto.	9000-14000	2750-4270
Tiza.	6000-13000	1830-3960
Caliza.	7000-20000	2134-6100
Granito.	15000-19000	4575-5800
Roca metamórfica.	10000-23000	3050-7000

* Dependiendo de la temperatura y el contenido de sal

Fuente: Traducido de la ASTM Designation D5777 – 00.

Para el ensayo de refracción sísmica aplicado por la UIS, se utilizó un arreglo lineal con una longitud total de 110 metros, conformado por 56 geófonos espaciados uniformemente cada 2

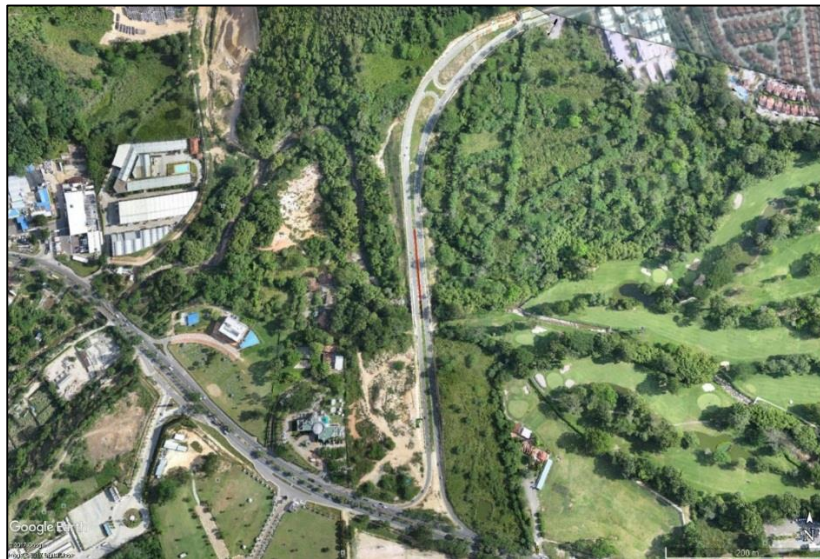
metros. Las coordenadas del sitio se pueden apreciar en la tabla 2 y la ubicación satelital se puede apreciar en la figura 2.

Tabla 2. Coordenadas de la línea de tomografía TRANS2

Localización	Este	Norte
Inicio	1'105.687,867	1'273.129,714
Fin	1'106.061,480	1'272.934,284

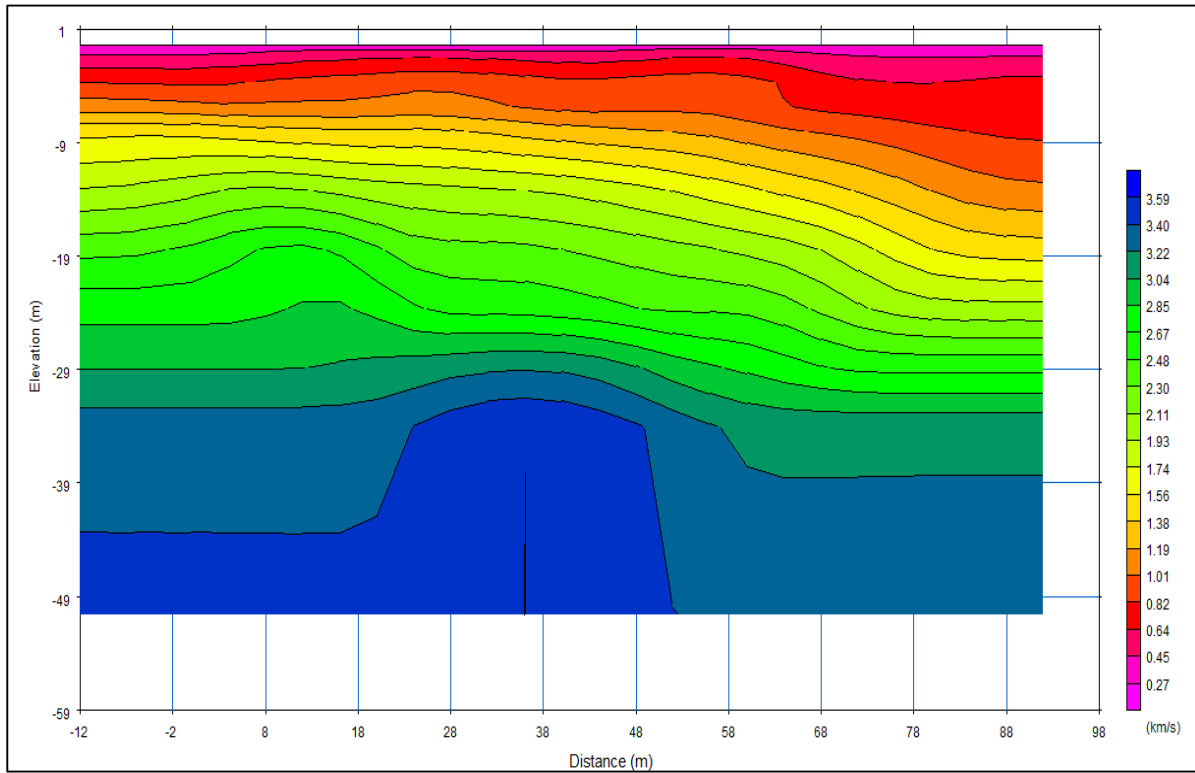
Fuente: *Equipo UIS.*

Figura 2. Ubicación satelital del ensayo de refracción sísmica.

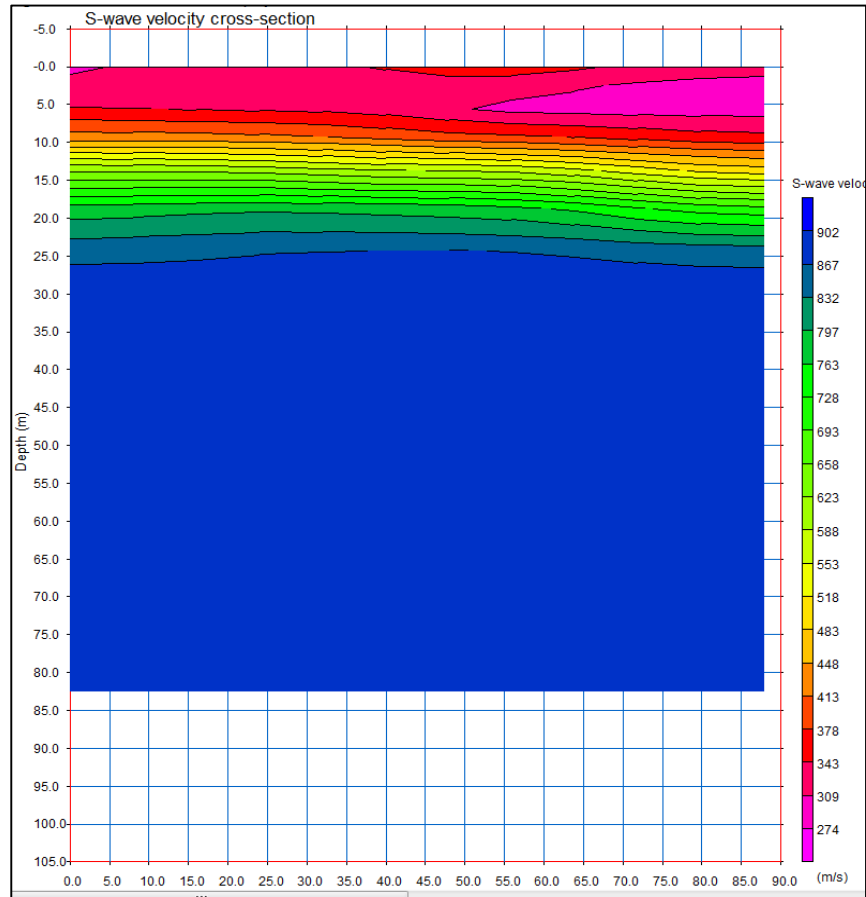


Fuente: *Equipo UIS.*

Los resultados obtenidos del ensayo de refracción sísmica aplicado en la zona de estudio se pueden apreciar en las figura 3 y 4:

Figura 3. Distribucion de la velocidad V_p de acuerdo con la profundidad.


Fuente: Informe de geofísica UIS aplicado a la transversal El Bosque tramo 2.

Figura 4. Distribución de la velocidad V_s de acuerdo con la profundidad.


Fuente: Informe de geofísica UIS aplicado a la transversal El Bosque tramo 2.

Apéndice C. Información de laboratorio



Apéndice 3.1. Resultados Spt Apique 3.

REGISTRO DE PERFORACION Y RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO																					
INGENIERIA & SUELOS		INGENIERIA Y SUELOS S.A.S																			
		NIT 900492967-1 ingenieriaysuelos@gmail.com Cel: 316-5281286																			
EMPRESA:		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER								FECHA:		AGOSTO DE 2017									
PROYECTO :		REALIZACION DE DIAGNOSTICO INTEGRAL SOBRE LOS DAÑOS PRESENTADOS EN LA VIA TRANSVERSAL DEL BOSQUE TRAMO II.								SONDEO:		3									
LOCALIZACION:		N1273129.999.E1105670.447								PROF:		0,00- 6,50 metros									
PROF. m		CLASIFICACION		DESCRIPCION DEL MATERIAL	W	GRANULOMETRIA			LIMITES			N			N						
Inicio	Fin		USC S			% F	% S	% G	% L.L.	% L.P.	% I.P.	6"	12"	18"							
0.00	0.50	[Orange bar]	SM	Relleno algo suelto compuesto por arena suelta, húmeda, poco permeable resistente color café.							1	2	2	4							
0.50	1.00										4	2	3	5							
1.00	1.50										4	3	2	5							
1.50	2.00										2	3	4	7							
2.00	2.50										4	3	3	6							
2.50	3.00										16.6	27.9	67.8	4.3	N.L	N.P	-	6	6	9	15
3.00	3.50	8	7	8	15																
3.50	4.00	[Brown bar]	ML	Relleno bien compactados compuesto por limos arenosos, algo húmedos, resistentes de color marrón con presencia de gravas arenosas de color amarillo.							13	26	23	49							
4.00	4.50										20	17	18	35							
4.50	5.00										10.3	13.6	30.9	55.5	N.L	N.P	-	20	18	18	36
5.00	5.50										16	13	13	26							
5.50	6.00										9	10	15	25							
6.00	6.50										20	27	31	58							
OBSERVACIONES:																					
CONVENCIONES: S.U.C.S. = Sistema Unificado de Clasificación de Su L.L.=Límite Líquido. % F = Porcentaje de finos L.P = Límite Plástico % S = Porcentaje de arena I.P.= Índice Plástico % G= Porcentaje de gravas W= humedad																					
ELABORO : <u>ING. JOSE DAVID ESTEBAN</u> REVISO : <u>ING. JAVIER CABALLERO</u>																					

Apéndice 3.2. Resultados Spt Apique 7.

REGISTRO DE PERFORACION Y RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO															
INGENIERIA & SUELOS S.A.S		INGENIERIA Y SUELOS S.A.S													
		NIT 900492967-1													
		ingenieriasuelos@gmail.com													
		Cel: 316-5281286													
EMPRESA:		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER						FECHA:		AGOSTO DE 2017					
PROYECTO :		REALIZACION DE DIAGNOSTICO INTEGRAL SOBRE LOS DANOS PRESENTADOS EN LA VIA TRANSVERSAL DEL BOSQUE TRAMO II.						SONDEO:		8					
LOCALIZACION:		N1273137.143,E1105681.54						PROF:		0.00- 6.00 metros					
PROF. m		CLASIFICACION		DESCRIPCION DEL MATERIAL	W	GRANULOMETRIA			LIMITES			N			N
Inicio	Fin		USCS			% F	% S	% G	% L.L.	% L.P.	% I.P.	6"	12"	18"	
0.00	0.50		SM	Relleno suelo compuesto por arena limosa, húmeda, poco permeable, algo resistente color café, con presencia de gravas arenosas.	11.4	14.5	68.2	17.3	N.L	N.P	-	7	14	8	22
0.50	1.00											3	2	3	5
1.00	1.50											2	2	3	5
1.50	2.00											4	4	2	6
2.00	2.50											2	2	2	4
2.50	3.00											3	3	3	6
3.00	3.50			2	3	4	7								
3.50	4.00		SM	Suelo aluvial compuesto por limos arenosos, algo húmedos, resistentes de color marrón con presencia de gravas.	19.6	18.2	70.1	11.7	N.L	N.P	-	7	6	5	11
4.00	4.50											8	11	11	22
4.50	5.00											11	12	18	30
5.00	5.50											22	26	22	48
5.50	6.00											24	20	24	44
OBSERVACIONES:															
CONVENCIONES: S.U.C.S. = Sistema Unificado de Clasificación de Su % F = Porcentaje de finos															
L.L = Límite Líquido % S = Porcentaje de arena															
L.P = Límite Plástico % G = Porcentaje de gravas															
I.P.= Índice Plástico W= humedad															
ELABORO : <u>ING. JOSE DAVID ESTEBAN</u> REVISO : <u>ING. JAVIER CABALLERO</u>															

Apéndice 3.3. Resultados gradación apique 3.

	ENSAYO DE CLASIFICACION LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN I.N.V E - 122 - E - 123 - E - 125 - E - 126	
OBRA: REALIZACION DE DIAGNOSTICO INTEGRAL SOBRE LOS DAÑOS PRESENTADOS EN LA VIA TRANSVERSAL DEL BOSQUE TRAMO II.		SONDEO <u>3</u>
SECTOR: N1273129.999,E1105870.447	PROFUNDIDAD: 3.0 M	
EMPRESA: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	FECHA: 01/08/2017	APIQUE <u>2</u>

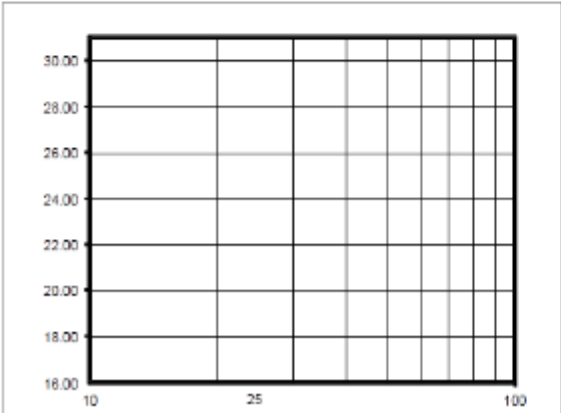
LÍMITES DE CONSISTENCIA	GRADACIÓN
--------------------------------	------------------

LÍMITE LÍQUIDO			
Determinación No	1	2	3
Número de Golpes			
Recipiente No.			
P ₁			
P ₂			
P ₃			
P _w			
P _s			
W%			

LÍMITE PLÁSTICO			Humedad Natural
Recipiente No.			
P ₁			4
P ₂			176.04
P ₃			159.00
P _w			53.54
P _s			17.04
W%			105.46
			16.16

Tamiz, p/g	Tamiz, mm	Peso (gr)	% Reten.	% Ret.Acum.	% Pasa
Peso inicial:	105.46	gr			Peso final: 76.03 gr
3"	76.10				
2 1/2"	64.00				100.0%
2"	50.80				100.0%
1 1/2"	38.10				100.0%
1"	25.40				100.0%
3/4"	19.00				100.0%
1/2"	12.70				
3/8"	9.51				100.0%
4	4.76	4.6	4.3%	4.3%	95.7%
8	2.38				
10	2.00	3.8	3.6%	7.9%	92.1%
12	1.68	1.0	1.0%		
16	1.19				
30	0.59				
40	0.42	25.7	24.4%	33.2%	66.8%
50	0.30	16.3	15.5%		
60	0.18				
100	0.15	15.4			
200	0.07	9.3	8.8%	72.1%	27.9%
Pasa 200		29.4	27.9%	100.0%	0.0%
Total		105.5			

P₁ = Peso Recipiente + Suelo Húmedo, en g
 P₂ = Peso Recipiente + Suelo Seco, en g
 P₃ = Peso Recipiente, en g
 P_w = Peso del Agua, en g P_w = P₁ - P₂
 P_s = Peso Suelo Seco, en g P_s = P₂ - P₃
 W = Contenido de agua, en % w = (P_w / P_s) x 100



RESULTADOS

Límite Líquido	N.L.	%
Límite Plástico	N.P.	%
Índice Plástico	-	%
Gravas	4.3%	
Arenas	67.8%	
Finos	27.9%	

CLASIFICACIÓN


Índice de Grupo	0
A.A.S.H.T.O.	A - 2 - 4
U.S.C	SM

OBSERVACIONES:
La muestra no presenta límites

No se permiten diferencias mayores al 2% entre dos ensayos de
L.P del mismo material

JOSE DAVID ESTEBAN
REALIZÓ

JAVIER CABALLERO
REVISÓ

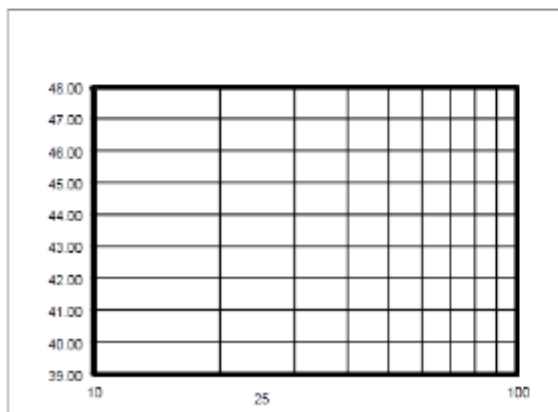
INGENIERÍA & SUELOS <small>S.A.S</small>	ENSAYO DE CLASIFICACIÓN LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN I.N.V E - 122 - E - 123 - E - 125 - E - 126	
OBRA: <i>REALIZACION DE DIAGNOSTICO INTEGRAL SOBRE LOS DAÑOS PRESENTADOS EN LA VIA TRANSVERSAL DEL BOSQUE TRAMO II.</i>		SONDEO <u>3</u>
SECTOR: <i>N1273129.999,E1105670.447</i>	PROFUNDIDAD: <u>5 M</u>	
EMPRESA: <i>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</i>	FECHA: <u>01/08/2017</u>	MUESTRA <u>3</u>

LÍMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO			
Determinación No	1	2	3
Número de Golpes			
Recipiente No.			
P ₁			
P ₂			
P ₃			
P _w			
P _s			
W%			

LÍMITE PLÁSTICO			Humedad Natural
Recipiente No.			5
P ₁			162.52
P ₂			152.64
P ₃			54.10
P _w			9.88
P _s			98.54
W%			10.03

P₁ = Peso Recipiente + Suelo Húmedo, en g
 P₂ = Peso Recipiente + Suelo Seco, en g
 P₃ = Peso Recipiente, en g
 P_w = Peso del Agua, en g P_w = P₁ - P₂
 P_s = Peso Suelo Seco, en g P_s = P₂ - P₃
 W = Contenido de agua, en % w = (P_w / P_s) x 100



No se permiten diferencias mayores al 2% entre dos ensayos de L.P del mismo material.

GRADACIÓN

Peso inicial:		98.54	gr	Peso final:		43.89	gr
Tamiz, pig	Tamiz, mm	Peso (gr)	% Reten.	% Ret. Acum.	% Pasa		
3"	76.10						
2 1/2"	64.00				100.0%		
2"	50.80				100.0%		
1 1/2"	38.10				100.0%		
1"	25.40				100.0%		
3/4"	19.00				100.0%		
1/2"	12.70	10.8	10.9%				
3/8"	9.51			10.9%	89.1%		
4	4.76	2.6	2.7%	13.6%	86.4%		
8	2.38						
10	2.00	3.7	3.7%	17.4%	82.6%		
12	1.68	1.2	1.2%				
16	1.19						
30	0.59						
40	0.42	19.2	19.5%	38.0%	62.0%		
50	0.30	6.4	6.5%				
80	0.18						
100	0.15						
200	0.07			44.5%	55.5%		
Pasa 200		54.7	55.5%	100.0%	0.0%		
Total		98.5					

RESULTADOS

Límite Líquido	N.L.	%
Límite Plástico	N.P.	%
Índice Plástico	-	%
Gravas	13.6%	
Arenas	30.9%	
Finos	55.5%	

CLASIFICACIÓN


Índice de Grupo	0
A.A.S.H.T.O.	A - 4
U.S.C	ML

OBSERVACIONES:
 La muestra no presenta límites

JOSE DAVID ESTEBAN
 REALIZO

JAVIER CABALLERO
 REVISO

Apéndice 3.4. Resultados gradación apique 7.

INGENIERÍA & SUELOS <small>S.A.S</small>	ENSAYO DE CLASIFICACIÓN LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN I.N.V E - 122 - E - 123 - E - 125 - E - 126	
OBRA: REALIZACION DE DIAGNOSTICO INTEGRAL SOBRE LOS DAÑOS PRESENTADOS EN LA VIA TRANSVERSAL DEL BOSQUE TRAMO II.		SONDEO <u>7</u>
SECTOR: N1273137.143,E1105681.54	PROFUNDIDAD: 1,5 M	
EMPRESA: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	FECHA: 01/08/2017	MUESTRA <u>1</u>

LÍMITES DE CONSISTENCIA	GRADACIÓN
--------------------------------	------------------

LÍMITE LÍQUIDO			
Determinación No	1	2	3
Número de Golpes			
Recipiente No.			
P ₁			
P ₂			
P ₃			
P _w			
P _s			
W%			

LÍMITE PLÁSTICO			Humedad Natural
Recipiente No.			11
P ₁			168.90
P ₂			160.40
P ₃			50.97
P _w			8.50
P _s			109.43
W%			7.77

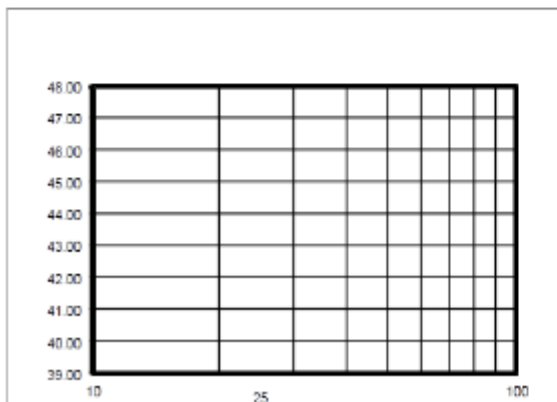
P₁ = Peso Recipiente + Suelo Húmedo, en g
 P₂ = Peso Recipiente + Suelo Seco, en g
 P₃ = Peso Recipiente, en g
 P_w = Peso del Agua, en g P_w = (P₁ - P₂)
 P_s = Peso Suelo Seco, en g P_s = (P₂ - P₃)
 W = Contenido de agua, en % W = ((P_w / P_s) x 100)

Peso inicial:	109.43	gr	Peso final:	90.91	gr
Tamiz, plg	Tamiz, mm	Peso (gr)	% Reten.	% Ret Acum.	% Pasa
3"	76.10				
2 1/2"	64.00				100.0%
2"	50.80				100.0%
1 1/2"	38.10				100.0%
1"	25.40				100.0%
3/4"	19.00				100.0%
1/2"	12.70	4.4	4.0%		
3/8"	9.51	6.2	5.7%	9.7%	90.3%
4	4.76			9.7%	90.3%
8	2.38				
10	2.00	4.2	3.8%	13.5%	86.5%
12	1.68	1.0	0.9%		
16	1.19				
30	0.59				
40	0.42	28.3	25.9%	40.3%	59.7%
50	0.30	12.3	11.2%		
80	0.18				
100	0.15	14.4			
200	0.07	10.3	9.4%	73.9%	26.1%
Pasa 200		28.5	26.1%	100.0%	0.0%
Total		109.4			

RESULTADOS		
Límite Líquido	N.L.	%
Límite Plástico	N.P.	%
Índice Plástico	-	%
Gravas	9.7%	
Arenas	64.3%	
Finos	26.1%	

CLASIFICACIÓN		
Índice de Grupo	0	
A.A.S.H.T.O.	A - 2 - 4	
U.S.C	SM	



OBSERVACIONES:
 La muestra no presenta límites



No se permiten diferencias mayores al 2% entre dos ensayos de L.P del mismo material.

JOSE DAVID ESTEBAN
REALIZO

JAVIER CABALLERO
REVISO

	ENSAYO DE CLASIFICACION LIMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACION I.N.V.E - 122 - E - 123 - E - 126 - E - 126	
OBRA: <i>REALIZACION DE DIAGNOSTICO INTEGRAL SOBRE LOS DAÑOS PRESENTADOS EN LA VIA TRANSVERSAL DEL BOSQUE TRAMO II.</i>		SONDEO <u>7</u>
SECTOR: <i>N1273137.143,E1105801.54</i>	PROFUNDIDAD: <u>3 M</u>	
EMPRESA: <i>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</i>	FECHA: <u>01/08/2017</u>	MUESTRA <u>3</u>

LIMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO			
Determinación No	1	2	3
Número de Golpes			
Recipiente No.			
P ₁			
P ₂			
P ₃			
P _w			
P _s			
W%			

LÍMITE PLÁSTICO	Humedad Natural
Recipiente No.	12
P ₁	164.39
P ₂	154.80
P ₃	33.02
P _w	9.59
P _s	121.78
W%	7.87

GRADACIÓN

Peso inicial:		121.78 gr		Peso final:		96.49 gr	
Tamiz, p/g	Tamiz, mm	Peso (gr)	% Reten.	% Ret. Acum.	% Pasa		
3"	76.10						
2 1/2"	64.00				100.0%		
2"	50.80				100.0%		
1 1/2"	38.10				100.0%		
1"	25.40				100.0%		
3/4"	19.00				100.0%		
1/2"	12.70	2.7	2.2%				
3/8"	9.51	1.3	1.1%	3.3%	96.7%		
4	4.76	2.5	2.1%	5.4%	94.6%		
8	2.38						
10	2.00	4.4	3.6%	9.0%	91.0%		
12	1.68	1.2	1.0%				
16	1.19						
30	0.59						
40	0.42	31.3	25.7%	35.7%	64.3%		
50	0.30	29.3	23.3%				
80	0.18						
100	0.15	15.4					
200	0.07	9.3	7.7%	79.2%	20.8%		
Pasa 200		25.3	20.8%	100.0%	0.0%		
Total		121.8					

P₁ = Peso Recipiente + Suelo Húmedo, en g
 P₂ = Peso Recipiente + Suelo Seco, en g P₃
 = Peso Recipiente, en g
 P_w = Peso del Agua, en g P_w = P₁ - P₂
 P_s = Peso Suelo Seco, en g P_s = P₂ - P₃
 W = Contenido de agua, en % w = (P_w / P_s) x 100

RESULTADOS

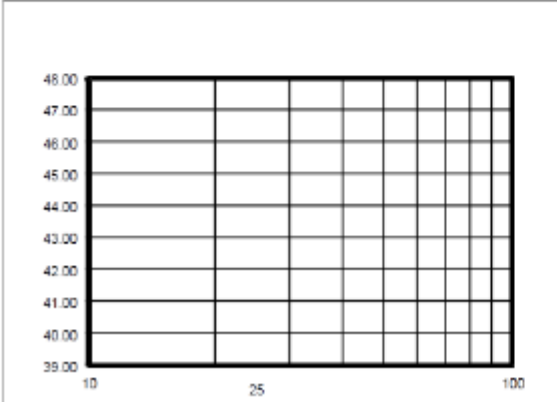
Limite Líquido	N.L.	%
Limite Plástico	N.P.	%
Índice Plástico	-	%

Gravas	5.4%
Arenas	73.9%
Finos	20.8%

CLASIFICACIÓN

Índice de Grupo	0
A.A.S.H.T.O.	A - 2 - 4
U.S.C	SM

OBSERVACIONES:
 La muestra no presenta límites



No se permiten diferencias mayores al 2% entre dos ensayos de la misma muestra.

JOSE DAVID ESTEBAN
REALIZO

JAVIER CABALLERO
REVISO

INGENIERÍA & SUELOS <small>LABORATORIO</small>	ENSAYO DE CLASIFICACIÓN LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN I.N.V E - 122 - E - 123 - E - 125 - E - 126	
OBRA: <i>REALIZACION DE DIAGNOSTICO INTEGRAL SOBRE LOS DAÑOS PRESENTADOS EN LA VIA TRANSVERSAL DEL BOSQUE TRAMO II.</i>		SONDEO <u>8</u>
SECTOR: <i>N1273137.143,E1105681.54</i>	PROFUNDIDAD: <u>2 M</u>	
EMPRESA: <i>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</i>	FECHA: <u>01/08/2017</u>	MUESTRA <u>1</u>

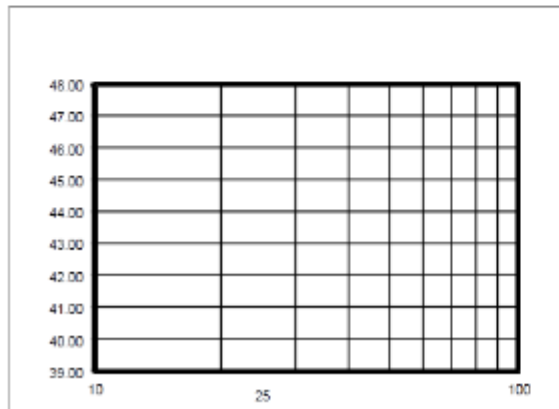
LÍMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO			
Determinación No	1	2	3
Número de Golpes			
Recipiente No.			
P ₁			
P ₂			
P _w			
P _s			
W%			

LÍMITE PLÁSTICO			Humedad Natural
Recipiente No.			13
P ₁			159.63
P ₂			146.62
P _s			32.46
P _w			13.01
P _s			114.16
W%			11.40

P₁ = Peso Recipiente + Suelo Húmedo, en g
 P₂ = Peso Recipiente + Suelo Seco, en g
 P_s = Peso Suelo Seco, en g
 P_w = Peso del Agua, en g
 W = Contenido de agua, en %

$P_w = P_1 - P_2$
 $P_s = P_2 - P_s$
 $w = (P_w / P_s) \times 100$



No se permiten diferencias mayores al 2% entre dos ensayos de L.P del mismo material

GRADACIÓN

Peso inicial:	114.16	gr	Peso final:	97.65	gr
Tamiz, p/g	Tamiz, mm	Peso (gr)	% Reten	% Ret. Acum	% Pasa
3"	76.10				
2 1/2"	64.00				100.0%
2"	50.00				100.0%
1 1/2"	38.10				100.0%
1"	25.40				100.0%
3/4"	19.00				100.0%
1/2"	12.70				
3/8"	9.51	7.9	6.9%	6.9%	93.1%
4	4.76	11.9	10.4%	17.3%	82.7%
8	2.38				
10	2.00	9.6	8.4%	25.7%	74.3%
12	1.68	2.2	1.9%		
16	1.19				
30	0.59				
40	0.42	33.3	29.2%	56.8%	43.2%
50	0.30	15.3	13.4%		
80	0.18				
100	0.15	12.6			
200	0.07	5.0	4.4%	65.5%	14.5%
Pasa 200		16.5	14.5%	100.0%	0.0%
Total		114.2			

RESULTADOS

Límite Líquido	N.L.	%
Límite Plástico	N.P.	%
Índice Plástico	-	%

Gravas	17.3%
Arenas	68.2%
Finos	14.5%


CLASIFICACIÓN

Índice de Grupo	0
A.A.S.H.T.O.	A - 1 - b
U.S.C	SM

OBSERVACIONES:
 La muestra no presenta límites

JOSE DAVID ESTEBAN
 REALIZO

JAVIER CABALLERO
 REVISO

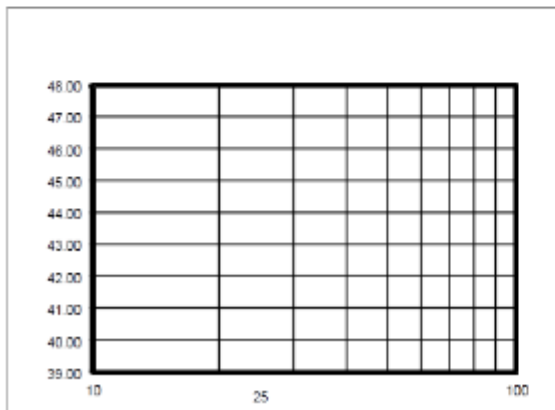
INGENIERÍA & SUELOS <small>S.A.S</small>	ENSAYO DE CLASIFICACIÓN LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN I.N.V E - 122 - E - 123 - E - 125 - E - 126	
OBRA: <i>REALIZACION DE DIAGNOSTICO INTEGRAL SOBRE LOS DAÑOS PRESENTADOS EN LA VIA TRANSVERSAL DEL BOSQUE TRAMO II.</i>		SONDEO <u>8</u>
SECTOR: <i>N1273137.143,E1105601.54</i>	PROFUNDIDAD: <i>4 M</i>	
EMPRESA: <i>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</i>	FECHA: <i>01/08/2017</i>	MUESTRA <u>4</u>

LÍMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO			
Determinación No.	1	2	3
Número de Golpes			
Recipiente No.			
P ₁			
P ₂			
P _s			
P _w			
P _s			
W%			

LÍMITE PLÁSTICO			Humedad Natural
Recipiente No.			14
P ₁			154.88
P ₂			134.50
P _s			30.23
P _w			20.38
P _s			104.27
W%			19.55

P₁ = Peso Recipiente + Suelo Húmedo, en g
 P₂ = Peso Recipiente + Suelo Seco, en g
 P_s = Peso Recipiente, en g
 P_w = Peso del Agua, en g P_w = P₁ - P₂
 P_s = Peso Suelo Seco, en g P_s = P₂ - P₃
 W = Contenido de agua, en % w = (P_w / P_s) x 100



No se permiten diferencias mayores al 2% entre dos ensayos de I.P. del mismo material

GRADACIÓN

Peso inicial:	104.27	gr	Peso final:	85.30	gr
Tamiz, p/g	Tamiz, mm	Peso (gr)	% Reten	% Ret Acum	% Pasa
3"	76.10				
2 1/2"	64.00				100.0%
2"	50.00				100.0%
1 1/2"	38.10				100.0%
1"	25.40				100.0%
3/4"	19.00				100.0%
1/2"	12.70	10.3	9.9%		
3/8"	9.51			9.9%	90.1%
4	4.75	1.9	1.8%	11.7%	88.3%
8	2.38				
10	2.00	4.2	4.0%	15.8%	84.2%
12	1.68	0.7	0.7%		
16	1.19				
30	0.59				
40	0.42	25.3	24.3%	40.7%	59.3%
50	0.30	15.2	14.6%		
80	0.18				
100	0.15	16.3			
200	0.07	11.3	10.8%	61.8%	18.2%
Pasa 200		19.0	18.2%	100.0%	0.0%
Total		104.3			

RESULTADOS

Límite Líquido	N.L.	%
Límite Plástico	N.P.	%
Índice Plástico	-	%
Gravas	11.7%	
Arenas	70.1%	
Finos	18.2%	

CLASIFICACIÓN

Índice de Grupo	0
A.A.S.H.T.O.	A - 2 - 4
U.S.C	SM


OBSERVACIONES:

La muestra no presenta límites

JOSE DAVID ESTEBAN
REALIZO

JAVIER CABALLERO
REVISO

Apéndice 3.5. Resultados ensayo corte directo Apique 3.

		ENSAYO DE CORTE DIRECTO	
		ASTM D3080 - AASHTO T236	
PROYECTO	REALIZACION DE DIAGNOSTICO INTEGRAL SOBRE LOS DAÑOS PRESENTADOS EN LA VIA TRANSVERSAL DEL BOSQUE TRAMO II.	FECHA:	JULIO DE 2017
LOCALIZACION	APIQUE 5	MUESTRA	1
		PROFUNDIDAD	1 m
CARGA Kg	<u>13.7</u>	E. NORMAL EN Kg/m2	<u>6819</u>
DIAMETRO SUPERIOR EN m	0.0506	W ANILLO EN Kg	0.11892
DIAMETRO CENTRAL EN m	0.0506	W MUESTRA+W ANILLO EN Kg	0.1926
DIAMETRO INFERIOR EN m	0.0506	PESO MUESTRA Kg	0.0737
PROMEDIO DIAMETRO EN m	0.0506	VOLUMEN EN m3	0.0000
AREA EN m ²	0.0020	DENSIDAD HUMEDA EN Kg/m ³	1788.38
ALTURA MEDIA EN m	0.02075	DENSIDAD SECA EN Kg/m ³	1557.19
HUMEDAD EN %		W AGUA Kg	17.3600
W DE LA TARA Kg	5.0000	W SECO Kg	128.0000
W TARA + W SUELO HUMEDO Kg.	150.3600	HUMEDAD %	13.56
W TARA + W SUELO SECO Kg	133.0000		
CARGA Kg	<u>23.7</u>	E. NORMAL EN Kg/m2	<u>11802.83</u>
DIAMETRO SUPERIOR EN m	0.0506	W ANILLO EN Kg	0.11892
DIAMETRO CENTRAL EN m	0.0505	W MUESTRA+W ANILLO EN Kg	0.18936
DIAMETRO INFERIOR EN m	0.0507	W MUESTRA Kg	0.07044
PROMEDIO DIAMETRO EN m	0.0506	VOLUMEN EN m3	0.00004
AREA EN m ²	0.0020	DENSIDAD HUMEDA EN Kg/m ³	1730.63
ALTURA MEDIA EN m	0.02027	DENSIDAD SECA EN Kg/m ³	1523.94
HUMEDAD EN %		W AGUA Kg	17.3600
W DE LA TARA Kg	5.0000	W SECO Kg	128.0000
W TARA + W SUELO HUMEDO Kg	150.3600	HUMEDAD %	13.56
W TARA + W SUELO SECO Kg	133.0000		
JOSE D. ESTEBAN		JAVIER CABALLERO	
ELABORO		REVISO	



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM D3080 - AASHTO T236

PROYECTO REALIZACION DE DIAGNOSTICO INTEGRAL SOBRE LOS DAÑOS PRESENTADOS EN LA VIA TRANSVERSAL DEL BOSQUE TRAMO II **FECHA:** JULIO DE 2017
LOCALIZACION APIQUE 5 **MUESTRA** 1
PROFUNDIDAD 1 m

CARGA Kg 33.7

E. NORMAL EN Kg/m2 16759

DIAMETRO SUPERIOR EN m	0.0507
DIAMETRO CENTRAL EN m	0.0506
DIAMETRO INFERIOR EN m	0.0506
PROMEDIO DIAMETRO EN m	0.0506

W ANILLO EN Kg	0.1189
W MUESTRA + W ANILLO EN Kg	0.1922
PESO MUESTRA Kg	0.0733
VOLUMEN EN m3	0.0000

AREA EN m ²	0.00201090 7
------------------------	-----------------

DENSIDAD HUMEDA EN Kg/m ³	1797.89
--------------------------------------	---------

ALTURA MEDIA EN m	0.02027
-------------------	---------

DENSIDAD SECA EN Kg/m ³	1583.17
------------------------------------	---------

HUMEDAD EN %

W DE LA TARA Kg	5.0000
W TARA + W SUELO HUMEDO Kg	150.3600
W TARA + W SUELO SECO Kg	133.0000

W AGUA Kg	17.3600
W SECO Kg	128.0000
HUMEDAD %	13.56

OBSERVACIONES

JOSE D. ESTEBAN
ELABORO

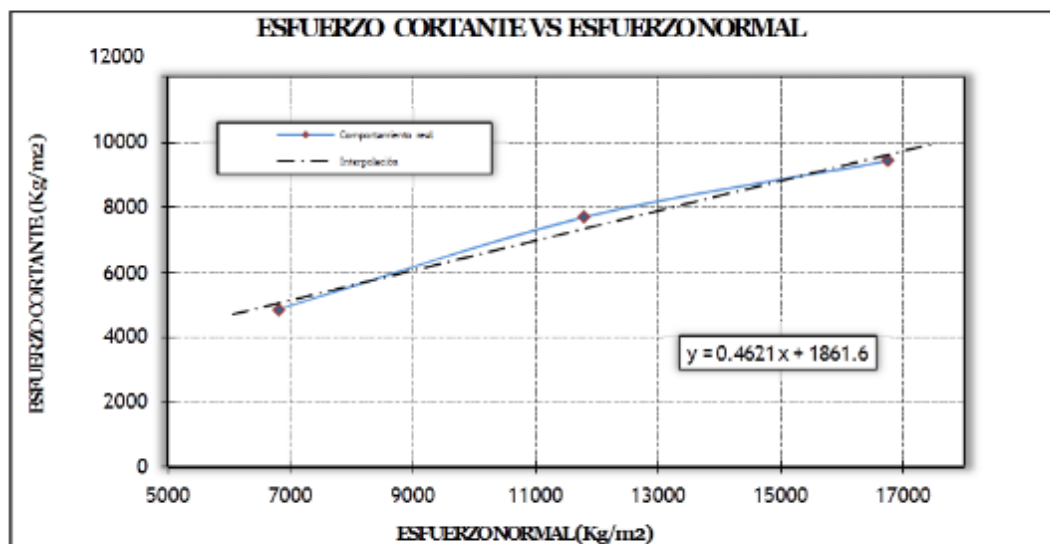
JAVIER CABALLERO
REVISO



ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D3080 - AASHTO T236

PROYECTO	REALIZACION DE DIAGNOSTICO INTEGRAL SOBRE LOS DAÑOS PRESENTADOS EN LA VIA TRANSVERSAL DEL BOSQUE TRAMO II.	FECHA:	JULIO DE 2017
		MUESTRA	1
LOCALIZACION	APIQUE 5	PROFUNDIDAD	1 m

CARGA VERTICAL Kg	AREA m ²	ESFUERZO NORMAL Kg/m ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/m ²
13.7	0.0020	6819.13	4831.63
23.7	0.0020	11802.83	7678.57
33.7	0.0020	16758.61	9423.47




HUMEDAD	13.6	%
DENSIDAD HUMEDA	1765.6	Kg/m ³
DENSIDAD SECA	1554.8	Kg/m ³
ANGULO FRICCIÓN	24.8	grados
COHESIÓN	1861.6	Kg/m ²

JOSE D. ESTEBAN
ELABORO

JAVIER CABALLERO
REVISO

Apéndice 3.6. Resultados ensayo corte directo Apique 7.

 INGENIERÍA & SUELOS		ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D3080 - AASHTO T236	
PROYECTO	REALIZACION DE DIAGNOSTICO INTEGRAL SOBRE LOS DAÑOS PRESENTADOS EN LA VIA TRANSVERSAL DEL BOSQUE TRAMO II.	FECHA:	JULIO DE 2017
LOCALIZACION	APIQUE 7	MUESTRA	1
		PROFUNDIDAD	1 m
CARGA Kg	13.7	E. NORMAL EN Kg/m²	6819
DIAMETRO SUPERIOR EN m	0.0506	W ANILLO EN Kg	0.11892
DIAMETRO CENTRAL EN m	0.0506	W MUESTRA+W ANILLO EN Kg	0.1987
DIAMETRO INFERIOR EN m	0.0506	PESO MUESTRA Kg	0.0797
PROMEDIO DIAMETRO EN m	0.0506	VOLUMEN EN m ³	0.0000
AREA EN m ²	0.0020	DENSIDAD HUMEDA EN Kg/m ³	1912.88
ALTURA MEDIA EN m	0.02075	DENSIDAD SECA EN Kg/m ³	1680.63
HUMEDAD EN %		W AGUA Kg	21.9600
W DE LA TARA Kg	5.4500	W SECO Kg	158.9100
W TARA + W SUELO HUMEDO Kg	186.3200	HUMEDAD %	13.82
W TARA + W SUELO SECO Kg	164.3600		
CARGA Kg	23.7	E. NORMAL EN Kg/m²	11802.83
DIAMETRO SUPERIOR EN m	0.0506	W ANILLO EN Kg	0.11892
DIAMETRO CENTRAL EN m	0.0505	W MUESTRA+W ANILLO EN Kg	0.19636
DIAMETRO INFERIOR EN m	0.0507	W MUESTRA Kg	0.07744
PROMEDIO DIAMETRO EN m	0.0506	VOLUMEN EN m ³	0.00004
AREA EN m ²	0.0020	DENSIDAD HUMEDA EN Kg/m ³	1902.61
ALTURA MEDIA EN m	0.02027	DENSIDAD SECA EN Kg/m ³	1671.61
HUMEDAD EN %		W AGUA Kg	21.9600
W DE LA TARA Kg	5.4500	W SECO Kg	158.9100
W TARA + W SUELO HUMEDO Kg	186.3200	HUMEDAD %	13.82
W TARA + W SUELO SECO Kg	164.3600		
JOSE D. ESTEBAN ELABORO		JAVIER CABALLERO REVISO	



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM D3080 - AASHTO T236

PROYECTO	REALIZACION DE DIAGNOSTICO INTEGRAL SOBRE LOS DAÑOS PRESENTADOS EN LA VIA TRANSVERSAL DEL BOSQUE TRAMO II.	FECHA:	JULIO DE 2017
LOCALIZACION	APIQUE 7	MUESTRA	1
		PROFUNDIDAD	1 m

CARGA Kg 33.7

E. NORMAL EN Kg/m² 16759

DIAMETRO SUPERIOR EN m	0.0507
DIAMETRO CENTRAL EN m	0.0506
DIAMETRO INFERIOR EN m	0.0506
PROMEDIO DIAMETRO EN m	0.0506

W ANILLO EN Kg	0.1189
W MUESTRA + W ANILLO EN Kg	0.1940
PESO MUESTRA Kg	0.0751
VOLUMEN EN m ³	0.0000

AREA EN m ²	0.00201090 7
------------------------	-----------------

DENSIDAD HUMEDA EN Kg/m ³	1842.93
--------------------------------------	---------

ALTURA MEDIA EN m	0.02027
-------------------	---------

DENSIDAD SECA EN Kg/m ³	1619.18
------------------------------------	---------

HUMEDAD EN %	
W DE LA TARA Kg	5.4500
W TARA + W SUELO HUMEDO Kg	186.3200
W TARA + W SUELO SECO Kg	164.3600

W AGUA Kg	21.9600
W SECO Kg	158.9100
HUMEDAD %	13.82

OBSERVACIONES

JOSE D. ESTEBAN
ELABORO

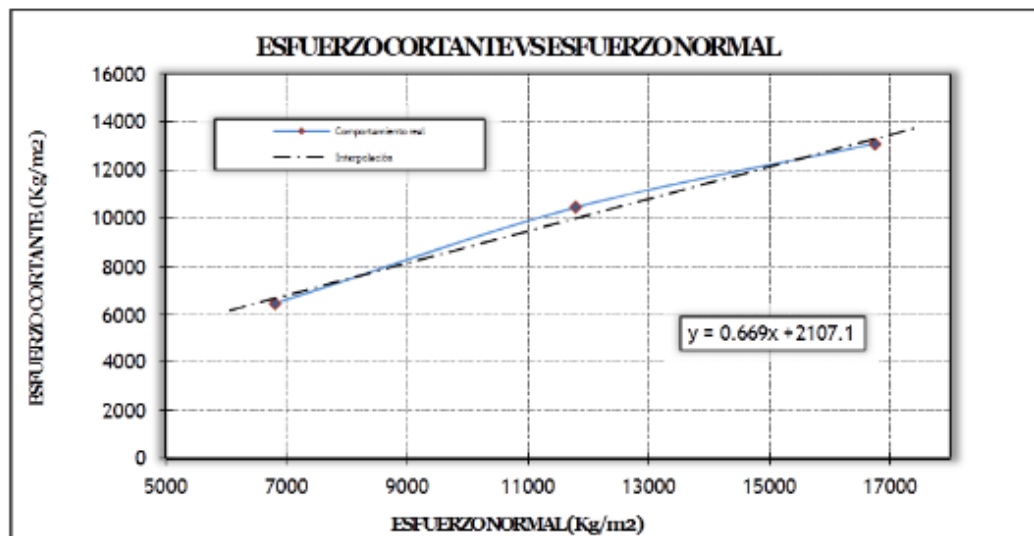
JAVIER CABALLERO
REVISO



ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D3080 - AASHTO T236

PROYECTO	REALIZACION DE DIAGNOSTICO INTEGRAL SOBRE LOS DAÑOS PRESENTADOS EN LA VIA TRANSVERSAL DEL BOSQUE TRAMO II.	FECHA:	JULIO DE 2017
LOCALIZACION	APIQUE 7	MUESTRA	1
		PROFUNDIDAD	1 m

CARGA VERTICAL Kg	AREA m ²	ESFUERZO NORMAL Kg/m ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/m ²
13.7	0.0020	6819.13	6450.00
23.7	0.0020	11802.83	10441.84
33.7	0.0020	16758.61	13097.96



HUMEDAD	13.8	%
DENSIDAD HUMEDA	1886.1	Kg/m ³
DENSIDAD SECA	1657.1	Kg/m ³
ANGULO FRICCIÓN	33.8	grados
COHESIÓN	2107.1	Kg/m ²

JOSE D. ESTEBAN
ELABORO

JAVIER CABALLERO
REVISO

Apéndice 3.7. Ensayo cono y arena.

INGENIERÍA & SUELOS <small>S.A.S.</small>		ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO METODO CONO Y ARENA I.N.V.E-161-07		VERSION 01 200 - 01 - 04	
EMPRESA:	AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA	FECHA:	Agosto de 2017		
OBRA:	REALIZACION DE DIAGNOSTICO INTEGRAL SOBRE LOS DAÑOS PRESENTADOS EN LA VIA TRANSVERSAL DEL BOSQUE TRAMO II.	TIPO DE MATERIAL:	Material de relleno		
LOCALIZACIÓN:	APIQUE 3				
DESCRIPCIÓN:	K 2+190- K 1+810 Anden (Occidental- oriental)				
ABSCISA (km)	K2+190- K1+810	K2+190- K1+810			
MARGEN (I - E - D)	Occide-orient	Occide-orient			
PROFUNDIDAD (mts)	0.50	1.20			
PESO FRASCO Y ARENA INICIAL (g)	4896	4900			
PESO FRASCO Y ARENA RESTANTE (g)	2124	2441			
PESO ARENA TOTAL USADA (g)	2772	2459			
CONSTANTE DEL CONO (g)	1415	1415			
PESO ARENA EN EL HUECO (g)	1357	1044			
DENSIDAD DE LA ARENA (g/cm ³)	1.415	1.415			
VOLUMEN DEL HUECO (cm ³)	959.0	737.8			
PESO MATERIAL EXTRAIDO HUMEDO (g)	1693	1358			
% DE HUMEDAD	11.7	14.4			
PESO MATERIAL EXTRAIDO SECO (g)	1515.3	1186.9			
DENSIDAD DEL MATERIAL (g/cm ³)	1.580	1.609			
DENSIDAD MAXIMA LABORATORIO (g/cm ³)	1.920	1.920			
% DE HUMEDAD OPTIMA LABORATORIO	15.40	15.40			
% DE COMPACTACION DEL TERRENO	82.30	83.79			
% DE COMPACTACION ESPECIFICADA	90.00	90.00			
CUMPLE (SI / NO)	NO	NO			
OBSERVACIONES _____					
NOTA : Ensayos previos : Determinación de la densidad de la arena. Determinación de la constante del cono Determinación de la densidad máxima de laboratorio.					
REVISO _____					

Apéndice D. Propiedades del suelo usados en la simulación numérica

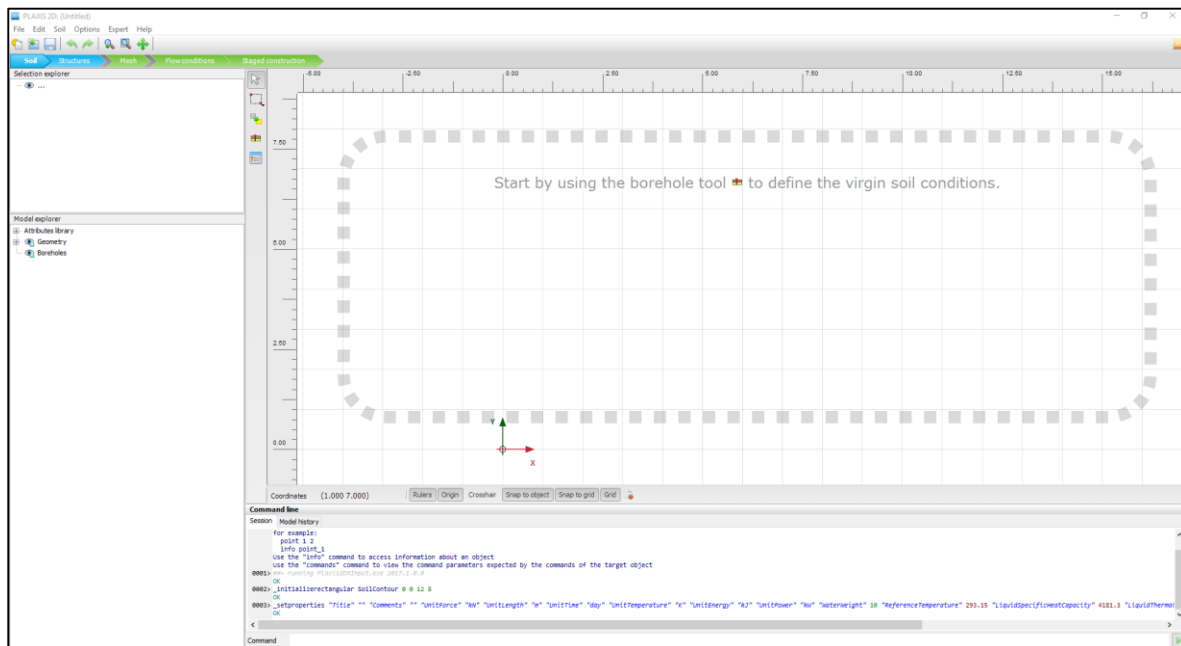
APIQUE 3		
Profundidad 0,0-2,50 m		
Variables Mohr-Coulomb	Unidad	Cantidad
Modulo de corte (G)	KN/ m2	27438.0998
Angulo de fricción (ϕ)	°	25
Peso especifico seco	KN/m3	15.548
Peso especifico saturado	KN/m3	17.656
Cohesion	KN/m2	18.616
Relacion de Poisson	-	0.2
Profundidad 2,50-6,0 m		
Variables Mohr-Coulomb	Unidad	Cantidad
Modulo de corte (G)	KN/ m2	27438.0998
Angulo de fricción (ϕ)	°	25
Peso especifico seco	KN/m3	15.548
Peso especifico saturado	KN/m3	17.656
Cohesion	KN/m2	18.616
Relacion de Poisson	-	0.2

APIQUE 7		
Profundidad 0,0-6,0 m		
Variables Mohr-Coulomb	Unidad	Cantidad
Modulo de corte (G)	KN/ m2	25135.8871
Angulo de fricción (ϕ)	°	33.8
Peso especifico seco	KN/m3	16.571
Peso especifico saturado	KN/m3	18.861
Cohesion	KN/m2	21.071
Relacion de Poisson	-	0.2

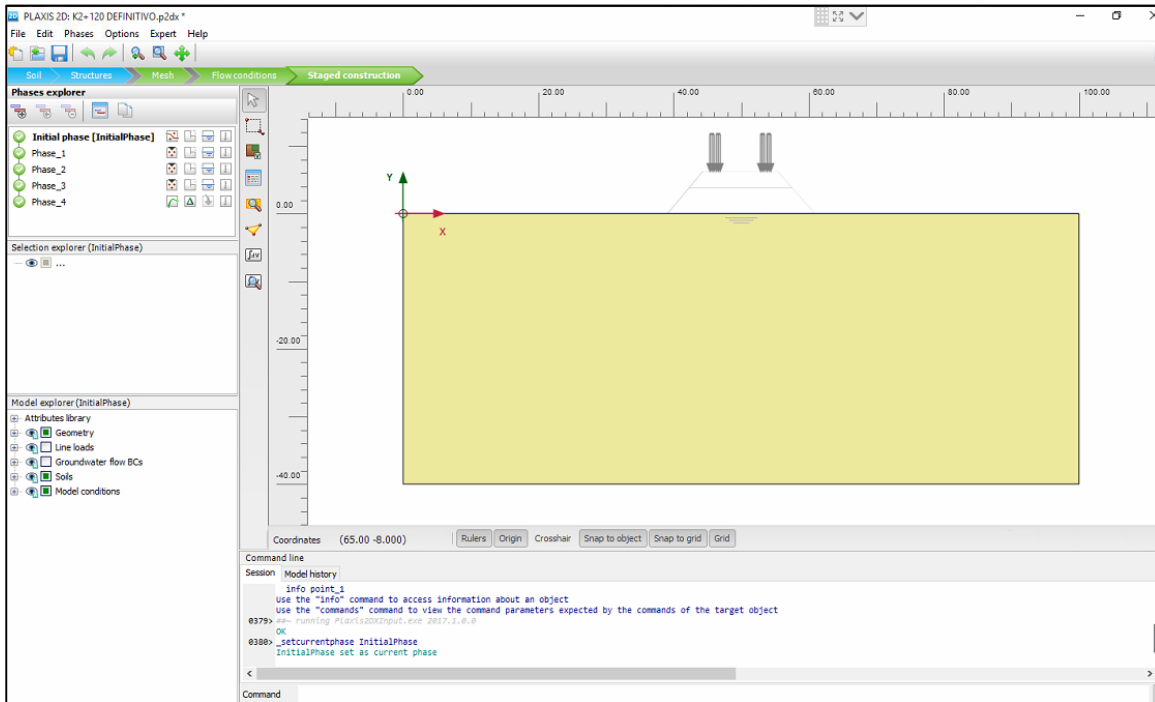
SUELO FUNDACION		
Variables Mohr-Coulomb	Unidad	Cantidad
Modulo de elasticidad (E)	KN/ m2	40000
Angulo de fricción (ϕ)	°	30
Peso especifico seco	KN/m3	19
Peso especifico saturado	KN/m3	20
Cohesion	KN/m2	20
Relacion de Poisson	-	0,2

Apéndice E. Proceso de creación del modelo de simulación

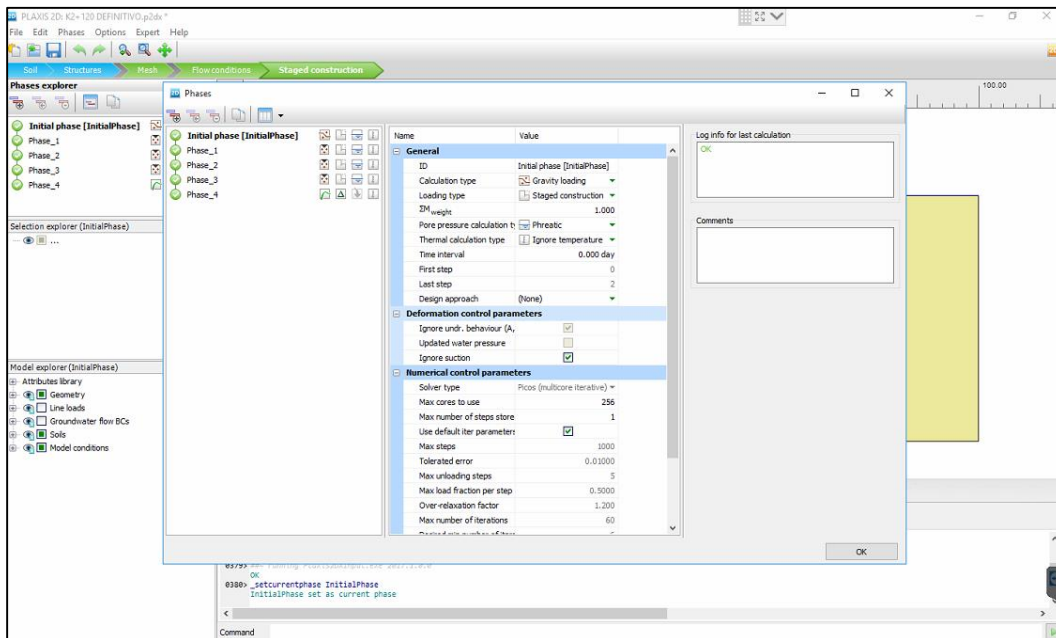
Apéndice 5.1. Interfaz de inicio del software Elaboración propia.



Apéndice 5.2. Creación del suelo de fundación.



Apéndice 5.3. Modo de cálculo de la fase inicial.



Apéndice 5.4. Propiedades geotécnicas del suelo de fundación.

Soil - Mohr-Coulomb - K2+120 ABAJO

General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial

Property	Unit	Value
Material set		
Identification		K2+120 ABAJO
Material model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained
Colour		RGB 161, 226, 232
Comments		
General properties		
γ_{unsat}	kN/m ³	15.55
γ_{sat}	kN/m ³	17.66
Advanced		
Void ratio		
Dilatancy cut-off		<input type="checkbox"/>
e_{init}		0.5000
e_{min}		0.000
e_{max}		999.0

Next OK Cancel

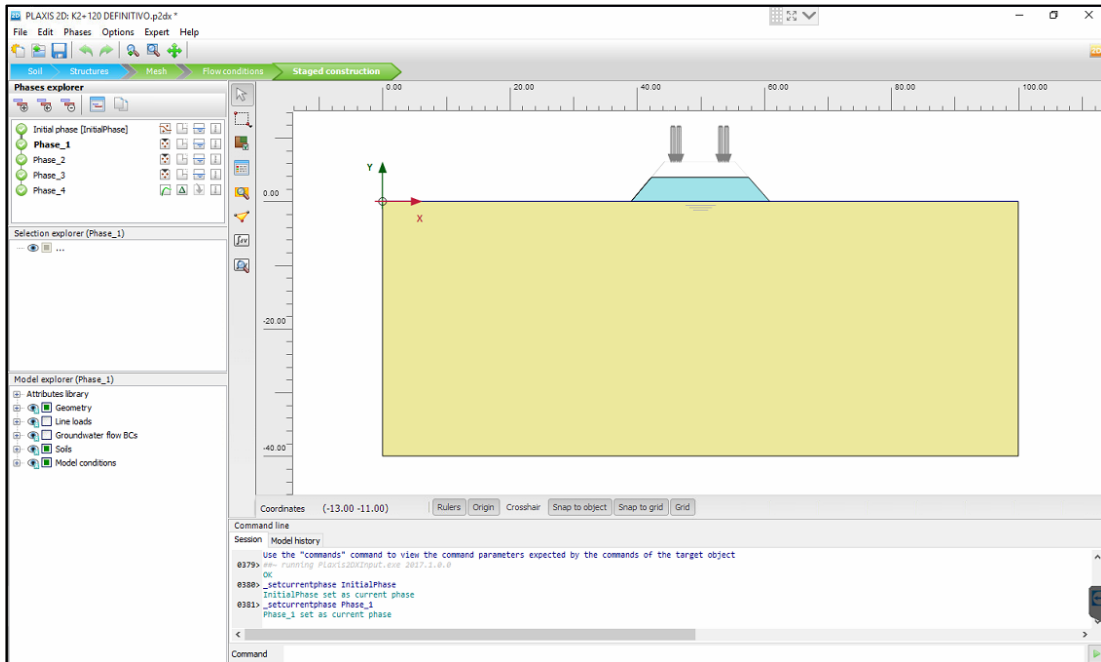
Soil - Mohr-Coulomb - SueloFundacion

General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial

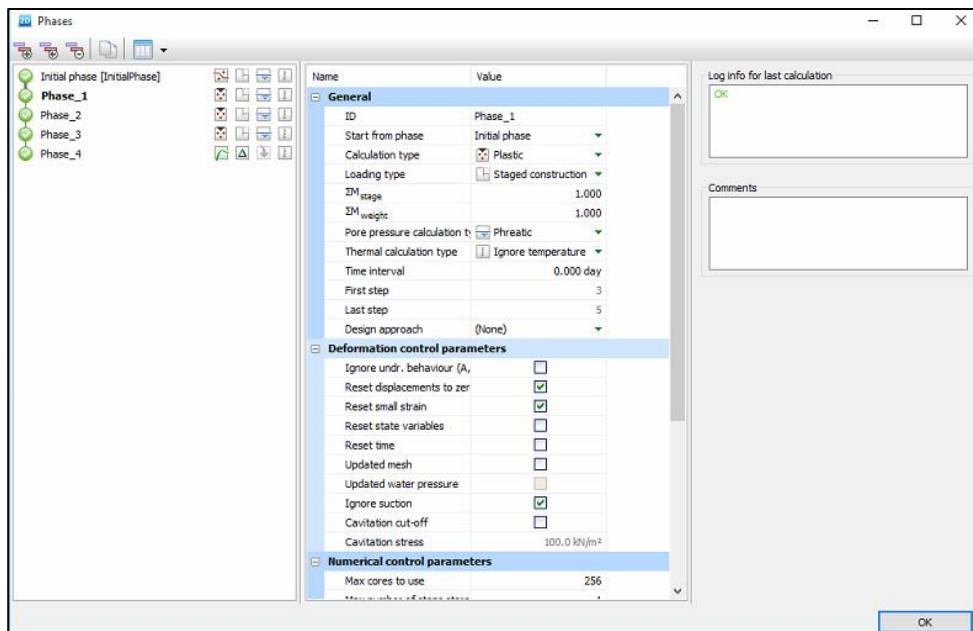
Property	Unit	Value
Material set		
Identification		SueloFundacion
Material model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained
Colour		RGB 236, 232, 156
Comments		
General properties		
γ_{unsat}	kN/m ³	19.00
γ_{sat}	kN/m ³	20.00
Advanced		
Void ratio		
Dilatancy cut-off		<input type="checkbox"/>
e_{init}		0.5000
e_{min}		0.000
e_{max}		999.0

Next OK Cancel

Apéndice 5.5. Creación de la fase 1 (primera parte del terraplén).



Apéndice 5.6. Modo de cálculo de la fase 1.



Apéndice 5.7. Propiedades geotécnicas del suelo de la base del terraplén.

Soil - Mohr-Coulomb - K2+120 ABAJO

General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial

Property	Unit	Value
Material set		
Identification		K2+120 ABAJO
Material model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained
Colour		RGB 161, 226, 232
Comments		
General properties		
γ_{unSAT}	kN/m ³	15.55
γ_{SAT}	kN/m ³	17.66
Advanced		
Void ratio		
Dilatancy cut-off		<input type="checkbox"/>
e_{init}		0.5000
e_{min}		0.000
e_{max}		999.0

Next OK Cancel

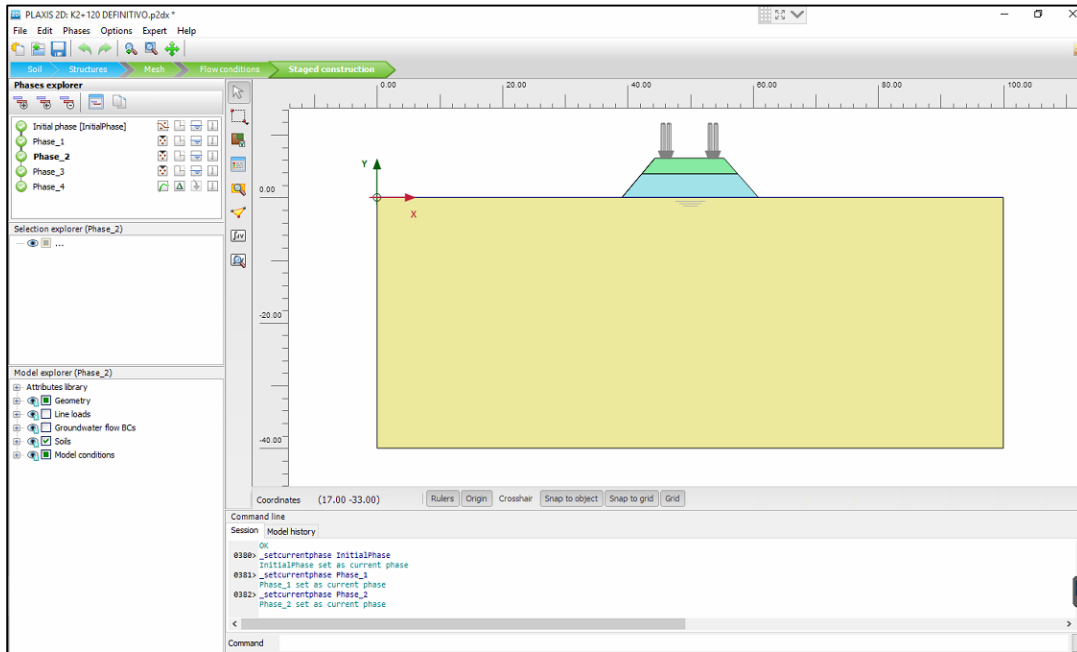
Soil - Mohr-Coulomb - K2+120 ABAJO

General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial

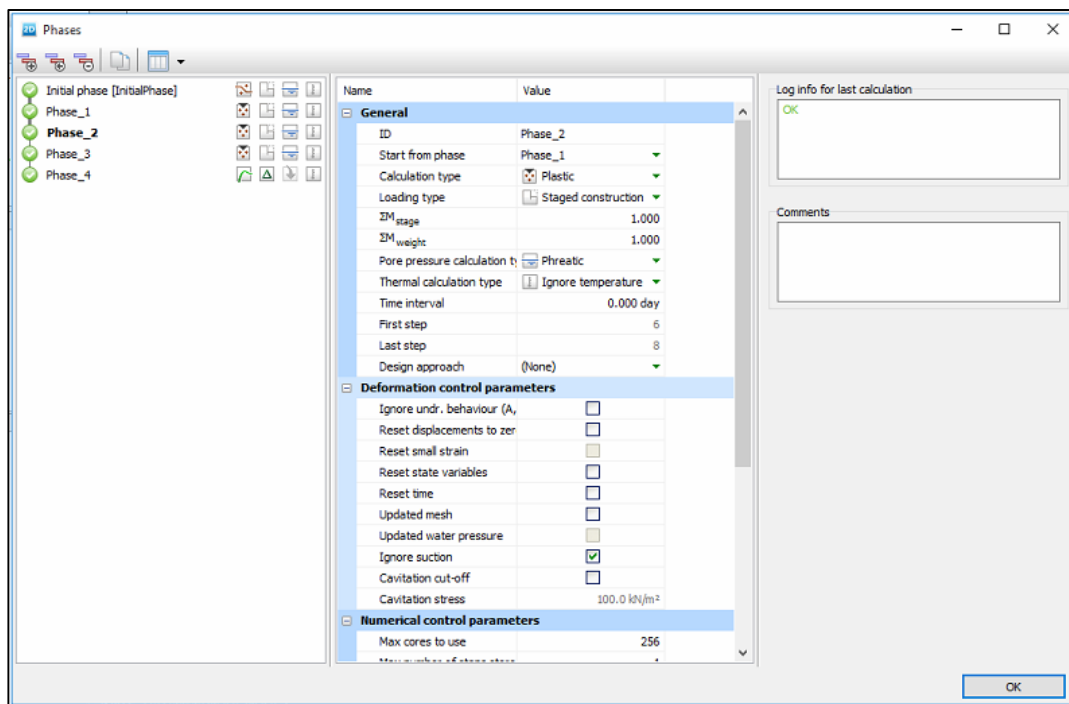
Property	Unit	Value
Stiffness		
E'	kN/m ²	65.85E3
ν (ν_u)		0.2000
Alternatives		
G	kN/m ²	27.44E3
E_{oed}	kN/m ²	73.17E3
Strength		
c_{ref}	kN/m ²	18.62
ϕ' (ϕ)	°	25.00
ψ (ψ)	°	0.000
Velocities		
V_s	m/s	131.6
V_p	m/s	214.9
Advanced		
Set to default values		<input checked="" type="checkbox"/>
Stiffness		

Next OK Cancel

Apéndice 5.8. Creación de la fase 2 (segunda parte del terraplén).



Apéndice 5.9. Modo de cálculo de la fase 2.



Apéndice 5.10. Propiedades geotécnicas del suelo de la corona del terraplén.

Soil - Mohr-Coulomb - K2+120 ARRIBA

General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial

Property	Unit	Value
Material set		
Identification		K2+120 ARRIBA
Material model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained
Colour		RGB 134, 234, 162
Comments		
General properties		
γ_{unsat}	kN/m ³	15.55
γ_{sat}	kN/m ³	17.66
Advanced		
Void ratio		
Dilatancy cut-off		<input type="checkbox"/>
e_{init}		0.5000
e_{min}		0.000
e_{max}		999.0

Next OK Cancel

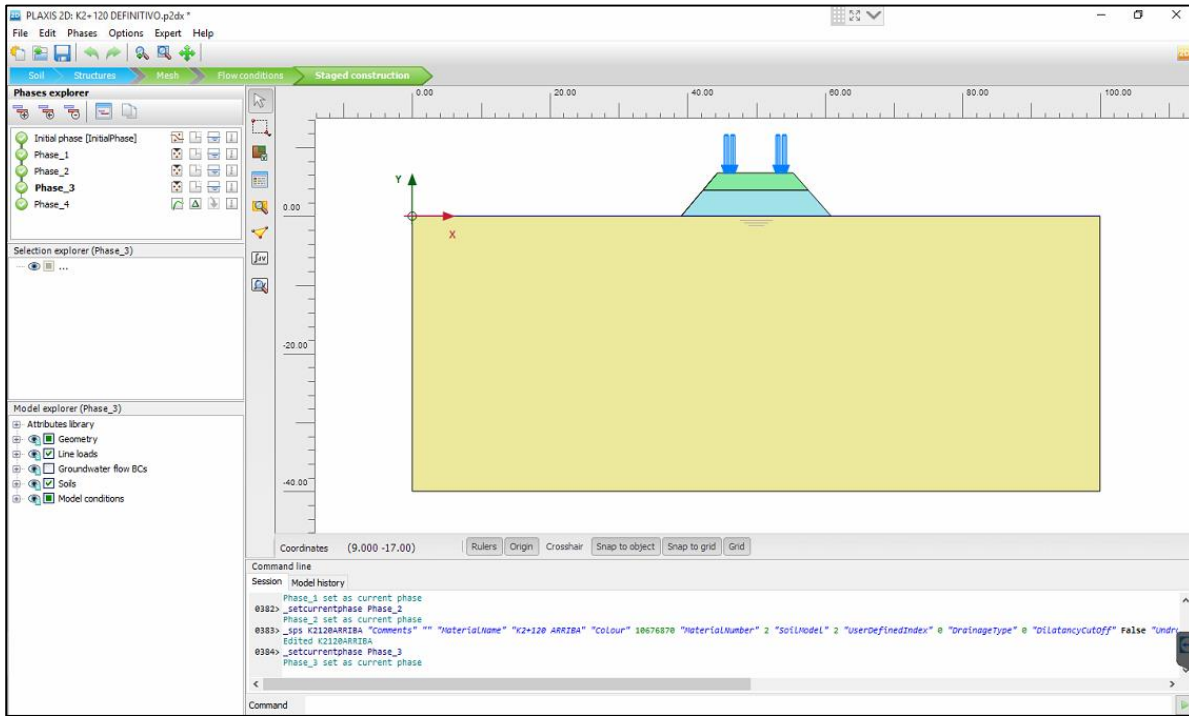
Soil - Mohr-Coulomb - K2+120 ARRIBA

General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial

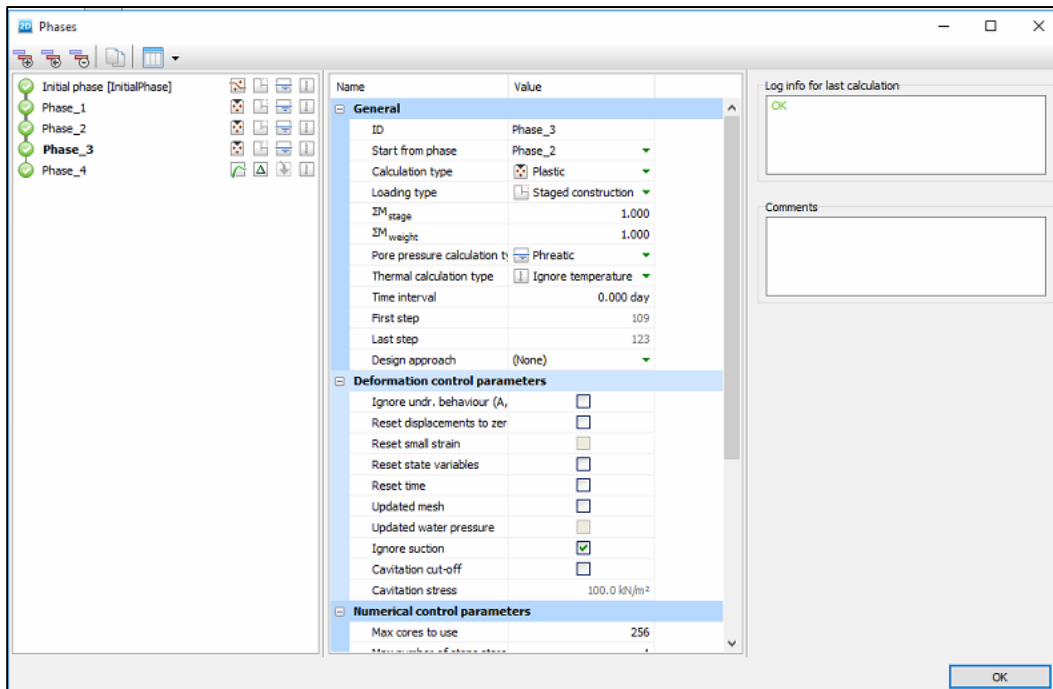
Property	Unit	Value
Stiffness		
E'	kN/m ²	65.85E3
ν' (nu)		0.2000
Alternatives		
G	kN/m ²	27.44E3
E_{oed}	kN/m ²	73.17E3
Strength		
C_{ref}	kN/m ²	18.62
ϕ' (phi)	°	25.00
ψ (psi)	°	0.000
Velocities		
V_s	m/s	131.6
V_p	m/s	214.9
Advanced		
Set to default values		<input checked="" type="checkbox"/>
Stiffness		

Next OK Cancel

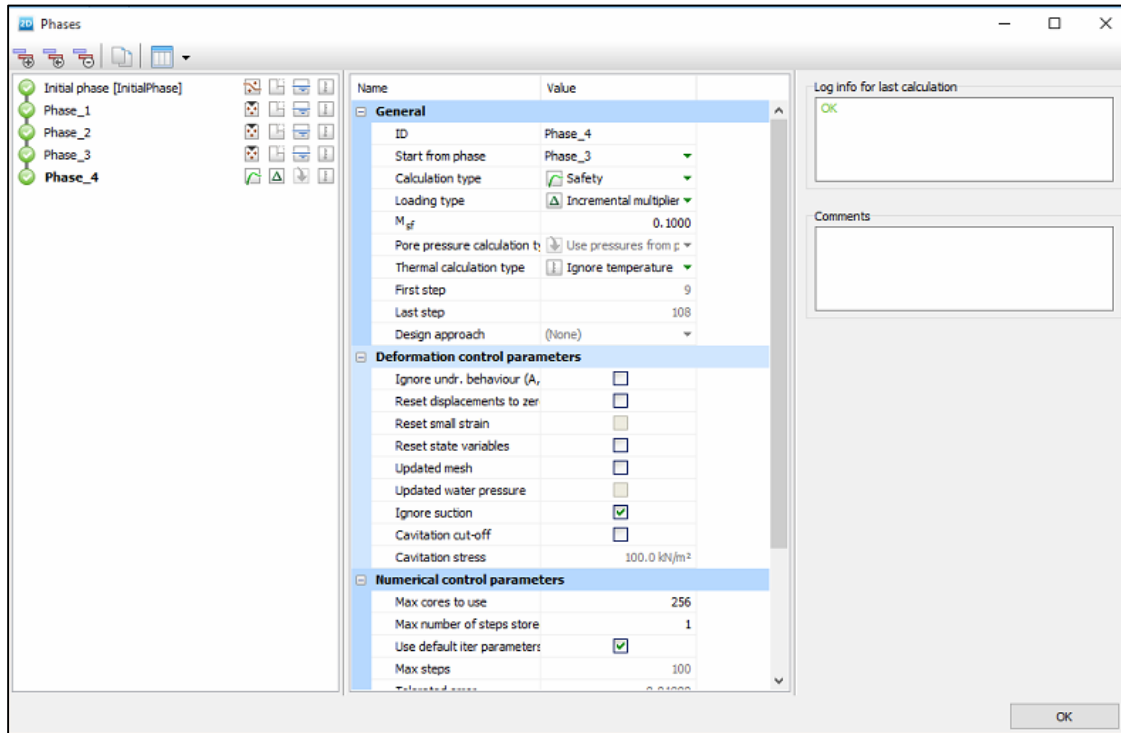
Apéndice 5.11. Creación de la fase 3 (terraplén completo + carga externa).



Apéndice 5.12. Modo de cálculo de la fase 3.



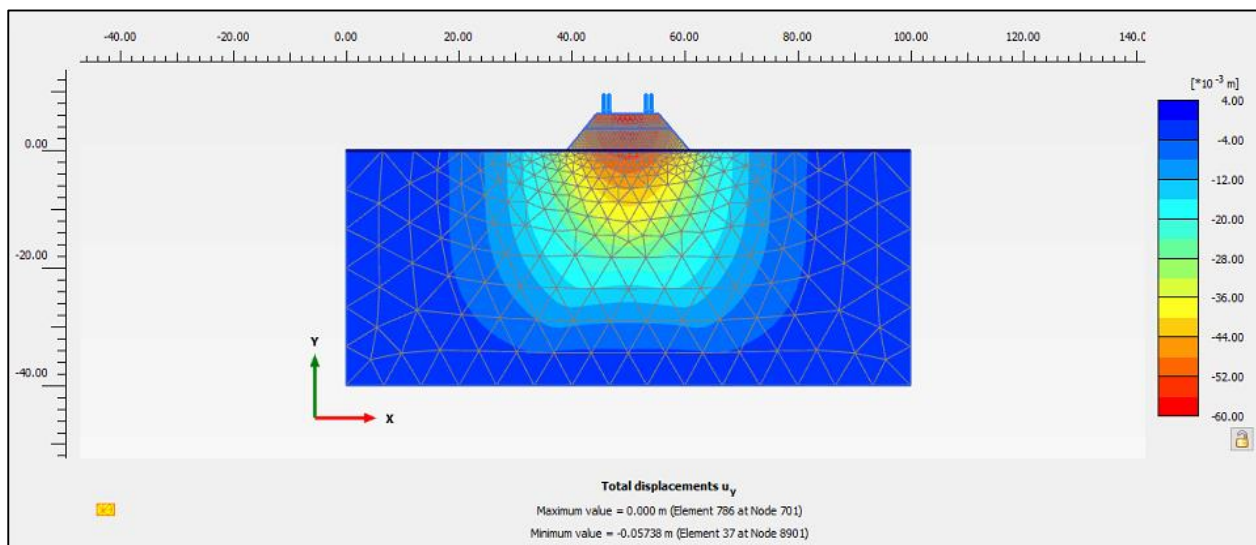
Apéndice 5.13. Modo de cálculo de la fase 4.



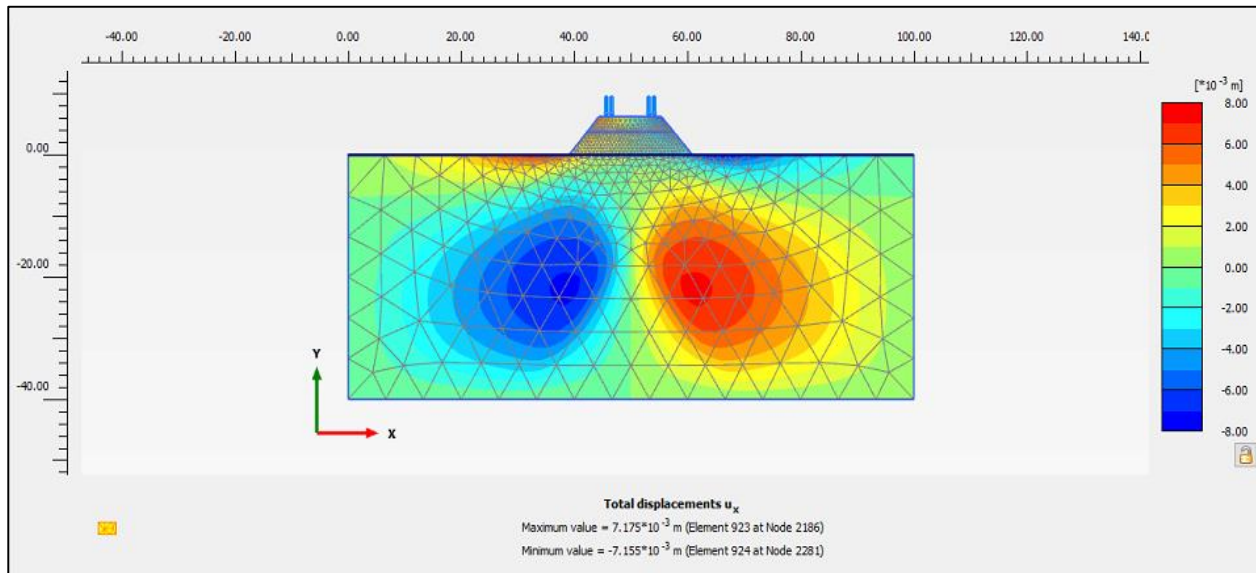
Apéndice F. Resultados de proceso de modelación

Apéndice 6.1. Resultados sección K2+120.

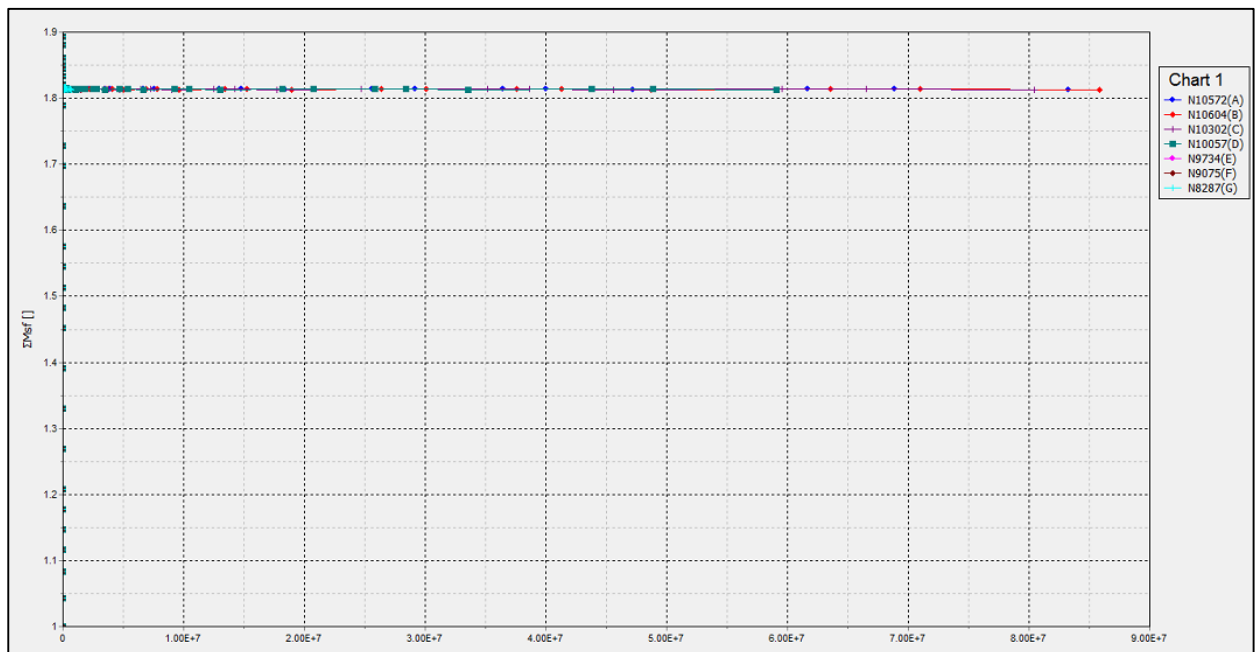
- Desplazamientos verticales U_y .



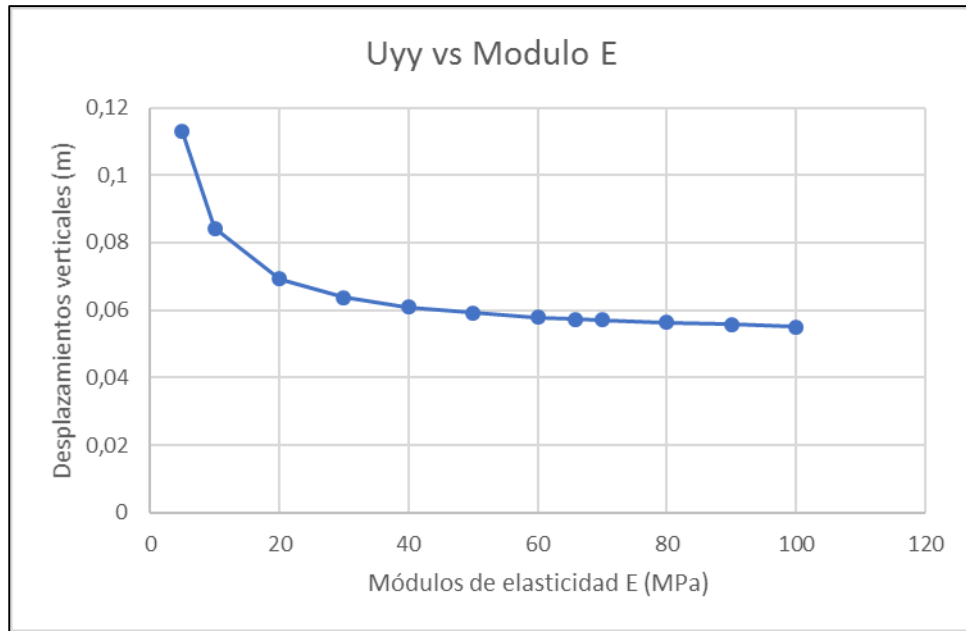
- Desplazamientos horizontales U_x .



- Grafica del análisis de estabilidad.

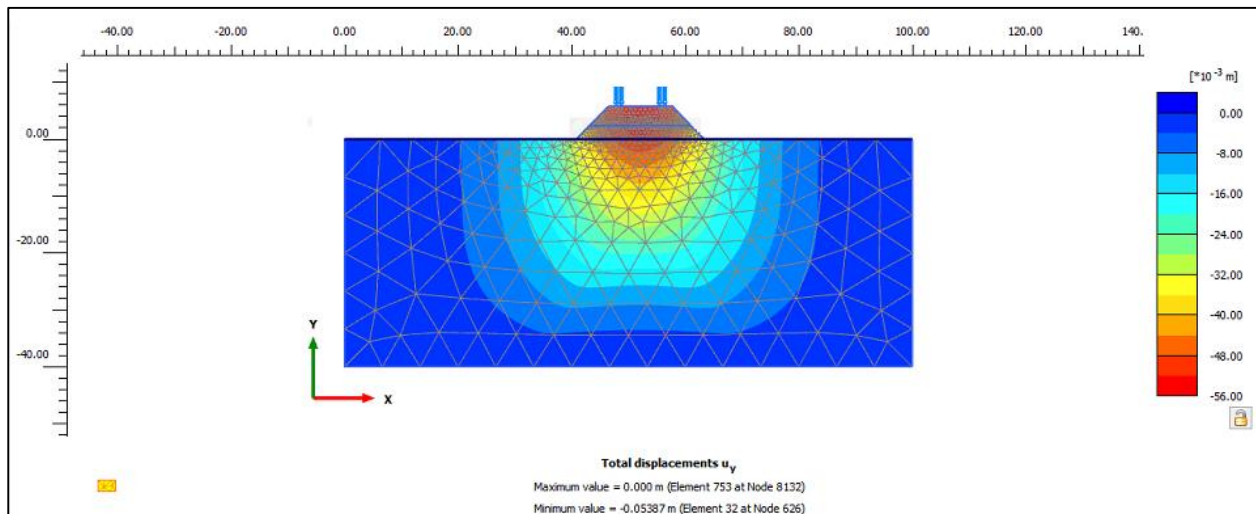


- **Análisis de sensibilidad.**

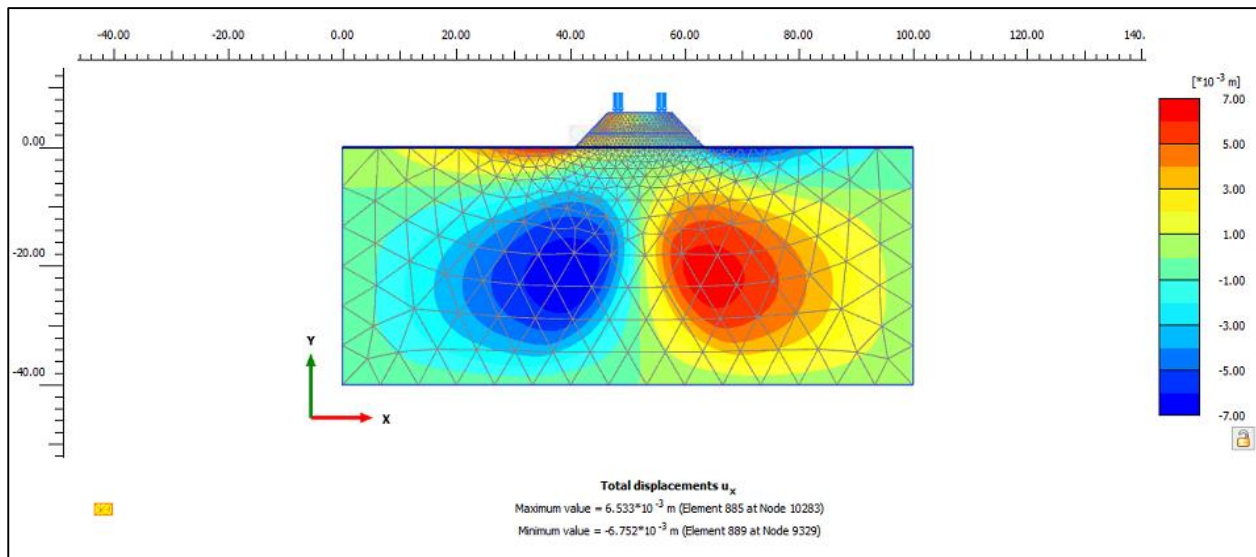


Apéndice 6.2. Resultados sección K2+140.

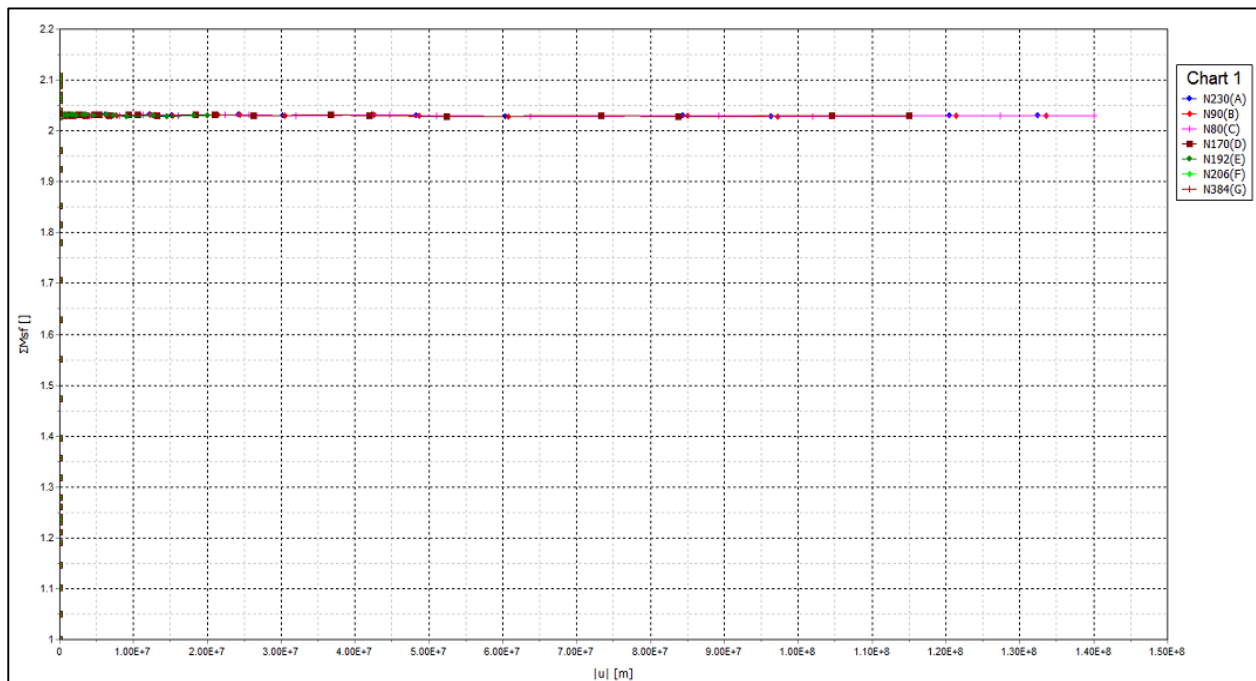
- **Desplazamientos verticales U_y.**



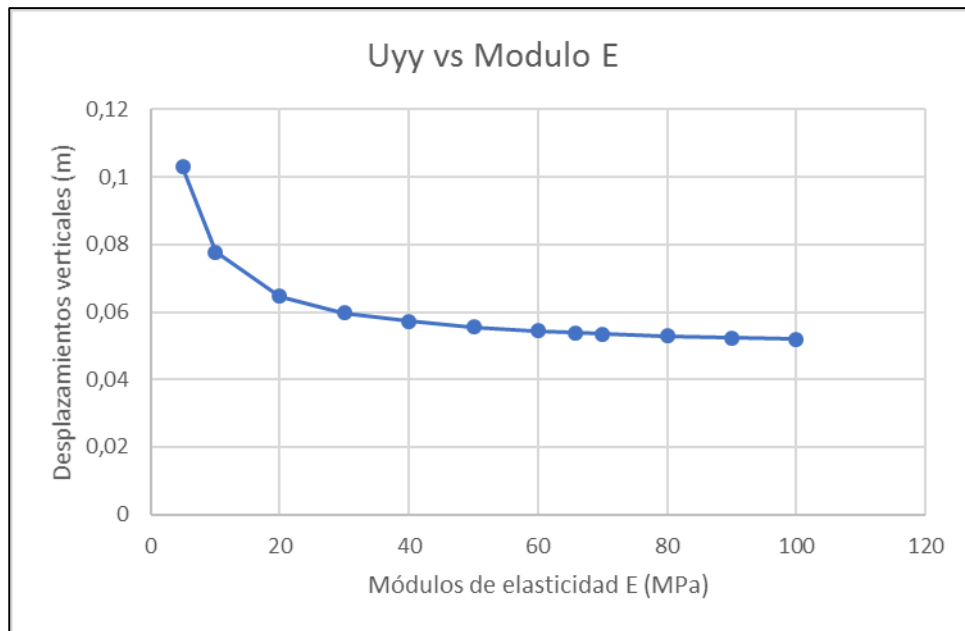
- Desplazamientos horizontales U_x .



- Grafica del análisis de estabilidad.

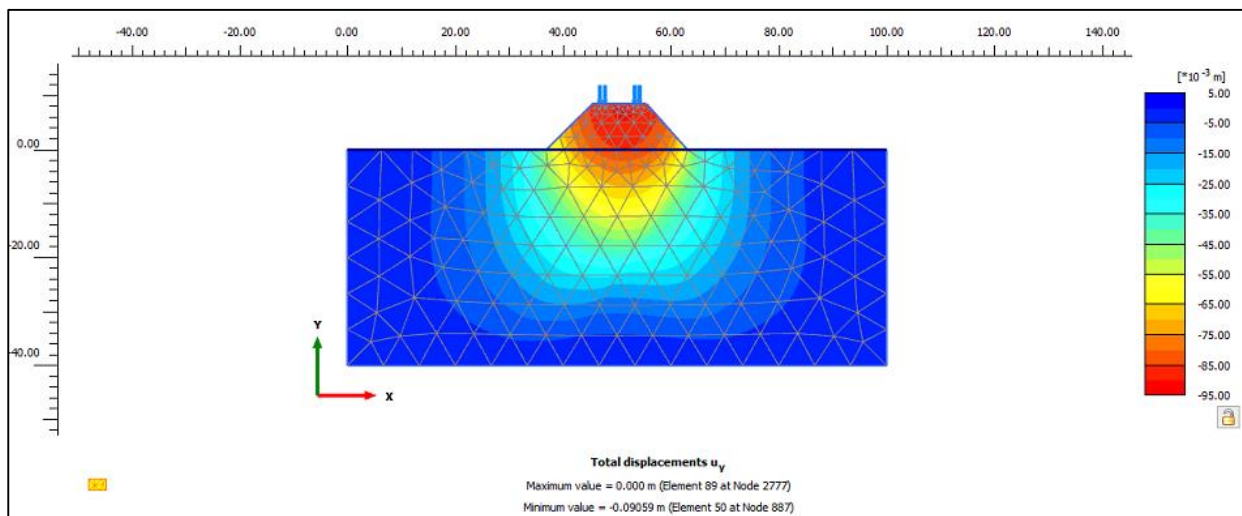


- **Análisis de sensibilidad.**

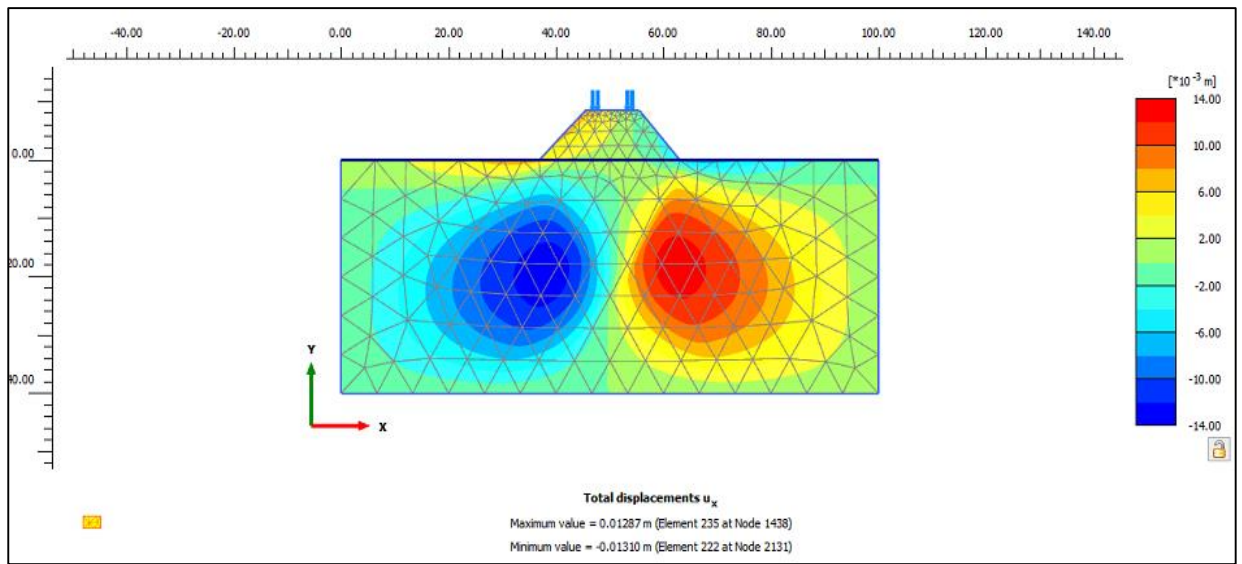


Apéndice 6.3. Resultados sección K2+160.

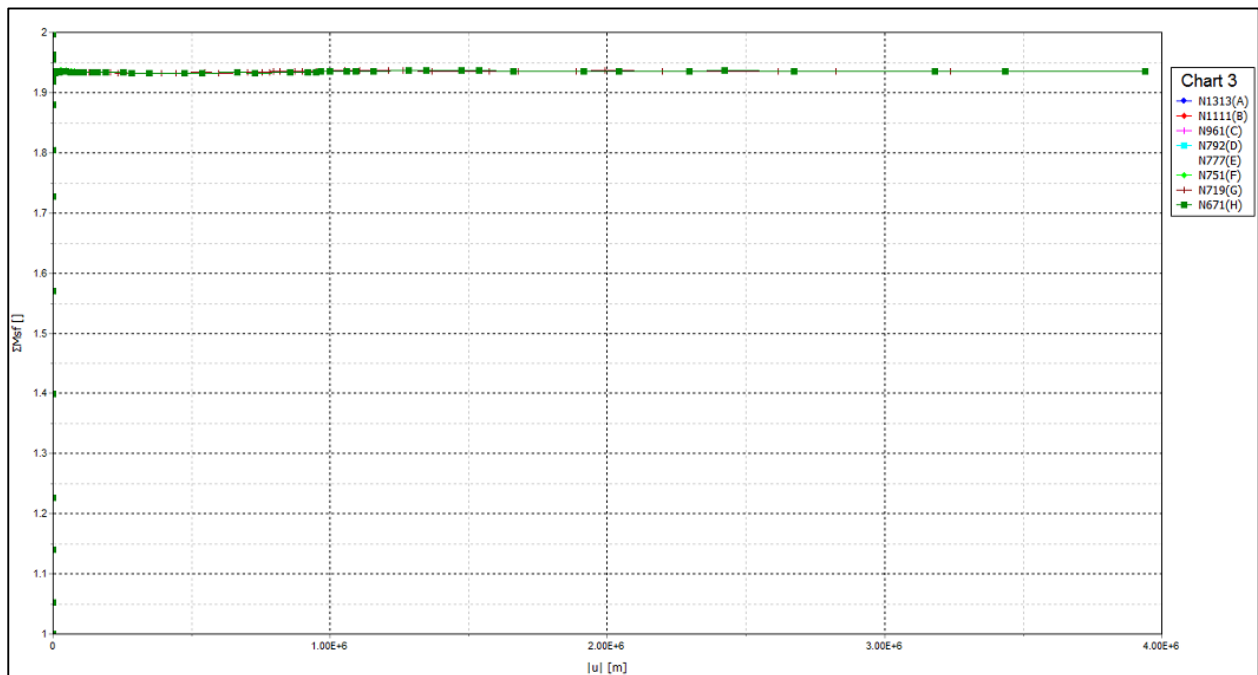
- **Desplazamientos verticales U_y .**



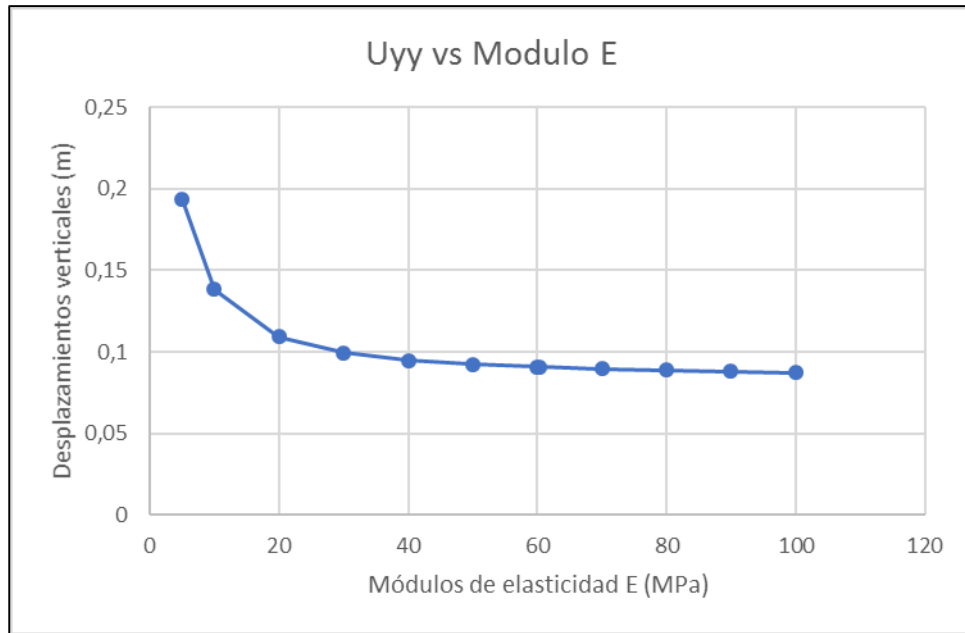
- Desplazamientos horizontales U_x .



- Grafica del análisis de estabilidad.

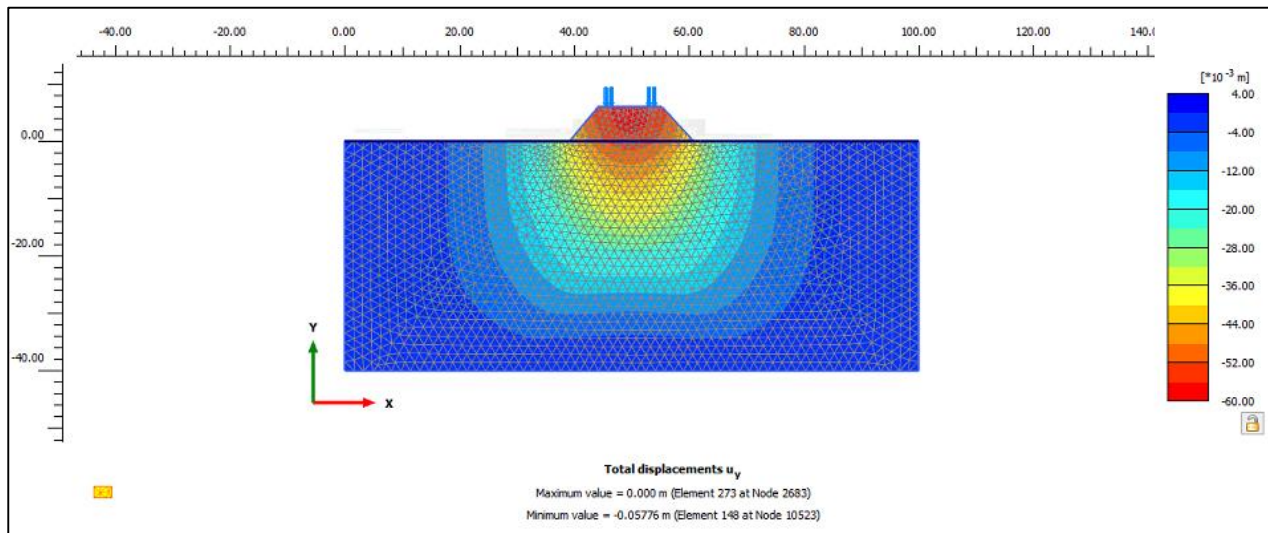


- **Análisis de sensibilidad.**

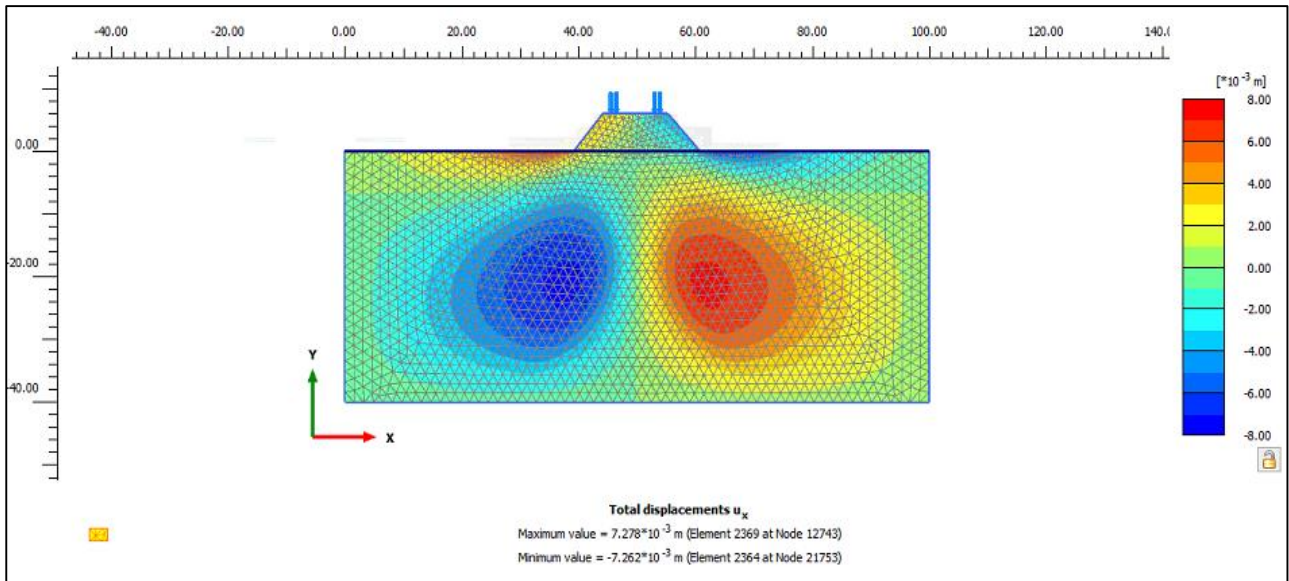


Apéndice 6.4. Resultados sección K2+180.

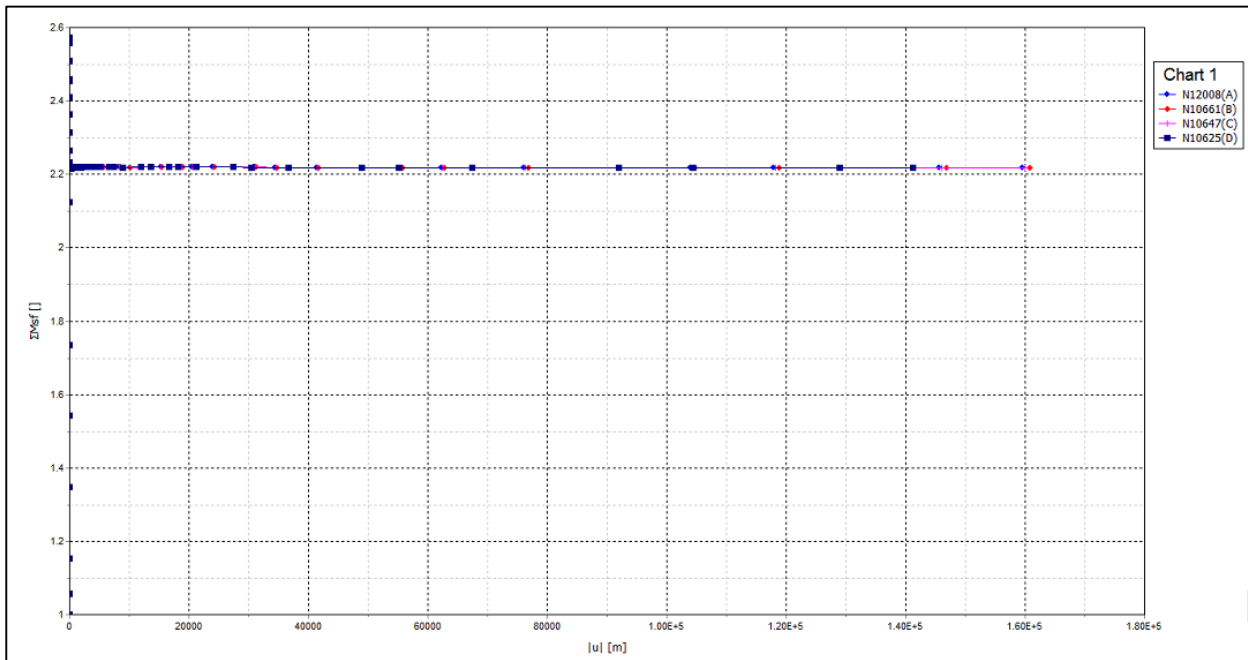
- **Desplazamientos verticales U_y .**



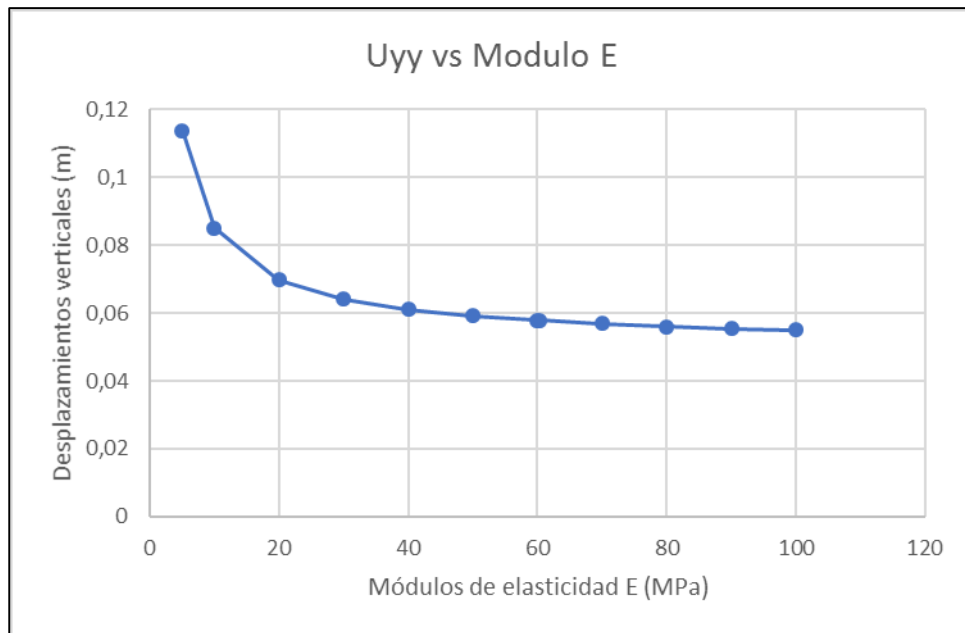
- Desplazamientos horizontales U_x .



- Grafica del análisis de estabilidad.

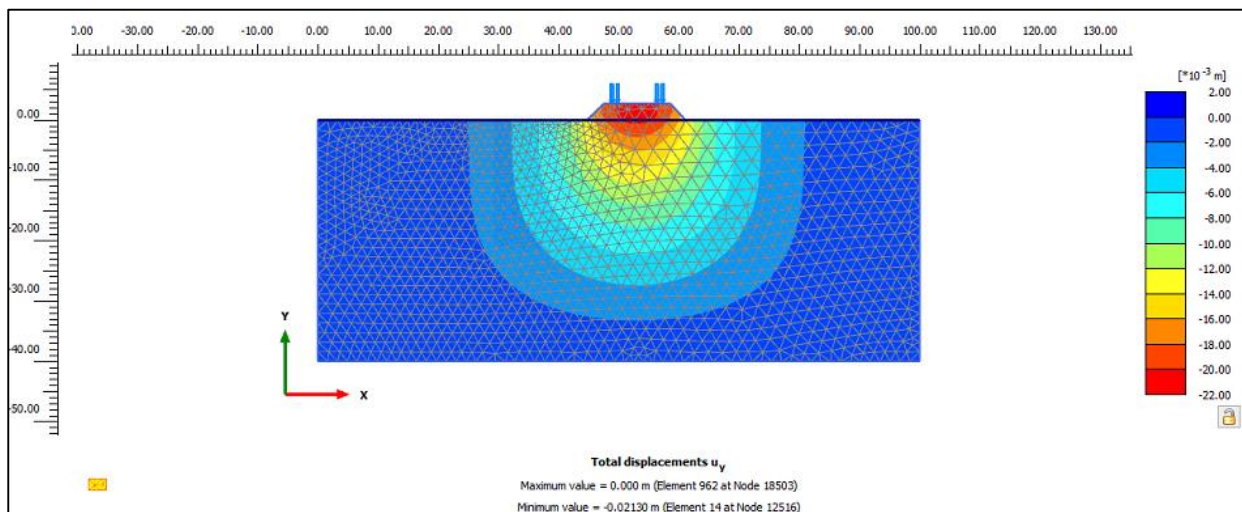


- **Análisis de sensibilidad.**

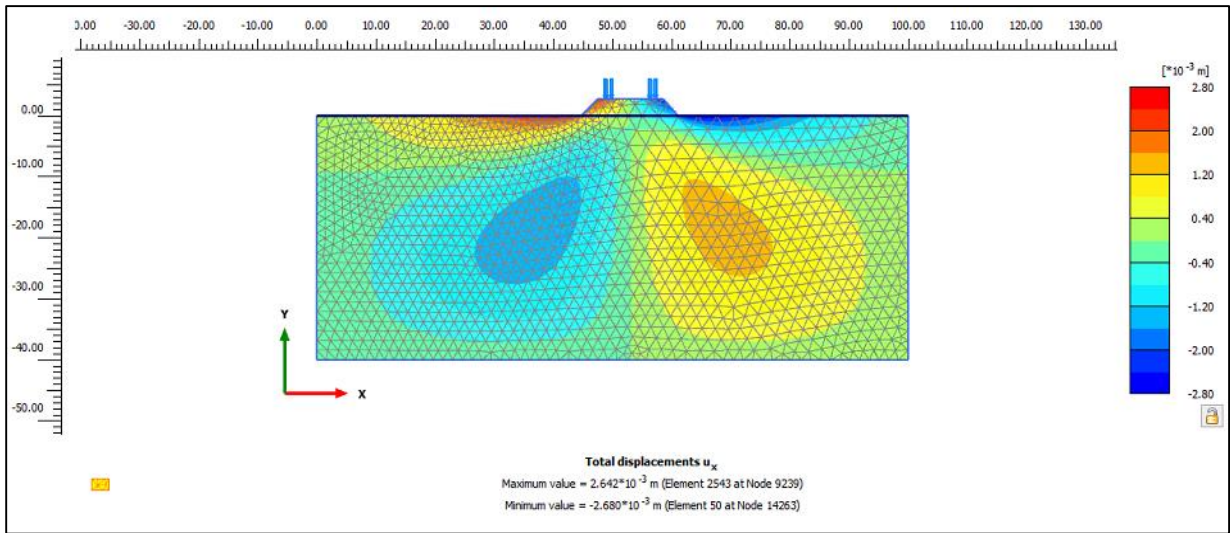


Apéndice 6.5. Resultados sección K2+200.

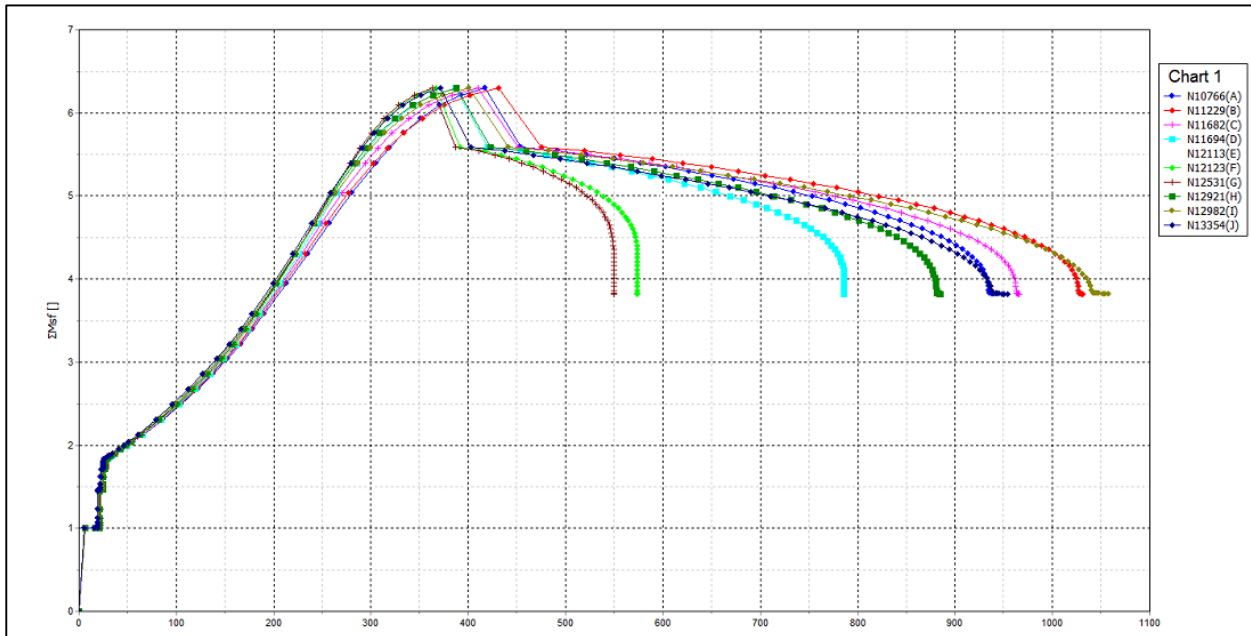
- **Desplazamientos verticales U_y.**



- . Desplazamientos horizontales U_x .



- Grafica del análisis de estabilidad.



- **Análisis de sensibilidad.**

