

**COMPARACIÓN DE ASENTAMIENTOS Y CAPACIDAD PORTANTE PARA
MODELOS BASADOS EN PROPIEDADES OBTENIDAS MEDIANTE SPT Y
TRIAxIAL ESTÁTICO**

**CESAR ANTONIO PRADA ROZO
WILLIAM FERNANDO SOLEDAD SIZA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2018

**COMPARACIÓN DE ASENTAMIENTOS Y CAPACIDAD PORTANTE PARA
MODELOS BASADOS EN PROPIEDADES OBTENIDAS MEDIANTE SPT Y
TRIAxIAL ESTÁTICO**

**CESAR ANTONIO PRADA ROZO
WILLIAM FERNANDO SOLEDAD SIZA**

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Civil

**Director:
JORGE ALEJANDRO MENDOZA RIZO
PhD. en Geomecánica computacional**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2018**

DEDICATORIA

La culminación de esta etapa de mi vida se la quiero dedicar inicialmente a Dios, el cual me dio sabiduría, paciencia, entendimiento y salud para poder tener un pleno desarrollo; a mis padres Luis Eduardo Soledad Y Blanca Inés Siza Naranjo quienes fueron el pilar principal en mi desempeño inculcando valores y principios los cuales fueron vitales en mi crecimiento no solo como profesional sino también como persona. A ellos no me queda más que decirles espero se sientan muy orgullosos de este paso que estoy dando y recordarles que todo lo que soy y seré es gracias a ellos; a mis cuatro hermanos quienes con sus consejos y recomendaciones en los momentos más oportunos, han formado parte de este logro cumplido. También, a todas aquellas personas como lo son: compañera sentimental, familiares, conocidos, amigos, compañeros, docentes entre otros; las cuales fueron parte de esta etapa y de diferentes maneras aportaron o siguen aportando de su parte para generar en mí un constante cambio integral.

Con mucho cariño

William Fernando Soledad Siza

En próximos días obtendré mi título como Ingeniero Civil de la Universidad Industrial de Santander, pero detrás de eso están grandes seres humanos que son partícipes de este logro a las cuales les dedico unas cortas palabras.

A mi padre Dios por darme tantas bendiciones y oportunidades desde el día de mi nacimiento, bien establece la frase “Todo aquel nacido en Cristo vence al mundo”.

En segundo lugar, a mis padres María Dilma Rozo Villamizar y Luis José Prada Urbina que gracias a su amor y confianza me han enseñado a afrontar los diferentes retos que me ha propuesto la vida.

Quiero agradecer a mis hermanos Carlos Julio y José Rafael por ser ese apoyo incondicional en la vida, es gratificante saber que tienes a dos personas tan buenas a tu lado que a través de sus consejos y lecciones te ayudan a mejorar en tu diario vivir.

Además, debo agradecer a todo el personal docente que hizo parte de mi formación académica y personal. También expreso mis gratitudes a mis compañeros y amigos que me deja esta valiosa institución académica, mis mejores deseos para su vida.

Doy por finalizado este ciclo en mi vida, que me permitió conocer mis debilidades y fortalezas como ser humano. En el cual me reivindicó como persona y estructure mi vida en base al valor más importante que debe tener el ser humano la confianza en sí mismo.

Cesar Antonio Prada Rozo

AGRADECIMIENTO

Los integrantes del este proyecto quieren agradecer principalmente al director del mismo, al docente Jorge Alejandro Mendoza Rizo dado que su acompañamiento, supervisión y ayuda, fueron factores vitales para poder tener un buen desarrollo de la investigación.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. OBJETIVOS.....	19
1.1 OBJETIVO GENERAL	19
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
2. MARCO TEÓRICO	20
2.1 ENSAYO TRIAXIAL	20
2.1.1 Ensayo Triaxial Consolidado No drenado	21
2.1.2 Cálculos de Ensayo Triaxial.....	22
2.1.2.1 Cálculo de deformación axial	22
2.1.2.2 Corrección de Área	22
2.1.2.3 Cálculo del Esfuerzo Desviador para una carga dada es:	22
2.1.2.4 Se calcula el confinamiento efectivo:	23
2.1.2.5 Seguidamente se calculó los esfuerzos efectivos	23
2.1.2.6 Calculo del Módulo de Young	23
2.2 ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)	24
2.2.1 Correlaciones de parámetros SPT.....	26
2.2.1.1 Ángulo de fricción interna $[\phi]$ Y Modulo de Young $[E_s]$	26
2.2.1.2 El ángulo de dilatación $[\psi]$	26
2.3 SOFTWARE PLAXIS2D.....	27
2.3.1 Introducción al software	27
2.3.2 Modelo de Mohr-Coulomb (MC).....	27
2.4 ASENTAMIENTOS	27
2.5 CAPACIDAD PORTANTE.....	28

3. DESARROLLO DEL PROYECTO	30
3.1 EXTRACCIÓN DE MUESTRAS.....	30
3.2 PARÁMETRO DE RESISTENCIA AL CORTE OBTENIDOS MEDIANTE SPT	30
3.2.1 Número de golpes en campo (N campo)	30
3.2.2 Corrección y normalización de N	31
3.2.2.1 Factor de corrección por confinamiento efectivo [Cn].	31
3.2.2.2 Factores de corrección faltantes [$\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4$].	32
3.2.2.3 Valor N de energía de N'70 y N'60	32
3.2.3 Cálculo de propiedades de resistencia al corte para los diferentes suelos...33	
3.2.3.1 Angulo de fricción interna [ϕ] y módulo de Young [E], mediante correlaciones.....	33
3.2.3.2 Propiedades faltantes para modelo Mohr-Coulomb.....	35
3.3 ENSAYOS TRIAXIALES.....	36
3.3.1 Resultados de ensayos.....	37
3.4 DETERMINACIÓN DE PERFILES ESTRATIGRÁFICOS PARA INSERTAR A SOFTWARE PLAXIS2D	39
3.5 MODELACIÓN Y ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO MEDIANTE PLAXIS2D.....	40
3.5.1 Entrada gráfica de modelos de geometría	40
3.5.2 Modelo de Mohr-coulomb	41
3.5.3 Modelos de suelo definidos por el usuario y Geomallas	42
3.5.4 Presión de poros estable	42
3.5.5 Creación de diferentes etapas	43
3.5.6 Presentación de resultados.....	43
4. RESULTADOS.....	45
4.1 ASENTAMIENTOS	45
4.2 CAPACIDAD PORTANTE.....	46

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	48
6. CONCLUSIONES	52
7. RECOMENDACIONES.....	54
BIBLIOGRAFÍA.....	55
ANEXOS.....	57

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema de un ensayo triaxial.....	20
Figura 2. Extracción de muestras	30
Figura 3. Numero de golpes en campo.....	31
Figura 4. Ensayo Triaxial CU	36
Figura 5. Relación Esfuerzos Mohr-Coulomb.	37
Figura 6. Grafica Esfuerzo Desviador vs Deformación (%).....	39
Figura 7. Imagen de la ubicación de los sondeos.....	39
Figura 8. Perfil 2.....	40
Figura 9. Distribucion zapatas de edificacion.....	41
Figura 10. Geometría del terreno basada en datos perfil 2.....	41
Figura 11. Creación de tipos de suelo	41
Figura 12. Asignación de propiedades de cada suelo	42
Figura 13. Tramo de modelo con limites de contorno y geomalla de refinación baja.....	42
Figura 14. Creación de etapas proceso constructivo plaxis.....	43
Figura 15. Presentacion de resultados mediante tabla y grafica para asentamientos verticales durante las 3 etapas	43
Figura 16. Perfil de Asentamientos linea de zapatas tipo 1.	46
Figura 17. Perfil de asentamientos linea de zapatas tipo 2.....	46
Figura 18. Valores máximos de asentamientos diferenciales calculados, expresados en función d distancia entre apoyos o columnas (l).....	48
Figura 19. Porcentajes de error.	50
Figura 20. Valores minimos de Factor de Seguridad Indirectos.....	50

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Correlaciones para obtener ángulo de fricción interna a partir de ensayos SPT.....	26
Tabla 2. Correlaciones para obtener módulo de Young a partir de ensayos SPT.	26
Tabla 3. Parámetros Mohr-Coulomb.....	27
Tabla 4. Tipos de Suelo presentes en el terreno	31
Tabla 5. Sondeo 1.....	32
Tabla 6: Factores de corrección faltantes	32
Tabla 7. Calculo Tipo Sondeo 1.....	32
Tabla 8. Calculo Propiedades de Resistencia	33
Tabla 9. Valores de Es.....	34
Tabla 10. Promedio de Es	34
Tabla 11. Promedio de ángulo de fricción.....	35
Tabla 12. Calculo ángulo de dilatancia	35
Tabla 13. Valores de Cohesión.....	35
Tabla 14. Resumen Ensayo Triaxial CU	36
Tabla 15. Resultados de Ensayos	37
Tabla 16. Parámetros obtenidos de círculos de morh.....	38
Tabla 17. Espesores Propuestos.....	38
Tabla 18. Asentamientos Teóricos 1-2-3	45
Tabla 19. Factores de Seguridad.....	46
Tabla 20. Asentamiento máximos permitidos para zapatas en estudio.	48
Tabla 21. Factores de Seguridad Máximo y Mínimo Análisis Teórico.....	51

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Formato de clasificación de suelos	57
Anexo B. Cuadros de cálculos para el factor Cn de cada punto de los cuatro sondeos en estudio.....	63
Anexos C. Cuadros de cálculos para obtener el valor de N'70 Y N'60 de cada punto de los cuatro sondeos en estudio	64
Anexo D. Correlaciones para cálculo de módulo de Young [Es] KPa	65
Anexo E. Correlaciones para cálculo de ángulo de fracción interna	67
Anexo F. Líneas de zapata tipo en estudio propiedades obtenidas mediante SPT.....	69
Anexo G. Líneas de zapata tipo en estudio propiedades obtenidas mediante Ensayo Triaxial CU	71
Anexo H. Porcentajes de Error en puntos de análisis de Línea de Zapatas Tipo en estudio	75
Anexo I. Chequeo para analizar grado de saturación, en el desarrollo de esta etapa para los 3 diferentes ensayos realizados a muestras extraídas en terreno. 76	76
Anexo J. Graficas etapa de consolidación	77
Anexo K. Gráficas de Esfuerzo Vs Deformación para obtención de valores de Modulo de Young para los 3 diferentes ensayos triaxial y una de recopilación	80
Anexo L. Tablas resumen de valores obtenidos y asumidos en el desarrollo de las tres diferentes pruebas triaxial	81
Anexo M. Cargas a implementar en líneas de zapata tipo.....	83
Anexo N Variación del factor de seguridad.....	85
Anexo O. Capacidad portante.....	88

RESUMEN

Titulo. Comparación de asentamientos y capacidad portante para modelos basados en propiedades obtenidas mediante SPT y TRIAXIAL estático*

Autores: Cesar Antonio Prada Rozo
William Fernando Soledad Siza**

Palabras Clave: Asentamientos, Capacidad portante, Triaxial Estático, Plaxis

El análisis de cimentaciones consta de varios estudios entre ellos el que se le realiza al terreno, el cual juega un papel fundamental al momento de recibir las cargas transmitidas por las diferentes edificaciones dentro del vasto campo de la Ingeniería Civil. Como consecuencia de este proceso el suelo empieza a presentar deformaciones en sus diferentes capas, las cuales van ligadas a sus propiedades y características, a su vez es importante tener en cuenta la capacidad de carga que ofrece el suelo donde se cimentan las diferentes estructuras, este parámetro de estudio va ligado a la resistencia de los suelos presentes debajo de la cimentación. En el presente documento se efectúa un análisis de asentamientos y capacidad portante al suelo donde se está construyendo el edificio de laboratorios de Ingeniería Mecánica (IM) de la UIS, utilizando el software Plaxis2D. Para ello se comparan los resultados de dos modelos referentes al sector en estudio, realizados con perfiles estratigráficos aproximados con la información suministrada por el estudio de suelos de la empresa IN-MEDIA.TEST S.A.S en el año 2011, el cual contiene la información y ubicación de diferentes sondeos de SPT en el terreno aledaño a las instalaciones en estudio. Los modelos cuentan con un suministro de datos obtenidos primero por medio del estudio de suelos realizado con SPT (Estudio de suelos IM), el cual utiliza diferentes correlaciones y correcciones provistas por diferentes autores. En el segundo modelo se complementan estos datos con los obtenidos a través del ensayo triaxial estático CU efectuado a muestras extraídas en el estrato de suelo bajo la cimentación de la estructura, simultáneamente a este análisis en plaxis2D se desarrolla una evaluación teórica de los modelos planteados que servirá de referente para los resultados obtenidos por medio del software.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Jorge Alejandro Mendoza Rizo

ABSTRACT

Title: Comparison of settlements and carrying capacity for models based on properties obtained by SPT and static TRIAXIAL *.

Authors: Cesar Antonio Prada Rozo
William Fernando Soledad Siza **

Keywords: Settlements, bearing capacity, Static Triaxial, Plaxis

The analysis of foundations consists of several studies among them that is carried out to the terrain, which plays a fundamental role when receiving the loads transmitted by the different buildings within the vast field of Civil engineering. As a result of this process the soil begins to present deformations in its different layers, which are linked to their properties and characteristics, in turn it is important to take into account the load capacity offered by the ground where the Different structures, this study parameter is linked to the resistance of soils present under the foundation. This study presents settlement and bearing capacity analyses using Plaxis2D software from the soil where the building of Mechanical Engineering Laboratories (IM) of the UIS is being built. The results of two models simulating the area under study are compared. The models are fed with data provided by the soil study of the company IN-MEDIA.TEST SAS in 2011, which contains the information and location of different probes of SPT in the area of study (IM Geotechnical Investigation). The first model uses only SPT values obtained using different correlations and corrections provided by different authors. In the second model, these data are complemented with information obtained through the static triaxial test CU, which was performed on samples extracted in the soil stratum directly beneath the foundation of the structure. Simultaneously to these analyses in Plaxis2D, a theoretical assessment of the proposed models is completed and is compared to the results obtained through the software.

* Project of Grade

** Facultad de Ingenierias Fisicomecanicas. Escuela de Ingenieria Civil. Director: Jorge Alejandro Mendoza Rizo

INTRODUCCIÓN

Los comportamientos de las edificaciones son atribuibles a los movimientos presentes en sus fundaciones, lo que a la vez se ve ligado a los asentamientos presentes en los suelos que las soportan. Con referencia a lo anterior se debe realizar el estudio respectivo que nos permita tener un comportamiento cercano de los suelos presentes en el terreno, así se entenderá su actuar por efecto de la acción de cargas presentes en toda obra desarrollada por el campo de la ingeniería civil. Esto evidencia la gran importancia de llevar a cabo un buen estudio para determinar los parámetros referentes al suelo con el que se vaya a interactuar, tal como sus características, su composición, su estratificación y todas las propiedades de este, para realizar el estudio pertinente. Para obtener esta información se emplean dos tipos de procedimiento de investigación del subsuelo los cuales pueden ser de campo o de laboratorio; el primer tipo hace referencia a procedimientos para determinar el grado de compacidad del suelo los cuales se llevan a cabo en el sitio con maquinaria adecuada, entre ellos se encuentra el SPT. El segundo tipo hace referencia a pruebas de laboratorio efectuadas a muestras extraídas del terreno en estudio, entre las cuales se encuentran ensayo de compresión simple, ensayo triaxial y ensayo de corte directo.

En Colombia, con énfasis en Santander, se encuentra un terreno que ha cumplido con los estándares exigidos por norma para la construcción de diferentes obras, debido a que presenta una buena calidad del suelo. Por ello el ensayo SPT ha sido utilizado ampliamente, sin embargo, los proyectos que se han llevado a cabo últimamente en la ciudad tienden a tener una mayor complejidad y envergadura, como lo son el viaducto de la carrera novena, la torre Mardel, El Majestic, entre otros. En el futuro próximo, Bucaramanga será el foco de grandes obras civiles, por eso es muy probable que estos métodos in-situ sean muy limitados para las

necesidades de estas nuevas megaobras, por eso se considera pertinente que se realicen ensayos más completos como lo son los triaxiales, entre los cuales se encuentra el consolidado no drenado (CU).

El presente proyecto muestra un análisis de asentamientos y capacidad portante al suelo donde se está construyendo el edificio de laboratorios de ingeniería mecánica (IM) de la UIS, utilizando el software Plaxis2D. En éste análisis se compararon los resultados de estos parámetros utilizando dos modelos: Para el primero los datos que alimentaron la modelación fueron los del estudio de suelos realizado con SPT (Estudio de suelos IM); y para el segundo modelo los datos se obtuvieron de ensayos triaxiales estáticos CU realizados a muestras obtenidas bajo la cimentación. Posteriormente se va a efectuar una evaluación analítica de los parámetros estudiados, basados en fundamentos teóricos con la finalidad de apoyar lo hecho en el software. Con esta investigación se busca contribuir al desarrollo de estudios más robustos que garanticen la estabilidad de las estructuras y por ende el bienestar de las personas.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar modelos numéricos en Plaxis 2D en los cuales podemos calcular, analizar y comparar asentamientos y capacidad portante mediante la implementación de las propiedades del suelo obtenidas por ensayos de penetración estándar y complementando éstos con resultados de ensayos triaxiales estáticos del terreno en estudio.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener parámetros (mecánicos) de resistencia al corte con ensayo triaxial estático de muestras extraídas del suelo de la cimentación de la obra en estudio.
- Desarrollar modelos en el software Plaxis2D utilizando los resultados del estudio de suelos (SPT) y complementando con los del ensayo triaxial.
- Comparar los asentamientos y capacidad portante encontradas basado en los modelos planteados.

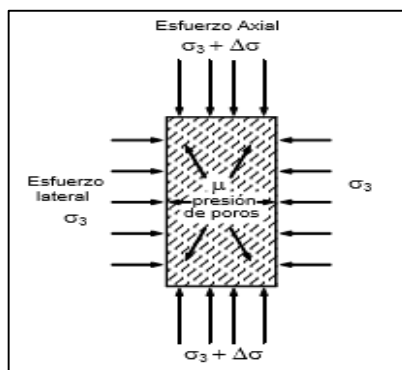
2. MARCO TEÓRICO

2.1 ENSAYO TRIAXIAL

El ensayo triaxial es uno de los métodos más confiables para determinar los parámetros de resistencia al cortante. Se usa ampliamente tanto para investigaciones como para pruebas convencionales¹. El ensayo se considera confiable por las siguientes razones:

- Proporciona información sobre el comportamiento esfuerzo-deformación unitaria del suelo.
- Muestra condiciones más uniformes de esfuerzo que la prueba de corte directo con sus concentraciones de esfuerzos a lo largo del plano de falla.
- Presenta mayor flexibilidad en términos de trayectoria de carga².

Figura 1. Esquema de un ensayo triaxial.



Fuente: SUAREZ DÍAZ, Jaime. Deslizamientos, Tomo 1: Análisis Geotécnico [Capítulo 3: Resistencia al cortante en suelos y rocas]

¹ SUAREZ DÍAZ, Jaime. Deslizamientos, Tomo 1: Análisis Geotécnico [Capítulo 3: Resistencia al cortante en suelos y rocas]., 2015

² DAS, Brajas M. Principios de Ingeniería de cimentaciones. Thonson Learning. Cuarta Edición California State University, Sacramento, 2001

2.1.1 Ensayo Triaxial Consolidado No drenado Generalmente, existen cuatro formas de realizar el ensayo Triaxial. Para el presente documento se realizó el ensayo triaxial consolidado no drenado, es la prueba más común de prueba triaxial en esta el espécimen pasa por diferentes etapas:

Etapas de saturación: Se aseguran que todos los vacíos dentro de la muestra se llenen con agua mediante la aplicación de presión de cámara y contrapresión en la muestra. Para comprobar que la muestra se encuentre saturada se requiere hacer el chequeo del valor B el cual consiste que el grado de saturación de la muestra es el adecuado. Requiere drenaje cerrado en la contrapresión mientras que la presión de cámara tiene un incremento para luego medir la respuesta del incremento de la presión de poros y calcular el parámetro B. El valor B debe estar entre 0,91 y 1 sino es así repetir proceso desde saturación.

Etapas de Consolidación: Se lleva a cabo mediante el aumento de la presión de cámara mientras automáticamente el controlador de contrapresión mantiene una presión constante, hasta que la diferencia entre la presión de cámara y la contrapresión sea igual al esfuerzo de consolidación efectivo requerido. Este proceso se continúa hasta que el cambio de volumen ΔV de la muestra ya no sea significativo, y al menos el 95% de la presión de poros en exceso se ha disipado.

Etapas de Falla: La cual consiste en aplicar una fuerza axial o una deformación axial a una velocidad constante. La etapa se continúa hasta que se ha alcanzado un criterio de rotura especificada³.

³ DUARTE E.R; PÁEZ B.F., “Guía Práctica para el Ensayo Triaxial Estático Consolidado no Drenado (CU) con GDS Triaxial Automated System y Gdslab v2.5.4.”, Trabajo de grado, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, 2016

2.1.2 Cálculos de Ensayo Triaxial Basados en las normas I.N.V.E 153-07 “Parámetros de resistencia del suelo mediante compresión triaxial”⁴ y en la ASTM D4767-11 “Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils”⁵, los cuales siguen el siguiente formato

2.1.2.1 Cálculo de deformación axial

$$\xi_{Axial} = \frac{\Delta_L}{L_o} \quad (1)$$

Δ_L : Deformación vertical

L_o : Altura inicial

2.1.2.2 Corrección de Área

$$A = \frac{A_o}{(1 - \xi_{Axial})} \quad (2)$$

A_o : Área Inicial(mm²)

2.1.2.3 Cálculo del Esfuerzo Desviador para una carga dada es:

$$\sigma_d = \frac{P}{A} \quad (3)$$

P: Carga Vertical Aplicada(kN)

A: Área Corregida (mm²)

⁴ I.N.V. E – 153 – 07, “Parámetros de resistencia del suelo mediante compresión triaxial”, Norma de ensayo para carreteras, Instituto Nacional de Vías, Col, Agosto. 2017

⁵ ASTM D4767-11 “Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils”, ASTM International, : <http://www.astm.org>

2.1.2.4 Se calcula el confinamiento efectivo:

$$\sigma_c = \sigma_{\text{cámara}} - BP \quad (4)$$

$\sigma_{\text{Cámara}}$: Presión de Cámara(kPa)

BP: Contrapresión(kPa)

2.1.2.5 Seguidamente se calculó los esfuerzos efectivos

$$\sigma_3' = \sigma_c - \Delta_u \quad (5)$$

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_d \quad (6)$$

$$\Delta_u = u - u_o \quad (7)$$

σ_3' =Esfuerzo efectivo menor(kPa)

σ_1' =Esfuerzo efectivo mayor(kPa)

u=Presión de poros durante el ensayo(kPa)

u_o =Presión de poros inicial(kPa)

Se selecciona el esfuerzo efectivo menor y el efectivo mayor para cada ensayo, con el fin de graficar los círculos de mohr y obtener los parámetros correspondientes.

2.1.2.6 Calculo del Módulo de Young Para el cálculo del módulo de Young(E) se recomienda optar por obtener el modulo secante al 50% de la resistencia a compresión denominada E50 recomendado para el caso de arenas y arcillas casi normalmente consolidadas, se obtiene de la gráfica Esfuerzo Desviador vs Deformación Axial (%)⁶ ver anexo N°11.

⁶ Manual de Referencia Plaxis V8, Delft University of Technology & PLAXIS b.v, Países Bajos, 2008, pp. 46-47

2.2 ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)

El ensayo de penetración estándar consiste en enterrar un tubo partido, aplicando golpes con un martillo de 63 Kg que cae de una altura de 760 mm. Se denomina N (Numero de golpes de penetración estándar) el número de golpes requeridos para enterrar el tubo de 300 mm⁷; Debido a pérdidas de energía en los diferentes componentes mecánicos, La cantidad de energía que se transfiere del martillo a las cañas depende fundamentalmente de: la eficiencia del sistema, la longitud de las cañas y la resistencia del suelo ente otros⁸, dado a esto el método SPT se debe estandarizar a una relación de energía E_r que debe calcularse como:

$$E_r = \frac{\text{Energia real del martillo para la muestra } E_a}{\text{Energia de entrada } E_m} \% \quad (8)$$

con la atención del perforador a los detalles de ASTM D 1586 indican esto está cerca de la relación de energía real E_r obtenida en la práctica norteamericana la cual tiene un valor de 70 (N'_{70}).

Existen variadas y numerosas propuestas de diferentes autores para corregir y normalizar el número de golpes obtenidos en el ensayo. Bowles, resume esto en la siguiente ecuación:

$$N'_{70} = N \cdot CN \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \quad (9)$$

⁷ TOLIA D. S., "Validity of Peck, Hanson and Thornburn's SPT Correction Method and Soil Pressure Chart", International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, US, 1998

⁸ PINTO N.E., "Obtención de la rigidez dinámica del suelo a partir de la medición de la energía transferida en el ensayo de penetración estándar (spt)", Trabajo de grado, Escuela de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia, 2008

Donde:

N'_{70} = valor de N corregido

N = valor de N de campo

CN = factor de corrección por confinamiento efectivo P'0.

$$CN = \left(\frac{95.76}{\sigma'_{v0}} \right)^{1/2} \quad (10)$$

η_1 = factor por energía del martillo (0.45 – 1)

η_2 = factor por longitud de la varilla (0.75 – 1)

η_3 = factor por revestimiento interno de toma muestras(0.8–1)

η_4 = factor por diámetro de la perforación

(> 1 ← D>5", =1.15 ← D=8")⁹. Se debe garantizar que relación de energía X conteo de golpes debe ser una constante para cualquier suelo

$$Ne_1 = Ne_2 \cdot \frac{e_2}{e_1} \quad (11)$$

Donde:

e_1 :Energía e_1 ,a la cual se quiere conocer el valor de N

e_2 : Energía e_2 , conocida = 70

Ne_1 : Valor de N para una energía "e1"

Ne_2 : Valor conocido de N para la energía "e2" = N'_{70}

⁹ MONTENEGRO L. F, "Calibración del método de parámetros de resistencia con SPT en suelos de la región llanera colombiana", Trabajo de grado maestría, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 2014, pp. 34

2.2.1 Correlaciones de parámetros SPT

2.2.1.1 Ángulo de fricción interna [ϕ] Y Modulo de Young [Es] Para el cálculo del ángulo de fricción interna y módulo de Young de un suelo en estudio a partir de los resultados obtenidos del desarrollo de ensayo SPT, se ha relacionado estos parámetros con diferentes valores de N obtenidos en diferentes escenarios. Se tendrán en cuenta las metodologías más utilizadas presentadas por diferentes autores para calcularlo¹⁰.

Tabla 1. Correlaciones para obtener ángulo de fricción interna a partir de ensayos SPT

Correlación [ϕ]	Referencia
$\sqrt{20N'_{60}} + 20$	Hatanaka & Uchida, 1996
$23,7 + 0,57N'_{60} - 0,0006(N'_{60})$	Meyerhof, 1965
$27,1 + 0,30N'_{60} - 0,00054(N'_{60})^2$	Peck, Hanson & Thornburn, 1974

Tabla 2. Correlaciones para obtener módulo de Young a partir de ensayos SPT.

Correlación [Es]	Referencia
$500 (N'_{60} + 15)$	Bowles, 1996
$8 * N'_{60} * 100$	Schmertmann, 1970

2.2.1.2 El ángulo de dilatancia [ψ]

$$\psi = \phi - 30^\circ$$

¹⁰ MONTENEGRO L. F, "Calibración del método de parámetros de resistencia con SPT en suelos de la región llanera colombiana", Trabajo de grado maestría, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 2014, pp. 41

Sin embargo, para valores de menos de 30, el ángulo de dilatancia es mayoritariamente cero¹¹.

2.3 SOFTWARE PLAXIS2D

2.3.1 Introducción al software La interfaz de usuario está constituida por cuatro subprogramas (Input (entrada), Calculations (cálculos), Output (resultados), dicha interfaz hace del programa algo muy asequible, práctico y fácil de manejar¹².

2.3.2 Modelo de Mohr-Coulomb (MC) El modelo Elasto-plástico de Mohr Coulomb que involucra cinco parámetros¹³.

Tabla 3. Parámetros Mohr-Coulomb

Parámetros	Símbolo	Unidades
Cohesión	C	KN/m ²
Relación de Poisson	ν	-
Ángulo de fricción	ϕ	Grados
Módulo de Young	E	KN/m ²
Ángulo de dilatancia	ψ	Grados

2.4 ASENTAMIENTOS

Es una deformación vertical del suelo que ocurre debido a cargas aplicadas externamente o en consecuencia del peso propio del suelo; los asentamientos

¹¹ WATERMAN D.; BONNIER P.G; HAXAIRE A, "Plaxis 2017", Primera Edición, Delft University of Technology & Plaxis bv, The Netherlands, Netherlands, 2017

¹² Ibíd.

¹³ RAMÍREZ R.G; BARRETO Y.S, "Comparación de los métodos de esfuerzo-deformación y equilibrio límite en la modelación de estabilidad de taludes utilizando los softwares plaxis y slope/w", Trabajo de grado, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, 2009, pp. 69

pueden clasificarse en asentamientos inmediatos, por consolidación o por compresión secundaria.

Para el cálculo de asentamientos desde la parte teórica se utilizó el criterio de la primera aproximación:

$$S_e = \frac{1}{E_s} \int_0^H (\Delta\sigma_z - \mu_s \Delta\sigma_y - \mu_s \Delta\sigma_x) dz \quad (12)$$

S_e : Asentamiento elástico.

E_s : Modulo de elasticidad del suelo.

H : Espesor del estrato.

$\Delta\sigma_x, \Delta\sigma_y, \Delta\sigma_z$: Incremento de esfuerzo debido a la carga.

2.5 CAPACIDAD PORTANTE

Es la capacidad del terreno para soportar cargas aplicadas sobre él, técnicamente es la máxima presión media de contacto entre la cimentación y el terreno tal que no se produzca un fallo por cortante del suelo o un asentamiento diferencial excesivo.

Para el análisis de capacidad portante desde la parte teórica se trabajó con la condición a largo plazo, la cual requiere un análisis de esfuerzos efectivos (ESA), la ESA es aplicable a todo tipo de suelos donde el parámetro resistencia al corte es el Angulo de fricción¹⁴.

$$qu = \gamma D_f (N_q - 1) s_q d_q + 0.5 \gamma B' N_\gamma s_\gamma d_\gamma \quad (13)$$

¹⁴ BUDHU M., "Soil Mechanics and Foundations, 3rd ed. Arizon, EEUU: Library of congress cataloging-in-Publication Data, cap 12, pp.431-434

Dentro del análisis de capacidad para los cuales el cálculo de N_y cambia de un autor a otro. Los demás factores en la ecuación (13) se calculan igual para estos dos.

3. DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

Fue realizada el día 21 de mayo de 2017 con los permisos correspondientes por planta física. Estas muestras fueron obtenidas en la cimentación a una profundidad de 4 metros, se realizó con tubos de pvc de dimensiones 7cm de diámetro por 20cm de alto; fue hecha de esta manera ya que no se contó con los instrumentos adecuados para su extracción. Fueron un total de 4 muestras obtenidas para su correspondiente ensayo.

Figura 2. Extracción de muestras



3.2 PARÁMETRO DE RESISTENCIA AL CORTE OBTENIDOS MEDIANTE SPT

Para obtener estos parámetros del suelo en estudio, se tomará como base los datos consignados en el estudio de suelos realizado en la zona en 2011¹⁵.

3.2.1 Número de golpes en campo (N campo) En el desarrollo del estudio de suelos realizado por la empresa In-Media-test se implementaron 7 sondeos (Figura

¹⁵ SERRANO J. Estudio de suelos edificio de ingeniería mecánica Universidad Industrial de Santander (UIS). Bucaramanga, Colombia: In Media Test S.A.S. 2011

3). Al hacer un análisis detallado de los resultados presentados se decidió trabajar solo con los sondeos 1, 2, 3 y 5 los cuales presentan información necesaria.

Figura 3. Numero de golpes en campo

1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	0	0
13	1	2	0	5	29	24
28	7	3	3	6	60	31
24	18	3	5	4	72	
47	51	14	18	14	32	
33	58	42	5	32		
21/R	34	59	10	50		
	57	37	30	43		
	33	37	35	43		
	28/R	36	37	43		
		34	41	39		
		48	34	54		
			33			
			37			

Fuente: SERRANO J. Estudio de suelos edificio de Ingeniería Mecánica Universidad Industrial de Santander (UIS). Bucaramanga, Colombia: In Media Test S.A.S. 2011

3.2.2 Corrección y normalización de N

3.2.2.1 Factor de corrección por confinamiento efectivo [Cn]. Se toman los datos obtenidos en el estudio de suelos el cual da evidencia de la presencia de tres materiales, presentados en la tabla 4 a diferentes profundidades, indicados en formatos, del anexo N° 1, con base en los cuales se puede obtener el esfuerzo efectivo para cada punto y así el posterior valor de Cn para cada corrección.

Tabla 4. Tipos de Suelo presentes en el terreno

TIPO DE SUELO	γ (KN/m ³)
Arena limosa SC	16
Arcilla media plasticidad arenosa CL	18
Arena limosa SM	19

A continuación, se muestra un cálculo tipo referente a una parte del sondeo 1; este procedimiento se realizó fundamentado en formatos enunciados anteriormente.

Tabla 5. Sondeo 1

SONDEO 1					
	Profundidad	Profundidad promedio	N Campo	σ'_{vo}	CN
SC	0 - 0.5	0.25	0	4	2
	0.5 - 1	0.75	13	12	2

Los datos de los 4 sondeos en estudio se pueden evidenciar en el anexo N° 2.

3.2.2.2 Factores de corrección faltantes [$\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4$]. Estos factores son constantes para todas las correcciones desarrolladas en los valores de los diferentes sondeos; los valores adoptados fueron adquiridos tomando como guía los parámetros presentados por Bowles¹⁶:

Tabla 6: Factores de corrección faltantes

Factor	Valor	Propiedad
η_1	0,64	$E_r / 70$; $E_r = 45$ (Colombia)
η_2	0,75	Longitud de martillo
η_3	0,8	Arena y arcilla
η_4	1	diámetro agujero

3.2.2.3 Valor N de energía de N'70 y N'60 Se obtiene el valor N corregido a una energía de N'70 mediante la implementación de la ecuación 9 y posterior conversión a N'60 mediante ecuación 11. El siguiente cuadro contiene el cálculo tipo para sondeo 1, los valores de los 4 sondeos en estudio se encuentran en el anexo N° 3.

Tabla 7. Calculo Tipo Sondeo 1

SONDEO 1				
Profundidad	N Campo	CN	N'70	N'60
0 - 0.5	0	2	0	0
0.5 - 1	13	2	10	12

¹⁶ BOWLES, Joseph E. Bowles. Foundation analysis and design. International Edition, 1997, Fifth Edition., p 154-163

3.2.3 Cálculo de propiedades de resistencia al corte para los diferentes suelos.

3.2.3.1 Angulo de fricción interna [ϕ] y módulo de Young [E], mediante correlaciones. Inicialmente para el módulo de Young se implementan las dos diferentes propuestas presentadas en la Tabla 2, de esta manera se obtendrán dos valores de E para cada profundidad como se evidencia a continuación en el cálculo tipo referente a una parte del sondeo1.

Tabla 8. Calculo Propiedades de Resistencia

SONDEO 1			
Profundidad	N'60	E (Kpa)	
		Schmertmann	Bowles
0 - 0.5	0	0	7500
0.5 -1	12	9600	14045.5

También se clasifica y agrupa los valores de los diferentes sondeos por tipo de suelo, se estudiaron tres diferentes combinaciones para tomar posibles perfiles estratigráficos las cuales fueron:

Combinación 1: Sondeo1 – sondeo2 – sondeo3

Combinación 2: Sondeo1 – sondeo3 – sondeo5

Combinación 3: Sondeo2 – sondeo3 – sondeo5

Una vez agrupados se obtiene el promedio de estos para conseguir así el valor de esta propiedad E_s (kPa) para cada material en cada combinación de sondeos:

Tabla 9. Valores de Es.

	Schmermant	Bowles
<u>Combinación 1</u>		
SC	4114,3	10305,2
CL	20400,0	21409,1
SM	14800,0	17590,9
<u>Combinación 2</u>		
SC	1070,2	3073,6
CL	14914,3	17668,8
SM	17600,0	19500,0
<u>Combinación 3</u>		
SC	2742,9	8298,7
CL	16050,0	18443,2
SM	17100,0	19159,1

Una vez analizadas las 3 combinaciones se saca el promedio de cada material incluyendo todos los valores referentes a las diferentes propuestas, como se puede apreciar en el anexo N° 4, los resultados de este proceso se presentan a continuación

Tabla 10. Promedio de Es

TIPO DE SUELO	Es (MPa) promedio
Arena limosa SC	4,9
Arcilla media plasticidad arenosa CL	18,1
Arena limosa SM	17,6

Posteriormente para el cálculo del ángulo de fricción interna [ϕ], se toma como referencia las propuestas presentadas en la Tabla 1 , se hace el análisis para cada combinación de sondeos sacando así un único valor de N'_{60} por tipo de suelo, el cual es el promedio y se calcula el promedio de los 3 valores obtenidos por las diferentes propuestas.

Una vez obtenidos todos los valores se agrupan éstos para sacar el promedio definitivo (ver anexo N°5):

Tabla 11. Promedio de ángulo de fricción

	SC			CL			SM		
N'60	29	29	28	38	35	36	35	37	36
	29°			37°			36°		

3.2.3.2 Propiedades faltantes para modelo Mohr-Coulomb. Para calcular el ángulo de dilatancia se maneja la ecuación:

$$\psi = \phi - 30^\circ \quad (14)$$

Tabla 12. Calculo ángulo de dilatancia

SC	CL	SM
0°	7°	6°

Los valores típicos de la cohesión que figuran a continuación corresponden a la condición normalmente consolidada; a menos que se indique lo contrario. Estos valores deben usarse solo como guía para problemas geotécnicos¹⁷, cohesión en kPa.

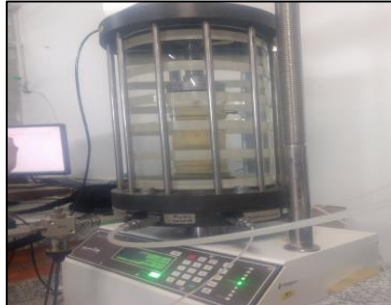
Tabla 13. Valores de Cohesión

SC	CL	SM
5	4	22

¹⁷ GEOTECHDATA.info, Angle of Friction. (September 14.12.2013). Soil Cohesión. Recuperado de <http://geotechdata.info/parameter/angle-of-friction.html>

3.3 ENSAYOS TRIAXIALES

Figura 4. Ensayo Triaxial CU



Se efectuaron en total 3 ensayos triaxiales CU (Figura 4) a muestras remoldeadas siguiendo bases de la norma I.N.V. E 146-07. Los ensayos fueron desarrollados de acuerdo a la norma I.N.V. E 153-07 donde se generaron 4 etapas: Montaje de la muestra, Saturación, Consolidación y falla de la muestra. A continuación, se ilustra una tabla resumen para un ensayo realizado:

Tabla 14. Resumen Ensayo Triaxial CU

Ensayo 1	
Condiciones Iniciales	
Altura(mm)	Diámetro(mm)
140	70
Peso(gr)	Área(mm ²)
1100	3848,36
Etapa de saturación	
Presión de cámara	750
Contrapresión	701
Presión de poros	723,36
B(Skempton)	0,95
Condición después de Consolidación	
Presión de cámara	750
Contrapresión	700
Condiciones después de Falla	
Presión cámara inicial	750

Presión de poros inicial	698
Velocidad de falla(mm/min)	0,1
Esfuerzo desviador máximo	228,6
Deformación axial(%)	10

Para poder observar los datos obtenidos mediante desarrollo de pruebas, ver anexos N° 9, 10, 11,12.

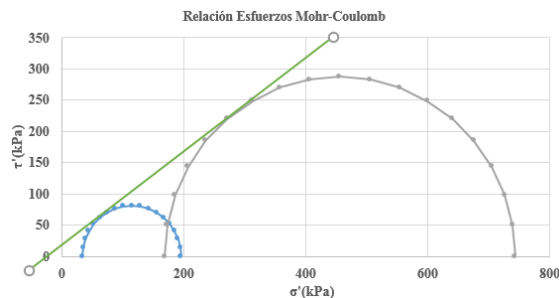
3.3.1 Resultados de ensayos Ahora, se dan los resultados obtenidos para los 3 ensayos realizados

Tabla 15. Resultados de Ensayos

Ensayo	σ_c	σ_3'	σ_1'	E_{50} (kPa)
1	50	33.79	195.66	8823.62
2	100	88.418	537.75	9948.10
3	185	168.30	742.85	14434.5

Se trazó dos círculos de mohr correspondientes a los ensayos 1 y 3 (Figura 5), los resultados de esfuerzos efectivos del ensayo 2 se descartan para el análisis de relación de esfuerzos ya que no muestra un comportamiento aceptable respecto a los otros ensayos. A continuación se desarrolló la envolvente de falla:

Figura 5. Relación Esfuerzos Mohr-Coulomb.



Fuente: Mohr-Coulomb.

Los parámetros obtenidos fueron:

Tabla 16. Parámetros obtenidos de círculos de morh

Envoltante	C'(kPa)	ϕ' (°)
1	12.51	38

Después de obtener los módulos de elasticidad de las gráficas Esfuerzo vs Deformación (Figura 6) para cada ensayo, se procede a calcular el modulo que alimentara nuestro modelo el cual se determina asignando espesores de capas de acuerdo al confinamiento de cada ensayo¹⁸. los espesores asignados fueron los siguientes:

Tabla 17. Espesores Propuestos

Confinamiento (kPa)	Espesor (m)	E ₅₀ (kPa)
50	3	7941.4
100	6	9948.1
185	8	14434.5

Una vez asignado los espesores el modulo se calcula de la siguiente manera:

$$E_s = \frac{\sum h_i \cdot E_{si}}{H_{total}} \quad (15)$$

h_i: Espesor de cada capa. (m)

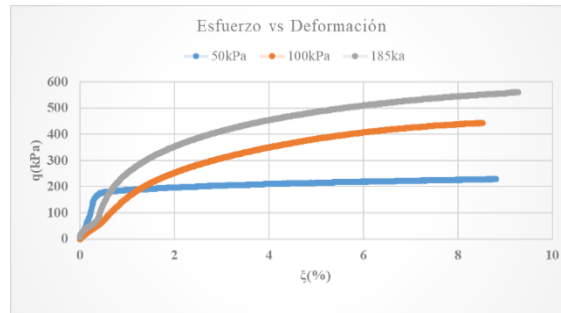
E_{si}: Modulo de Elasticidad para cada capa. (kPa)

H_{Total}: Espesor total del estrato. (m)

El valor de módulo de Young para nuestros modelos es de 11705.23 kPa.

¹⁸ BOWLES, Joseph E. Bowles. Foundation analysis and design. International Edition, 1997, Fifth Edition., p 308

Figura 6. Grafica Esfuerzo Desviador vs Deformación (%).



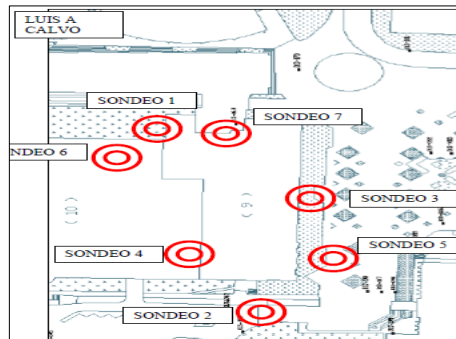
3.4 DETERMINACIÓN DE PERFILES ESTRATIGRÁFICOS PARA INSERTAR A SOFTWARE PLAXIS2D

En el desarrollo del presente proyecto se planteó 2 perfiles estratigráficos con el fin de hacer análisis al comportamiento del terreno para 2 posibles casos de carga los cuales representan las 2 líneas de zapatas centrales (anexo N°6) extraídas por medio de planos estructurales de la nueva edificación de laboratorios de ingeniería mecánica UIS.

Perfil 1: Sondeo 3 – sondeo 5 – sondeo 2

Perfil 2: Sondeo 1 – sondeo 3 – sondeo 2

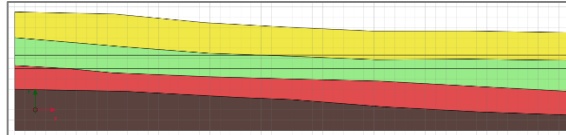
Figura 7. Imagen de la ubicación de los sondeos



Fuente: SERRANO J. Estudio de suelos edificio de ingeniería mecánica Universidad Industrial de Santander (UIS). Bucaramanga, Colombia: In Media Test S.A.S. 2011

Analizando los diferentes formatos presentados en el anexo N° 1 referente al estudio de suelos se puede plantear un prospecto de perfil estratigráfico por cada sondeo y así uniendo los sondeos pertinentes con ubicación y distancia aproximada crear los dos perfiles a manejar en el software.

Figura 8. Perfil 2



3.5 MODELACIÓN Y ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO MEDIANTE PLAXIS2D.

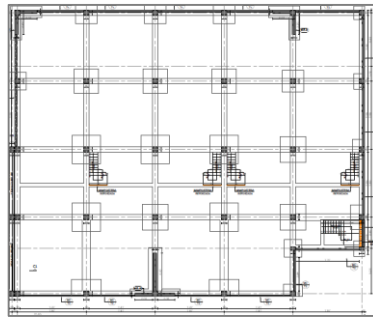
El análisis se realizó en dos dimensiones por restricciones del software, pero se recomienda hacer este mismo estudio en tres dimensiones debido a que se está trabajando con zapatas rígidas y estas tienen un comportamiento tridimensional. Esta sugerencia se hace con el fin de visualizar de mejor manera el comportamiento exhibido por las dos líneas de zapatas.

Se manejaron diferentes fases para crear el modelo:

3.5.1 Entrada gráfica de modelos de geometría En esta etapa se crea inicialmente la geometría referente a los perfiles estratigráficos creados (perfil 1 y perfil 2), con distancias aproximadas entre sondeos y exactas en cuanto a profundidades; Fuerzas distribuidas que representan las cargas generadas por la estructura mediante las zapatas, estas fueron obtenidas por medio de una teoría expuesta en la asignatura de Armado II, esta se refiere a obtener cargas por medio de áreas aferentes donde se tienen en cuenta las cargas vivas y muertas presentes en la estructura. Para este análisis se trabajó con los planos arquitectónicos y estructurales, a las cargas encontradas se le realizó una correspondiente

mayoración con el fin de tener el caso más crítico de carga para cada zapata (Anexo N° 13). La ubicación de las cargas dentro del modelo se basa en medidas obtenidas en planos de cimentación.

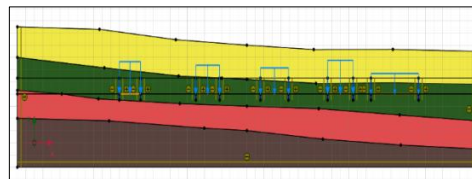
Figura 9. Distribucion zapatas de edificación



Fuente: Plano de cimentacion edificio de laboratorios Ing. Mecanica Uis

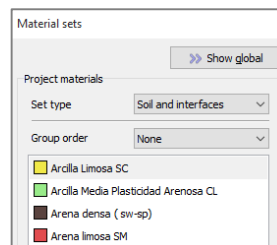
También se adiciona geometría necesaria para delimitar o marcar las etapas como profundidad de excavación.

Figura 10. Geometría del terreno basada en datos perfil 2.



3.5.2 Modelo de Mohr-coulomb

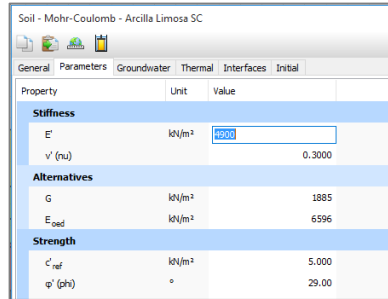
Figura 11. Creación de tipos de suelo



Fuente: Plaxis2D.

En esta etapa se crea los tipos de suelos presentes en el modelo con propiedades referentes.

Figura 12. Asignación de propiedades de cada suelo



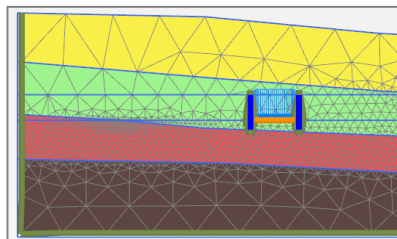
The screenshot shows the 'Soil - Mohr-Coulomb - Arcilla Limosa SC' dialog box in Plaxis2D. It has tabs for 'General', 'Parameters', 'Groundwater', 'Thermal', 'Interfaces', and 'Initial'. The 'Parameters' tab is active, displaying a table of soil properties. The 'Stiffness' section includes E' (set to 1200 kN/m²) and ν (set to 0.3000). The 'Alternatives' section lists G (1885 kN/m²) and E_{oed} (6596 kN/m²). The 'Strength' section lists c_{ref} (5.000 kN/m²) and ϕ' (29.00 degrees).

Property	Unit	Value
Stiffness		
E'	kN/m ²	1200
ν (nu)		0.3000
Alternatives		
G	kN/m ²	1885
E_{oed}	kN/m ²	6596
Strength		
c_{ref}	kN/m ²	5.000
ϕ' (phi)	°	29.00

Fuente: Plaxis2D.

3.5.3 Modelos de suelo definidos por el usuario y Geomallas Para la actual etapa se definen los contornos del modelo para evitar que en estos se deforme y adicionalmente se genera la geomalla la cual genera los puntos de análisis distribuidos a lo largo de todo el modelo.

Figura 13. Tramo de modelo con limites de contorno y geomalla de refinación baja

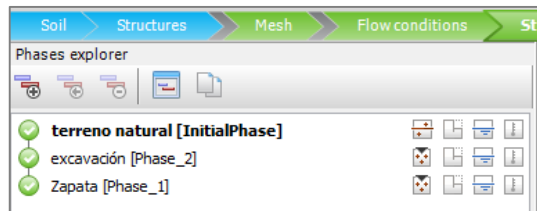


Fuente Plaxis2D

3.5.4 Presión de poros estable Después de que se genera la malla se establecen las condiciones iniciales del modelo; que incluye la ubicación del nivel freático.

3.5.5 Creación de diferentes etapas Para el análisis de los diferentes modelos se tomaron en cuenta tres diferentes etapas, con el fin de simular el proceso constructivo de la edificación, las cuales son:

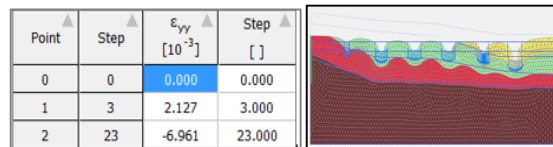
Figura 14. Creación de etapas proceso constructivo plaxis.



Fuente: Plaxis2D

3.5.6 Presentación de resultados Se puede visualizar los resultados adquiridos en diversas formas según las necesidades del usuario, entre las cuales se encuentran figuras, gráficas y tablas; la figura 15 muestra una forma de observar los resultados.

Figura 15. Presentación de resultados mediante tabla y grafica para asentamientos verticales durante las 3 etapas



Fuente: Plaxis2D

En el desarrollo del presente proyecto se analizó el asentamiento en tres puntos por cada zapata los cuales son los dos extremos y el centro; la profundidad para cada punto fue de 5 cm bajo la cimentación.

Para cada uno de los dos modelos planteados se harán dos análisis diferentes, el primer análisis es el referente a modelos con propiedades de suelos obtenidos mediante la implementación de datos de SPT (ítem 3.2) y el segundo análisis es el referente a modelos con propiedades de suelos obtenidos mediante ensayo triaxial

CU (ítem 3.3); los resultados referentes se encuentran de forma ordenada y completa en el anexo N°6 y el anexo N°7 respectivamente.

4. RESULTADOS

4.1 ASENTAMIENTOS

A continuación, se muestran los resultados alcanzados de asentamientos(mm) para los dos modelos correspondientes mediante Plaxis2D, para los tipos de líneas de zapatas presentadas en anexo N°6. Además, se presentan los asentamientos basados en fundamentos teóricos expuestos en la ecuación 12.

Tabla 18. Asentamientos Teóricos 1-2-3

Punto	D(m)	SPT	Triaxial
Zapata1	5	3,72	3,72
	5,7	6,91	6,91
	6,4	3,72	3,72
Zapata2	12,5	3,41	5,27
	14	6,71	10,38
	15,5	3,39	5,24
Zapata 3	20,3	2,67	4,14
	21,95	5,31	8,21
	23,6	2,70	4,17
Zapata 4	28,3	2,67	4,14
	29,95	5,31	8,21
	31,6	2,71	4,19
Zapata 5	36,3	3,73	5,76
	37,95	7,40	11,44
	39,6	3,73	5,76
Zapata 6	44,2	10,27	10,27
	45,9	20,41	20,41
	47,6	10,27	10,27

Figura 16. Perfil de Asentamientos linea de zapatas tipo 1.

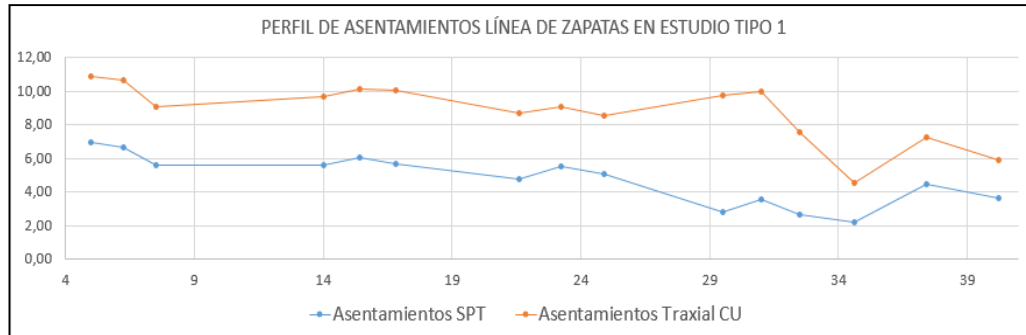
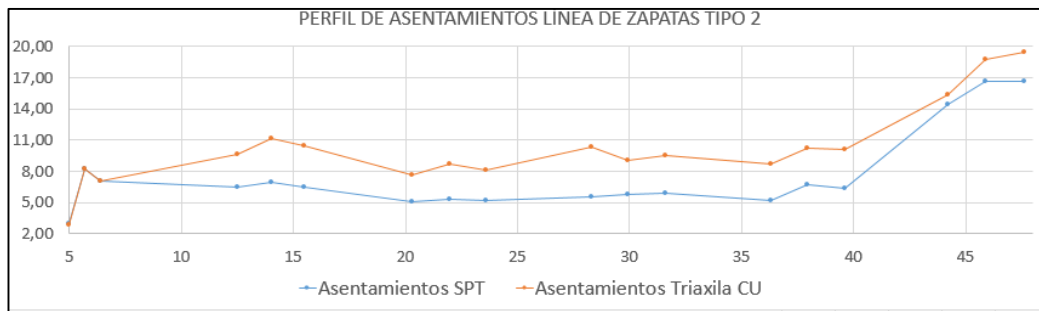


Figura 17. Perfil de asentamientos linea de zapatas tipo 2



4.2 CAPACIDAD PORTANTE

El análisis de capacidad portante en Plaxis2D se relacionó con los factores de seguridad que se obtienen en el software para las dos líneas de zapatas propuestas. En la Tabla 19 se muestra los valores encontrados para los dos modelos planteados, además de esto en el anexo N° 14 se presenta las gráficas correspondientes a la variación de este parámetro derivada de Plaxis2D.

Tabla 19. Factores de Seguridad

	SPT	Triaxial
Zapatas Tipo 1	2,08	2,46
Zapatas Tipo 2	1,82	1,83

Para el análisis teórico se presentan los datos de capacidad portante(kN/m^2) en las dos líneas de zapatas. Este se realizó para dos autores Meyerhoff y Vesic basados en la ecuación 13, conjuntamente se encontraron los factores de seguridad. Los resultados se encuentran en el anexo N° 15.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En las figuras 16,17 y anexo N°8 se puede evidenciar el gran cambio que genera el hacer un análisis con los dos tipos de datos plantados, se muestra una tendencia a presentar mayores asentamientos en los modelos de propiedades obtenidas con triaxial CU.

Figura 18. Valores máximos de asentamientos diferenciales calculados, expresados en función d distancia entre apoyos o columnas (l).

Tipo de construcción	Δ_{max}
(a) Edificaciones con muros y acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores	$\frac{l}{1000}$
(b) Edificaciones con muros de carga en concreto o en mampostería	$\frac{l}{500}$
(c) Edificaciones con pórticos en concreto, sin acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores	$\frac{l}{300}$

Fuente NSR-10 Titulo H.

Al hacer el análisis de los asentamientos presentados en las figuras 16 y 17 referentes a los diferentes modelos, y haciendo comparación con los máximos permitidos para una edificación con pórticos en concreto, sin acabados susceptibles a dañarse con asentamientos menores, presentados en la tabla 20, se determina que son menores y cumplen la norma.

Tabla 20. Asentamiento máximos permitidos para zapatas en estudio.

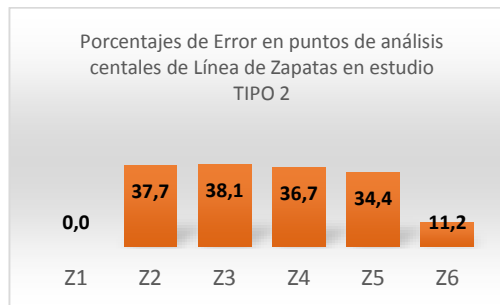
ZAPATAS TIPO 1			
Punto	SPT	Triaxial	Máximo (l/300)
Zapata1	3,00	2,89	16.6
	8,24	8,25	
	7,04	7,04	
	6,46	9,69	

ZAPATAS TIPO 1			
Punto	SPT	Triaxial	Máximo (I/300)
Zapata2	6,93	11,12	16.6
	6,52	10,51	
Zapata3	5,13	7,65	15.9
	5,36	8,67	
	5,19	8,09	
Zapata4	5,55	10,33	16
	5,74	9,07	
	5,91	9,53	
Zapata5	5,17	8,65	16
	6,71	10,22	
	6,34	10,16	
Zapata6	14,42	15,32	19.9
	16,60	18,70	
	16,70	19,50	
ZAPATAS TIPO 2			
Zapata1	6,96	10,93	18.3
	6,65	10,65	
	5,63	9,06	
Zapata2	5,62	9,67	18.3
	6,05	10,16	
	5,66	10,04	
Zapata3	4,78	8,71	15.7
	5,54	9,09	
	5,11	8,55	
Zapata4	2,84	9,80	15.5
	3,56	9,98	
	2,67	7,55	
Zapata5	2,25	4,55	12.8
	4,48	7,31	
	3,63	5,89	

Haciendo un análisis para la línea de zapatas tipo 2, de % de error en asentamientos en el centro de cada zapata, tomando como valor teórico el obtenido por medio de triaxial CU, se observa que las zapatas 2-3-4 y 5 presentan altos % de error debido

a que están apoyadas directamente en el estrato de suelo Arcilla media plasticidad arenosa CL (Figura 19), al cual se le realizó estudio triaxial CU mediante muestras extraídas, para conseguir nuevas propiedades.

Figura 19. Porcentajes de error.



En el análisis para los factores de seguridad se utilizó el criterio establecido por la norma NSR-10 Título H (Tabla H.2.4-1), el cual nos indica que para la condición de carga viva más carga muerta los factores de seguridad mínimos directo para la construcción y diseño son 1.5-1.25 respectivamente, por lo cual se cumplen los requisitos establecido por norma debido a que los calculados por Plaxis2D lo cumplen tanto para el modelo de SPT como para el de Triaxial.

Figura 20. Valores mínimos de Factor de Seguridad Indirectos

Condición	F _{SICP} Mínimo
	Diseño
Carga Muerta + Carga Viva Normal	3.0
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	2.5
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo estático	1.5

Fuente NSR-10 Título. H

Para el análisis de resultados de capacidad portante desde la parte teórica se manejó otro criterio expuesto por la norma NSR-10 Título H (Figura 20) el cual nos indica que el factor de seguridad indirecto mínimo para la condición de carga muerta más carga viva normal que fue la utilizada es 3, por lo cual también se cumple lo

establecido por norma. Los resultados se presentan en la Tabla 21 para los factores de seguridad máximos y mínimos encontrados en las dos líneas de zapatas.

Tabla 21. Factores de Seguridad Máximo y Mínimo Análisis Teórico.

			Vesic	Meyerhoff
PERFIL 2	SPT	Max	14,04	17,76
		Min	7,64	9,07
	TRIAXIAL	Max	16,37	20,92
		Min	8,85	10,60
PERFIL 1	SPT	Max	14,24	17,76
		Min	10,43	8,87
	TRIAXIAL	Max	16,64	20,91
		Min	12,14	10,08

Respecto a la variación de la capacidad portante entre un ensayo y otro, es notorio que ésta aumenta para el modelo planteado para triaxial debido a que el ángulo de fricción es mayor que el encontrado en el SPT.

6. CONCLUSIONES

1. El resultado obtenido de los ensayos triaxiales CU, corresponden a la cohesión con valor de 12.51 kPa y ángulo de fricción 38° que se obtienen de la envolvente de falla de los círculos de Mohr graficados con los esfuerzos efectivos, es decir teniendo en cuenta la presión de poros de cada uno de las muestras ensayadas como se observa en la figura 5.
2. Comparando los resultados de los parámetros geotécnicos encontrados para SPT y Triaxial Estático CU, se encuentra un porcentaje de error del 2.63% para al ángulo de fricción y 54.57% para el módulo de Elasticidad, asumiendo que el valor obtenido a través del ensayo triaxial es el más representativo. Esto demuestra que la variabilidad mayor se da en el comportamiento de esfuerzo-deformación, y no tanto en la resistencia.
3. El asentamiento máximo calculado para los modelos de Triaxial fue de 18.7mm y de 16.6 mm para los del SPT. Estos asentamientos se presentaron en la zapata 6 correspondiente a la línea de zapatas tipo 2 con una diferencia de 11,2% entre los modelos establecidos. Por ello se da mayor preponderancia a los resultados obtenidos por medio de los modelos del ensayo Triaxial teniendo en cuenta que el comportamiento esfuerzo-deformación es más representativo.
4. La capacidad de carga ultima obtenida desde la parte teórica va desde 2684.68kN/m² hasta 4549.89kN/m² para el ensayo triaxial de 2317.69kN/m² hasta 3863.50kN/m² correspondientes al SPT, este análisis nos permitió mostrar que el suelo presente debajo de las cimentaciones presenta una buena capacidad de carga y por lo tanto no presentara fallos por cortante. Lo cual se

ve sustentado en que el parámetro de resistencia(ϕ) tanto para SPT como para Triaxial es alto.

5. Dentro del análisis en Plaxis2D, los factores de seguridad presentan una mayor tendencia a cambiar para la línea de zapatas tipo 1, debido que el valor encontrado para el modelo de SPT fue de 2,08 y en el de triaxial fue de 2.46, esto evidencia la importancia de obtener de manera adecuada los parámetros de los ensayos que alimentaran nuestros modelos. Además, es aclaratorio notar que el valor de los factores va ligado a que las zapatas dentro de este perfil todas se encuentran apoyados sobre el estrato de suelo al que se le cambiaron las propiedades.
6. Los asentamientos calculados desde la parte teórica con respecto a los obtenidos por Plaxis2D no generó mucho margen de error. Por ejemplo, para el asentamiento máximo calculado desde la teoría el valor fue 20.41mm y el obtenido en Plaxis2D fue de 18.7mm por lo que se corrobora que lo hecho en el software esta bien.

7. RECOMENDACIONES

El análisis del comportamiento suelo-cimentación-estructura debe hacerse sobre fuentes confiables, que no es otra que la de obtener los parámetros del suelo mediante ensayos adecuados y confiables. Por ello se hace necesario llevar a cabo ensayos más completos como el triaxial CU que se encuentran en nuestro medio y volverlo una práctica tradicional dentro de la Geotecnia Colombiana. Por eso se busca sentar bases con el presente proyecto para que se lleven a cabo estos ensayos, ya que solo se le realizó a las muestras extraídas bajo la cimentación y sería necesario efectuar estos ensayos para muestras extraídas a diferentes profundidades, con el fin de obtener un comportamiento más cercano del suelo en términos de Asentamientos y Capacidad Portante.

BIBLIOGRAFÍA

ASTM D4767-11 “Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils”, ASTM International, : <http://www.astm.org>

BOWLES, Joseph E. Bowles. Foundation analysis and design. International Edition,1997, Fifth Edition.,p 154-163

BOWLES, Joseph E. Bowles. Foundation analysis and design. International Edition,1997, Fifth Edition.,p 308

BUDHU M., “Soil Mechanics and Foundations, 3rd ed. Arizon, EEUU: Library of congress cataloging-in-Publication Data, cap 12, pp.431-434

DAS, Brajas M. Principios de Ingeniería de cimentaciones. Thonson Learning. Cuarta Edición California State University, Sacramento, 2001

DUARTE E.R; PÁEZ B.F., “Guía Práctica para el Ensayo Triaxial Estático Consolidado no Drenado (CU) con GDS Triaxial Automated System y Gdslab v2.5.4.”, Trabajo de grado, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia,2016

GEOTECHDATA.info, Angle of Friction. (September 14.12.2013). Soil Cohesión. Recuperado de <http://geotechdata.info/parameter/angle-of-friction.html>

I.N.V. E – 153 – 07, “Parámetros de resistencia del suelo mediante compresión triaxial”, Norma de ensayo para carreteras, Instituto Nacional de Vías, Col, Agosto.

Manual de Referencia Plaxis V8, Delft University of Technology & PLAXIS b.v, Países Bajos, 2008, pp. 46-47

MONTENEGRO L. F, “Calibración del método de parámetros de resistencia con SPT en suelos de la región llanera colombiana”, Trabajo de grado maestría, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 2014, pp. 34

PINTO N.E, “Obtención de la rigidez dinámica del suelo a partir de la medición de la energía transferida en el ensayo de penetración estándar (spt)”, Trabajo de grado, Escuela de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia, 2008

RAMÍREZ R.G; BARRETO Y.S, “Comparación de los métodos de esfuerzo-deformación y equilibrio límite en la modelación de estabilidad de taludes utilizando los softwares plaxis y slope/w”, Trabajo de grado, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, 2009, pp. 69

SERRANO J. Estudio de suelos edificio de ingeniería mecánica Universidad Industrial de Santander (UIS). Bucaramanga, Colombia: In Media Test S.A.S. 2011

SUAREZ DÍAZ, Jaime. Deslizamientos, Tomo 1: Análisis Geotécnico [Capítulo 3: Resistencia al cortante en suelos y rocas]., 2015

TOLIA D. S., “Validity of Peck, Hanson and Thornburn's SPT Correction Method and Soil Pressure Chart”, International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, US, 1998

WATERMAN D.; BONNIER P.G; HAXAIRE A, “Plaxis 2017”, Primera Edición, Delft University of Technology & Plaxis bv, The Netherlands, Netherlands, 2017

ANEXOS

Anexo A. Formato de clasificación de suelos



 IN-MEDIA-TEST <small>LABORATORIO DE INGENIERIA DE ESTRUCTURAS</small>	FORMATO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS	CODIGO: RS-25	VERSIÓN: 0
		F.A.: 09/10/15	PAGINA 1 DE 6
ESC INGENIERIA MECANICA	CLASIFICACIÓN DE SUELOS (PASA 200 - ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS - LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO)	FECHA INICIAL: 6 de julio de 2011 FECHA FINAL: 12 de julio de 2011	
CUENTE: UIS	NORMAS I.N.V. E - 214/123/125/126		

MATERIAL No.: 1	1	2	3
SONDEO NÚMERO: 1	1	2	3
PROFUNDIDAD: 0.00 - 1.20	0.00 - 1.70	0.00 - 2.50	
DESCRIPCIÓN: ARENA LIMOSA COLOR CAFÉ OSCURO			

GRADACIÓN			
TAMIZ	PESO	%	%
No.	RETENIDO	RETENIDO	PASAJE
3"	0.0	0.0	100.00
2"	0.0	0.0	100.00
1 1/2"	0.0	0.0	100.00
1"	0.0	0.0	100.00
3/4"	0.0	0.0	100.00
1/2"	0.0	0.0	100.00
3/8"	13.0	0.8	99.16
No 4	25.0	1.6	97.55
10	29.0	1.9	95.69
20	64.0	4.1	91.56
40	123.0	7.9	83.44
60	165.0	10.6	73.02
100	201.0	12.9	60.08
200	203.0	13.1	47.01
PASA 200	1.0	46.9	0.06
TOTAL	824.0		
ERROR	0.12		

LÍMITE LÍQUIDO: 29	LÍMITE PLÁSTICO: 21
ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 8	HUMEDAD NATURAL: 9.3
	ÍNDICE DE LIQUIDEZ: -1.6

CLASIFICACIÓN

ÍNDICE DE GRUPO: **0**

D₁₀ = 0.02 C_u = 9.44 % Gravas = 2.4

D₃₀ = 0.05 C_c = 0.95 % Arenas = 50.5

D₆₀ = 0.15 % Arcillas = 47.0

LÍMITE DE ATTERBERG			
No. GOLPES	25	22	18
P _u (gr)	43.00	42.20	41.30
P _s (gr)	39.50	38.70	38.00
P _l (gr)	27.00	26.80	27.00
% HUMEDAD	28.00%	29.41%	30.00%

LÍMITE PLÁSTICO				w _N (gr)
P _u (gr)	38.50	40.00	39.10	57.44
P _s (gr)	36.30	37.80	37.20	54.83
P _l (gr)	26.80	27.00	26.80	26.77
% HUMEDAD	23.14%	20.37%	18.27%	9.30%

OBSERVACIONES:

AASHO: **A-4 Suelo limoso**


S.I.C.S.: **Arena limosa SC**

El límite líquido se refiere al contenido de humedad requerida para que el material pase de estado plástico a estado líquido.
El límite plástico se refiere al contenido de humedad requerida para que el material pase del estado plástico al estado semisólido.
D₁₀ se refiere al diámetro efectivo del material, que corresponde al valor del diámetro tomado de la curva de granulometría obtenido para el 10% de la muestra.
D₃₀ y D₆₀ son los valores de la curva que corresponden al 30% y 60% del material respectivamente.

Yefferson Cordero G.
LABORATORISTA

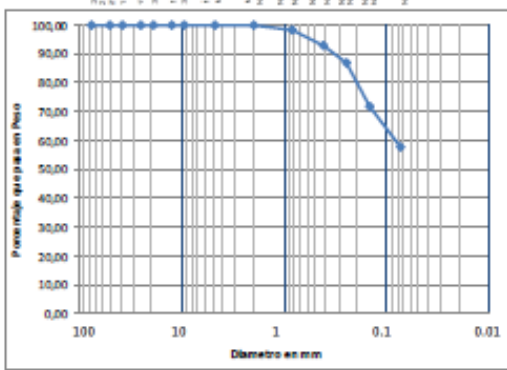
INGENIERO ENCARGADO

K37#41-21 Teléfono-Fax 6349648 E-MAIL: Gerencia@imtcolombia.com Cel.: 315 8933812
Página Web: www.imtcolombia.com
Bucaramanga-Colombia

	FORMATO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS	CODIGO: RS-25	VERSIÓN: 0
		F.A.: 08/10/15	PAGINA 2 DE 6

ESC INGENIERIA MECANICA	CLASIFICACIÓN DE SUELOS (PASA 200 - ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS - LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO)	FECHA INICIAL: 6 de julio de 2011	FECHA FINAL: 12 de julio de 2011
CUENDE: UIS	NORMAS I.N.V. E-214/125/126		

MATERIAL No.: 2
SONDEO NUMERO: 1 2 3
PROFUNDIDAD: 1.20-3.20 1.50-4.70 2.70-6.00
DESCRIPCIÓN: LIMO ARCILLOSO ROJO CON REJAS OSCURAS



GRADACIÓN

TAMIZ	PERO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
3"	0.0	0.0	100.00
2"	0.0	0.0	100.00
1 1/2"	0.0	0.0	100.00
1"	0.0	0.0	100.00
3/4"	0.0	0.0	100.00
1/2"	0.0	0.0	100.00
3/8"	0.0	0.0	100.00
No 4	0.0	0.0	100.00
10	3.0	0.3	99.77
20	20.0	1.6	98.21
40	68.0	5.3	92.92
60	78.0	6.1	86.88
100	195.0	15.2	71.67
200	178.0	13.9	57.82
PASA 200	1.0	57.7	0.08
TOTAL	543.0		
SEÑOR	0.18		

LIMITES DE ATTERBERG

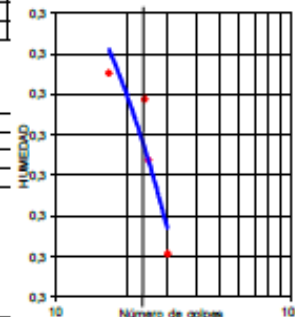
LÍMITE LÍQUIDO		No. GOLPES		
		30	25	17
P _L (gr)		38.45	39.21	38.34
P _U (gr)		35.65	36.07	35.42
P _S (gr)		26.77	26.68	26.77
% HUMEDAD		31.53%	33.44%	33.76%

LÍMITE PLÁSTICO		w. Ntal		
		37.00	34.07	37.60
P _L (gr)		37.00	34.07	37.60
P _S (gr)		34.72	32.76	35.94
P _S (gr)		26.66	26.77	26.77
% HUMEDAD		28.29%	27.87%	18.10%
				14.33%

D₁₀= 0.01 C_u= 6.70 % Gravas: 0.0
D₃₀= 0.04 C_c= 1.34 % Arenas: 42.2
D₆₀= 0.09 % Arcillas: 57.8

LÍMITE LÍQUIDO: 33
LÍMITE PLÁSTICO: 23
INDICE DE PLASTICIDAD: 10
HUMEDAD NATURAL: 14.3
INDICE DE LIQUIDEZ: -0.8

LIMITES DE ATTERBERG




CLASIFICACIÓN
INDICE DE GRUPO: 4


AASHO: A-4 Suelo limoso
S.U.C.S.: Arcilla media plasticidad arenosa CL

OBSERVACIONES:

Jefferson Casas S-
LABORATORIA


INGENIERO ENCARGADO

El límite líquido se refiere al contenido de humedad requerida para que el material pase de estado plástico a estado líquido.
El límite plástico se refiere al contenido de humedad requerida para que el material pase del estado plástico al estado semisólido.
D₁₀ se refiere al diámetro efectivo del material, que corresponde al valor del diámetro tomado de la curva de granulometría obtenida para el 10% de la muestra.
D₃₀ y D₆₀ son los valores de la curva que corresponden al 30% y 60% del material respectivamente.

 IN-MEDIA-TEST <small>LABORATORIO DE INGENIERIA DE ESTRUCTURAS</small>	FORMATO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS	CODIGO: RS-25	VERSIÓN: 0
		F.A.: 08/10/15	PAGINA 3 DE 6

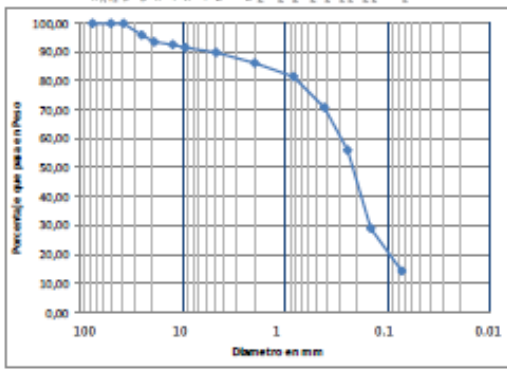
ESC INGENIERIA MECANICA	CLASIFICACIÓN DE SUELOS (PASA 200 - ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS - LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO)	FECHA INICIAL: 6 de julio de 2011	FECHA FINAL: 12 de julio de 2011
CLIENTE: UIS	NORMAS LN.V. E - 214/123/125/126		

MATERIAL No.: **3**

SONDEO NUMERO: 1 2 3

PROFUNDIDAD: 3.20 - 3.50 4.70 - 5.00 6.00 - 6.50

DESCRIPCION: ARCILLA ROJISA CON BETAS OSCURAS



GRADACIÓN			
PESO INICIAL MUESTRA (gr)		1815,0	
PESO DESPUES DE LAVADO (gr)		1562,0	
TAMAO	PERO	%	%
mm	RETENIDO	RETENIDO	PERM.
3"	0,0	0,0	100,00
2"	0,0	0,0	100,00
1 1/2"	0,0	0,0	100,00
1"	76,0	4,2	95,81
3/4"	42,0	2,3	93,50
1/2"	17,0	0,9	92,54
3/8"	17,0	0,9	91,63
No. 4	34,0	1,9	89,75
10	65,0	3,6	86,17
20	85,0	4,7	81,49
40	198,0	10,9	70,58
60	262,0	14,4	56,14
100	495,0	27,3	28,87
200	269,0	14,8	14,05
PASA 200	1,0	14,0	0,06
TOTAL	1561,0		
ERROR	0,06		

LÍMITE LÍQUIDO:	_____
LÍMITE PLÁSTICO:	_____
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:	_____
HUMEDAD NATURAL:	_____
ÍNDICE DE LIQUIDEZ:	_____

CLASIFICACIÓN

ÍNDICE DE GRUPO: _____

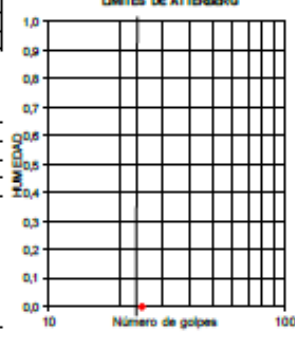
D₁₀ = 0,05 C_u = 5,61 % Gravas = 10,2

D₃₀ = 0,15 C_c = 1,51 % Arenas = 75,7

D₆₀ = 0,30 % Arcillas = 14,0

LÍMITES DE ATTERBERG			
LÍMITE LÍQUIDO			
No. GOLPES			
P ₂₅ (gr)			
P ₁₀ (gr)			
P ₅ (gr)			
% HUMEDAD			

LÍMITE PLÁSTICO			
w. Nat			
P ₂₅ (gr)			
P ₁₀ (gr)			
P ₅ (gr)			
% HUMEDAD			



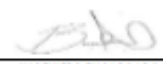
OBSERVACIONES:


AASHO: A-2-4 Grava y arena arcillosa o limosa

S.U.C.S.: Arena limosa SM

El límite líquido se refiere al contenido de humedad requerida para que el material pase de estado plástico a estado líquido.
 El límite plástico se refiere al contenido de humedad requerida para que el material pase del estado plástico al estado semisólido.
 D₁₀ se refiere al diámetro efectivo del material, que corresponde al valor del diámetro tomado de la curva de granulometría obtenida para el 10% de la muestra. D₃₀ y D₆₀ son los valores de la curva que corresponden al 30% y 60% del material respectivamente.

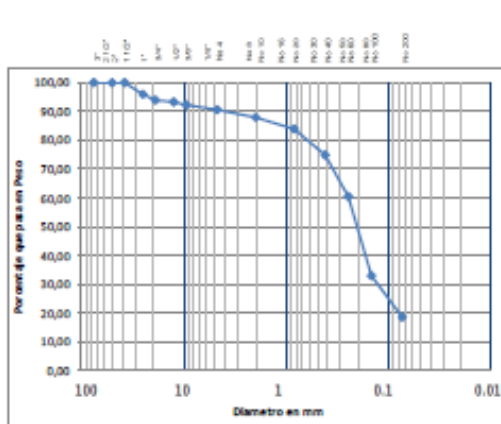
Jefferson Costa S.
LABORATORISTA


INGENIERO ENCARGADO

	FORMATO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS	CODIGO: RS-25	VERSIÓN: 0
		F.A.: 08/10/15	PAGINA 4 DE 6

ESC INGENIERIA MECANICA	CLASIFICACIÓN DE SUELOS (PASA 200 - ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS - LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO)	FECHA INICIAL: 6 de julio de 2011
	CLIENTE: UIS	NORMAS N.L.V. E-214/125/125/126

MATERIAL No.: 4
SONDEO NÚMERO: 1 2 3
PROFUNDIDAD: 3,20 - 3,30 4,70 - 5,00 5,20 - 6,50
DESCRIPCIÓN: ARCILLA ROJISA CON BETAS OSCURAS



D10 = 0,04 CU = 6,26 % Gravas = 9,4
 D30 = 0,13 CC = 1,80 % Arenas = 72,0
 D60 = 0,25 % Arcillas = 18,7

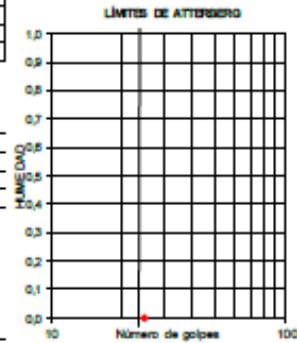
OBSERVACIONES

AASHTO: **A-2-4 Grava y arena arcillosa o limosa**

S.U.C.S.: **Arena limosa SM**

GRADACIÓN			
PERO INICIAL MUESTRA (gr): 1624,0			
PERO DESPUES DE LAVADO (gr): 1321,0			
TAMIZ	PERO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
3"	0,0	0,0	100,00
2"	0,0	0,0	100,00
1 1/2"	0,0	0,0	100,00
1"	64,0	4,1	95,94
3/4"	32,0	2,0	97,97
1/2"	15,0	0,9	99,04
3/8"	15,0	0,9	99,12
No 4	24,0	1,5	98,44
10	45,0	2,8	97,27
20	65,0	4,0	96,07
40	148,0	9,1	90,75
60	232,0	14,3	85,67
100	445,0	27,4	72,67
200	234,0	14,4	85,66
PASA 200	1,0	0,1	99,94
TOTAL	1321,0		
ERROR	-0,06		


LÍMITES DE ATTERBERG			
LÍMITE LÍQUIDO			
No GOLPES			
P ₁ (gr)			
P ₂ (gr)			
P ₃ (gr)			
% HUMEDAD			
LÍMITE PLÁSTICO			
w _N (%)			
P ₁ (gr)			
P ₂ (gr)			
P ₃ (gr)			
% HUMEDAD			



El límite líquido se refiere al contenido de humedad requerida para que el material pase de estado plástico a estado líquido.
 El límite plástico se refiere al contenido de humedad requerida para que el material pase del estado plástico al estado semi-sólido.
 D10 se refiere al diámetro efectivo del material, que corresponde al valor del diámetro tomado de la curva de granulometría obtenida para el 10% de la muestra.
 D30 y D60 son los valores de la curva que corresponden al 30% y 60% del material respectivamente.

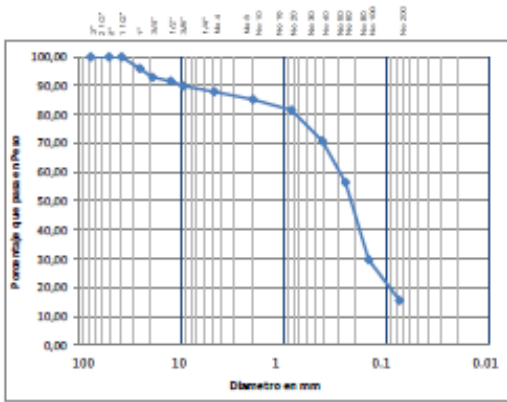
Jefferson Cordero S.
 LABORATORISTA


 INGENIERO ENCARGADO

	FORMATO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS	CODIGO: RS-25	VERSIÓN: 0
		F.A.: 08/10/15	PAGINA 5 DE 6

ESC INGENIERIA MECANICA	CLASIFICACIÓN DE SUELOS (PASA 200 - ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS - LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO)	FECHA INICIAL: 6 de julio de 2011 FECHA FINAL: 12 de julio de 2011
CUENTE: UIS	NORMAS I.N.V. E-214/123/125/126	

MATERIAL No.: 5
SONDEO NÚMERO: 5 6 7
PROFUNDIDAD: 3,00-3,50 0,50-1,50 0,50-2,00
DESCRIPCIÓN: ARCILLA ROJIZA CON BETAS OSCURAS

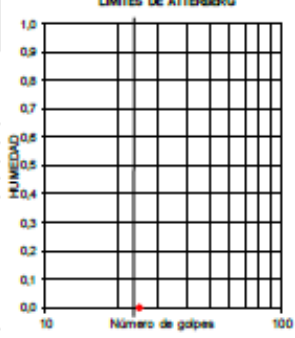


D10= 0,05 CU= 6,24 % Gravas: 12,1
D30= 0,15 CC= 1,62 % Arenas: 72,2
D60= 0,29 % Arcillas: 15,7

GRADACIÓN			
TAMIZ No.	PERO REFINADO	% RETENIDO	% PASA
3"	0,0	0,0	100,00
2"	0,0	0,0	100,00
1 1/2"	0,0	0,0	100,00
1"	75,0	4,3	95,66
3/4"	48,0	2,7	97,29
1/2"	28,0	1,6	98,32
3/8"	24,0	1,4	98,55
No 4	36,0	2,1	97,90
10	48,0	2,7	97,29
20	66,0	3,8	96,19
40	108,0	10,7	70,66
60	252,0	14,4	56,28
100	455,0	26,5	29,74
200	246,0	14,0	15,70
PASADO	1,0	15,7	0,00
TOTAL	1478,0		
SEÑOR	0,00		

LÍMITES DE ATTERBERG	
LÍMITE LÍQUIDO	
No GOLPES	
P _u (gr)	
P _s (gr)	
% HUMEDAD	

LÍMITES DE ATTERBERG	
LÍMITE PLÁSTICO	
w _p (%)	
P _u (gr)	
P _s (gr)	
% HUMEDAD	



LÍMITE LÍQUIDO: _____
LÍMITE PLÁSTICO: _____
ÍNDICE DE PLASTICIDAD: _____
HUMEDAD NATURAL: _____
ÍNDICE DE LIQUIDEZ: _____


CLASIFICACIÓN
ÍNDICE DE GRUPO: _____


OBSERVACIONES: _____

AASHTO: A-2-4 Grava y arena arcillosa o limosa
S.U.C.S.: Arena limosa SM

El límite líquido se refiere al contenido de humedad requerida para que el material pase de estado plástico a estado líquido.
El límite plástico se refiere al contenido de humedad requerida para que el material pase del estado plástico al estado semisólido.
D10 se refiere al diámetro efectivo del material, que corresponde al valor del diámetro tomado de la curva de granulometría obtenida para el 10% de la muestra.
D30 y D60 son los valores de la curva que corresponden al 30% y 60% del material respectivamente.

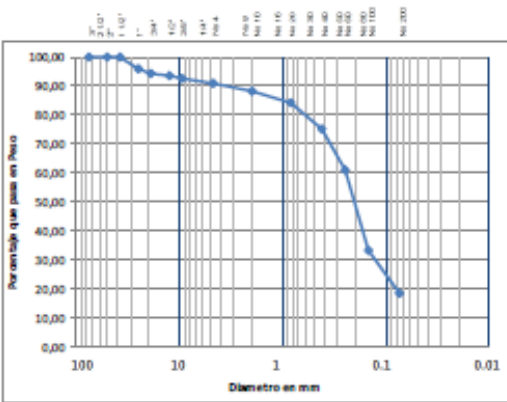
YEFFERSON COLOSA S-
LABORATORISTA


INGENIERO ENCARGADO

	FORMATO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS	CODIGO: RS-25	VERSIÓN: 0
		F.A.: 08/10/15	PAGINA 6 DE 6

ESC INGENIERIA MECANICA	CLASIFICACIÓN DE SUELOS (PASA 200 - ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS - LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO)	FECHA INICIAL: 6 de julio de 2011 FECHA FINAL: 12 de julio de 2011
CLIENTE: UIS	NORMAS I.N.V. E - 214/123/125/126	

MATERIAL No.: 6
SONDEO NUMERO: 5
PROFUNDIDAD: 3,50-5,00
DESCRIPCIÓN: ARCILLA ROJISA CON BETAS OSCURAS

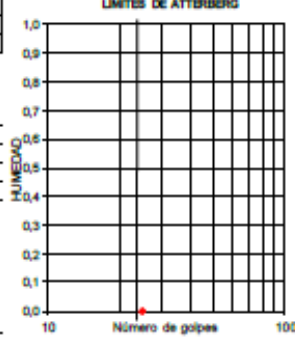


D₁₀= 0,04 C_u= 6,12 % Gravas: 9,0
D₃₀= 0,13 C_c= 1,79 % Arenas: 72,6
D₆₀= 0,25 % Arcillas: 18,4

GRADACIÓN			
PESO INICIAL MUESTRA (gr)		1527,0	
PESO DESPUES DE LAVADO (gr)		1247,0	
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
3"	0,0	0,0	100,00
2"	0,0	0,0	100,00
1 1/2"	0,0	0,0	100,00
1"	62,0	4,1	95,94
3/4"	26,0	1,7	94,24
1/2"	13,0	0,9	93,39
3/8"	13,0	0,9	92,53
No. 4	24,0	1,6	90,96
10	45,0	2,9	88,02
20	61,0	4,0	84,02
40	138,0	9,0	74,98
60	212,0	13,9	61,10
100	427,0	28,0	33,14
200	225,0	14,7	18,40
PASA 200	1,0	0,0	0,00
TOTAL	1247,0		
RESIDUO	0,00		

LÍMITE DE ATTERBERG			
LÍMITE LÍQUIDO			
No. GOLPES			
P ₁ (gr)			
P ₂ (gr)			
P ₃ (gr)			
% HUMEDAD			

LÍMITE PLÁSTICO			
w. Nat			
P ₁ (gr)			
P ₂ (gr)			
P ₃ (gr)			
% HUMEDAD			




OBSERVACIONES: _____

AASHTO: A-34 Grava y arena arcillosa o limosa
S.U.C.S.: Arena limosa SM

El límite líquido se refiere al contenido de humedad requerida para que el material pase de estado plástico a estado líquido.
El límite plástico se refiere al contenido de humedad requerida para que el material pase del estado plástico al estado semisólido.
D₁₀ se refiere al diámetro efectivo del material, que corresponde al valor del diámetro tomado de la curva de granulometría obtenida para el 10% de la muestra. D₃₀ y D₆₀ son los valores de la curva que corresponden al 30% y 60% del material respectivamente.

Yel Vergara Casas 6-
LABORATORIA


INGENIERO ENCARGADO

Anexo B. Cuadros de cálculos para el factor Cn de cada punto de los cuatro sondeos en estudio

Pesos unitarios tipos de suelos presentes

TIPO DE SUELO	Y (KN / m ³)
Arena limosa SC	16
Arcilla media plasticidad arenosa CL	18
Arena limosa SM	19

$$CN = \left(\frac{95.76}{\sigma'_{vo}} \right)^{1/2}$$

SONDEO 1						
Profundidad			Profundidad promedio	σ'_{vo}	CN	
SC	0	- 0,5	0,25	4	2,0	
	0,5	- 1	0,75	12	2,0	
CL	1	- 1,5	1,25	20,1	2,0	
	1,5	- 2	1,75	29,1	1,8	
	2	- 2,5	2,25	38,1	1,6	
SM	2,5	- 3	2,75	47,35	1,4	

SONDEO 2						
Profundidad			Profundidad promedio	σ'_{vo}	CN	
SC	0	- 0,5	0,25	4	2,0	
	0,5	- 1	0,75	12	2,0	
	1	- 1,5	1,25	20	2,0	
CL	1,5	- 2	1,75	28,1	1,8	
	2	- 2,5	2,25	37,1	1,6	
	2,5	- 3	2,75	46,1	1,4	
	3	- 3,5	3,25	55,1	1,3	
	3,5	- 4	3,75	64,1	1,2	
SM	4	- 4,5	4,25	73,35	1,1	

SONDEO 3						
Profundidad			Profundidad promedio	σ'_{vo}	CN	
SC	0	- 0,5	0,25	4	2	
	0,5	- 1	0,75	12	2	
	1	- 1,5	1,25	20	2	
	1,5	- 2	1,75	28	1,8	
	2	- 2,5	2,25	36	1,6	
CL	2,5	- 3	2,75	44,5	1,5	
	3	- 3,5	3,25	53,5	1,3	
	3,5	- 4	3,75	62,5	1,2	
	4	- 4,5	4,25	71,5	1,2	
	4,5	- 5	4,75	80,5	1,1	
	5	- 5,5	5,25	89,5	1,0	
SM	5,5	- 6	5,75	98,75	1,0	

SONDEO 5						
Profundidad			Profundidad promedio	σ'_{vo}	CN	
CL	0	- 0,5	0,25	4,5	2	
	0,5	- 1	0,75	13,5	2	
	1	- 1,5	1,25	22,5	2	
	1,5	- 2	1,75	31,5	1,7	
	2	- 2,5	2,25	40,5	1,5	
	2,5	- 3	2,75	49,5	1,4	
SM	3	- 3,5	3,25	58,75	1,3	
	3,5	- 4	3,75	68,25	1,2	
	4	- 4,5	4,25	77,75	1,1	
	4,5	- 5	4,75	87,25	1	
	5	- 5,5	5,25	96,75	1	
	5,5	- 6	5,75	106,25	0,9	

Anexos C. Cuadros de cálculos para obtener el valor de N'70 Y N'60 de cada punto de los cuatro sondeos en estudio

$$N'_{70} = N \cdot Cn \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4$$

Factor	valor	Propiedad
η_1	0,64	Er / 70 ; Er = 45 (Colombia)
η_2	0,75	Longitud de martillo
η_3	0,8	Arena y arcilla
η_4	1	diámetro agujero

$$N'_{60} = N'_{70} \cdot \frac{70}{60}$$

SONDEO 1						
Profundidad		N Campo	CN	N'70	N'60	
0	- 0,5	0	2,0	0	0	
0,5	- 1	13	2,0	10	12	
1	- 1,5	28	2,0	22	26	
1,5	- 2	24	1,8	17	20	
2	- 2,5	47	1,6	29	34	
2,5	- 3	33	1,4	18	21	

SONDEO 2						
Profundidad		N Campo	CN	N'70	N'60	
0	- 0,5	0	2,0	0	0	
0,5	- 1	1	2,0	1	1	
1	- 1,5	7	2,0	5	6	
1,5	- 2	18	1,8	13	15	
2	- 2,5	51	1,6	31	36	
2,5	- 3	58	1,4	32	37	
3	- 3,5	34	1,3	17	20	
3,5	- 4	57	1,2	27	32	
4	- 4,5	33	1,1	14	16	

SONDEO 3						
Profundidad		N Campo	CN	N'70	N'60	
0	- 0,5	0	2	0	0	
0,5	- 1	2	2	2	2	
1	- 1,5	3	2	2	2	
1,5	- 2	3	1,8	2	2	
2	- 2,5	14	1,6	9	11	
2,5	- 3	42	1,5	24	28	
3	- 3,5	59	1,3	30	35	
3,5	- 4	37	1,2	18	21	
4	- 4,5	37	1,2	16	19	
4,5	- 5	36	1,1	15	18	
5	- 5,5	34	1,0	14	16	
5,5	- 6	48	1,0	18	21	

SONDEO 5						
Profundidad		N Campo	CN	N'70	N'60	
0	- 0,5	0	2	0	0	
0,5	- 1	5	2	4	5	
1	- 1,5	6	2	5	6	
1,5	- 2	4	1,7	3	4	
2	- 2,5	14	1,5	8	9	
2,5	- 3	32	1,4	17	20	
3	- 3,5	50	1,3	25	29	
3,5	- 4	43	1,2	20	23	
4	- 4,5	43	1,1	18	21	
4,5	- 5	43	1	17	20	
5	- 5,5	39	1	15	18	
5,5	- 6	54	0,9	20	23	

Anexo D. Correlaciones para cálculo de módulo de Young [Es] KPa

Correlación [Es]	Referencia
$500 (N'_{60} + 15)$	Bowles, 1996
$8 * N'_{60} * 100$	Schmertmann, 1970

SONDEO 1						SONDEO 2					
	Profundidad		N'60	Es (Kpa)			Profundidad		N'60	Es (Kpa)	
				Schmertmann	Bowles					Schmertmann	Bowles
SC	0	- 0,5	0	0	7500,0	SC	0	- 0,5	0	0	7500,0
	0,5	- 1	12	9600	14045,5		0,5	- 1	1	800	8045,5
CL	1	- 1,5	26	20800	21681,8	CL	1	- 1,5	6	4800	10772,7
	1,5	- 2	20	16000	18409,1		1,5	- 2	15	12000	15681,8
	2	- 2,5	34	27200	26045,5		2	- 2,5	36	28800	27136,4
SM	2,5	- 3	21	16800	18954,5	SM	2,5	- 3	37	29600	27681,8
							3	- 3,5	20	16000	18409,1
							3,5	- 4	32	25600	24954,5
							4	- 4,5	16	12800	16227,3

SONDEO 3						SONDEO 5					
	Profundidad		N'60	Es (Kpa)			Profundidad		N'60	Es (Kpa)	
				Schmertmann	Bowles					Schmertmann	Bowles
SC	0	- 0,5	0	0	7500,0	CL	0	- 0,5	0	0	7500,0
	0,5	- 1	2	1600	8590,9		0,5	- 1	5	4000	10227,3
	1	- 1,5	2	1600	8590,9		1	- 1,5	6	4800	10772,7
	1,5	- 2	2	1600	8590,9		1,5	- 2	4	3200	9681,8
	2	- 2,5	11	8800	13500,0		2	- 2,5	9	7200	12409,1
CL	2,5	- 3	28	22400	22772,7	SM	2,5	- 3	20	16000	18409,1
	3	- 3,5	35	28000	26590,9		3	- 3,5	29	23200	23318,2
	3,5	- 4	21	16800	18954,5		3,5	- 4	23	18400	20045,5
	4	- 4,5	19	15200	17863,6		4	- 4,5	21	16800	18954,5
	4,5	- 5	18	14400	17318,2		4,5	- 5	20	16000	18409,1
	5	- 5,5	16	12800	16227,3		5	- 5,5	18	14400	17318,2
SM	5,5	- 6	21	16800	18954,5	SM	5,5	- 6	23	18400	20045,5

Cuadro valores promedio Es (KPa) por tipo de suelo para cada perfil

	Schmermant	Bowles
	Combinación 1	
SC	4114,3	10305,2
CL	20400,0	21409,1
SM	14800,0	17590,9
	Combinación 2	
SC	1070,2	3073,6
CL	14914,3	17668,8
SM	17600,0	19500,0
	Combinación 3	
SC	2742,9	8298,7
CL	16050,0	18443,2
SM	17100,0	19159,1

Cuadro valores promedio Es (Mpa) Definitivo por tipo de suelo

TIPO DE SUELO	Es (Mpa) promedio
Arena limosa SC	4,9
Arcilla media plasticidad arenosa CL	18,1
Arena limosa SM	17,6

Anexo E. Correlaciones para cálculo de ángulo de fracción interna

Correlación [ϕ]	Referencia
$\sqrt{20N'_{60}} + 20$	Hatanaka & Uchida, 1996
$23,7 + 0,57N'_{60} - 0,0006(N'_{60})$	Meyerhof, 1965
$27,1 + 0,30N'_{60} - 0,00054(N'_{60})^2$	Peck, Hanson & Thornburn, 1974

PERFIL SONDEO1 – SONDEO3 – SONDEO2

<table border="1"> <tr><td colspan="2"></td><td>N₆₀</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>12</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>1</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>6</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>2</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>2</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>11</td></tr> <tr><td colspan="2">Media</td><td>6</td></tr> </table> <table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">ϕ</th></tr> <tr><th>Meyerhof, 1965</th><th>peck, Hanson</th><th>Hatanaka</th><th>Promedio</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>27,1</td><td>28,9</td><td>31,0</td><td>29</td></tr> </tbody> </table>			N ₆₀			12			1			6			2			2			11	Media		6	ϕ				Meyerhof, 1965	peck, Hanson	Hatanaka	Promedio	27,1	28,9	31,0	29	<table border="1"> <tr><td colspan="2"></td><td>N₆₀</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>26</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>20</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>34</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>15</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>36</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>37</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>20</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>32</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>28</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>35</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>21</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>19</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>18</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>16</td></tr> <tr><td colspan="2">Media</td><td>26</td></tr> </table> <table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">ϕ</th></tr> <tr><th>Meyerhof, 1965</th><th>peck, Hanson</th><th>Hatanaka</th><th>Promedio</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>38,1</td><td>34,5</td><td>42,8</td><td>38</td></tr> </tbody> </table>			N ₆₀			26			20			34			15			36			37			20			32			28			35			21			19			18			16	Media		26	ϕ				Meyerhof, 1965	peck, Hanson	Hatanaka	Promedio	38,1	34,5	42,8	38	<table border="1"> <tr><td colspan="2"></td><td>N₆₀</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>21</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>16</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>21</td></tr> <tr><td colspan="2">Media</td><td>19</td></tr> </table> <table border="1"> <thead> <tr><th colspan="4">ϕ</th></tr> <tr><th>Meyerhof, 1965</th><th>peck, Hanson</th><th>Hatanaka</th><th>Promedio</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>34,3</td><td>32,6</td><td>39,5</td><td>35</td></tr> </tbody> </table>			N ₆₀			21			16			21	Media		19	ϕ				Meyerhof, 1965	peck, Hanson	Hatanaka	Promedio	34,3	32,6	39,5	35
		N ₆₀																																																																																																																											
		12																																																																																																																											
		1																																																																																																																											
		6																																																																																																																											
		2																																																																																																																											
		2																																																																																																																											
		11																																																																																																																											
Media		6																																																																																																																											
ϕ																																																																																																																													
Meyerhof, 1965	peck, Hanson	Hatanaka	Promedio																																																																																																																										
27,1	28,9	31,0	29																																																																																																																										
		N ₆₀																																																																																																																											
		26																																																																																																																											
		20																																																																																																																											
		34																																																																																																																											
		15																																																																																																																											
		36																																																																																																																											
		37																																																																																																																											
		20																																																																																																																											
		32																																																																																																																											
		28																																																																																																																											
		35																																																																																																																											
		21																																																																																																																											
		19																																																																																																																											
		18																																																																																																																											
		16																																																																																																																											
Media		26																																																																																																																											
ϕ																																																																																																																													
Meyerhof, 1965	peck, Hanson	Hatanaka	Promedio																																																																																																																										
38,1	34,5	42,8	38																																																																																																																										
		N ₆₀																																																																																																																											
		21																																																																																																																											
		16																																																																																																																											
		21																																																																																																																											
Media		19																																																																																																																											
ϕ																																																																																																																													
Meyerhof, 1965	peck, Hanson	Hatanaka	Promedio																																																																																																																										
34,3	32,6	39,5	35																																																																																																																										

Calculo para obtención de ángulo de fricción para cada tipo de suelo con datos agrupados del perfil S1-S3-S2

PERFIL SONDEO1 – SONDEO3 – SONDEO5

<table border="1"> <tr><td colspan="2">Arena limosa SC</td><td>N°60</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>12</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>2</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>2</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>2</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>11</td></tr> <tr><td colspan="2">Media</td><td>6</td></tr> </table>				Arena limosa SC		N°60			12			2			2			2			11	Media		6	<table border="1"> <tr><td colspan="2">Arcilla media plasticidad arenosa CL</td><td>N°60</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>26</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>20</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>34</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>28</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>35</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>21</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>19</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>16</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>16</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>5</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>6</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>4</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>9</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>20</td></tr> <tr><td colspan="2">Media</td><td>19</td></tr> </table>				Arcilla media plasticidad arenosa CL		N°60			26			20			34			28			35			21			19			16			16			5			6			4			9			20	Media		19	<table border="1"> <tr><td colspan="2">Arena Limosa SM</td><td>N°60</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>21</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>21</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>29</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>23</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>21</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>20</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>18</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>23</td></tr> <tr><td colspan="2">Media</td><td>22</td></tr> </table>				Arena Limosa SM		N°60			21			21			29			23			21			20			18			23	Media		22
Arena limosa SC		N°60																																																																																																												
		12																																																																																																												
		2																																																																																																												
		2																																																																																																												
		2																																																																																																												
		11																																																																																																												
Media		6																																																																																																												
Arcilla media plasticidad arenosa CL		N°60																																																																																																												
		26																																																																																																												
		20																																																																																																												
		34																																																																																																												
		28																																																																																																												
		35																																																																																																												
		21																																																																																																												
		19																																																																																																												
		16																																																																																																												
		16																																																																																																												
		5																																																																																																												
		6																																																																																																												
		4																																																																																																												
		9																																																																																																												
		20																																																																																																												
Media		19																																																																																																												
Arena Limosa SM		N°60																																																																																																												
		21																																																																																																												
		21																																																																																																												
		29																																																																																																												
		23																																																																																																												
		21																																																																																																												
		20																																																																																																												
		18																																																																																																												
		23																																																																																																												
Media		22																																																																																																												
<table border="1"> <tr><td colspan="4">Φ</td></tr> <tr><td>Meyerhof, 1965</td><td>peck, Hanson</td><td>Hatanaka</td><td>Promedio</td></tr> <tr><td>27,1</td><td>28,9</td><td>31,0</td><td>29</td></tr> </table>				Φ				Meyerhof, 1965	peck, Hanson	Hatanaka	Promedio	27,1	28,9	31,0	29	<table border="1"> <tr><td colspan="4">Φ</td></tr> <tr><td>Meyerhof, 1965</td><td>peck, Hanson</td><td>Hatanaka</td><td>Promedio</td></tr> <tr><td>34,3</td><td>32,6</td><td>39,5</td><td>35</td></tr> </table>				Φ				Meyerhof, 1965	peck, Hanson	Hatanaka	Promedio	34,3	32,6	39,5	35	<table border="1"> <tr><td colspan="4">Φ</td></tr> <tr><td>Meyerhof, 1965</td><td>peck, Hanson</td><td>Hatanaka</td><td>Promedio</td></tr> <tr><td>35,9</td><td>33,4</td><td>41,0</td><td>37</td></tr> </table>				Φ				Meyerhof, 1965	peck, Hanson	Hatanaka	Promedio	35,9	33,4	41,0	37																																																															
Φ																																																																																																														
Meyerhof, 1965	peck, Hanson	Hatanaka	Promedio																																																																																																											
27,1	28,9	31,0	29																																																																																																											
Φ																																																																																																														
Meyerhof, 1965	peck, Hanson	Hatanaka	Promedio																																																																																																											
34,3	32,6	39,5	35																																																																																																											
Φ																																																																																																														
Meyerhof, 1965	peck, Hanson	Hatanaka	Promedio																																																																																																											
35,9	33,4	41,0	37																																																																																																											

Calculo para obtención de ángulo de fricción interna para cada tipo de suelo con datos agrupados del perfil S1-S3-S5

PERFIL SONDEO2 – SONDEO3 – SONDEO5

<table border="1"> <tr><td colspan="2">Arena limosa SC</td><td>N°60</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>1</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>6</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>2</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>2</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>2</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>11</td></tr> <tr><td colspan="2">Media</td><td>4</td></tr> </table>				Arena limosa SC		N°60			1			6			2			2			2			11	Media		4	<table border="1"> <tr><td colspan="2">Arcilla media plasticidad arenosa CL</td><td>N°60</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>15</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>36</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>37</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>20</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>32</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>28</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>35</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>21</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>19</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>18</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>16</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>5</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>6</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>4</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>9</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>20</td></tr> <tr><td colspan="2">Media</td><td>21</td></tr> </table>				Arcilla media plasticidad arenosa CL		N°60			15			36			37			20			32			28			35			21			19			18			16			5			6			4			9			20	Media		21	<table border="1"> <tr><td colspan="2">Arena Limosa SM</td><td>N°60</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>16</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>21</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>29</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>23</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>21</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>20</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>18</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td>23</td></tr> <tr><td colspan="2">Media</td><td>21</td></tr> </table>				Arena Limosa SM		N°60			16			21			29			23			21			20			18			23	Media		21
Arena limosa SC		N°60																																																																																																																					
		1																																																																																																																					
		6																																																																																																																					
		2																																																																																																																					
		2																																																																																																																					
		2																																																																																																																					
		11																																																																																																																					
Media		4																																																																																																																					
Arcilla media plasticidad arenosa CL		N°60																																																																																																																					
		15																																																																																																																					
		36																																																																																																																					
		37																																																																																																																					
		20																																																																																																																					
		32																																																																																																																					
		28																																																																																																																					
		35																																																																																																																					
		21																																																																																																																					
		19																																																																																																																					
		18																																																																																																																					
		16																																																																																																																					
		5																																																																																																																					
		6																																																																																																																					
		4																																																																																																																					
		9																																																																																																																					
		20																																																																																																																					
Media		21																																																																																																																					
Arena Limosa SM		N°60																																																																																																																					
		16																																																																																																																					
		21																																																																																																																					
		29																																																																																																																					
		23																																																																																																																					
		21																																																																																																																					
		20																																																																																																																					
		18																																																																																																																					
		23																																																																																																																					
Media		21																																																																																																																					
<table border="1"> <tr><td colspan="4">Φ</td></tr> <tr><td>Meyerhof, 1965</td><td>peck, Hanson</td><td>Hatanaka</td><td>Promedio</td></tr> <tr><td>28,0</td><td>28,3</td><td>28,9</td><td>28</td></tr> </table>				Φ				Meyerhof, 1965	peck, Hanson	Hatanaka	Promedio	28,0	28,3	28,9	28	<table border="1"> <tr><td colspan="4">Φ</td></tr> <tr><td>Meyerhof, 1965</td><td>peck, Hanson</td><td>Hatanaka</td><td>Promedio</td></tr> <tr><td>35,4</td><td>33,2</td><td>40,5</td><td>36</td></tr> </table>				Φ				Meyerhof, 1965	peck, Hanson	Hatanaka	Promedio	35,4	33,2	40,5	36	<table border="1"> <tr><td colspan="4">Φ</td></tr> <tr><td>Meyerhof, 1965</td><td>peck, Hanson</td><td>Hatanaka</td><td>Promedio</td></tr> <tr><td>35,4</td><td>33,2</td><td>40,5</td><td>36</td></tr> </table>				Φ				Meyerhof, 1965	peck, Hanson	Hatanaka	Promedio	35,4	33,2	40,5	36																																																																								
Φ																																																																																																																							
Meyerhof, 1965	peck, Hanson	Hatanaka	Promedio																																																																																																																				
28,0	28,3	28,9	28																																																																																																																				
Φ																																																																																																																							
Meyerhof, 1965	peck, Hanson	Hatanaka	Promedio																																																																																																																				
35,4	33,2	40,5	36																																																																																																																				
Φ																																																																																																																							
Meyerhof, 1965	peck, Hanson	Hatanaka	Promedio																																																																																																																				
35,4	33,2	40,5	36																																																																																																																				

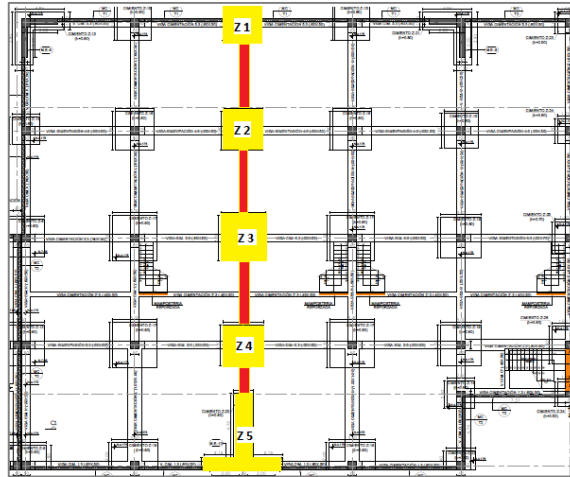
Calculo para obtención de ángulo de fricción interna para cada tipo de suelo con datos agrupados del perfil S2-S3-S5

Arena limosa SC			Arcilla media plasticidad arenosa CL			Arena Limosa SM		
s1 - s3 - s2	s1 - s3 - s5	s2 - s3 - s5	s1 - s3 - s2	s1 - s3 - s5	s2 - s3 - s5	s1 - s3 - s2	s1 - s3 - s5	s2 - s3 - s5
29	29	28	38	35	36	35	37	36
29			37			36		

Calculo definitivo para obtención de ángulo de fricción interna para cada tipo de suelo

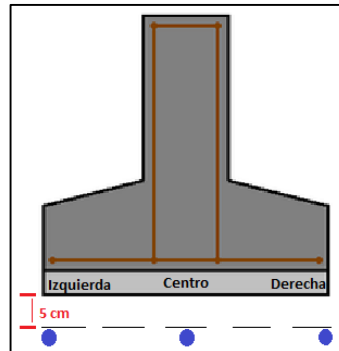
Anexo F. Líneas de zapata tipo en estudio propiedades obtenidas mediante SPT

Línea de Zapatas en estudio TIPO 1

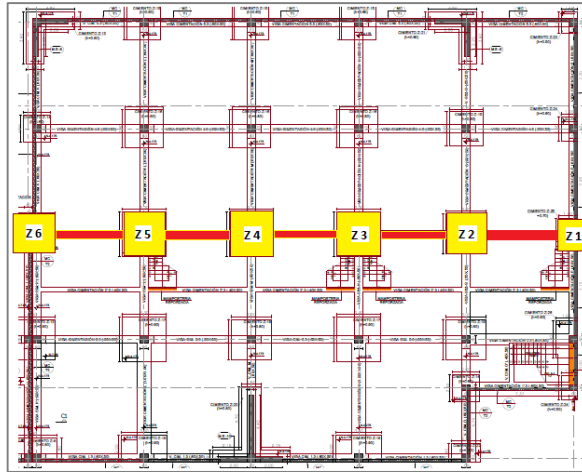


FUENTE: plano de cimentación edificio de laboratorios ing. Mecánica UIS

Puntos de Análisis



Línea de Zapatas en estudio TIPO 2



FUENTE: plano de cimentación edificio de laboratorios ing. Mecánica UIS

Asentamientos de modelo con propiedades obtenidas mediante SPT, para la Línea de Zapatas en estudio TIPO 1

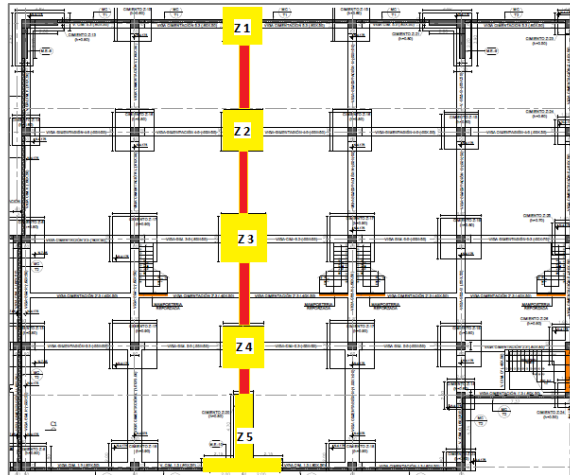
Asentamientos (mm), mediante plaxis 2D a una profundidad de 0,05 m bajo la cimentación con propiedades obtenidas mediante ENSAYO SPT														
ZAPATA 1			ZAPATA 2			ZAPATA 3			ZAPATA 4			ZAPATA 5		
Izq.	Centro	Der.	Izq.	Centro	Der.	Izq.	Centro	Der.	Izq.	Centro	Der.	Izq.	Centro	Der.
6,96	6,65	5,63	5,62	6,05	5,66	4,78	5,54	5,11	2,84	3,99	2,67	2,25	4,48	3,63

Asentamientos de modelo con propiedades obtenidas mediante SPT, para la Línea de Zapatas en estudio TIPO 2

Asentamientos (mm), mediante plaxis 2D a una profundidad de 0,05 m bajo la cimentación con propiedades obtenidas mediante ENSAYO SPT																	
ZAPATA 1			ZAPATA 2			ZAPATA 3			ZAPATA 4			ZAPATA 5			ZAPATA 6		
Izq.	Centro	Der.	Izq.	Centro	Der.	Izq.	Centro	Der.	Izq.	Centro	Der.	Izq.	Centro	Der.	Izq.	Centro	Der.
3,00	8,24	7,04	6,46	6,93	6,52	5,13	5,36	5,19	5,55	5,74	5,91	5,17	6,71	6,34	14,42	16,60	16,70

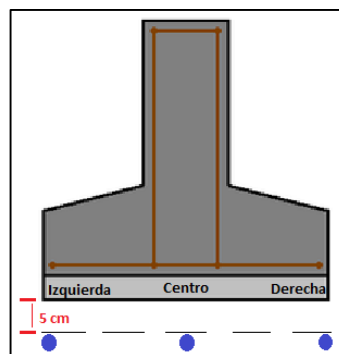
Anexo G. Líneas de zapata tipo en estudio propiedades obtenidas mediante Ensayo Triaxial CU

Línea de Zapatas en estudio TIPO 1

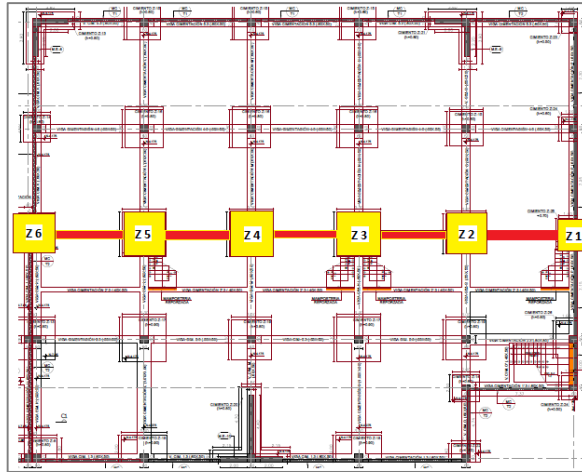


FUENTE: plano de cimentación edificio de laboratorios ing. Mecánica UIS

Puntos de Análisis



Línea de Zapatas en estudio TIPO 2



FUENTE: plano de cimentación edificio de laboratorios ing. Mecánica UIS

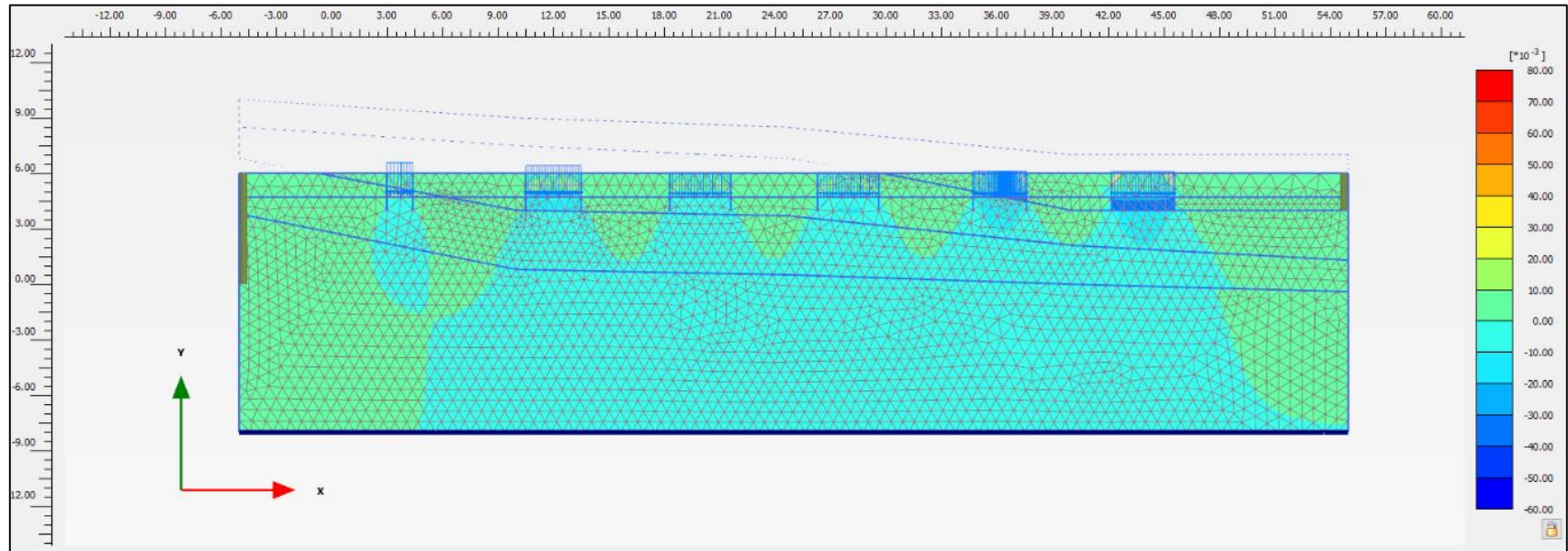
Asentamientos de modelo con propiedades obtenidas mediante Ensayo Triaxial CU, para la Línea de Zapatas en estudio TIPO 1

Asentamientos (mm), mediante plaxis 2D a una profundidad de 0,05 m bajo la cimentación con propiedades obtenidas mediante ENSAYO TRIAXIAL CU														
ZAPATA 1			ZAPATA 2			ZAPATA 3			ZAPATA 4			ZAPATA 5		
Izq.	Centro	Der.	Izq.	Centro	Der.	Izq.	Centro	Der.	Izq.	Centro	Der.	Izq.	Centro	Der.
10,93	10,65	9,06	9,67	10,16	10,04	8,71	9,09	8,55	9,80	9,98	7,55	4,55	7,31	5,89

Asentamientos de modelo con propiedades obtenidas mediante Ensayo Triaxial CU, para la Línea de Zapatas en estudio TIPO 2

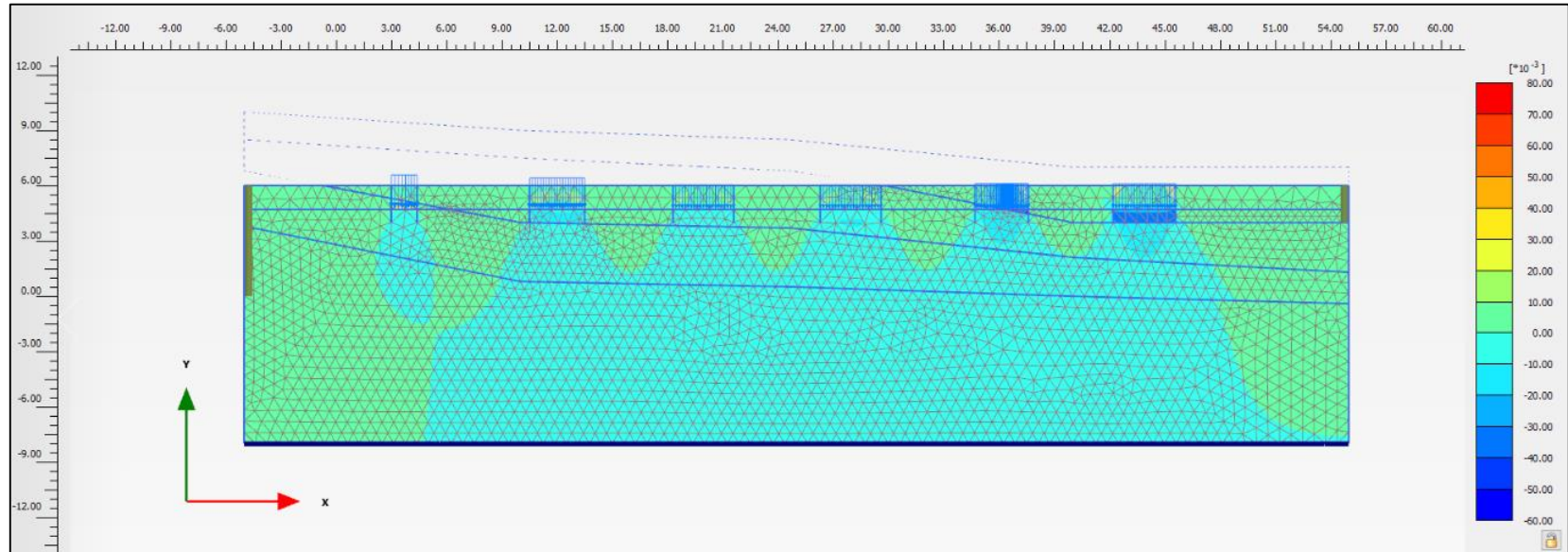
Asentamientos (mm), mediante plaxis 2D a una profundidad de 0,05 m bajo la cimentación con propiedades obtenidas mediante ENSAYO TRIAXIAL CU																	
ZAPATA 1			ZAPATA 2			ZAPATA 3			ZAPATA 4			ZAPATA 5			ZAPATA 6		
Izq.	Centro	Der.	Izq.	Centro	Der.	Izq.	Centro	Der.	Izq.	Centro	Der.	Izq.	Centro	Der.	Izq.	Centro	Der.
2,89	8,25	7,04	9,69	11,12	10,51	7,65	8,67	8,09	10,33	9,07	9,53	8,65	10,22	10,16	15,32	18,70	19,50

Grafica de Asentamientos-SPT-Zapatas Tipo 2



FUENTE: Plaxis2D

Grafica de Asentamientos-Triaxial-Zapatas Tipo 2



FUENTE: Plaxis2D

Anexo H. Porcentajes de Error en puntos de análisis de Línea de Zapatas Tipo en estudio

% Error

$$= \left(\frac{\text{Asentamiento propiedades TRIAXIAL CU} - \text{Asentamiento propiedades SPT}}{\text{Asentamiento propiedades TRIAXIAL CU}} \right)$$

* 100

Porcentajes de Error en puntos de análisis de Línea de Zapatas en estudio TIPO 1; tomando como valor teórico los asentamientos con propiedades de TRIAXIAL CU.

z (m)	Zapata 1			Zapata 2			Zapata 3			Zapata 4			Zapata 5		
	Izq.	Centro	Der.	Izq.	Centro	Der.	Izq.	Centro	Der.	Izq.	Centro	Der.	Izq.	Centro	Der.
0,05	36,3	37,6	37,9	41,9	40,4	43,6	45,1	39,0	40,3	71,1	60,0	64,7	50,5	50,5	38,4

Porcentajes de Error en puntos de análisis de Línea de Zapatas en estudio TIPO 2; tomando como valor teórico los asentamientos con propiedades de TRIAXIAL CU.

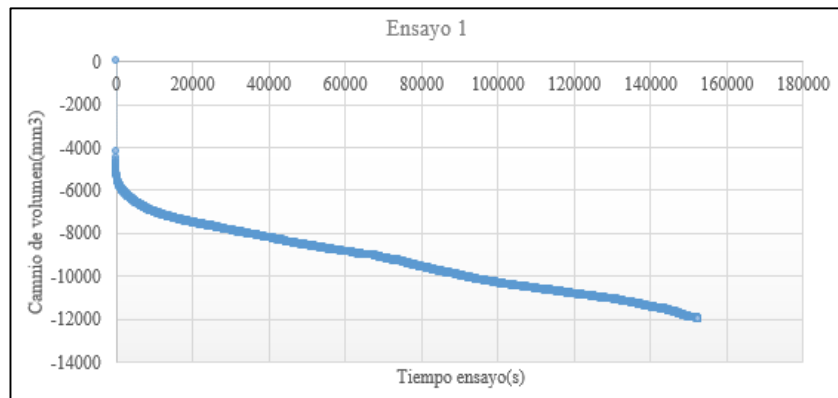
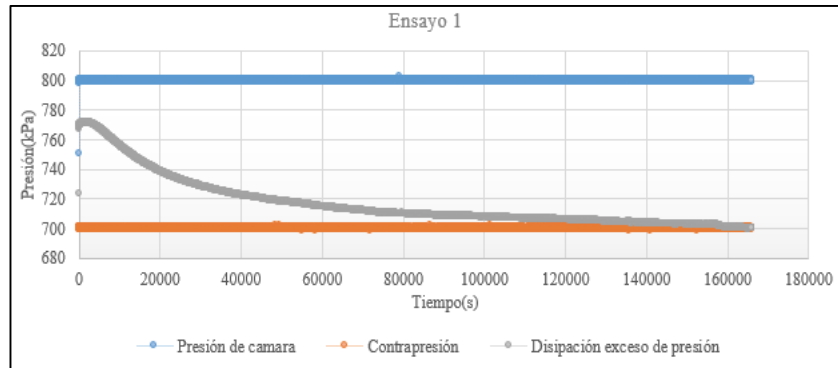
z (m)	Zapata 1			Zapata 2			Zapata 3			Zapata 4			Zapata 5			Zapata 6		
	Izq.	Centro	Der.	Izq.	Centro	Der.	Izq.	Centro	Der.	Izq.	Centro	Der.	Izq.	Centro	Der.	Izq.	Centro	Der.
0,05	4,1	0,0	0,1	33,3	37,7	38,0	33,0	38,1	35,8	46,3	36,7	38,0	40,2	34,4	37,6	5,8	11,2	14,4

Anexo I. Chequeo para analizar grado de saturación, en el desarrollo de esta etapa para los 3 diferentes ensayos realizados a muestras extraídas en terreno.

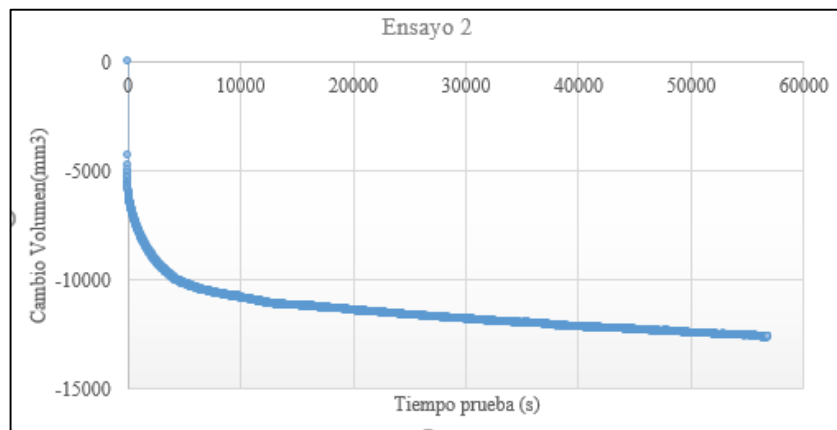
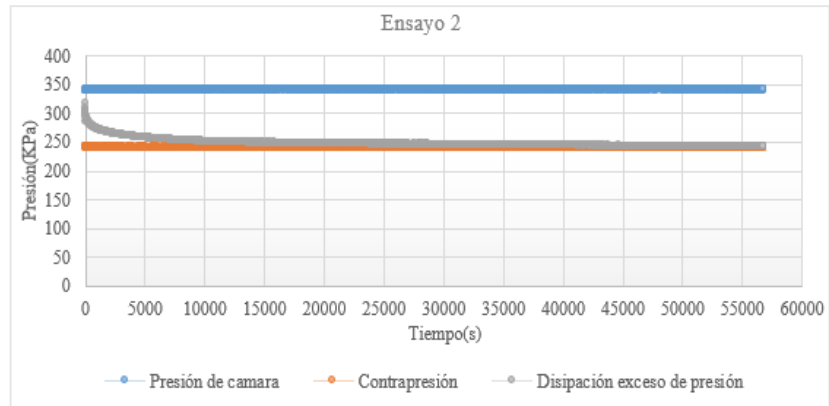
Ensayo 1			Ensayo 2			Ensayo 3		
B (Skempton)	$\Delta\sigma_3$ (KPa)	ΔU (KPa)	B (Skempton)	$\Delta\sigma_3$ (KPa)	ΔU (KPa)	B (Skempton)	$\Delta\sigma_3$ (KPa)	ΔU (KPa)
0,377	49,00	18,50	0,725	50,00	36,26	0,877	44,00	38,58
0,528	32,00	16,90	0,886	50,00	44,28	0,924	50,00	46,18
0,755	50,00	37,73	0,907	49,00	44,46			
0,827	52,00	42,99						
0,954	50,00	47,71						

Anexo J. Graficas etapa de consolidación

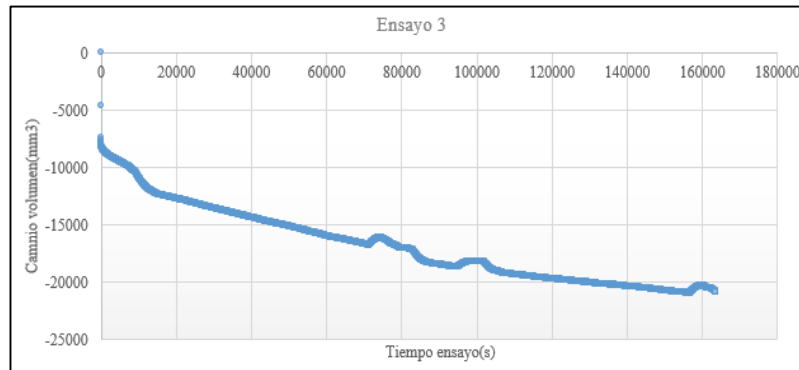
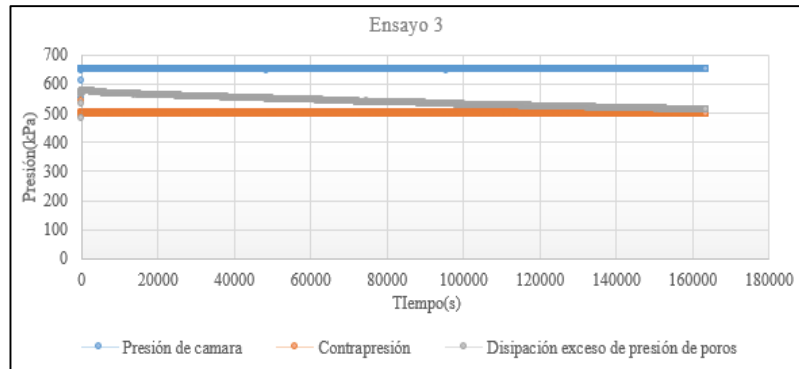
Gráficas para monitorear Etapa de consolidación por medio de cambio de presión y disipación de poros dentro de la muestra para ensayo n°1.



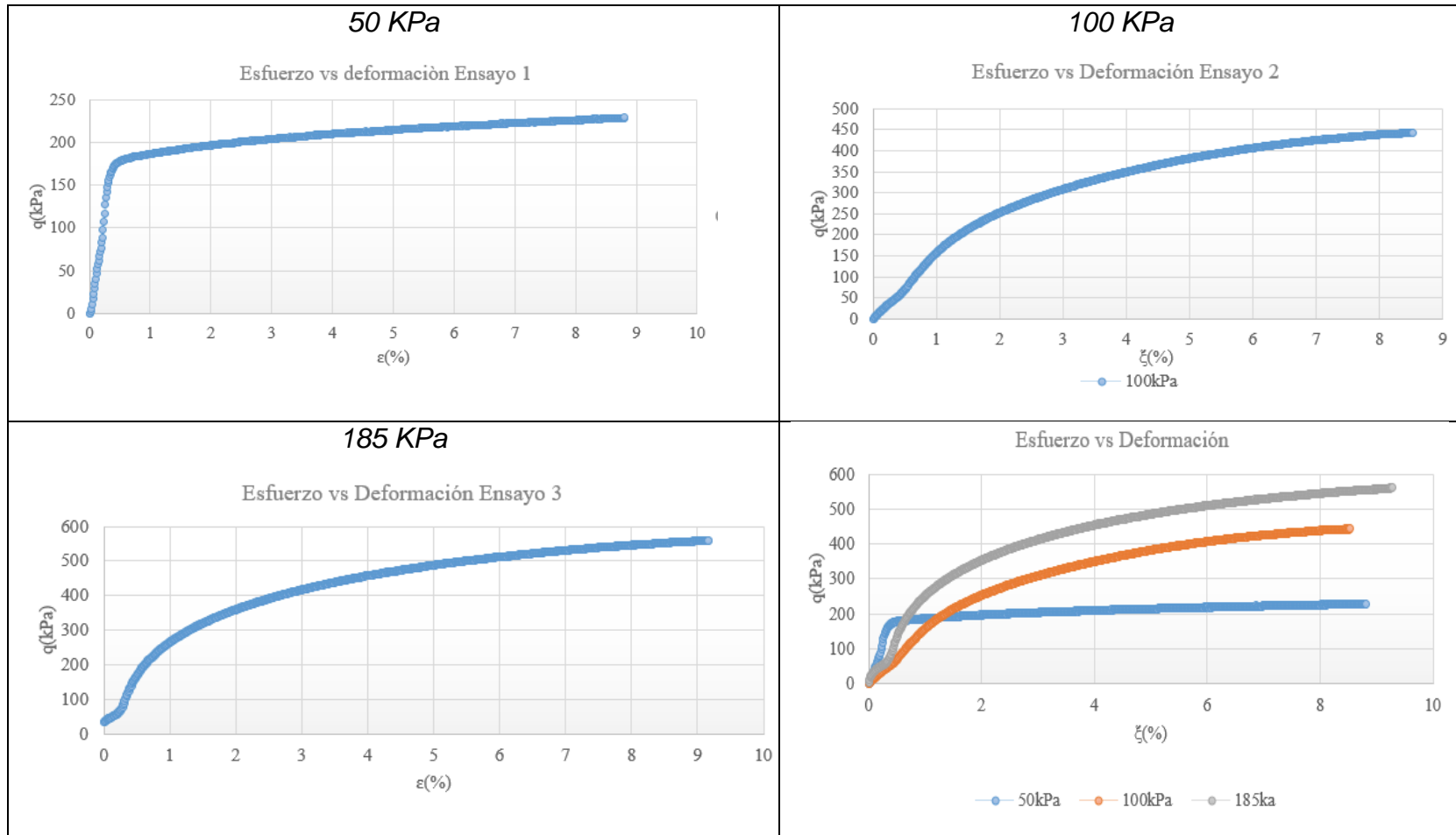
Gráficas para monitorear Etapa de consolidación por medio de cambio de presión y disipación de poros dentro de la muestra para ensayo n°2.



Gráficas para monitorear etapa de consolidación por medio de cambio de presión y disipación de poros dentro de la muestra para ensayo n°3.



Anexo K. Gráficas de Esfuerzo Vs Deformación para obtención de valores de Modulo de Young para los 3 diferentes ensayos triaxial y una de recopilación



Anexo L. Tablas resumen de valores obtenidos y asumidos en el desarrollo de las tres diferentes pruebas triaxial

Ensayo 1	
Condiciones Iniciales	
Altura(mm)	Diámetro(mm)
140	70
Peso(gr)	Área(mm ²)
1100	3848,36
Etapa de saturación	
Presión de cámara	750
Contrapresión	701
Presión de poros	723,3676
B(Skempton)	0,9542
Condición después de Consolidación	
Presión de cámara	750
Contrapresión	700
Confinamiento efectivo	50
Condiciones después de Falla	
Presión cámara inicial	750
Presión de poros inicial	698
Velocidad de falla(mm/min)	0,1
Esfuerzo desviador máximo	228,6
Deformación axial(%)	10
Tiempo de falla(horas)	2,3

Ensayo 2	
Condiciones Iniciales	
Altura(mm)	Diámetro(mm)
140	70
Peso(gr)	Área(mm ²)
1208,7	3848,36
Etapa de saturación	
Presión de cámara	299

Ensayo 2	
Contrapresión	282
Presión de poros	285,7091
B(Skempton)	0,907430612
Condición después de Consolidación	
Presión de cámara	340
Contrapresión	240
Confinamiento efectivo	100
Condiciones después de Falla	
Presión cámara inicial	345
Presión de poros inicial	241,7962
Velocidad de falla(mm/min)	0,1
Esfuerzo desviador máximo	442,69
Deformación axial(%)	10
Tiempo de falla(horas)	2,3

Ensayo 3	
Condiciones Iniciales	
Altura(mm)	Diámetro(mm)
140	70
Peso(gr)	Área(mm ²)
1092	3848,36
Etapas de saturación	
Presión de cámara	648
Contrapresión	498
Presión de poros	510,2954
B(Skempton)	0,923578
Condición después de Consolidación	
Presión de cámara	646
Contrapresión	463
Confinamiento efectivo	183
Condiciones después de Falla	
Presión cámara inicial	646
Presión de poros inicial	510,9691
Velocidad de falla(mm/min)	0,1
Esfuerzo desviador máximo	560,22

Anexo M. Cargas a implementar en líneas de zapata tipo

Cargas calculadas mediante Mayoración planteada para línea de zapatas Tipo1

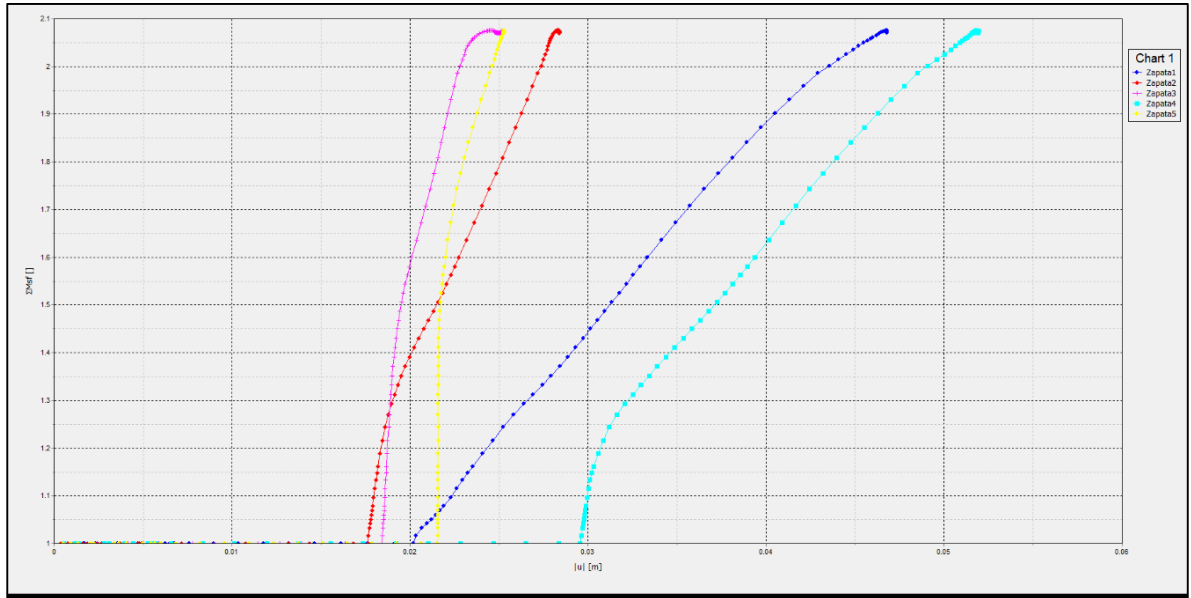
Dimensiones(m)	Zapata	Área(m²)	Cargas	Carga(kN)	Mayoración(kN)	Presión(kN/m²)
T	Zapata 5	12,27	Viva	350,00	2092,18	170,51
			Muerta	1276,82		
[3 X 3]	Zapata 4	9	Viva	625,00	2529,48	281,05
			Muerta	1274,57		
[3.3 X 3.3]	Zapata 3	10,89	Viva	525,00	2369,48	217,58
			Muerta	1274,57		
[2.8 X 2.8]	Zapata 2	7,84	Viva	387,50	1880,53	239,86
			Muerta	1050,44		
[2.5 X 2.5]	Zapata 1	6,25	Viva	325,00	1684,38	269,50
			Muerta	970,32		

Cargas calculadas mediante Mayoración planteada para línea de zapatas tipo2

Dimensiones (m)	Zapata	Área(m2)	Cargas	Carga(kN)	Mayoración(kN)	Presión(kN/m2)
(3.40X2.80)	Zapata 6	9,52	Viva	450	2165,9325	227,5139181
			Muerta	1204,94375		
[3.3 X 3.3]	Zapata 5	10,89	Viva	600	2489,4825	228,6026171
			Muerta	1274,56875		
[3.3 X 3.3]	Zapata 4	10,89	Viva	525	2369,4825	217,5833333
			Muerta	1274,56875		
[2.8 X 2.8]	Zapata 3	7,84	Viva	525	2369,4825	302,2299107
			Muerta	1274,56875		
[2.5 X 2.5]	Zapata 2	9	Viva	600	2489,4825	276,6091667
			Muerta	1274,56875		
(1,4 X 2,3)	Zapata 1	3,22	Viva	200	976,37	303,2204969
			Muerta	546,975		

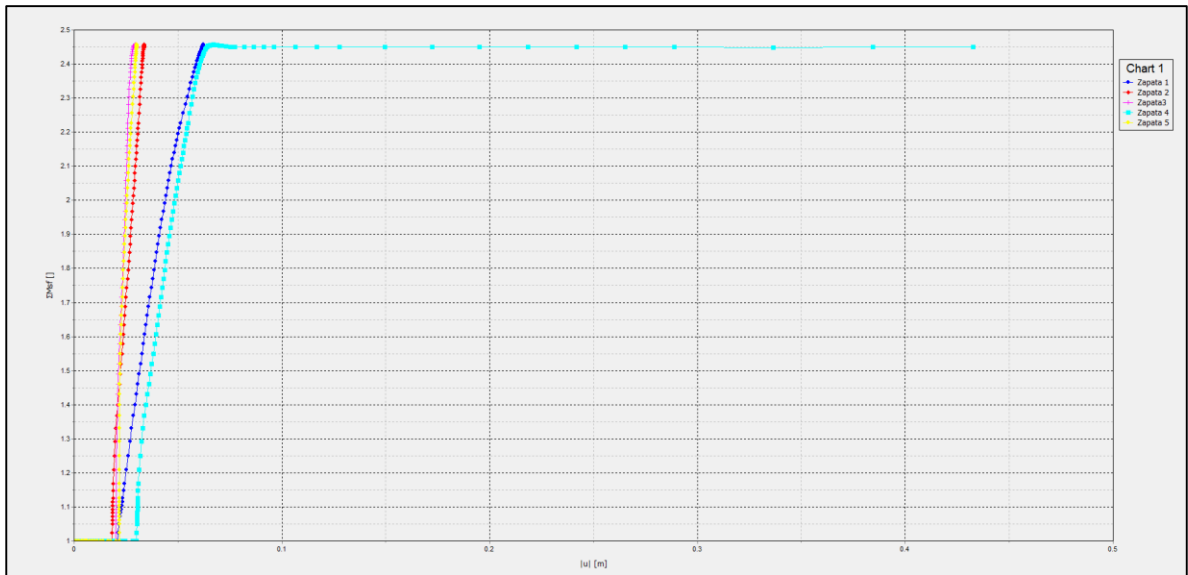
Anexo N Variación del factor de seguridad

Gráfica Variación del factor de seguridad con respecto al Desplazamiento Total-SPT-Zapatas Tipo 1



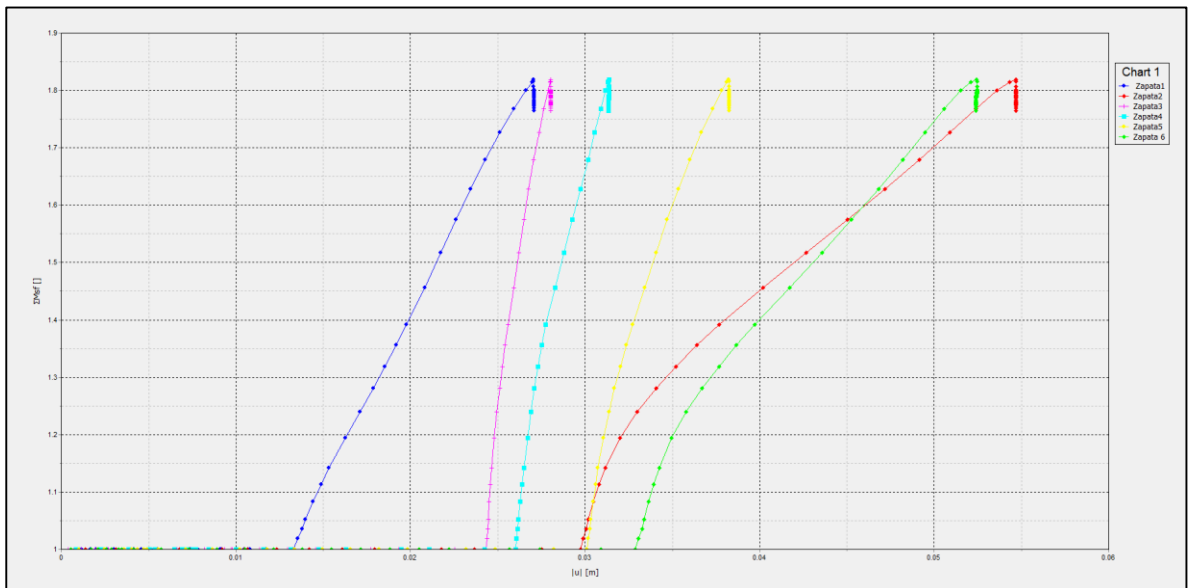
FUENTE: Plaxis2D

Gráfica Variación del factor de seguridad con respecto al Desplazamiento Total-Triaxial CU-Zapatas Tipo 1



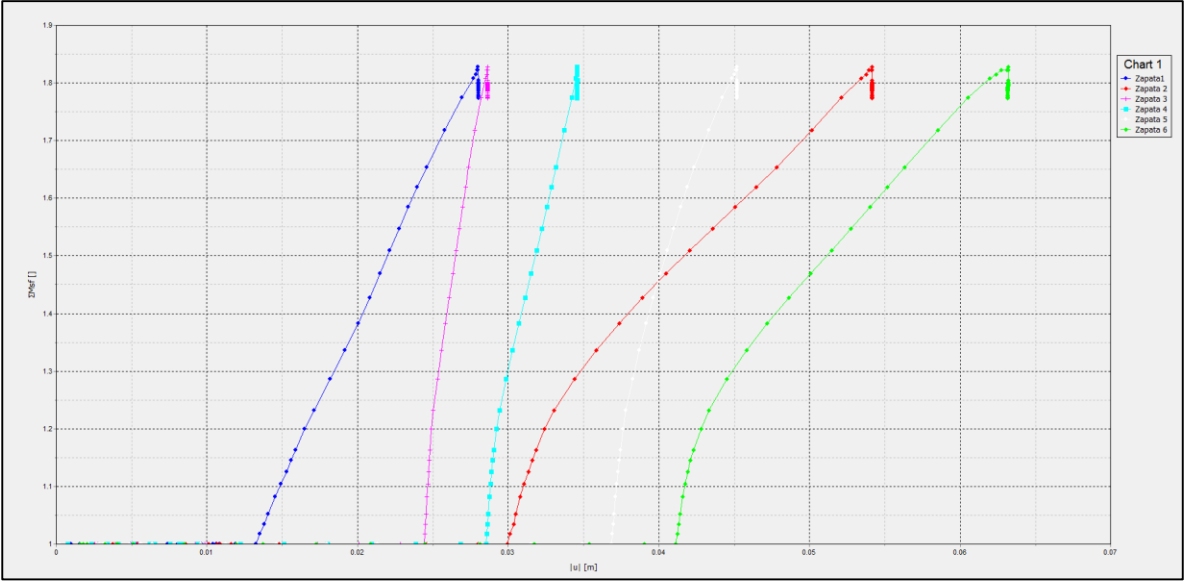
FUENTE: Plaxis2D

Gráfica Variación del factor de seguridad con respecto al Desplazamiento Total-SPT-Zapatas Tipo 2



FUENTE: Plaxis2D

Gráfica Variación del factor de seguridad con respecto al Desplazamiento Total-Triaxial CU-Zapatas Tipo 2



FUENTE: Plaxis2D

Anexo O. Capacidad portante

Tabla Capacidad Portante- Evaluación Teórica. Zapatas Tipo 1

	Autor	SPT(kN/m²)	Triaxial(kN/m²)
Zapata 1	Q _u vesic	2810,79	3272,42
	Q _u myer	3424,13	4021,27
Zapata 2	Q _u vesic	2899,59	3378,14
	Q _u myer	3586,53	4216,85
Zapata 3	Q _u vesic	3053,90	3561,41
	Q _u myer	3863,50	4549,89
Zapata 4	Q _u vesic	2960,49	3450,52
	Q _u myer	3696,50	4349,14
Zapata 5	Q _u vesic	2428,11	2836,33
	Q _u myer	1512,19	1718,05

Tabla Capacidad Portante- Evaluación Teórica. Zapatas Tipo 2

	Autor	SPT(kN/m²)	Triaxial(kN/m²)
Zapata 1	Q _u vesic	3084,11	3597,87
	Q _u myer	3799,08	4470,81
Zapata 2	Q _u vesic	3053,90	3561,41
	Q _u myer	3799,08	4549,89
Zapata 3	Q _u vesic	3053,90	3561,41
	Q _u myer	3863,50	4549,89
Zapata 4	Q _u vesic	2899,59	3378,14
	Q _u myer	3586,53	4216,85
Zapata 5	Q _u vesic	2810,79	3272,42
	Q _u myer	3424,13	4021,27
Zapata 6	Q _u vesic	2317,69	2684,68
	Q _u myer	2750,76	3213,43