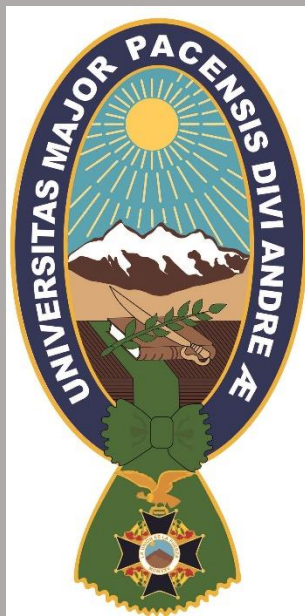


UNIVERSIDAD MAJOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL



PROYECTO DE GRADO, PRESENTADO PARA OPTAR AL DIPLOMA ACADÉMICO
DE LICENCIATURA EN INGENIERIA CIVIL

**“Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del
ensayo de carga horizontal con placa”**

POSTULANTE:

UNIV. RUBÉN FERNANDO YUJRA TINTAYA

TUTOR:

MSC. ING. ÁNGEL RAMOS MAITA

LA PAZ - BOLIVIA

2022



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

DEDICATORIA

A mis padres, Sra. Alicia Tintaya y Sr. Fernando Yujra, por brindarme su apoyo incondicional a lo largo de todos estos años.

Agradecimientos

A mi madre, Alicia Tintaya, por su inmenso cariño y abnegada dedicación ha sido la mejor madre que uno hubiese podido tener.

A mi padre, Fernando Yujra, quien con su ejemplo y valores han contribuido a formar una familia unida y con valores.

A mis hermanos, Javier, Fanny, Gonzalo, Lourdes, Jenny, Magaly y Jacqueline, por su incondicional apoyo.

A toda mi familia, por su cariño.

A mi tutor, MSc. Ing. Ángel Ramos Maita, por su ayuda, consejos y apoyo en todo momento desde la elección del tema hasta la concusión del mismo.

A mis tutores, MSc. Ing. Víctor Eduardo Bermejo Franco, Ing. Miguel Ángel Chuquimia Córdova, Ing. Hernán Lucio Flores Villca e Ing. Raúl Félix Velásquez Garzón.

Al personal administrativo, Sra. Lily Cuba, don Pablo y don Rodolfo.

A mis amigos Rudy y Sergio, por la ayuda que me brindaron durante la ejecución de los ensayos.

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBA DE UN EQUIPO PARA LA EJECUCIÓN DEL ENSAYO DE CARGA HORIZONTAL CON PLACA”

Univ. Rubén Fernando Yujra Tintaya; C.I.: 4801903 LP

Dirección: Calle 11, N° 20, Zona Alto Tejar; Teléfono: 69080463; Correo: rubenyujra@gmail.com

RESUMEN

El proyecto tiene como objeto el diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución de un ensayo de carga estática horizontal sobre placa; el equipo permitirá obtener valores del coeficiente de balasto horizontal y diagramas esfuerzo/deformación en condiciones cercanas a las reales.

Una vez fabricado el equipo, se ha realizado una prueba piloto para verificar la funcionalidad del mismo, en un suelo tipo CL – ML (Arcilla limosa arenosa), obteniéndose las correspondientes curvas esfuerzo – deformación, el coeficiente de balasto horizontal; además se ha realizado un análisis acerca de la determinación de la carga ultima del terreno objeto de estudio.

Luego de haber realizado la construcción del equipo y habiendo realizado la prueba piloto del mismo de manera satisfactoria, se concluye que el mismo puede ser utilizado para ensayos in situ.

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBA DE UN EQUIPO PARA LA EJECUCIÓN DEL ENSAYO DE CARGA HORIZONTAL CON PLACA”

RESUMEN

Este proyecto se refiere al diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución de un ensayo de carga estática horizontal sobre placa; el equipo permite obtener valores de coeficiente de balasto horizontal y las relaciones esfuerzo/deformación en condiciones cercanas a las reales.

Una vez fabricado el equipo se ha realizado una prueba piloto para verificar la funcionalidad del mismo en un suelo tipo CL – ML (Arcilla limosa arenosa), obteniéndose las correspondientes curvas esfuerzo – deformación y a partir de ellas determinar el coeficiente de balasto horizontal; también como resultado de los ensayos realizados se presenta un análisis del tipo de falla que presenta el terreno objeto de estudio.

Para el presente proyecto, también se ha realizado el ensayo SPT y los resultados obtenidos del mismo han sido confrontados con los obtenidos con el ensayo de placa.

**“DESIGN, CONSTRUCTION AND TESTING OF AN EQUIPMENT FOR THE
EXECUTION OF THE HORIZONTAL PLATE LOAD TEST”.**

ABSTRACT

This project refers to the design, construction and testing of an equipment for the execution of a horizontal static load test on plate; the equipment allows to obtain values of horizontal ballast coefficient and stress/strain ratios in conditions close to the real ones.

Once the equipment has been manufactured, a pilot test has been carried out to verify its functionality in a CL - ML type soil (sandy silty clay), obtaining the corresponding stress - deformation curves and from them determining the horizontal ballast coefficient; also as a result of the tests carried out an analysis of the type of failure that the soil under study undergoes is presented.

For the present project, the SPT test has also been carried out and the results obtained have been compared with those obtained with the plate test.



2 0 2 2 - T T E S - 3 4 0 - D - 2

**DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR
Y DERECHOS CONEXOS**
RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-864/2022
La Paz, 11 de Mayo del 2022

VISTOS:

La solicitud de Inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha **5 de Mayo del 2022**, por **RUBÉN FERNANDO YUJRA TINTAYA** con C.I. N° **4801903 LP**, con número de trámite **DA-325/2022**, señala la pretensión de inscripción del Proyecto de Grado titulado: **"Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa"**, cuyos datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en el Formulario de Declaración Jurada.

CONSIDERANDO

Que, en observación al Artículo 4º del Decreto Supremo N° 27938 modificado parcialmente por el Decreto Supremo N° 28152 el *"Servicio Nacional de Propiedad Intelectual SENAPI, administra en forma desconcentrada e integral el régimen de la Propiedad Intelectual en todos sus componentes, mediante una estricta observancia de los regímenes legales de la Propiedad Intelectual, de la vigilancia de su cumplimiento y de una efectiva protección de los derechos de exclusiva referidos a la propiedad industrial, al derecho de autor y derechos conexos; constituyéndose en la oficina nacional competente respecto de los tratados internacionales y acuerdos regionales suscritos y adheridos por el país, así como de las normas y regímenes comunes que en materia de Propiedad Intelectual se han adoptado en el marco del proceso andino de integración"*.

Que, el Artículo 16º del Decreto Supremo N° 27938 establece *"Como núcleo técnico y operativo del SENAPI funcionan las Direcciones Técnicas que son las encargadas de la evaluación y procesamiento de las solicitudes de derechos de propiedad intelectual, de conformidad a los distintos regímenes legales aplicables a cada área de gestión"*. En ese marco, la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos otorga registros con carácter declarativo sobre las obras del ingenio cualquiera que sea el género o forma de expresión, sin importar el mérito literario o artístico a través de la inscripción y la difusión, en cumplimiento a la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, Ley de Derecho de Autor N° 1322, Decreto Reglamentario N° 23907 y demás normativa vigente sobre la materia.

Que, la solicitud presentada cumple con: el Artículo 6º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26º inciso a) del Decreto Supremo N° 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.

Que, de conformidad al Artículo 18º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, referentes a la duración de los Derechos Patrimoniales, los mismos establecen que: *"la duración de la protección concedida por la presente ley será para toda la vida del autor y por 50 años después de su muerte, a favor de sus herederos, legatarios y cesionarios"*.

Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, y Artículo 7º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina que: *"...No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias, artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas ni su aprovechamiento industrial o comercial"*.

**"2022 AÑO DE LA REVOLUCIÓN CULTURAL PARA LA DESPATRIARCALIZACIÓN:
POR UNA VIDA LIBRE DE VIOLENCIA CONTRA LAS MUJERES"**



Signos Distintivos

Oficina Central - La Paz
Av. Montes, No 515,
entre Av. Uruguay y
C. Batallón Illimani,
Telfs.: 2115700 - 2119276
2119251 Fax: 2115700

Oficina - Santa Cruz
Av. Uruguay, Calle
prolongación Quijarro,
N° 29, Edif. Bicentenario,
Telfs.: 3121752 - 72042936

Oficina - Cochabamba
Calle Chuquisaca, N° 649,
Piso 2, entre Antezana y Lanza
zona Central - Noreste,
Telfs.: 4141403 - 72042937

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, N° 2560
Edif. Multicentro El Ceibo
Ltda. Piso 2, Of. 5B,
zona 16 de Julio,
Telfs.: 2141001 - 72043029

Oficina - Chuquisaca
Calle Kilómetro 7, N° 366
casi esq. Urriolagoitia,
zona Parque Bolívar,
Telf.: 72005873

Oficina - Tarija
Calle Ingavi, N° 385
entre Santa Cruz
y Méndez, zona
La Pampa,
Telf.: 72015286

Oficina - Oruro
Calle 6 de Octubre,
N° 5837, entre Ayacucho
y Junín, Galería Central,
Of. 14 (Ex Banco Fie),
Telf.: 67201288



Oficina - Potosí
Av. Villazón entre calles
Wenceslao Alba y San Alberto,
Edif. AM. Salinas N° 242,
Primer Piso, Of. 17.

Que, el artículo 4, inciso e) de la ley 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: "... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena fe. La confianza, la cooperación y la lealtad en la actuación de los servidores públicos y de los ciudadanos ...", por lo que se presume la buena fe de los administrados respecto a las solicitudes de registro y la declaración jurada respecto a la originalidad de la obra.

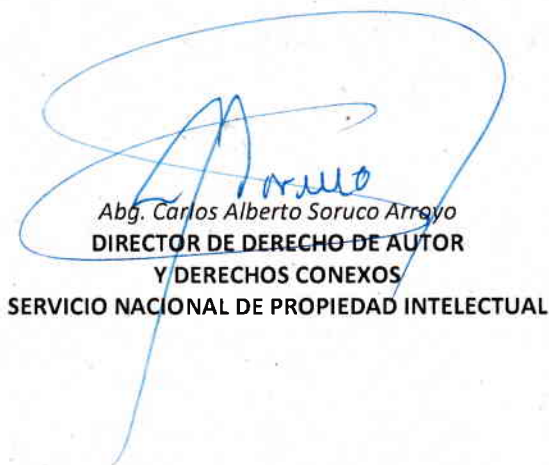
POR TANTO

El Director de Derecho de Autor y Derechos Conexos sin ingresar en mayores consideraciones de orden legal, en ejercicio de las atribuciones conferidas

RESUELVE:

INSCRIBIR en el Registro de Tesis, Proyectos de Grado, Monografías y Otras Similares de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos, el Proyecto de Grado titulado: "**Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa**", a favor del autor y titular: **RUBÉN FERNANDO YUJRA TINTAYA** con C.I. N° **4801903 LP**, quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudieren demostrar.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.



Abg. Carlos Alberto Soruco Arroyo
**DIRECTOR DE DERECHO DE AUTOR
Y DERECHOS CONEXOS**
SERVICIO NACIONAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL



Signos Distintivos

Oficina Central - La Paz
Av. Montes, No 515,
entre Av. Uruguay y
C. Batallón Illimani,
Telfs.: 2115700 - 2119276
2119251 Fax: 2115700

CASA/ijmf.
c.c. Arch.

**"2022 AÑO DE LA REVOLUCIÓN CULTURAL PARA LA DESPATRIARCALIZACIÓN:
POR UNA VIDA LIBRE DE VIOLENCIA CONTRA LAS MUJERES"**

Oficina - Santa Cruz
Av. Uruguay, Calle
prolongación Quijarro,
N° 29, Edif. Bicentenario.
Telfs.: 3121752 - 72042936

Oficina - Cochabamba
Calle Chuquisaca, N° 649,
Piso 2, entre Antezana y Lanza
zona Central - Moreste.
Telfs.: 4141403 - 72042957

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, N° 2560
Edif. Multicentro El Ceibo
Ltda. Piso 2, Of. 5B,
zona 16 de Julio.
Telfs.: 2141001 - 72043029

Oficina - Chuquisaca
Calle Kilómetro 7, N° 366
casi esq. Urriolagoitia,
zona Parque Bolívar.
Telf.: 72005873

Oficina - Tarija
Calle Ingavi, N° 385
entre Santa Cruz
y Méndez, zona
La Pampa.
Telf.: 72015286

Oficina - Oruro
Calle 6 de Octubre,
N° 5837, entre Ayacucho
y Junín, Galería Central,
Of. 14, (Ex Banco Fie).
Telf.: 67201288



Oficina - Potosí
Av. Villazón entre calles
Wenceslao Alba y San Alberto,
Edif. AM. Salinas N° 262,
Primer Piso, Of. 17.


AUTORIZACIÓN

En mi calidad de autor y titular del proyecto de Grado titulado: “Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa”, autorizo de manera expresa, que este pueda ser reproducido.

Por tanto, queda autorizada la reproducción o transmisión total o parcial del texto de la presente obra bajo cualquier forma, electrónica o mecánica, incluyendo que pueda ser fotografiado, fotocopiado, almacenamiento en algún sistema de recuperación de información, o grabado.

Por lo tanto, el gentil lector del presente trabajo está autorizado de sacar fotos, fotocopias u otros de la presente obra, por supuesto con el debido cuidado de para preservar la integridad de la misma.

Atte.



Rubén Fernando Yujra Tintaya

C.I.: 4801903 LP

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL



PROYECTO DE GRADO, PRESENTADO PARA OPTAR AL DIPLOMA ACADÉMICO
DE LICENCIATURA EN INGENIERIA CIVIL

**“Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del
ensayo de carga horizontal con placa”**

POSTULANTE:

UNIV. RUBÉN FERNANDO YUJRA TINTAYA

TUTOR:

MSC. ING. ÁNGEL RAMOS MAITA

LA PAZ - BOLIVIA

2022

CONTENIDO

Capítulo 1.	Consideraciones generales	1
1.1.	Introducción.....	1
1.2.	Justificación general	1
1.3.	Estado actual de los ensayos in situ.....	2
1.4.	Objetivos.....	3
1.4.1.	Objetivo general	3
1.4.2.	Objetivos específicos	3
1.5.	Alcance	4
Capítulo 2.	Marco teórico	5
2.1.	Aspectos generales del comportamiento esfuerzo – deformación.....	5
2.2.	Resistencia estructural de un suelo.....	7
2.3.	Interacción suelo – estructura	7
2.4.	El ensayo de carga vertical con placa.....	9
2.4.1.	Objeciones y limitaciones al ensayo de carga	12
2.5.	Ensayo de placa de carga horizontal.....	14
2.5.1.	Normativa	15
2.6.	Coefficiente de balasto.....	16
2.7.	Coefficiente de balasto horizontal	17
2.8.	Abaco de Chadeisson, Abaco de Monet y Abaco de Arozamena	19
2.9.	Módulo de Compresibilidad	21

2.10.	Módulo de Elasticidad (E).....	21
2.11.	Capacidad de carga ultima.....	22
2.12.	Algunos valores representativos.....	23
Capitulo 3.	Características del ensayo de carga horizontal.....	26
3.1.	Condiciones del ensayo	26
3.2.	Procedimiento de ensayo	26
3.2.1.	Preparación del lugar del ensayo.....	26
3.2.2.	Instalación del equipo de carga	27
3.2.3.	Colocado de dispositivos para la medición de asientos.....	28
3.2.4.	Carga inicial.....	28
3.2.5.	Determinación de cargas de ensayo.....	28
3.2.6.	Proceso de carga	28
3.2.7.	Proceso de descarga.....	30
3.2.8.	2do ciclo de carga	30
3.2.9.	Descarga 2do ciclo de carga	30
3.3.	Metodología para la ejecución del ensayo.....	30
Capitulo 4.	Diseño del equipo.....	32
4.1.	Placas de carga.....	32
4.2.	Dispositivo de carga	34
4.3.	Dispositivo de medición de carga.....	34
4.4.	Dispositivo para medición de asientos	34

4.5.	Dispositivos para mantener el equipo horizontal	37
4.6.	Herramientas varias	37
Capitulo 5.	Construcción del equipo.....	38
5.1.	Placas de carga.....	38
5.2.	Dispositivo de carga	39
5.3.	Dispositivo de medición de carga.....	40
5.4.	Dispositivo para la medición de asientos	45
5.5.	Dispositivos para mantener el equipo horizontal	46
Capitulo 6.	Ejecución del ensayo.....	48
6.1.	Elección del lugar de ejecución	48
6.2.	Preparación del terreno.....	48
6.3.	Instalación del equipo.....	53
6.4.	Realización del ensayo de carga con placa.....	57
6.5.	Clasificación de suelos y ejecución de ensayo SPT	57
Capitulo 7.	Resultados y análisis.	59
7.1.	Grafica esfuerzo – deformación	59
7.2.	Coefficiente de Balasto horizontal.....	61
7.3.	Clasificación del suelo.....	62
7.4.	Ensayo SPT.....	63
7.5.	Discusión de los resultados.....	63

7.5.1.	Forma de la curva esfuerzo deformación	63
7.5.2.	Relación entre los asentamientos que se produjeron en el ensayo y los esperados a escala real	66
7.5.3.	Determinación de la carga ultima	68
7.5.4.	El coeficiente de balasto horizontal y su relación con el coeficiente de balasto vertical	73
Capitulo 8.	Evaluación del equipo	74
8.1.	Problemas detectados en el uso del equipo	74
8.2.	Consideraciones acerca de las mejoras que se pueden aplicar	74
Capitulo 9.	Conclusiones y recomendaciones.....	75
Capitulo 10.	Bibliografía.....	76
Anexo I.	Diagramas Esfuerzo - Deformación.....	79
Anexo II.	Planillas de campo, Ensayo de Carga Horizontal	84
Anexo III.	Calculo Coeficiente de Balasto Horizontal Kh (Diagramas).....	98
Anexo IV.	Graficas Esfuerzo - Deformación para distintas áreas	102
Anexo V.	Clasificación de suelos	108
Anexo V.	Calculo del Esfuerzo Admisible (SPT).....	114
Anexo VII.	Planos	115
Anexo VIII.	Memoria Fotográfico	119
Anexo IX.	Módulos de reacción (Ing. Morrison).....	124

INDICE DE IMÁGENES

Figura 1.	Colapso de una agrupación inestable de partículas.....	5
Figura 2.	Curvas esfuerzo – deformación, en compresión confinada. Arena de Ottawa, porosidad inicial = 0.375.....	6
Figura 3.	Resultados de un ensayo edométrico en una arena calcárea, bien graduada de Libia	7
Figura 4.	Relación entre la reacción del suelo “P”, y el asiento “y”; Línea OA: Relación supuesta; Curva OC: Relación Real.....	9
Figura 5.	Arreglo típico para la ejecución del ensayo de placa en superficie. (Florida Research Report 68-B: Method Test (FM 5-527): Modifica AASHTO T-222-78, 2000).	11
Figura 6.	Resultados típicos de ensayos en un mismo sitio con diferentes tamaños de placa. Spangler & handy, 1984.....	13
Figura 7.	Variación de $q_{u(1)}/0.5\gamma B$ y $q_u/0.5\gamma B$ para placas circulares y rectangulares sobre la superficie de una arena. (adaptada de vesic, 1963). (De Vesic, A. B. Bearing Capacity of Deep Foundations in Sand. En Highway Research Record 39, Highway Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1963, Figura 28, p. 137. Reproducida con permiso del Transportation Research Board.) (Das, 2012).....	14
Figura 8.	Arreglo típico para ensayo de placa en las paredes de una excavación. Espinace r., 1979.	15
Figura 9.	Coeficiente de balasto (Leoni, 2000)	16
Figura 10.	Abaco de Chadeisson	19
Figura 11.	Abaco de Monet	20
Figura 12.	Abaco de Arozamena	20
Figura 13.	Naturaleza de la falla en suelo por capacidad de carga: (a) falla por corte general; (b) falla por corte local; (c) falla de corte por punzonamiento (reproducido de Vesic, 1973)	23
Figura 14.	Esquema de equipo propuesto.....	32

Figura 15. El esfuerzo transmitido a la placa de 1.20 representa el 6.25 % del que se transfiere a la placa de 030 m (Esquema de equipo propuesto, armado y visto de perfil).....	33
Figura 16. Distribución de esfuerzos verticales y cortantes máximos bajo un área circular uniformemente cargada.	33
Figura 17. Esquema del bastidor metálico.....	36
Figura 18. Esquema soportes para los extensómetros.	36
Figura 19. Esquema soportes para la gata hidráulica.	37
Figura 20. Esquema de armado y funcionamiento de la gata hidráulica.....	42
Figura 21. Imagen satelital del campus de Cota Cota.	48
Figura 22. Naturaleza de la falla en suelo por capacidad de carga: falla por corte local; (reproducido de Vesic, 1973).....	65
Figura 23. Determinación de “ $q_{u(1)}$ ”, para el ensayo PLT – 04.....	70

INDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1.	Ejecución del ensayo de placa en superficie.	10
Fotografía 2.	Equipo para la ejecución del ensayo de placa.	12
Fotografía 3.	Ejecución del ensayo de carga horizontal.....	18
Fotografía 4.	Excavación de la zanja para el ensayo.....	27
Fotografía 5.	Propuesta de cilindro hidráulico (gata hidráulica).....	34
Fotografía 6.	Extensómetro	35
Fotografía 7.	Ejecución del ensayo	35
Fotografía 8.	Disco de 1.20 m, en el taller	38
Fotografía 9.	Disco de 0.30 m, se puede apreciar los discos donde se colocarán la punta de los extensómetros	38
Fotografía 10.	Partes componentes de la gata hidráulica empleada.....	39
Fotografía 11.	La gata hidráulica se prueba en taller.	39
Fotografía 12.	Manómetro utilizado para medir las presiones del equipo	40
Fotografía 13.	Acople de la gata hidráulica, esta es la unión con el disco de 30 cm.	42
Fotografía 14.	Extensómetro (LITZ).....	45
Fotografía 15.	Accesorio para sostener los extensómetros.	45
Fotografía 16.	Soportes para mantener el equipo horizontal (gata hidráulica).	46
Fotografía 17.	Soportes para mantener la gata hidráulica de manera horizontal.	46
Fotografía 18.	Prueba del equipo.	47
Fotografía 19.	Excavación de zanja con retroexcavadora.....	49
Fotografía 20.	Se procuró que la zanja sea ancho reducido.	49
Fotografía 21.	Se han evaluado los sectores del talud que no estaban verticales.	50

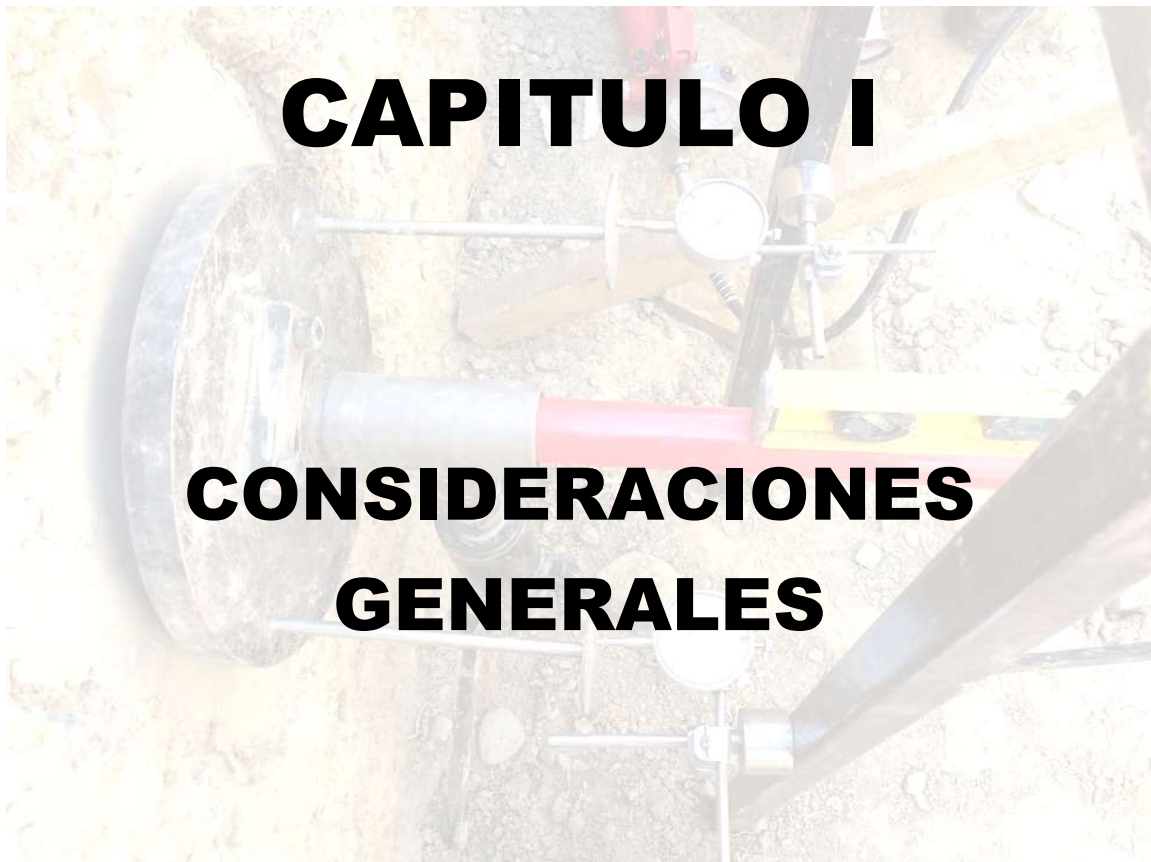
Fotografía 22. Se ha perfilado de manera manual la zanja.	50
Fotografía 23. Preparación del área de contacto del terreno.	51
Fotografía 24. Se procuró asegurar la verticalidad del terreno.	51
Fotografía 25. Empleo de Sika 3 para la fabricación del mortero.....	52
Fotografía 26. Mortero aplicado en el terreno.....	52
Fotografía 27. Verificación de la verticalidad del revoque.	53
Fotografía 28. Verificación de la horizontalidad del equipo.....	53
Fotografía 29. Armado preliminar del equipo.....	54
Fotografía 30. Se verifica el buen estado de los extensómetros.....	54
Fotografía 31. Con ayuda de un alicate se instalan los relojes comparadores a los porta extensómetros.	55
Fotografía 32. Colocado de bastidor para los extensómetros.....	55
Fotografía 33. Instalación de los extensómetros.	56
Fotografía 34. Extensómetros instalados.	56
Fotografía 35. Equipo instalado.	57
Fotografía 36. Ejecución del ensayo SPT.	58
Fotografía 37. Se extrajeron muestras del terreno.....	58
Fotografía 38. Soldado de agarraderas.....	119
Fotografía 39. Excavación de la zanja de pruebas.	119
Fotografía 40. Los dispositivos que sostienen el cilindro hidráulico cuentan con tornillos de nivelación.	120
Fotografía 41. Se ha realizado en laboratorio la clasificación de los suelos.....	120
Fotografía 42. Pesado de las muestras.	121
Fotografía 43. Determinación de los límites de consistencia.....	121
Fotografía 44. Aparato para la determinación del límite líquido (Casagrande).....	122

Fotografía 45. Masas listas para pesaje, para la determinación de la curva granulométrica.	122
Fotografía 46. Realizando el ensayo para determinar el limite plástico del suelo.	123
Fotografía 47. Verificación del reloj comparador en campo.	123

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Valores orientativos de parámetros geotécnicos, CTE.....	24
Tabla 2.	Tabla de valores del módulo de balasto o reacción.....	24
Tabla 3.	Tabla de valores del Coeficiente de Balasto.	25
Tabla 4.	Valores obtenidos del Coeficiente de Balasto Horizontal.....	61
Tabla 5.	Clasificación de suelos de las muestras extraídas.	62
Tabla 6.	Esfuerzo admisible, determinado por el ensayo SPT.....	63
Tabla 7.	Valores de Sf en mm, del ensayo PLT - 04.....	67
Tabla 8.	Determinación de Asentamiento máximo en mm, del ensayo PLT – 04.....	67
Tabla 9.	Recomendaciones del Comité Europeo para Estandarización de los parámetros de asentamiento diferenciales.	68
Tabla 10.	Estimación de la carga ultima q_{ul} , para el ensayo PLT - 04.	72
Tabla 11.	Estimación de la carga ultima q_{ul} , para la máxima carga alcanzada en PLT - 04. ..	72
Tabla 12.	Estimación del coeficiente de Balasto Vertical de los ensayos de placa realizados.	73

PROYECTO DE GRADO: “Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa”



Postulante: Univ. Rubén Fernando Yujra Tintaya

Capítulo 1. Consideraciones generales

1.1. Introducción

Los ensayos geotécnicos in situ (EGIS) constituyen una serie de técnicas variadas e independientes con un objetivo en común: la caracterización mecánica de las capas que componen el subsuelo a través de los parámetros medidos en el propio medio natural. En la ingeniería geotécnica son bien conocidos los ensayos de placa que permiten obtener relaciones esfuerzo - deformación en condiciones de campo en los que, a diferencia de los ensayos de laboratorio, la escala del ensayo se acerca a las condiciones reales del problema, en cuyo análisis, se utilizará la información obtenida en ellos; es por ello que su uso es corriente en la ingeniería geotécnica vial y de cimentaciones.

El presente trabajo presenta un equipo que permite ejecutar pruebas de carga horizontal, cuyos resultados podrán ser considerados para un análisis de las características mecánicas del suelo, a través del análisis de los valores obtenidos y del uso de correlaciones; cabe mencionar que el uso de modelos y correlaciones en la práctica geotécnica es un tema muy amplio y de un debate riguroso, es por ello que, en el presente trabajo no se pretende profundizar la discusión que el uso de este equipo puede acarrear y tan solo se presentaran consideraciones generales que podrán ser evaluadas inicialmente para la discusión.

1.2. Justificación general

En todo problema geotécnico, el conocimiento o la estimación de las deformaciones en relación a las cargas asociadas que transfiere una fundación al terreno natural, es uno de los problemas más importantes de los proyectos de ingeniería, es por ello que los ensayos de carga aportan importantes datos para el análisis del comportamiento del suelo en cuanto a su comportamiento ante la acción de cargas.

En el presente trabajo se plantea proponer un equipo para realizar un ensayo de carga de manera horizontal, el objeto principal de plantearlo de manera horizontal es debido a las dificultades que plantea realizar un ensayo de manera vertical, sobre todo por el camión y contrapeso que son necesarios para su ejecución, un ensayo de placa realizado de manera horizontal podrá darnos elementos de análisis que, apoyados con otros ensayos nos servirán para caracterizar mecánicamente el suelo estudiado.

1.3. Estado actual de los ensayos in situ

Los cálculos de geotécnicos de estabilidad, predicciones de asentos, etc., se realizan a partir de parámetros geotécnicos obtenidos mediante ensayos de laboratorio realizados sobre muestras inalteradas (en teoría); si bien se han realizado progresos en los métodos de toma de muestras intactas, siempre resulta ser una operación algo violenta que altera en mayor o menor medida las propiedades originales del suelo, otro inconveniente que se presenta es su modesta representatividad con respecto a la masa total del suelo y el hecho de que los ensayos suelen ser lentos y costosos por lo que a la vez se trata de limitar su número.

Los ensayos in situ, que no están exentos de crítica, permiten solicitar al suelo en su medio natural y en parte evitan la alteración inherente a las muestras. Por otra parte, presentan valiosas ventajas: son rápidos, relativamente económicos y proporcionan una abundante cantidad de datos.

Sin embargo, los conocimientos aportados por la nueva generación de ensayos de laboratorio permiten interpretar de una forma más completa las características del terreno con ellos y en si se puede afirmar que la mecánica del suelo en la forma en que hoy la conocemos, se sostiene sobre dos pilares que son: el laboratorio y los ensayos in situ.

ENSAYO DE CARGA DE PLACA

Los ensayos de placa de carga permiten determinar las características tensión – deformación de un terreno. Consisten en colocar una placa sobre el suelo natural, aplicar una serie de cargas y

medir las deformaciones. El resultado del ensayo se representa en un diagrama esfuerzo – deformación.

Este ensayo tiene muchas aplicaciones y arroja datos muy interesantes del terreno, sin embargo, es lento y necesita un camión como contrapeso (se debe tomar en cuenta que el camión en ciertos sitios no lograra entrar al sector del ensayo) pero, es fácil de hacer y proporciona datos reales, sin ensayos posteriores ni correlaciones intermedias.

En el presente trabajo se plantea realizar el ensayo de carga con placa de manera horizontal, y elaborar las curvas esfuerzo – deformación, y a partir de ello determinar parámetros mecánicos, como ser: el coeficiente de balasto horizontal, el módulo de compresibilidad (horizontal) del suelo y la resistencia ultima del suelo.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Este trabajo está dedicado al diseño, fabricación y prueba piloto de un equipo para la ejecución de ensayos de carga horizontal sobre placa, que permita obtener las curvas esfuerzo – deformación y a partir de ellas parámetros mecánicos del suelo.

1.4.2. Objetivos específicos

- Realizar el diseño, fabricación y prueba de un equipo para la ejecución de ensayos de carga horizontal sobre placa.
- Construir graficas de graficas esfuerzo – deformación para un tipo de suelo.
- Determinar el coeficiente de balasto horizontal del suelo.
- Realizar la clasificación del tipo de suelo elegido para las pruebas piloto mediante los criterios del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

1.5. Alcance

El alcance del presente trabajo, se refiere a la construcción el equipo para realizar pruebas de carga horizontal y realizar una prueba piloto. La prueba piloto planteada se realizará con solo un tipo de suelo, para lograr que la cantidad de ensayos sean de un volumen adecuado para garantizar una certidumbre en sus resultados.

Se plantea realizar una zanja y en ella se realizarán tres ensayos en el mismo tipo de suelo a una profundidad de al menos 1.50 m, esto por tratarse de pruebas piloto del equipo, ya que durante la ejecución de los ensayos se presentarán dificultades mismas que se reportarán y se darán solución de la manera más adecuada para garantizar la fiabilidad de los resultados.

El presente trabajo se refiere lógicamente al estudio de asentamientos instantáneos, ya sea por deformaciones elásticas, plásticas, o por la suma de las dos, pero en ningún caso, haremos intervenir los asentamientos por consolidación que deberán ser calculados y sumados a los valores acá determinados.

Como se había señalado inicialmente los valores obtenidos con el presente ensayo podrán ser considerados para un análisis de las características mecánicas del suelo, a través del análisis de los mismos y el empleo de correlaciones; el uso de modelos y correlaciones en la práctica geotécnica es un tema muy amplio y de un debate riguroso, es por ello que, en el presente trabajo no se pretende profundizar la discusión que el uso de este equipo puede acarrear y tan solo se presentaran consideraciones generales para un debate posterior.

PROYECTO DE GRADO: “Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa”



Postulante: Univ. Rubén Fernando Yujra Tintaya

Capítulo 2. Marco teórico

2.1. Aspectos generales del comportamiento esfuerzo – deformación

Las deformaciones experimentadas por un elemento de suelo son el resultado de las deformaciones internas y los movimientos relativos entre numerosas partículas que componen dicho elemento. Con el objeto de entender el comportamiento general esfuerzo – deformación del elemento, es necesario considerar lo que ocurre realmente en el interior del mismo. Fundamentalmente existen dos mecanismos en suelos granulares: la distorsión (y fractura) de las partículas, y el movimiento relativo entre partículas como resultado de deslizamiento o rodadura.

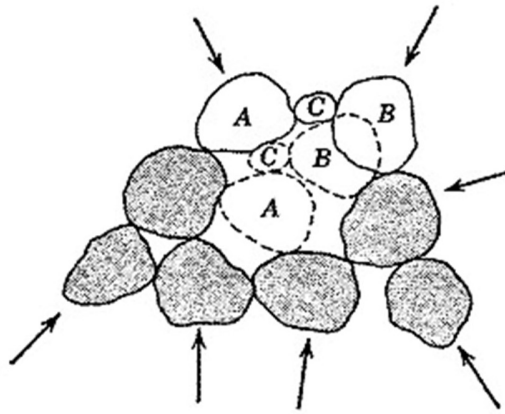


Figura 1. Colapso de una agrupación inestable de partículas
 Fuente: *Mecánica de suelos*. Lambe. (2004).

En la mayoría de los problemas de ingeniería los niveles de esfuerzo suelen ser suficientemente pequeños para que la fractura de partículas carezca de importancia. En estos problemas, las curvas típicas presión deformación para compresión confinada son el tipo que aparecen en las gráficas de la Imagen N° 2 (a) y (b). En general, la fracturación solo es importante cuando las presiones superan los 35 kg/cm². Presiones superiores a este valor se producen en presas de tierra muy altas y también en problemas que suponen el hundimiento de extensas zonas como resultado de la extracción de petróleo o agua de estratos profundos.

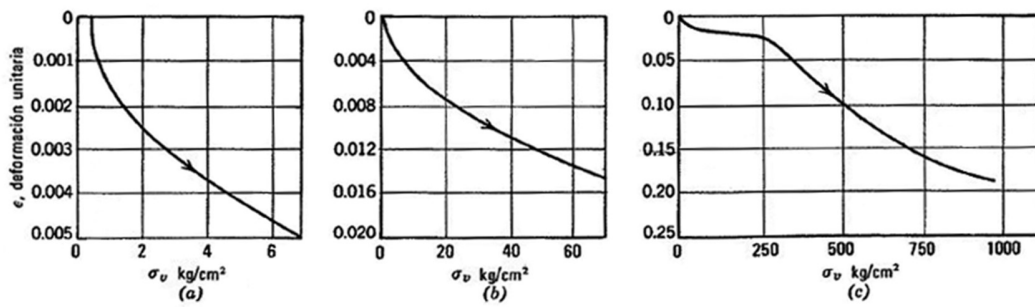


Figura 2. Curvas esfuerzo – deformación, en compresión confinada. Arena de Ottawa, porosidad inicial = 0.375

Fuente: Mecánica de suelos. Lambe. (2004).

COMPORTAMIENTO CARGA Y DESCARGA

En la Imagen N° 3 se puede apreciar el comportamiento de una un ensayo edométrico en una arena calcárea, bien graduada de Libia (Lambe, 2004), como se aprecia, solamente una parte de la deformación producida al aplicar la carga se recupera en la descarga subsiguiente. Las deformaciones debidas al deslizamiento entre partículas o a la fracturación de estas son en gran parte irreversibles. La recuperación en la descarga se debe a la energía elástica almacenada en las partículas al cargar el suelo. Sin embargo, existe realmente un cierto deslizamiento inverso entre partículas al descargar.

También en la Imagen N° 3, se puede apreciar que, para presiones inferiores a la máxima del primer ciclo de carga, la arena tiene una rigidez mucho mayor al volver a cargar que en la primera carga, ya que gran parte del deslizamiento potencial entre partículas ya se ha producido en el primer ciclo. Al volver a cargar la arena con presiones superiores a la máxima del primer ciclo, la curva presión – deformación es esencialmente la misma, como si no hubiese habido una descarga previa.

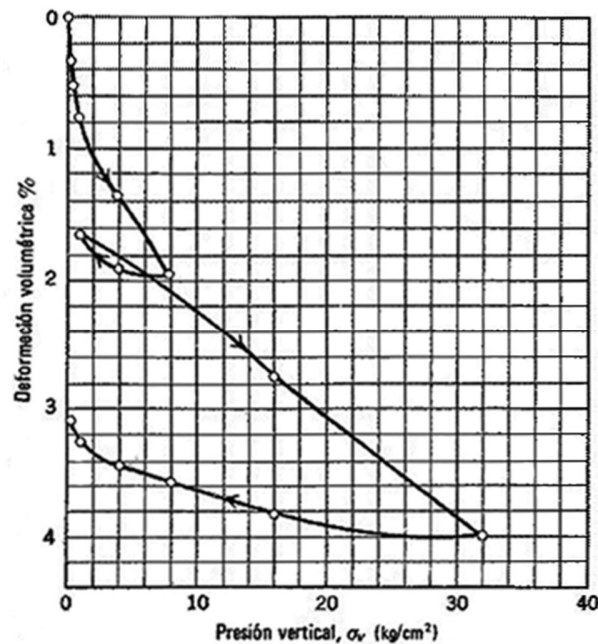


Figura 3. Resultados de un ensayo edométrico en una arena calcárea, bien graduada de Libia

Fuente: Mecánica de suelos. Lambe. (2004).

2.2. Resistencia estructural de un suelo

Tsytoich (1973), Prof. de la Univ. de Moscú de Mecánica de Suelos, introduce el concepto de la “Resistencia Estructural” de un suelo, que se refiere a que un suelo cuando es inicialmente sometido a una carga, sus deformaciones son muy pequeñas, y, para que las deformaciones sean mayores se necesitan romper unas uniones, una estructura, que es producto de su origen geológico, de su estado de esfuerzos y de la cementación y estructura química que tiene el suelo, es decir, “Hasta un cierto límite el suelo tiene un comportamiento muy rígido (sin reacomodo de partículas)”.

Se espera que en la primera etapa del ensayo se pueda apreciar este tipo de resistencia del suelo.

2.3. Interacción suelo – estructura

Actualmente para el análisis de la superestructura se han incorporado elementos muy sofisticados (matriciales, elementos finitos, correcciones por efectos no lineales, efecto $\Delta - P$), sin

embargo, en algunos casos resulta sorprendente ver que se mantiene la radical simplificación de las condiciones de contorno, al suponer (en el ámbito de la edificación convencional) la estructura empotrada. Si todo el análisis estructural se basa en la compatibilidad de desplazamientos entre los diferentes elementos que componen la estructura, al llegar a la cimentación esta premisa se olvida, se obvian estos factores y otros como ser la deformabilidad de la cimentación, como efecto de la compresibilidad del suelo, por tanto, de los asientos de la edificación.

Los recursos de cálculo disponibles hoy en día, hacen viable el estudio en conjunto de toda la estructura, hoy es factible abordar el tratamiento analítico global del conjunto: estructura – cimiento – suelo, recogiendo las interacciones entre las distintas partes del esqueleto existente.

Para poder asemejar el comportamiento lo más cercano a la realidad posible se han ido planteando diversas maneras de encarar la modelación de este comportamiento, uno de los más empleados es el método del Coeficiente de Balasto, si bien este método no se ajusta exactamente a la realidad, los resultados que históricamente ha proporcionado están avalados por la experiencia y abundantes estudios.

Con respecto a análisis lineal entre esfuerzos y deformaciones, en el artículo “INTERACCIÓN DEL SUELO, CIMIENTO Y ESTRUCTURA: EL CASO DE LAS ZAPATAS (1RA PARTE)”; se menciona: “.... Además, dado el ámbito de este estudio, métodos más precisos como el *MODELO HIPERBÓLICO – ELÁSTICO NO LINEAL*, no aportan mayor precisión en los resultados, por cuanto que, en edificación convencional, las tensiones transmitidas al terreno no son altas: la tensión admisible engloba un doble factor de seguridad suficiente frente a hundimiento y frente a asentamientos excesivos. Por esta razón la relación reacción del suelo/asiento se sitúa en la parte baja de la rama, que es, en todos los modelos propuestos, bien una recta o bien sustituible por una recta sin error apreciable, ” tal como se muestra en la imagen N° 4. (Freire Tellado, 2000)

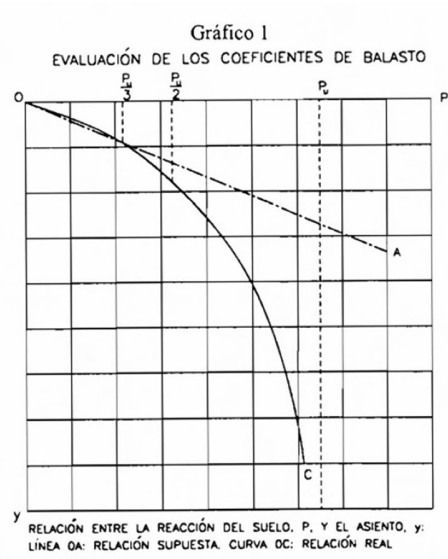


Figura 4. Relación entre la reacción del suelo “P”, y el asiento “y”; Línea OA: Relación supuesta; Curva OC: Relación Real

Fuente: Interacción del Suelo, Cimiento y Estructura: El caso de las Zapatas (1ra Parte). Freire Tellado, M. J. (2000).

Para realizar un análisis de la interacción suelo – estructura, se debe considerar:

- Características de la súper estructura, en cuanto a las solicitaciones que transmite.
- Características de la cimentación, forma y dimensiones.
- Características del suelo, en cuanto a la resistencia ultima y deformabilidad.

Para realizar este tipo de análisis el coeficiente de balasto es muy usado actualmente, sin embargo, el error que se puede cometer, es la manera de obtener este valor para ser usado en los diferentes programas computacionales. Con el presente trabajo se intenta presentar una manera opcional para calcular el coeficiente de balasto.

2.4. El ensayo de carga vertical con placa

El ensayo de placa es un procedimiento para determinar in situ la resistencia y compresibilidad de un suelo; consiste en la aplicación de cargas en el suelo utilizando para ello, una placa metálica rígida circular y un gato hidráulico. Con este ensayo se pueden verificar los asentamientos calculados a partir de los resultados de ensayos de consolidación y evaluar la capacidad portante

de suelos en los que la presencia de discontinuidades o de cantos de roca que impidan una adecuada evaluación a partir de muestras de campo.

Los resultados del ensayo se registran en un diagrama esfuerzo versus asentamiento (AASHTO t222, ASTM D1194, I.N.V.E. - 168, UNE 7-391-75).



Fotografía 1. Ejecución del ensayo de placa en superficie.

Fuente: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2014/02/07/ensayo-de-placa-de-carga/>

Los ensayos de placa son muy atractivos como una aproximación para la determinación de la capacidad portante del terreno y, bien podría afirmarse, imprescindibles en los casos en los que las características del suelo hacen difícil la evaluación de sus propiedades mecánicas en el laboratorio. Sin embargo, los resultados del ensayo, pueden conducir a conclusiones erradas a menos de que estén acompañados de una completa investigación del subsuelo que permita una adecuada interpretación de los resultados y la propuesta de un diseño geotécnico seguro. No sobra anotar que esta afirmación es igualmente válida para cualquier otro ensayo geotécnico.

Los resultados de este ensayo permiten determinar la capacidad portante de un suelo, los asentamientos asociados a una carga determinada, el módulo de reacción de la subrasante o

coeficiente de balasto, y coeficiente de elasticidad. Esta información es útil en el diseño de cimentaciones y pavimentos, en suelos naturales o compactados.

Los ensayos de placa pueden ser utilizados con bastante provecho para verificar los asentamientos calculados o la capacidad portante de depósitos de arena, de suelos cohesivos con discontinuidades, costras, o depósitos de ladera con cantos de roca; que manifiestan en los ensayos geotécnicos imprecisiones, debido muchas veces asentamientos diferenciales o a la heterogeneidad del material, casos en los cuales se dificulta relacionar los resultados de laboratorio, hasta ser prácticamente imposible la utilización de estos (Rodríguez, 1982).

La tensión de falla en el ensayo de placa normalmente se toma como el valor de la tensión en la inflexión en la curva esfuerzo versus asentamiento. Dado que esta inflexión puede no estar claramente definida, puede tomarse como la intersección entre dos tangentes significativas; ellas pueden ser la tangente inicial de la curva y la tangente en el punto donde el valor del ángulo de la tangente con la horizontal sea el doble del de la tangente inicial (Merlin Grant Spangler, 1982).

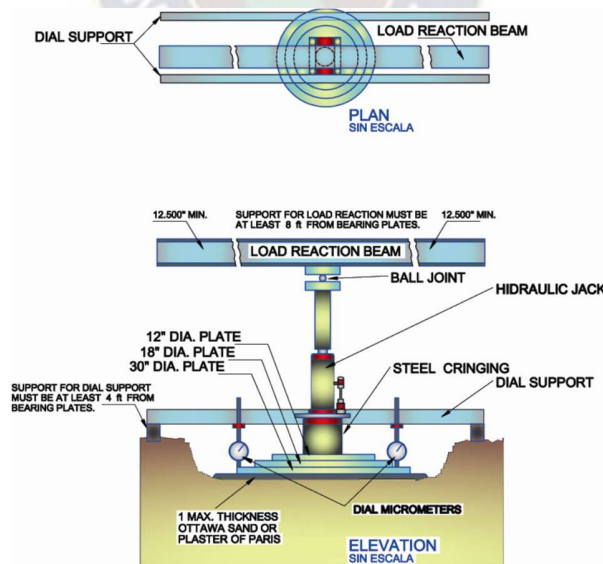
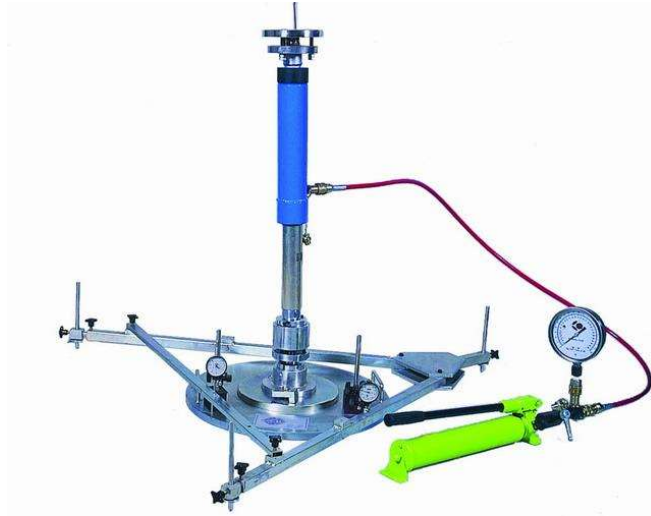


Figura 5. Arreglo típico para la ejecución del ensayo de placa en superficie. (Florida Research Report 68-B: Method Test (FM 5-527): Modifica AASHTO T-222-78, 2000).
 Fuente: Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga estático axial con placa en excavaciones para cimentaciones profundas. Jaime Alberto Ruiz Álvarez, I. C. (2010)



Fotografía 2. Equipo para la ejecución del ensayo de placa.
Fuente: <https://www.testmak.com/es/Conjuntos-de-Placa-de-Carga-de-Prueba>

2.4.1. Objeciones y limitaciones al ensayo de carga

Es importante entender las limitaciones que tiene el ensayo:

- La evaluación de la resistencia del suelo en un ensayo de placa varía con el tamaño de ésta. Si el ensayo se ejecuta sobre arena, la tensión máxima admisible aumenta con el tamaño de la placa debido a que el confinamiento del material aumenta con el tamaño de ella. Por el contrario, en los ensayos en suelos cohesivos dicha tensión disminuye con el tamaño de la placa, como está ilustrado en la Figura N° 6, debido a que la componente de la resistencia al cortante inmediatamente por debajo del perímetro de la placa, disminuye al aumentar el diámetro (Housel, 1956), lo cual debe tenerse en cuenta cuando se trate de definir la capacidad portante a partir de los ensayos de placa. El procedimiento usual para hacerlo es preparar un gráfico de tensiones de falla versus diámetro de placa y extrapolar al diámetro de la cimentación, con lo cual se obtiene la capacidad portante última.

- El valor del módulo de balasto no es función exclusiva del terreno, sino que depende también de las características geométricas de la cimentación e incluso de la estructura que esta sostiene, lo cual hace compleja la extrapolación de los resultados de los ensayos.
- En general el método de Winkler se puede aplicar al cálculo de cimentaciones rígidas y flexibles, si bien en el caso de cimentaciones rígidas las normas suelen permitir la utilización de leyes de tensiones lineales del terreno más simplificadas, dejándose la obligatoriedad del método del balasto para el cálculo de elementos flexibles en los que la distribución de tensiones es irregular.
- Este método proporciona información del suelo sólo hasta una profundidad igual a dos veces el diámetro de la placa a partir del nivel de ensayo, y toma en cuenta sólo parte del efecto del tiempo.

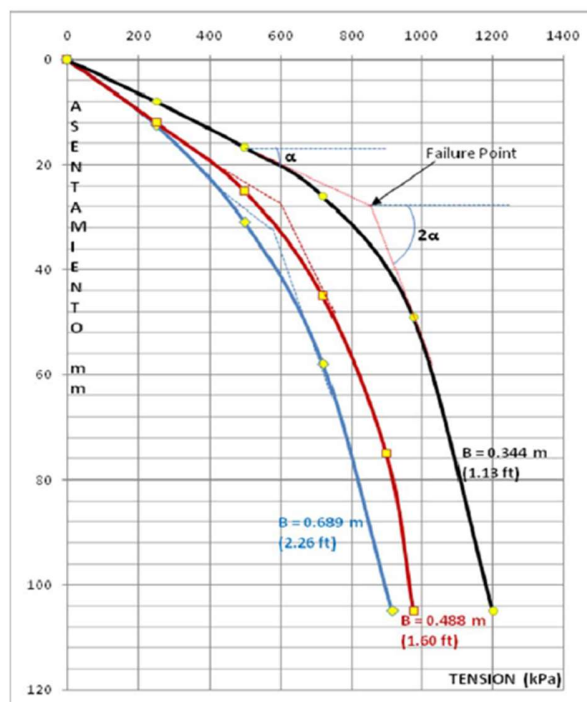


Figura 6. Resultados típicos de ensayos en un mismo sitio con diferentes tamaños de placa. Spangler & handy, 1984.

Fuente: Leoni, I. A. (2000). *Apunte de Coeficiente de Balasto*. Ed. La Plata: U.N.L.P

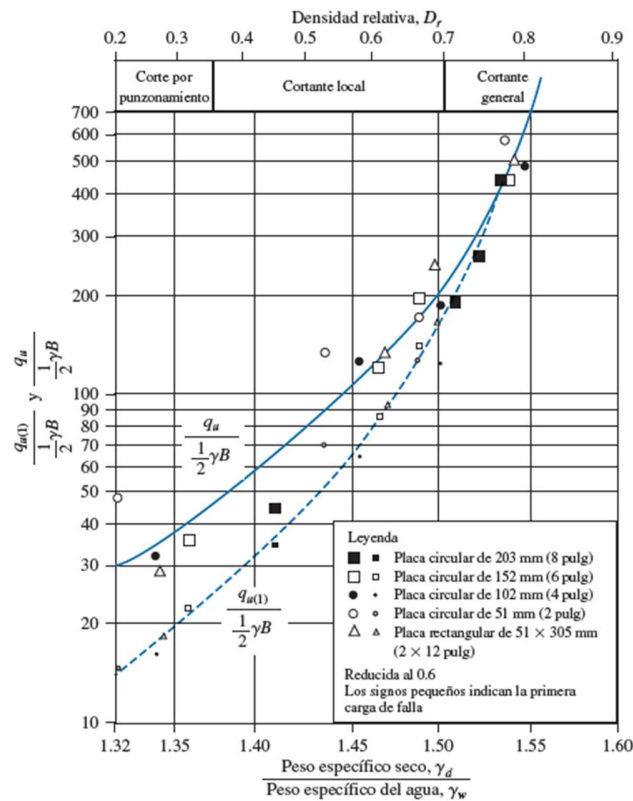


Figura 7. Variación de $q_u(1)/0.5\gamma B$ y $q_u/0.5\gamma B$ para placas circulares y rectangulares sobre la superficie de una arena. (adaptada de vesic, 1963). (De Vesic, A. B. *Bearing Capacity of Deep Foundations in Sand*. En *Highway Research Record 39*, Highway Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1963, Figura 28, p. 137. Reproducida con permiso del Transportation Research Board.) (Das, 2012)

Fuente: Das, B. M. (2006). *Ingeniería de Cimentaciones*.

2.5. Ensayo de placa de carga horizontal

Este es un método simple, confiable que no reemplaza el ensayo de placa de carga vertical; además de ser menos costoso nos entrega parámetros de cálculos reales y representativos. Es muy usado en rubros como la minería y en la construcción de túneles ya que permite conocer la resistencia al corte del suelo y su empuje horizontal, por ello es usado también en cálculos de estabilidad de taludes.

En este ensayo se utilizan dos placas de acero, la primera tiene un diámetro de 1,20 mt., y un espesor de 1", la segunda es de 30 cm. De diámetro con el mismo espesor (Imagen N° 8). Se utiliza

también, un gato hidráulico que posee un manómetro para la aplicación de las cargas y para medir la deformación se utilizan dos diales micrométricos sostenidos por vigas portadales.

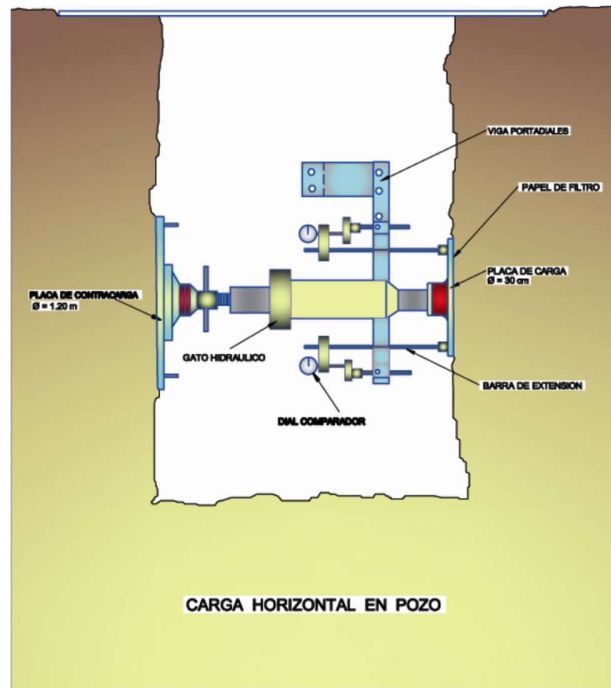


Figura 8. *Arreglo típico para ensayo de placa en las paredes de una excavación. Espinace r., 1979.*

Fuente: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7628>

2.5.1. Normativa

El presente trabajo se ha basado en los criterios enunciados en:

- NLT – 357/98, Ensayo de carga con placa (norma española).
- NC 11 : 1998, geotecnia, métodos de ensayo de carga sobre placa en suelos (norma cubana).
- ASTM D 1194-94. Ensayo de carga estático con placa

Cabe aclarar que a la fecha no existe normativa ASTM, ni UNE aprobada para el ensayo de carga horizontal, y este trabajo se ha basado en la interpretación y adecuación de la normativa establecida para un ensayo vertical.

2.6. Coeficiente de balasto

En la Imagen N° 9 se representa la definición del coeficiente de balasto vertical como la recta secante que une el esfuerzo capaz de generar un asentamiento de 0,05” de una placa de 30 cm x 30 cm de lado (un pie cuadrado) en el terreno. La penetración de 0,05” equivale a 1,27 mm. En otras palabras, el coeficiente de balasto vertical es la pendiente de la recta que une el origen de coordenadas con el punto de la curva “esfuerzo – asentamiento” para un asentamiento de la placa de 1,27 mm. La curva esfuerzo - asentamiento es homóloga a la de esfuerzo - deformación en el sentido de que ambas reflejan la no linealidad en la respuesta del suelo ante las cargas externas.

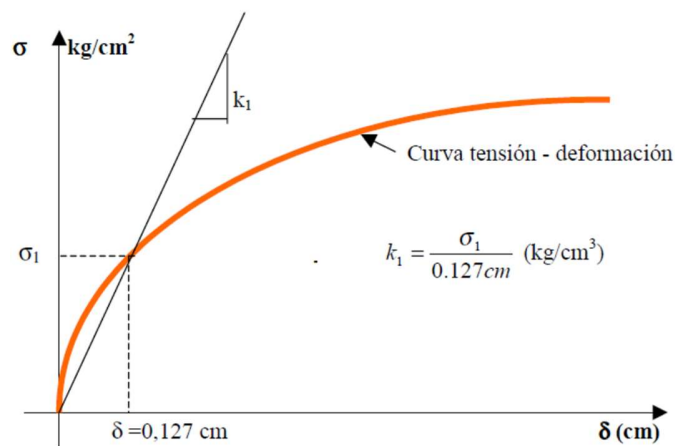


Figura 9. Coeficiente de balasto (Leoni, 2000)
 Fuente: Leoni, I. A. (2000). *Apunte de Coeficiente de Balasto*.

Los resultados de estos ensayos se expresan con la letra “k” donde por lo general se asocia el subíndice 1 adosado a la letra k, para indicar que el valor corresponde a una placa rígida de 1 pie² “k1”.

El valor de 1,27 mm para el asentamiento se considera apropiado ya que el bulbo de esfuerzos para un plato de 30 cm de lado (un pie) alcanza unos 75,6 cm por debajo del mismo, con lo cual la deformación vertical estaría en el orden de 0,17% a 0,2%, es decir, bastante por debajo del 1%. Considerando que en general el pico de las curvas esfuerzo deformación de la mayoría de los suelos

se obtiene a deformaciones entre 0,3% y 2% para ensayos triaxiales y de compresión sin confinar, el módulo obtenido al 0,2% de deformación es adecuado para trabajar en la zona inicial de carga antes de alcanzar el pico de la resistencia del suelo.

Ahora bien, para el caso de una fundación de ancho, B, en el terreno la zona de influencia dada por el bulbo de esfuerzos se extiende hasta una profundidad de al menos dos veces y media el lado de la fundación (2,5 B). Para esas condiciones debemos limitar los asentamientos verticales, z, tal que,

$$\frac{z}{2.5*B} \leq 0.2\% \quad (1)$$

Lo anterior implica asentamientos por debajo de 10 mm para una fundación de 2 m de ancho, lo cual es generalmente satisfecho. En caso de no satisfacer esta condición, el suelo tomará menos carga y se deformará más de lo esperado al acercarse al pico de la curva esfuerzo deformación.

Nótese que las unidades del coeficiente de balasto vertical se expresan en kg/cm²/cm, es decir, el cambio en el esfuerzo por cada cm de desplazamiento. En ocasiones algunos autores lo expresan como kg/cm³.

2.7. Coeficiente de balasto horizontal

En infinidad de problemas de ingeniería, interesa conocer el valor del coeficiente de balasto horizontal “kh”, siendo los más conocidos el cálculo de pantallas y las cargas horizontales sobre pilotes.

El módulo de balasto no es una constante del terreno, sino que depende del problema estudiado y de su geometría. Recordemos que, en el modelo de Winkler, este coeficiente es un parámetro que se define como la relación entre la presión “p” que actúa en un punto y el desplazamiento “y” que se produce en dicho punto:

$$k_h = \frac{p}{y} \quad (2)$$



Fotografía 3. Ejecución del ensayo de carga horizontal.

Fuente: <https://ingenieroleoni.com/servicios/ensayos-de-carga/>

Como ya se indicó el coeficiente de balasto no solo depende del tipo de terreno si no de la estructura que interactúa con el mismo, es por ello que cuando se obtenga un coeficiente de balasto horizontal, este no podrá ser utilizado de manera mecánica para el análisis de muros pantalla, en caso de que se quiera realizar un análisis para este tipo de estructuras se deberá recurrir a otro tipo de consideraciones, tal como se menciona en el artículo “*Cálculo retrospectivo del coeficiente de balasto horizontal a partir de mediciones de desplazamientos en pantallas del Metro de Sevilla*” (2015), donde se menciona: “...En este artículo se presenta un ábaco con los valores del coeficiente de balasto horizontal para el cálculo de pantallas en Sevilla. Dichos valores se han extrapolado a partir del comportamiento real en obra de las pantallas, medido con inclinómetros, durante las distintas fases de excavación Los resultados alcanzados se sintetizan en forma de ábaco para que lo aprendido con la experiencia pueda ser aplicado en futuros trabajos... teniendo en cuenta también que el uso de los valores de Chadeisson está muy extendido entre los proyectistas, se decide tomar éstos como punto de partida del análisis primario....., la comparación entre los resultados obtenidos en los cálculos utilizando Rido y Cype, con la

instrumentación, muestra que los cálculos (con K_h de Chadeisson) no son fiables para predecir el comportamiento de las pantallas..... (Arozamena, P., Jaramillo, A., Oteo, C., 2015)”. Por lo tanto, como puede observarse, la obtención del coeficiente de balasto para pantallas tiene su complejidad y debe ser encarada con la mayor responsabilidad.

2.8. Abaco de Chadeisson, Abaco de Monet y Abaco de Arozamena

Como una de los objetivos del presente trabajo consiste en dar un valor del coeficiente de balasto para el terreno estudiado se presentan los ábacos tradicionalmente son los más empleados, para la estimación del coeficiente de balasto horizontal.

ABACO DE CHADEISSON (1961) – Arenas y arcillas

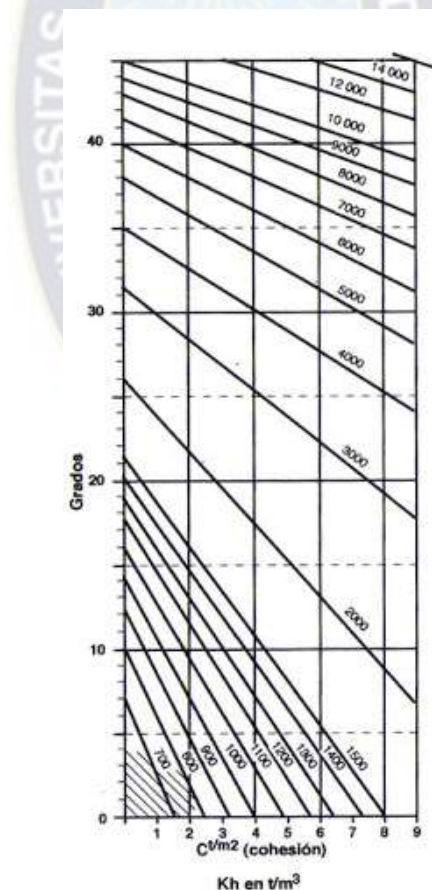


Figura 10. Abaco de Chadeisson

Fuente: <https://estructurando.net/2019/09/10/breve-resumen-del-coeficiente-balasto-horizontal-pantallas/>

ABACO DE MONET (1995)

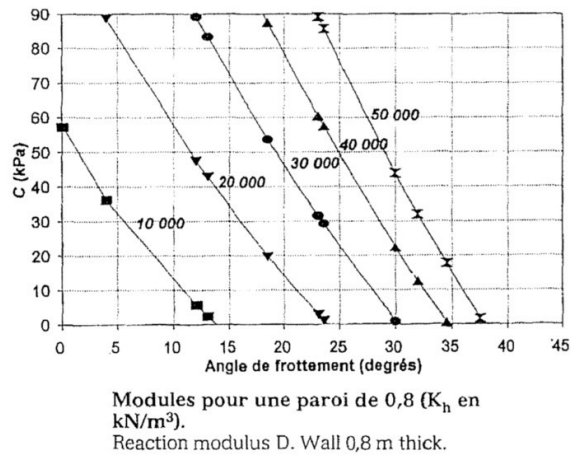


Figura 11. Abaco de Monet

Fuente: <https://estructurando.net/2019/09/10/breve-resumen-del-coeficiente-balasto-horizontal/>

ABACO DE AROZAMENA (2015)

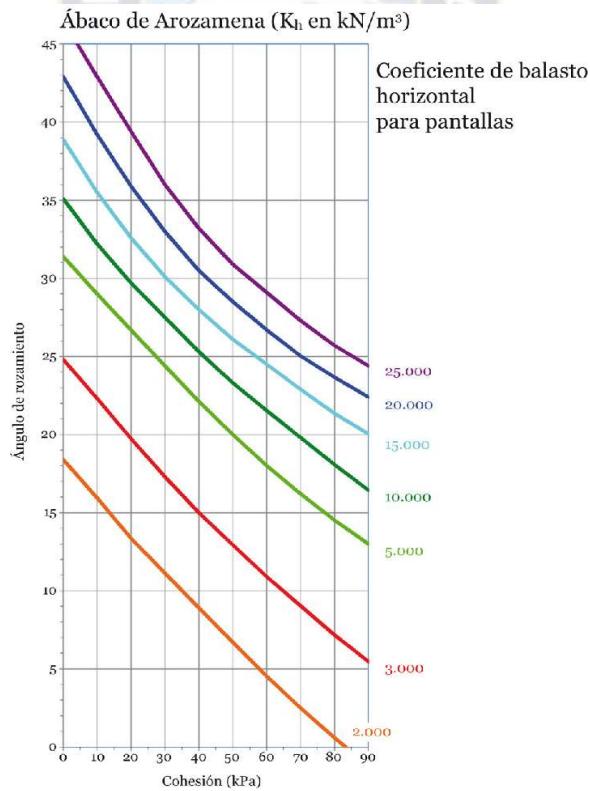


Figura 12. Abaco de Arozamena

Fuente: <https://estructurando.net/2019/09/10/breve-resumen-del-coeficiente-balasto-horizontal/>

Los valores del coeficiente de balasto horizontal, obtenidos con estos ábacos solo deberían servir de manera referencial.

2.9. Módulo de Compresibilidad

Este módulo E_v , es una magnitud característica de la deformabilidad del suelo. Sus valores se calculan de la curva carga – asientos en un primer ciclo de carga y en un segundo ciclo de carga, a partir de la inclinación de la secante entre los puntos $0.30\sigma_{1\max}$ y $0.70\sigma_{1\max}$ por medio de la expresión (NLT – 357/98 - Ensayo de carga con placa).

$$E_v = 1.5 * r * \frac{\Delta\sigma \left[\frac{MN}{m^2} \right]}{\Delta s} \quad (3)$$

Donde:

σ_{01} : Tension normal media bajo la placa, para $0.3 \sigma_{m\acute{a}x} \left(\frac{MN}{m^2} \right)$

s_1 : Asentamiento medio de la placa correspondiente a la presion anterior (mm)

σ_{02} : Tension normal media bajo la placa, para $0.7 \sigma_{m\acute{a}x} \left(\frac{MN}{m^2} \right)$

s_2 : Asentamiento medio de la placa correspondiente a la presion anterior (mm)

r : Radio de la placa de carga (mm)

2.10. Módulo de Elasticidad (E)

Para calcular el Módulo de Elasticidad Boussinesq estableció un método analítico aplicable a las placas circulares rígidas.

$$E = \frac{\pi * (1 - \nu^2)}{3} * E_v \quad (4)$$

Donde:

E = Módulo de Deformación (Mpa)

ν = Coeficiente de Poisson

E_v = Módulo de Compresibilidad (Mpa)

2.11. Capacidad de carga última

Cuando se diseñan las cimentaciones se procura que sean seguras ante la falla por corte general del suelo que la soporta, la cimentación tampoco puede experimentar un asentamiento excesivo (el término excesivo es relativo, porque el grado de asentamiento en una estructura depende de varias consideraciones).

Se considera que un suelo falla cuando a medida que se va incrementando la carga por unidad de área, el suelo experimenta un asentamiento repentino, y podemos afirmar que existen tres tipos típicos de falla.

FALLA POR CORTE GENERAL

Este tipo de fallas se presenta generalmente en arena densa o suelo cohesivo firme, conforme la carga aplicada se va incrementando y en cierto punto existe una falla repentina del suelo que soporta a la cimentación y la superficie de falla se extenderá hasta la superficie del terreno, la carga que provoca la falla repentina se denomina q_u , denominada generalmente "capacidad última de la cimentación".

FALLA POR CORTE LOCAL

Se presenta sobre suelo arenoso o arcilloso, medianamente compactado (Imagen N° 13), un incremento de carga sobre la cimentación está acompañado de asentamientos. Sin embargo, en este caso la superficie de falla se extenderá gradualmente hacia afuera de la cimentación. Cuando la carga alcance el valor de q_u , el movimiento de la cimentación estará acompañado por sacudidas repentinas, más allá de este punto, una mayor carga irá acompañada de un gran incremento del asentamiento. Observe que un valor máximo de "q" no se presenta en este tipo de falla.

FALLA DE CORTE POR PUNZONAMIENTO

Cuando el suelo es bastante suelto, la gráfica carga – asentamiento será como lo muestra la Imagen N° 13. En este caso, la superficie de falla en el suelo no se extenderá hasta la superficie del terreno. Más allá de la carga ultima de falla q_u , la gráfica carga – asentamiento se inclinará y prácticamente será lineal.

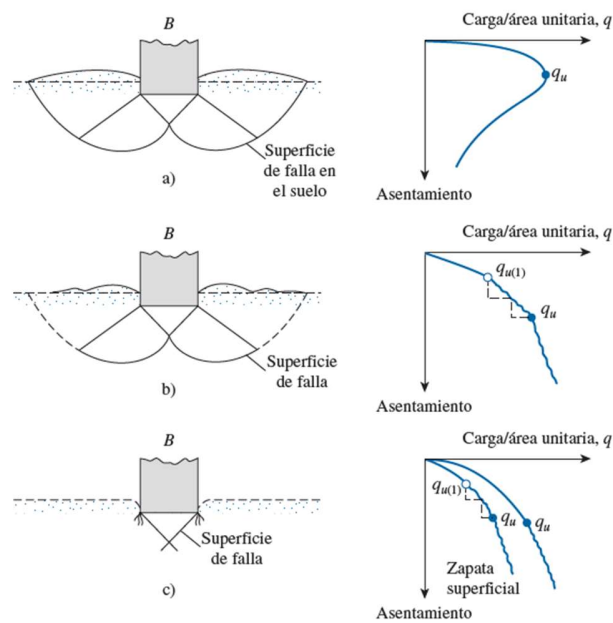


Figura 13. Naturaleza de la falla en suelo por capacidad de carga: (a) falla por corte general; (b) falla por corte local; (c) falla de corte por punzonamiento (reproducido de Vesic, 1973)

Fuente: Das, B. M. (2012). Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones. México

2.12. Algunos valores representativos

A continuación, se presentan algunos valores referenciales de las características mecánicas de algunos tipos de suelos.

Las primeras tablas se presentan en el CODIGO TECNICO DE LA EDIFICACION (CTE), conjunto de normativas que regulan la construcción de edificios en España, del capítulo referido a cimientos se extraen las siguientes tablas:

Tabla D.23. Valores orientativos de N_{SPT} , resistencia a compresión simple y módulo de elasticidad de suelos

Tipo de suelo	N_{SPT}	q_u (kN/m ²)	E (MN/m ²)
Suelos muy flojos o muy blandos	< 10	0 - 80	< 8
Suelos flojos o blandos	10 - 25	80 - 150	8 - 40
Suelos medios	25 - 50	150 - 300	40 - 100
Suelos compactos o duros	50 - Rechazo	300 - 500	100 - 500
Rocas blandas	Rechazo	500 - 5.000	500 - 8.000
Rocas duras	Rechazo	5.000 - 40.000	8.000 - 15.000
Rocas muy duras	Rechazo	> 40.000	>15.000

Tabla D.24. Valores orientativos del coeficiente de Poisson

Tipo de suelo	Coefficiente de Poisson
Arcillas blandas normalmente consolidadas	0,40
Arcillas medias	0,30
Arcillas duras preconsolidadas	0,15
Arenas y suelos granulares	0,30

Tabla 1. Valores orientativos de parámetros geotécnicos, CTE

Fuente: Secretaría General de Vivienda, D. G. (2019). CTE Documento Basico SE - C, Seguridad estructural Cimientos. Madrid: Ministerio de Fomento, Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda.

En la bibliografía especializada también se encuentra:

Visión Primaria	Grupo de suelos y descripción típica	Símbolo	K (kgs/cm ³)
Gravas y suelos con grava	Gravas con buena granulometría o mezclas de arena y grava. Pocos finos.	GW	14 - 20
	Mezclas de arcillas - arena - grava, con buena granulometría, excelente trabazón.	GC	11 - 20
	Gravas con pobre granulometría y mezclas de arena y grava. Pocos finos.	GP	8 - 14
	Gravas con finos, gravas limosas, gravas arcillosas. Mezclas arcilla, arena y grava con mala granulometría.	GF	7 - 14
Arenas y suelos arenosos	Arenas con buena granulometría y arenas con grava. Pocos finos.	SW	7 - 16
	Mezclas de arenas y arcillas con buena granulometría. Excelente trabazón.	SC	7 - 16
	Arenas con mala granulometría. Pocos finos.	SP	5.5 - 9
	Arenas con finos, arenas limosas, arenas arcillosas. Mezclas arena - arcilla con mala granulometría.	SF	5 - 9
Suelo de grano fino con baja o media plasticidad	Limos inorgánicos y arenas finas. Polvo rocoso, arenas finas limosas o arcillosas con ligera plasticidad.	ML	4 - 8.5
	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.	CL	3.5 - 6
	Limos orgánicos y limo - arcillas de baja plasticidad.	OL	3 - 5
Suelos con grano fino de plasticidad alta	Suelos arenosos finos, con mica o tierra de diatomeas, limos elásticos.	MH	1.5 - 5
	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta, arcilla gruesas.	CH	1.5 - 4
	Arcillas inorgánicas de plasticidad media a alta.	OH	1.5 - 3.5

Tabla 2. Tabla de valores del módulo de balasto o reacción.

Fuente: J. Calavera (1991). Calculo de Estructuras de Cimentación. (4ta ed.).

Cuadro 1. Valores propuestos del Coeficiente de Balasto K_{s30}		
TIPO DE SUELO	Módulo de Deformación E_0 (kg/cm ²)	Coeficiente de Balasto K_{s30} (kg/cm ³)
Suelo fangoso	11,00 a 33,00	0,50 a 1,50
Arena sea o húmeda, suelta (N_{SPT} 3 a 9)	0,16H a 0,48H	1,20 a 3,60
Arena seca o húmeda, media (N_{SPT} 9 a 30)	0,48H a 1,60H	3,60 a 12,00
Arena seca o húmeda, densa (N_{SPT} 30 a 50)	1,60H a 3,20H	12,00 a 24,00
Grava fina con arena fina	1,07H a 1,33H	8,00 a 10,00
Grava media con arena fina	1,33H a 1,60H	10,00 a 12,00
Grava media con arena gruesa	1,60H a 2,00H	12,00 a 15,00
Grava gruesa con arena gruesa	2,00H a 2,66H	15,00 a 20,00
Grava gruesa firmemente estratificada	2,66H a 5,32H	20,00 a 40,00
Arcilla blanda (q_u 0,25 a 0,50 kg/cm ²)	15 a 30	0,65 a 1,30
Arcilla media (q_u 0,50 a 2,00 kg/cm ²)	30 a 90	1,30 a 4,00
Arcilla compacta (q_u 2,00 a 4,00 kg/cm ²)	90 a 180	4,00 a 8,00
Arcilla dura (q_u 4,00 a 10,00 kg/cm ²)	180 a 480	8,00 a 21,00

(Jiménez, 1980).

Tabla 3. Tabla de valores del Coeficiente de Balasto.
Fuente: Jiménez, 1980.

Los valores que se han presentado servirán de referencia para el análisis de los resultados obtenidos en el presente trabajo.



PROYECTO DE GRADO: "Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa"



CAPITULO III

CARACTERISTICAS DEL ENSAYO DE CARGA HORIZONTAL

Postulante: Univ. Rubén Fernando Yujra Tintaya

Capítulo 3. Características del ensayo de carga horizontal

3.1. Condiciones del ensayo

El ensayo de carga con placa con placa puede realizarse sobre distintos tipos de suelo, ya sean de granulometría gruesa, media o fina, y que varíen de rígidos a firmes. Directamente debajo de la placa, no debe encontrarse material granular con tamaño superior a una cuarta parte del diámetro de la placa (7.50 cm).

En el caso de que se trate de arenas de granulometría uniforme, de arenas que se resequen con rapidez, de suelos que formen costras o se reblandezcan transitoriamente en superficie, así como de suelos que se alteren de cualquier otro modo en su capa superior, el ensayo de carga con placa debe realizarse siempre, por debajo de la primera capa afectada. La densidad del suelo que se ha de estudiar debe mantenerse lo más inalterada posible.

En el caso de suelos de granulometría fina (arenas sueltas, arcillas), el ensayo de carga con placa solo podrá realizarse y valorarse adecuadamente cuando aquellos posean una consistencia que varíe de rígida a firme. Por esta razón en caso de duda, se determinará el contenido de agua del suelo a diferentes profundidades hasta llegar a $2r$ (r = radio de la placa) por debajo de la superficie del punto de medición, ya que este influye de forma decisiva en el resultado de ensayo.

Se debe tener en cuenta que el resultado del ensayo de carga de placa puede estar afectado por el contenido de humedad del suelo, por lo que conviene asegurar que este sea representativo de las condiciones para las que se pretende ensayar el suelo.

3.2. Procedimiento de ensayo

3.2.1. Preparación del lugar del ensayo

Se deberá excavar por los métodos convenientes la zanja en la cual se realizará el ensayo, en caso de emplear equipo pesado se deberá evitar que este toque el terreno contiguo al ensayo; la última etapa de la excavación será realizada a mano.

Se deberá procurar que el sector en el cual se aplique la carga este plana y uniforme, utilizando para ello las herramientas correspondientes, evitando alterar el terreno.

En caso de existir demasiadas irregularidades se podrá emplear un mortero de cemento + arena fina + aditivo acelerante, para rellenar las imperfecciones que se presenten.

El inicio del ensayo deberá ser realizado de la manera más pronta posible, evitando que la zanja pierda la humedad natural que presenta o en caso de prolongarse el tiempo se deberá cubrir el sector.



Fotografía 4. Excavación de la zanja para el ensayo.

Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Instalación del equipo de carga

Se sitúa la placa en el lugar elegido y se presiona de forma que el contacto entre el suelo y la placa de tal manera que no queden puntos en los que no exista contacto entre el suelo y aquella, en caso de que existan muchas irregularidades se podrá emplear un mortero de cemento + arena + aditivo.

En caso de emplear mortero se deberá verificar el fraguado del mismo con la ayuda de los restos que hayan caído al piso en el momento de su aplicación.

De manera inicial se introduce en la zanja el disco de 1.20m y se lo asegura con los dos bastones contruidos para tal efecto.

Se coloca el cilindro hidráulico en la posición horizontal correspondiente con la ayuda de los apoyos correspondientes, el cilindro debe estar unido a los dos discos de 1.20 m y 0.30 m antes de colocarlo en posición.

Una vez en posición el equipo se debe hacer funcionar el equipo hidráulico a fin de acercar el cilindro de 0.30 m a la pared de manera firme.

3.2.3. Colocado de dispositivos para la medición de asientos

Una vez colocado el disco de 30 cm se instalarán los dispositivos de mediciones de las deformaciones producidas (reloj comparador), para ello se emplearán los dispositivos fabricados para tal efecto.

3.2.4. Carga inicial

Inicialmente se aplicará al suelo una carga igual a la carga geológica, excepto en los ensayos superficiales o poco profundos, descontando de esta el peso muerto del equipamiento (en nuestro caso utilizaremos esta carga para realizar el asiento del equipo). En esta etapa inicial de carga no se tienen en consideración el asentamiento registrado por los indicadores, por lo tanto, al cesar de moverse las agujas bajo esta carga se sitúan los indicadores en “cero”.

3.2.5. Determinación de cargas de ensayo

Las cargas de ensayos se aplicarán al suelo en forma de incrementos acumulativos, procurando que sean de igual magnitud, pero no mayores que 1/10 de la capacidad de carga estimada del suelo a ensayar, y en ningún caso superior a 100 kpa (1 kg/cm²).

3.2.6. Proceso de carga

- El proceso de carga debe incluir, como mínimo, seis escalones con intervalos aproximadamente iguales entre ellos. El intervalo de tiempo entre dos escalones de carga sucesivos debe ser de dos minutos, como mínimo.

- En los ciclos de carga y descarga únicamente se puede pasar al nivel siguiente cuando las variaciones de levantamiento o asentamiento, tomadas cada 2 minutos, no sean superiores a 0.2 mm/min. La carga aplicada debe permanecer constante durante los diferentes escalones de carga.
- Aplicar la carga al suelo en incrementos iguales y acumulativos no mayores que 1.0 ton/ft² (95 kpa) (1.08 kg/cm²), o no más de un décimo de la capacidad portante estimada para el terreno a ser ensayado.
- El ensayo se llevará hasta la carga prevista por la programación realizada para el ensayo (siempre que contenga por lo menos 5 incrementos de carga).
- Después de aplicar cada incremento de carga, mantener la carga constante por un intervalo de tiempo seleccionado no menor que 15 minutos. Intervalos de tiempo mayores deben ser determinados manteniendo la carga constante hasta que el asentamiento cese o hasta que la razón de asentamiento sea uniforme. Mantener el mismo intervalo de tiempo seleccionado para cada incremento de carga en todo el ensayo.
- Mantener un registro continuo de todos los asentamientos. Realizar mediciones del asentamiento tan pronto como sean posibles antes y después de la aplicación de cada incremento de carga, y en intervalos de tiempos iguales cuando ésta es mantenida constante. Realizar por lo menos 6 mediciones del asentamiento entre las aplicaciones de carga.
- Término del ensayo: continuar cada ensayo hasta que la carga pico sea alcanzada o hasta que la relación de incremento de carga a incremento de asentamiento resulte un mínimo. Si existe suficiente carga disponible, continuar el ensayo hasta que el asentamiento total alcance por lo menos el 10% del diámetro de la placa, a menos que una falla bien definida sea observada.

3.2.7. *Proceso de descarga*

- El proceso de descarga se debe realizar en tres escalones: 50%, 25% y 0% de la carga máxima
- Después de terminar las observaciones para el último incremento de carga, liberar la carga aplicada en aproximadamente tres decrementos iguales. Continuar registrando la recuperación del suelo hasta que la deformación cese, o por un período no menor que el intervalo de tiempo seleccionado para la carga.

3.2.8. *2do ciclo de carga*

- Una vez finalizada la descarga, se realiza otro nuevo ciclo de carga, aunque solo se debe llegar hasta el penúltimo escalón de los aplicados en el primer ciclo, a fin de permanecer dentro de la condición de precarga.

3.2.9. *Descarga 2do ciclo de carga*

- Una vez que se alcanza el esfuerzo máximo del segundo ciclo de carga se procede a realizar la descarga de manera análoga a la primera carga (50%, 25% y 0%).

Para comprobar el segundo ciclo de carga, se puede efectuar, después de la descarga total por etapas del segundo ciclo, un tercer ciclo de carga en forma análoga, pero aplicando después del segundo nivel de carga, inmediatamente, la carga final del segundo ciclo, sin necesidad de aplicar las cargas correspondientes a las etapas intermedias.

3.3. Metodología para la ejecución del ensayo.

La metodología planteada es la siguiente:

ELECCIÓN DEL ÁREA DE PRUEBAS DE CAMPO

- Se elegirá un área en la cual se puedan realizar los ensayos necesarios, el tipo de terreno a elegirse lo constituirá un terreno en el cual se puedan realizar el ensayo de carga de placa, según las limitaciones señaladas en la normativa vigente.

- El tipo de suelo a elegir lo constituirá un suelo en el cual la presencia de rocas y grava esté presente en una fracción mínima para que el suelo a analizarse tenga la mayor homogeneidad posible, sin la presencia de elementos de discontinuidad apreciables.

TRABAJO DE CAMPO

- De acuerdo al procedimiento normado el trabajo de campo se lo realizara en dos jornadas, en cada una de ellas se trabajará en una zanja diferente sobre el mismo tipo de terreno para obtener al menos en cada zanja tres ensayos, para que puedan sobre estos hacer los análisis correspondientes.
- Al término de cada ensayo se obtendrá una muestra del terreno analizado para que pueda realizarse el ensayo de caracterización del tipo de suelo, para mantener la humedad natural del terreno se cubrirá esta muestra con una cobertura de plástico y se la sellara con una cinta aislante para evitar la pérdida de la humedad natural del terreno.

TRABAJO DE LABORATORIO

En el laboratorio se realizarán los ensayos para la clasificación del tipo de suelo:

- Análisis granulométrico (ASTM D422)
- Límites de consistencia (ASTM D4318)

ANALISIS DE RESULTADOS

Haciendo el análisis en gabinete se presentarán los resultados obtenidos.

PROYECTO DE GRADO: "Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa"



Postulante: Univ. Rubén Fernando Yujra Tintaya

Capítulo 4. Diseño del equipo

Se realizará el diseño del equipo a emplearse, en base a lo mencionado en la norma ASTM D 1194 y demás documentos técnicos.

4.1. Placas de carga

Se construirán 2 placas circulares, rígidas de acero de 0.30 m y 1.20 m de diámetro y espesor de 25 mm cada una, maquinadas de tal forma que puedan ser adosadas al equipo empleado para aplicar la presión al terreno.

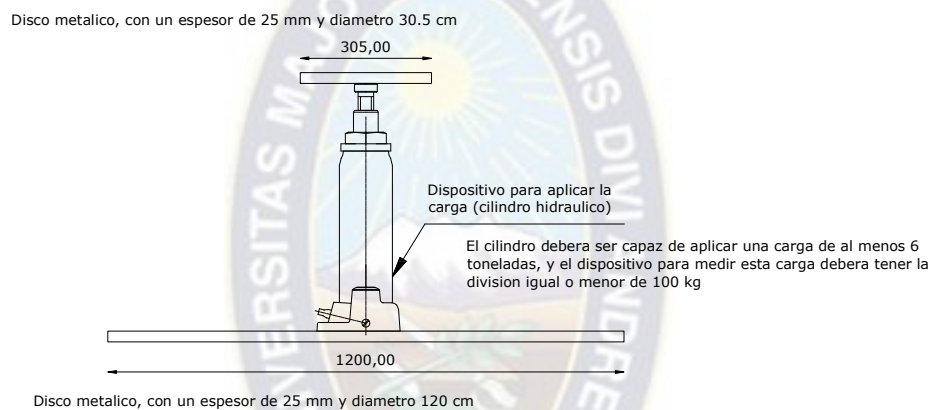


Figura 14. Esquema de equipo propuesto

Fuente: Elaboración propia

La intención de tener dos placas de distinto diámetro será para que el esfuerzo transmitido a la placa de mayor diámetro sea considerado muy bajo y por lo tanto las deformaciones sean consideradas despreciables.

A manera de ejemplo se puede observar que cuando se ejerza una fuerza en el equipo de 850.00 kg-f, se ejercerán sobre las placas de carga esfuerzos de 1.20 y 0.08 kg/cm², lo que implica que el esfuerzo que transmite la placa de mayores dimensiones tan solo representa el 6.25% del esfuerzo que transmite la placa de menor dimensión, en todo caso este esfuerzo constituirá un error que debería ser considerado dentro de análisis de los resultados del ensayo.

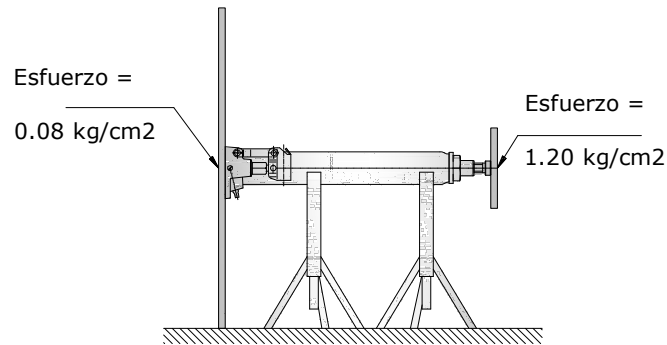


Figura 15. El esfuerzo transmitido a la placa de 1.20 representa el 6.25 % del que se transfiere a la placa de 030 m (Esquema de equipo propuesto, armado y visto de perfil)
 Fuente: Elaboración propia

AREA DE INCIDENCIA DEL ESFUERZO APLICADO

Con respecto al área en la cual tiene existirá una influencia de la carga se va a aplicar, se tomará en cuenta el análisis que realizo L. Jürgenson (*The application of theories of Elasticity and Plasticity to foundation problems – Contributions to Soil Mechanics – Boston Society of Civil Engineers – 1925 – 1940*), quien presenta una solución general para el caso de un área circular uniformemente cargada, que permite calcular los esfuerzos verticales y los cortantes máximos en cualquier punto del medio semi infinito, lo mencionado se representa en la Imagen N° 21.

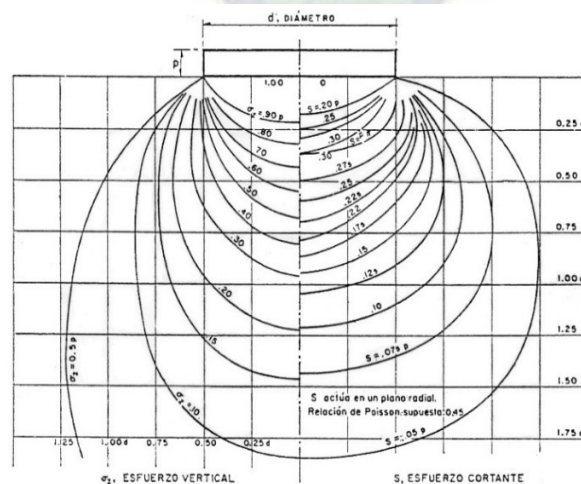


Figura 16. Distribución de esfuerzos verticales y cortantes máximos bajo un área circular uniformemente cargada.

Fuente: Rodríguez, J. B.-R. (2005). *Mecánica de suelos - Tomo II. México D.F.*

Como puede observarse la influencia de la carga tiene un radio de $1.25D$, desde el eje de la carga circular y en profundidad tiene relevancia la carga ejercida hasta una profundidad de $1.75D$, es decir, la inspección que haremos con la placa de 0.30 m , tendrá representatividad de esta muestra de suelo. Es decir, estaríamos analizando una muestra de 0.75 m de diámetro y una profundidad de 0.52 m (hasta un máximo de 0.75 m).

4.2. Dispositivo de carga

Se empleará una un cilindro hidráulico, de suficiente capacidad para proveer y mantener la carga máxima estimada para las condiciones específicas del suelo, pero no será menor de 5 ton . Esto garantiza que al menos se ejercerá una presión sobre las paredes de la zanja de 7 kg/cm^2 .



Fotografía 5. Propuesta de cilindro hidráulico (gata hidráulica)

Fuente: <https://baradero.clasiar.com/venta-de-partes-de-excavadora-hyundai-id-226377>

4.3. Dispositivo de medición de carga

Para registrar la fuerza aplicada por la gata hidráulica se debe contar con un medidor de presión (manómetro), un anillo de carga o una celda de carga electrónica. Estos dispositivos deberían de ser capaces de registrar la carga con un error que no exceda de $\pm 2\%$ del incremento de carga.

4.4. Dispositivo para medición de asentos

Se requiere de 2 extensómetros, capaces de medir el asentamiento de la placa de carga con una precisión de por lo menos 0.01 pulgadas (0.25 mm).



Fotografía 6. Extensómetro

Fuente: <https://www.a.ubuy.com.kw/en/product/OQKYG00-mitutoyo-2046s-0-01mm-x-10mm>



Fotografía 7. Ejecución del ensayo

Fuente: <https://ingenieroleoni.com/servicios/ensayos-de-carga/>

Como puede apreciarse, para medir las deformaciones que experimenta el suelo necesitamos:

- Una base donde se coloquen los extensómetros, que no sufra ningún tipo de movimiento.
- Una manera de que los extensómetros se adhieran a esta base
- Se deberá tener una flexibilidad en cuanto a la manera de cómo se van a poder colocar los extensómetros y la facilidad de su lectura.

Para lograr estos requisitos se ha diseñado un soporte metálico que ira empotrado en el suelo lejos del área de influencia teórico del ensayo, de tal manera que pueda servir de soporte para los extensómetros, el bastidor se realizara con un perfil cuadrado de $1\frac{1}{4}$ "x $1\frac{1}{4}$ ", en la parte baja deberá

terminar en punta afilada de tal manera que pueda introducirse al suelo de tal manera de constituir un apoyo empotrado.

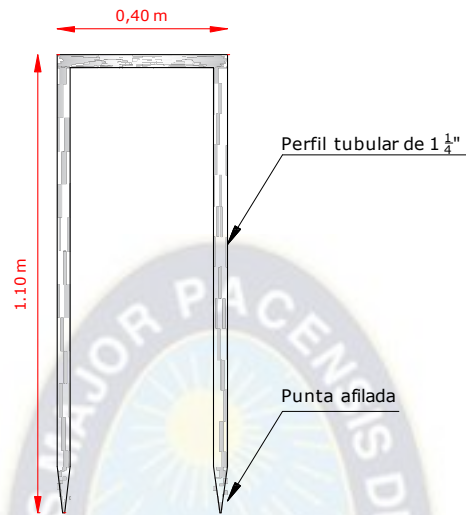


Figura 17. Esquema del bastidor metálico.
Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, para sujetar los extensómetros se ha diseñado un accesorio que se sujetara al bastidor mediante una base magnética y con una movilidad en los tres ejes.

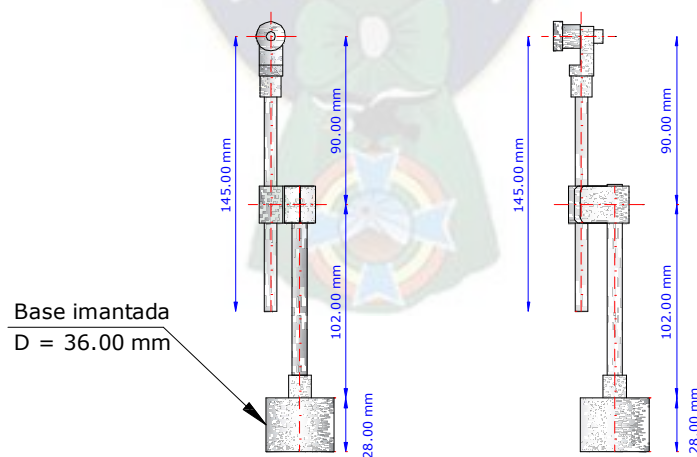


Figura 18. Esquema soportes para los extensómetros.
Fuente: Elaboración propia

4.5. Dispositivos para mantener el equipo horizontal

Se han diseñado dos pedestales en los cuales se puede colocar el equipo (gata hidráulica) y tienen la ventaja de poder ser calibrados para mantener la horizontalidad del equipo, mediante tornillos ajustables.

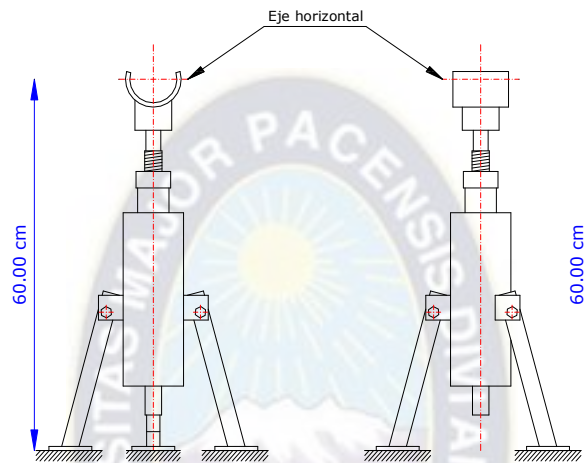


Figura 19. Esquema soportes para la gata hidráulica.
Fuente: Elaboración propia

4.6. Herramientas varias

- Reloj cronometro.
- Nivel de mano
- Regla graduada
- Otros instrumentos y herramientas de la construcción incluyendo nivel de burbuja.

PROYECTO DE GRADO: “Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa”



CAPITULO V

CONSTRUCCION DEL EQUIPO

Postulante: Univ. Rubén Fernando Yujra Tintaya

Capítulo 5. Construcción del equipo

Para la construcción del equipo se ha contratado los servicios de un taller de tornería, que, con equipo, herramientas y el personal adecuado ha realizado la construcción de este equipo conforme lo planificado, a continuación, se da una explicación de cada parte con las características específicas de los equipos, por otra parte, se adjunta en anexos los planos definitivos de cada uno de los componentes.

5.1. Placas de carga

Se han construido dos placas de carga de 1.20 m y 0.30 m, ambas de 25 mm de espesor de acuerdo al diseño.



Fotografía 8. *Disco de 1.20 m, en el taller*
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 9. *Disco de 0.30 m, se puede apreciar los discos donde se colocarán la punta de los extensómetros*
Fuente: Elaboración propia

5.2. Dispositivo de carga

En nuestro caso se está empleando un equipo hidráulico (gata) de 10 toneladas de capacidad de carga, de las siguientes características:

Marca: Ferton Professional

Capacidad: 10 toneladas

El equipo cuenta con varios accesorios que ayudan a que la “gata hidráulica” pueda cumplir distintas funciones, una característica importante del equipo es que tiene la posibilidad de poder alargarse el brazo de la gata hidráulica con el acople de extensiones de diversos tamaños, esto por supuesto es muy conveniente puesto que nos ayudara a acomodarnos a los distintos tamaños de zanjas.



Fotografía 10. Partes componentes de la gata hidráulica empleada.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 11. La gata hidráulica se prueba en taller.
Fuente: Elaboración propia

5.3. Dispositivo de medición de carga

Debido a que, el equipo para aplicar la fuerza (gata hidráulica) carecía de un dispositivo para la medición de la presión que genera, se adaptó mediante un niple un manómetro de las siguientes características:

- MARCA: Wika – España
- RANGO: 0 a 600 Bar
- SUB DIVISIONES: Existen unas sub divisiones repartidas en un rango de 270°
- CLASE: I



Fotografía 12. Manómetro utilizado para medir las presiones del equipo
 Fuente: Elaboración propia

Como puede observar en el equipo se tiene la inscripción EN 837 – 1 (Norma Europea), esta norma rige como deben estar repartida la numeración, las sub divisiones, como se debe de tener en cuenta la clase y cuanto puede llegar a fallar.

El equipo es de Clase I, de manera general podemos decir que corresponde a un instrumento de medición portátil. El empleo de este manómetro garantiza un error máximo de lectura del 1%, es decir, el error absoluto que se comete por el uso del instrumento es:

$$E = \frac{Clase * A_{max}}{100\%} \quad (5)$$

$$E = \frac{1\% * 600 \text{ bar}}{100\%} = 6 \text{ bar} \quad (6)$$

Por ejemplo, una lectura de 100 bar se debería representar: $100 \pm 6 \text{ bar}$.

La clase de un instrumento permite calcular el error de clase del mismo, el cual es la indicación que nos brinda el fabricante sobre la calidad del equipo.

Se puede apreciar una marca tipo triángulo negro que señala la marca de 600 bar, la norma EN 837 - 1 define en el punto 9.4 «Manómetros que no pueden ser sometidos al valor final» (1) y «Manómetros que sí que pueden ser sometidos al valor final» (2). Normalmente los manómetros del punto (1) se fabrican con elementos sensibles fabricados en cobre, mientras los manómetros más resistentes con capacidad de aguantar presiones (2) hasta su valor final son de acero inoxidable. Estas últimas versiones de mejor calidad están marcadas con un triángulo negro al final de la escala para identificar el valor máximo de exposición a presión. En el presente caso debido a la presencia de la marca se puede afirmar que el manómetro puede registrar la presión máxima sin comprometer su integridad.

De acuerdo a la norma ASTM D 1194, para registrar la fuerza aplicada por la gata hidráulica se debe contar con un medidor de presión (manómetro), que debería ser capaz de registrar la carga con un error que no exceda de $\pm 2\%$ del incremento de carga, por lo tanto, el aparato de medida cumple con lo solicitado.

LECTURA DE CARGA APLICADA

La manera de medición del esfuerzo se lo realiza a partir de este manómetro que mide la presión que ejerce el líquido hidráulico de la gata, ahora bien, la manera de la transmisión de la carga se ejemplifica en el siguiente gráfico:

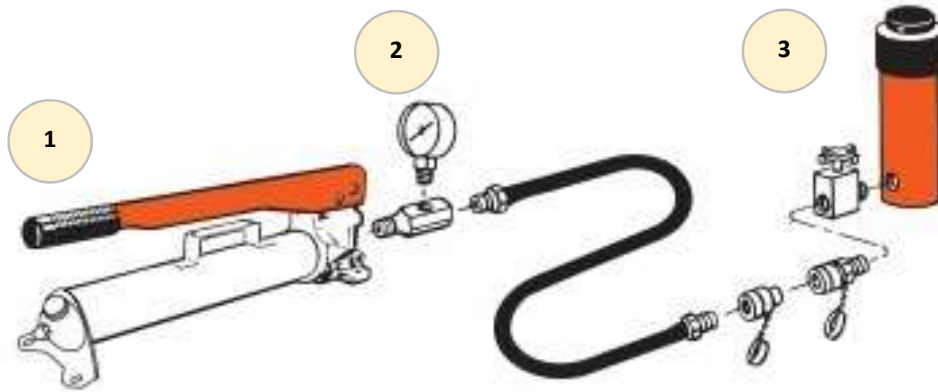


Figura 20. Esquema de armado y funcionamiento de la gata hidráulica

Fuente: Elaboración propia

La manera de medición de la carga se lo realiza de la siguiente manera:

1. Con la palanca se realiza el incremento de presión en la gata hidráulica, maniobra que hace que el líquido hidráulico mueva el pistón de la gata.
2. Para medir la presión ejercida por el equipo se tiene un manómetro, el que mide la presión (en Bares), que el aceite hidráulico imprime a los elementos de la gata.
3. El aceite hidráulico empuja el pistón mostrado y este incide en la placa de 0.30 m.

En la siguiente fotografía se muestra el pistón que se halla directamente el contacto con la placa de 0.30 m.

Diámetro = 3.30



Fotografía 13. Acople de la gata hidráulica, esta es la unión con el disco de 30 cm.

Fuente: Elaboración propia

El pistón estará bajo la acción de la presión que se indica en el barómetro, entonces se ha procedido de la siguiente manera para determinar el esfuerzo que está transmitiendo la placa al terreno, para realizar el cálculo se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

Diámetro del pistón: 3.30 cm

Factor de conversión utilizado: 1 Bar = 1.02 kg/cm²

A manera de ejemplo, vamos a suponer que el manómetro registra una presión de 100 Bar y debemos determinar que presión se está transmitiendo al terreno; no debemos olvidar que la fuerza máxima que puede aplicar la gata según las especificaciones de fábrica es de 10 toneladas, por supuesto, que esta fuerza no debe ser superada y se tendrá el cuidado de mantener un esfuerzo máximo por debajo de este límite.

El cálculo se lo ha realizado de la siguiente manera:

I. Cálculo de la fuerza que se ejerce sobre el pistón

Area en que actúa la presión (A)

$$P = 100.00 \text{ Bar}$$

Calculemos la presión en kg/cm²:

$$1 \text{ Bar} = 1.02 \text{ kg/cm}^2$$

$$P = 102.00 \text{ kg/cm}^2$$



La presión "P", es la presión que el pistón está aplicando a la placa de 0.30 m

Ahora, calculemos el área de acción:

$$D = 3.30 \text{ cm}$$

$$\text{Area} = 8.55 \text{ cm}^2$$

Por lo tanto, la fuerza que se está ejerciendo sobre la placa es de:

$$F(\text{kg}) = \text{Presión} \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) * \text{Área}(\text{cm}^2)$$

$$F = 872.40 \text{ kg}$$

II. Cálculo del esfuerzo que se aplica sobre la placa de 0.30 m

Analizamos la placa de 30 cm:

$$D = 30.00 \text{ cm}$$

$$\text{Area} = 706.86 \text{ cm}^2$$

Con estos datos calculamos el esfuerzo que actúa sobre el terreno

$$\sigma \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) = \frac{F(\text{kg})}{A(\text{cm}^2)}$$

$$\sigma = 1.23 \text{ kg/cm}^2$$

Area que actúa sobre el terreno



Entonces, cuando el barómetro indica una presión de 100 Bares, sobre el terreno se está aplicando un esfuerzo de 1.23 kg/cm²; sin embargo, no se debe perder de vista que para producir este esfuerzo la gata ha sido sometida a una fuerza de 872.40 kg, inferior al límite de 10 toneladas.

En base a esta deducción se ha planteado el factor de conversión que nos dará el esfuerzo que se aplica sobre el terreno con la lectura del barómetro:

$$\sigma_{\text{sobre el terreno}} = \frac{\text{Lectura del barometro (Bar)} * 1.02 * 8.553}{706.858} \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

Donde:

$\sigma_{\text{sobre el terreno}}$: El esfuerzo que se está aplicando sobre el terreno en kg/cm²

Lectura del barometro: La lectura que da el barometro en Bares

5.4. Dispositivo para la medición de asientos

Se emplearán dos relojes comparadores (extensómetros) de las siguientes características:

- Tipo de reloj: Analógico
- Divisiones: Centesimal – Una vuelta = 100 centésimas de milímetro (una vuelta del reloj marca 1 mm)
- Palpador: Tipo curva cónica, acoplado en un husillo intercambiable.
- Marca: Litz (fabricado bajo norma DIN 878)



Fotografía 14. Extensómetro (LITZ).

Fuente: Elaboración propia

Para sujetar el reloj comparador al bastidor diseñado se han fabricado unos porta-reloj magnéticos:



Fotografía 15. Accesorio para sostener los extensómetros.

Fuente: Elaboración propia

El diseño de los porta relojes puedan tener un movimiento de las tres dimensiones y puedan ajustarse a distintas distancias.

5.5. Dispositivos para mantener el equipo horizontal

Para mantener el equipo horizontal se han construido de acuerdo a diseño los soportes que mantendrán el equipo en posición horizontal.



Fotografía 16. Soportes para mantener el equipo horizontal (gata hidráulica).
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 17. Soportes para mantener la gata hidráulica de manera horizontal.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 18. Prueba del equipo.
Fuente: Elaboración propia



PROYECTO DE GRADO: “Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa”



Postulante: Univ. Rubén Fernando Yujra Tintaya

Capítulo 6. Ejecución del ensayo.

6.1. Elección del lugar de ejecución

Para la prueba piloto del equipo se ha elegido el campus de Cota Cota, se ha elegido el lugar debido a que presentaba facilidad para acceso al lugar. De manera precisa el lugar elegido es:

- Lugar: Instituto de ensayo de materiales – Campus Universitario
- Zona: Cota Cota
- Coordenadas: 599973.62 m E; 8 171 273.39 m S
- Altura: 3 432 m.s.n.m.



Figura 21. Imagen satelital del campus de Cota Cota.
Fuente: Google Earth

6.2. Preparación del terreno

Se ha elegido el lugar para la ejecución del ensayo, el lugar contiguo al lugar ocupado por el parqueo del IEM, exactamente en la parte baja del sector contiguo al muro de contención.

EXCAVACIÓN CON MAQUINARIA

Una vez elegido el lugar, se ha procedido a realizar la excavación de la zanja, para ello se ha empleado una retroexcavadora.



Fotografía 19. *Excavación de zanja con retroexcavadora.*
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 20. *Se procuró que la zanja sea ancho reducido.*
Fuente: Elaboración propia

EXCAVACIÓN MANUAL

Para perfilar de mejor manera se ha procedido a realizar una excavación manual, a fin de mejorar la verticalidad del talud de la zanja.



Fotografía 21. *Se han evaluado los sectores del talud que no estaban verticales.*
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 22. *Se ha perfilado de manera manual la zanja.*
Fuente: Elaboración propia

PREPARACION DEL AREA PARA EL APOYO DE LA PLACA

Se ha preparado el área donde se apoyarán las placas con las herramientas adecuadas.



Fotografía 23. Preparación del área de contacto del terreno.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 24. Se procuró asegurar la verticalidad del terreno.
Fuente: Elaboración propia

Si bien el terreno está constituido en su mayor parte por arcillas y limos existe la presencia de arena, es por ello que se han tenido complicaciones para poder lograr obtener una superficie llana y se ha optado por utilizar un mortero de cemento, arena y aditivo acelerante del fraguado (sika 3), para conseguir una superficie que garantice un acople adecuado del terreno con la placa de 30 cm.



Fotografía 25. Empleo de Sika 3 para la fabricación del mortero.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 26. Mortero aplicado en el terreno.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 27. *Verificación de la verticalidad del revoque.*
Fuente: Elaboración propia

6.3. Instalación del equipo

ARMADO DEL EQUIPO

Se ha instalado el equipo, de tal manera que se garantice que este esté perfectamente horizontal.



Fotografía 28. *Verificación de la horizontalidad del equipo.*
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 29. Armado preliminar del equipo.

Fuente: Elaboración propia

INSTALACIÓN DE LOS EXTENSÓMETROS

Una vez instalado el equipo, se verificarán los relojes comparadores y se ajustarán estos a los porta extensómetros fabricados para este fin.



Fotografía 30. Se verifica el buen estado de los extensómetros.

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 31. *Con ayuda de un alicate se instalan los relojes comparadores a los porta extensómetros.*

Fuente: Elaboración propia

Con ayuda de un combo se introduce en el terreno el bastidor donde se ubicarán los extensómetros.



Fotografía 32. *Colocado de bastidor para los extensómetros.*

Fuente: Elaboración propia

Una vez instalado el bastidor se colocan los extensómetros.

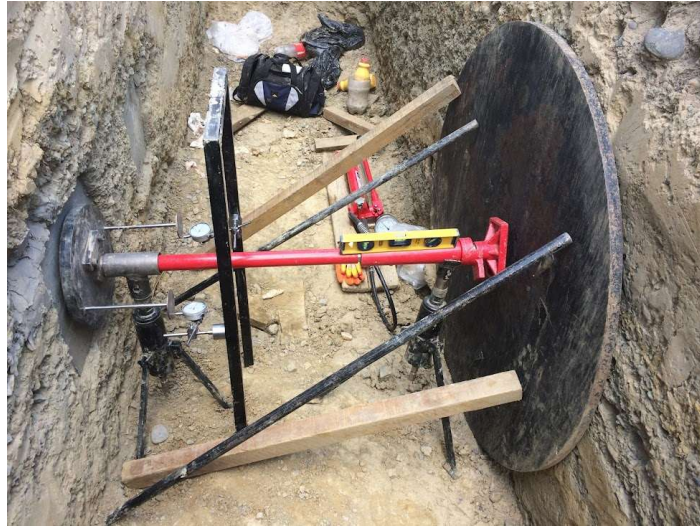


Fotografía 33. Instalación de los extensómetros.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 34. Extensómetros instalados.
Fuente: Elaboración propia

Por último, se asegura el disco de 1.20 m con los puntales metálicos para preservar la seguridad de los operadores durante la ejecución del ensayo.



Fotografía 35. Equipo instalado.

Fuente: Elaboración propia

6.4. Realización del ensayo de carga con placa

En la zanja se realizaron 4 ensayos, los mismos separados a una distancia prudente a fin de garantizar que no hubiera problemas de sobrexposición de los bulbos de presión, la distancia entre ellos fue de 1.70 m.

Los resultados obtenidos se presentan en forma de tablas en el apartado correspondiente.

6.5. Clasificación de suelos y ejecución de ensayo SPT

Se han realizado tres ensayos SPT en el lugar, y de cada pozo se han extraído las muestras correspondientes para la clasificación de suelos, los resultados de estos ensayos se presentan en el anexo correspondiente.



Fotografía 36. Ejecución del ensayo SPT.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 37. Se extrajeron muestras del terreno.
Fuente: Elaboración propia

Luego de concluido el ensayo SPT, se procedió a la extracción de 3 muestras del terreno en los lugares donde se realizaron los ensayos, para la clasificación de suelos correspondiente.

PROYECTO DE GRADO: “Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa”



Postulante: Univ. Rubén Fernando Yujra Tintaya

Capítulo 7. Resultados y análisis.

Los ensayos que se han realizado para el presente trabajo fueron:

- Ensayo de carga horizontal con placa
- Clasificación de suelos
- SPT

Para no perder el objeto del presente trabajo en este apartado se describirán con mayor énfasis los resultados obtenidos en el ensayo de carga y en el acápite relacionado a la discusión de los resultados obtenidos se hará referencia a los ensayos adicionales.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en los 4 ensayos de carga realizados.

7.1. Gráfica esfuerzo – deformación

Se han construido las gráficas esfuerzo – deformación, y se tiene el siguiente resultado:

Muestra: PLT – 01 (Arcilloso limoso con grava y arena)

Profundidad: 1.46 m



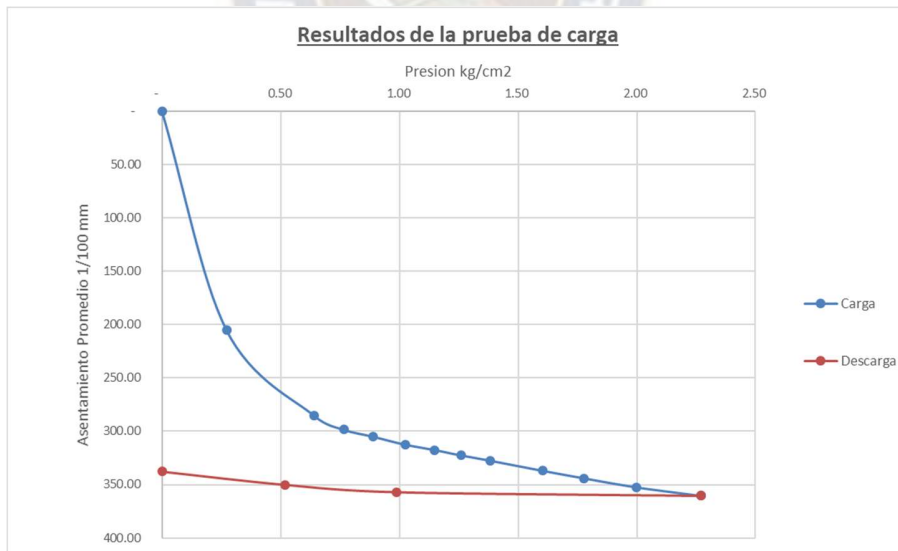
Muestra: PLT – 02 (Arcilloso - Limoso con presencia de arena)

Profundidad: 1.45 m



Muestra: PLT – 03 (Arcilloso - Limoso con presencia de arena)

Profundidad: 1.40 m



Muestra: PLT – 04 (Arcilloso - Limoso con presencia de arena)

Profundidad: 1.40 m



7.2. Coeficiente de Balasto horizontal

Para determinar el módulo de reacción se utiliza el primer ciclo de carga; en la curva carga – asentamientos se lee la presión σ_0 que corresponde al asiento de 1.27 mm. El módulo de reacción se calcula mediante la expresión:

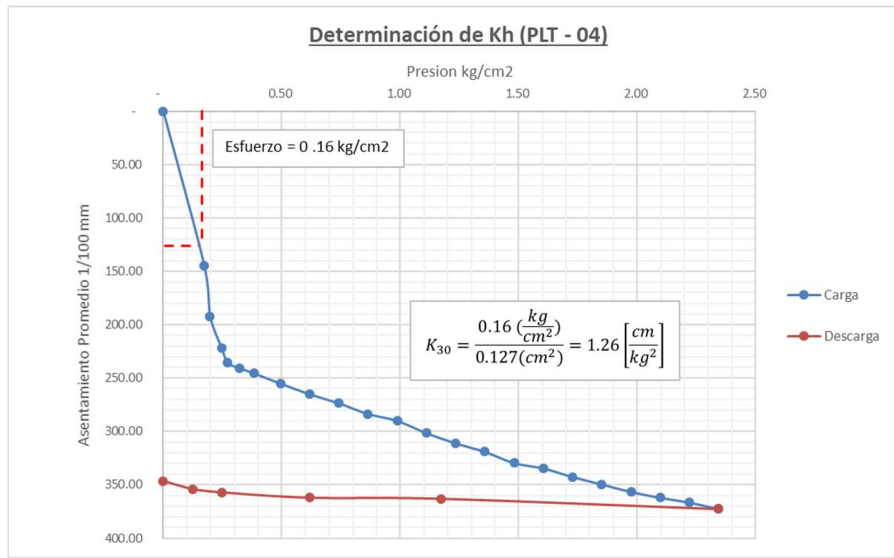
$$K_h = \frac{\sigma_0}{0.127 \text{ cm}} \quad (8)$$

Se han determinado los coeficientes de balasto para los cuatro ensayos realizados:

Pozo N°	Ensayo	Profundidad (m)	Esfuerzo (kg/cm²)	Deformación (cm)	Coefficiente de Balasto	Observaciones
1	PLT - 01	1.50	0.18	0.127	1.42	Arcilloso limoso con grava y arena
1	PLT - 02	1.50	0.15	0.127	1.18	Arcilloso - Limoso con presencia de arena
1	PLT - 03	1.40	0.18	0.127	1.42	Arcilloso - Limoso con presencia de arena
1	PLT - 04	1.40	0.16	0.127	1.26	Arcilloso - Limoso con presencia de arena

Tabla 4. *Valores obtenidos del Coeficiente de Balasto Horizontal.*
Fuente: Elaboración propia

Para determinar σ_0 , se determinó el valor que alcanzaba el esfuerzo para una deformación de 0.127 cm, para cada uno de los 4 ensayos realizados. En anexos se adjunta el procedimiento realizado para cada prueba, y ahora a manera de ejemplo se presenta el cálculo realizado para el ensayo PLT – 04.



7.3. Clasificación del suelo

Se han extraído tres muestras de suelo y se ha realizado la clasificación correspondiente, teniendo los siguientes resultados:

Muestra N°	Muestra	LL	LP	IP	Clasificación SUCS	Observaciones
1	M - 1	25.10	18.79	6.31	SC - SM	Arena limosa arcillosa con grava
2	M - 2	27.59	21.81	5.79	CL - ML	Arcilla limosa arenosa
3	M - 3	26.48	20.43	6.05	CL - ML	Arcilla limosa arenosa

Tabla 5. *Clasificación de suelos de las muestras extraídas.*
Fuente: Elaboración propia

En los anexos se adjuntan las planillas para la clasificación de suelos.

7.4. Ensayo SPT

Para realizar el cálculo de esfuerzo admisible del terreno en base al ensayo SPT realizado se utilizó el procedimiento grafico según Hough B. K. “BASIC OIL ENGINEERING”, los resultados se presentan en el siguiente cuadro:

Muestra N°	Muestra	Profundidad (m)	LL	LP	IP	Clasificación SUCS	Ensayo S.P.T.	
							N	Esfuerzo Adm (kg/cm ²)
1	M - 1	1.65	25.10	18.79	6.31	SC - SM Arena limosa arcillosa con grava	52.00	2.25
2	M - 2	1.58	27.59	21.81	5.79	CL - ML Arcilla limosa arenosa	14.00	0.90
							22.00	1.00
3	M - 3	1.60	26.48	20.43	6.05	CL - ML Arcilla limosa arenosa	16.00	0.75

Tabla 6. Esfuerzo admisible, determinado por el ensayo SPT.

Fuente: Elaboración propia

En el terreno se han realizado tres ensayos y en los anexos se adjuntan las planillas de cálculo.

7.5. Discusión de los resultados

Cabe recordar que el propósito del presente trabajo es el diseño, construcción y la prueba de un equipo de carga horizontal y no así entrar en un análisis exhaustivo de las correlaciones que, debido a su abundancia y limitaciones su empleo siempre estará expuesto a objeciones, y, un análisis riguroso de ello está fuera del alcance presente trabajo.

Por lo mencionado, es que en el presente acápite se presentarán criterios iniciales que podrán servir de punto de partida para la discusión de los resultados obtenidos al realizar el ensayo y de ninguna manera criterios absolutos de interpretación.

7.5.1. Forma de la curva esfuerzo deformación

La forma que adopta la curva esfuerzo – deformación nos puede dar una idea de la manera en que se comportará el terreno frente a la acción de las fuerzas (a escala real) externas que actúen sobre él.

A continuación, analizaremos el comportamiento que ha presentado el terreno analizado, ante las cargas actuantes durante el ensayo; para ello se hará el análisis del ensayo PLT – 04, se lo realiza de esta manera porque el resto de los ensayos PLT – 01, PLT – 02 y PLT – 03 presentan características similares; además, se escoge este ensayo porque la cantidad de puntos obtenidos es mayor:



En la curva presentada se puede observar:

Se tiene un primer sector de la curva en la cual ante la primera carga se han presentado grandes deformaciones, luego las siguientes cargas las deformaciones no son importantes, esto se mantiene hasta la carga de aproximadamente 0.27 kg/cm² donde el comportamiento de la curva cambia la tendencia (punto de quiebre), y a partir de este punto se presenta un comportamiento casi lineal, entonces, para un análisis mejor dividiremos este análisis en dos partes: Primer tramo (hasta la carga de 0.27 kg/cm²) y el Segundo tramo.

PRIMER TRAMO:

De acuerdo a lo mencionado por Tsytoovich (1973), un suelo presenta una “Resistencia Estructural”, que se refiere a que un suelo cuando es inicialmente sometido a una carga, sus deformaciones son muy pequeñas, y, para que las deformaciones sean mayores se necesitan romper

unas uniones, una estructura, que es producto de su origen geológico, de su estado de esfuerzos y de la cementación y estructura química que tiene el suelo. Por lo tanto, podemos asociar el comportamiento inicial de este terreno con el mencionado por Tsytovich; entonces, cuando el esfuerzo ha llegado a 0.27 kg/cm² está “Resistencia Estructural” (inicial) del terreno ha sido superada y a partir de ahí el terreno presenta un reacomodo y desplazamiento de partículas.



SEGUNDO TRAMO

A partir del punto de quiebre definido por la carga de 0.27 kg/cm² la carga presenta un desarrollo lineal, de acuerdo a lo mencionado en (Das, Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, 2012) y tomando en cuenta las características del terreno (CL – ML, arcilla limosa arenosa), podemos afirmar que este comportamiento se asemeja al de un terreno cuya falla será por corte local.

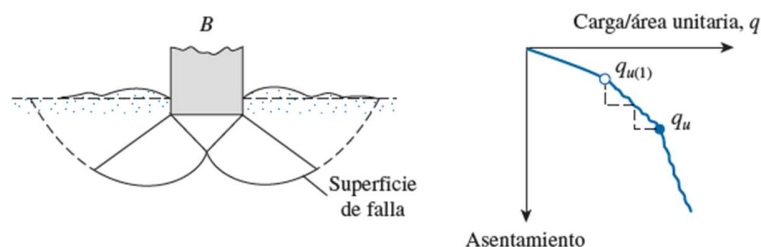


Figura 22. Naturaleza de la falla en suelo por capacidad de carga: falla por corte local; (reproducido de Vesic, 1973)

Fuente: Das, B. M. (2012). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones*. México.

7.5.2. *Relación entre los asentamientos que se produjeron en el ensayo y los esperados a escala real*

A continuación, hacemos un análisis del asentamiento que produciría una carga horizontal aplicada en el terreno.

De acuerdo a lo mencionado en (Das, Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, 2012):

La capacidad de carga admisible de una cimentación, basada en consideraciones de asentamiento y para una intensidad de carga q_0 , es:

$$S_F = S_P * \frac{B_F}{B_P} \quad (\text{para suelos arcillosos}) \quad (9)$$

$$S_F = S_P * \left(\frac{2*B_F}{B_F+B_P} \right)^2 \quad (\text{para suelos arenosos}) \quad (10)$$

Donde:

B_F = ancho de la cimentación

B_P = ancho de la placa de prueba

S_F = asentamiento de la cimentación

S_P = asentamiento de la placa

La relación anterior se basa en el trabajo de Terzagui y Peck (1967).

Basados en estas fórmulas, se determinará el asentamiento que podría presentar un cimiento de unas dimensiones determinadas, como puede verse es necesario estimar de manera a priori las dimensiones de un cimiento para hacer los cálculos respectivos.

Por otra parte, el terreno no es puramente arenoso o arcilloso, entonces se propondrá hacer un análisis ponderado del asentamiento, para hacer este análisis vamos a tomar en cuenta el ensayo N° 4 y para hacer el análisis del tipo de terreno vamos a sacar un promedio de las muestras N° 2 y N° 3 de los ensayos de clasificación que realizamos, esto a fin de tener un criterio de uniformidad y además porque los mencionados ensayos son más próximos al punto del ensayo PLT – 04.

En primera instancia, analizaremos el punto singular de quiebre de la curva, esfuerzo de 0.27 kg/cm² (placa), y deformación de 2.40 mm; además, para este análisis asumimos una cimentación cuadrada de (B_F) 1.50 m de lado, y considerando que el diámetro de la placa usada es de (B_P) 0.30 m, tenemos;

**Determinacion del asentamiento esperado para qu
(Calculado por el Ensayo de carga con placa horizontal)**

Ancho de la cimentación: 1.50 m (asumido)
Ancho de la placa: 0.30 m (real)

Muestra	Composición de Agregado		Sp (mm)	Sf (mm)		
				Arcilla	Arena	Ponderado
2	Grava	10.32%	2.40	12.00	6.67	9.76
	Arena	31.67%				
	Finos	58.01%				
3	Grava	0.34%	2.40	12.00	6.67	10.24
	Arena	32.67%				
	Finos	66.99%				

Tabla 7. Valores de Sf en mm, del ensayo PLT - 04.
Fuente: Elaboración propia

Ahora, para el mismo ensayo PLT -04, se determinará el asentamiento esperado (máximo) que se ha registrado en el ensayo (3.72 mm).

**Determinacion del asentamiento esperado para una carga "q"
(Calculado por el Ensayo de carga con placa horizontal)**

Ancho de la cimentación: 1.50 m (asumido)
Ancho de la placa: 0.30 m (real)

Muestra	Composición de Agregado		Sp (mm)	Sf (mm)		
				Arcilla	Arena	Ponderado
2	Grava	10.32%	3.72	18.60	10.33	15.13
	Arena	31.67%				
	Finos	58.01%				
3	Grava	0.34%	3.72	18.60	10.33	15.87
	Arena	32.67%				
	Finos	66.99%				

Tabla 8. Determinación de Asentamiento máximo en mm, del ensayo PLT – 04
Fuente: Elaboración propia

Desde los años 50, diversos investigadores y reglamentos de construcción han recomendado valores admisibles para los parámetros de asentamientos admisibles.

En 1956, Skempton y McDonald propusieron los siguientes valores límite para asentamientos máximos y distorsión angular máxima, para usarse en construcciones:

Asentamiento máximo

En arena	32 mm
En arcilla	45 mm

El Comité Europeo para Estandarización ha proporcionado también valores límite por servicio y para los movimientos máximos aceptables de las cimentaciones.

Concepto	Parámetro	Magnitud	Comentarios
<i>Valores límite por servicio (Comité Europeo para Estandarización 1994a)</i>	S_T	25 mm	<i>Cimentación superficial aislada</i>
		50 mm	<i>Cimentación de losa</i>
	ΔS_T	5 mm	<i>Marcos con revestimiento rígido</i>
		10 mm	<i>Marcos con revestimiento flexible</i>
		20 mm	<i>Marcos abiertos</i>
<i>Movimiento máximo aceptable de la cimentación (Comité Europeo para Estandarización 1994b)</i>	B	1/500	-----
	S_T	50	<i>Cimentación superficial aislada</i>
	ΔS_T	20	<i>Cimentación superficial aislada</i>
	B	$\cong 1/500$	-----

Tabla 9. Recomendaciones del Comité Europeo para Estandarización de los parámetros de asentamiento diferenciales.

Fuente: Das, B. M. (2006). Ingeniería de Cimentaciones. México D.F.

Como puede verificarse, el asentamiento que se ha presentado es inferior al propuesto como límite para una falla de cimiento.

7.5.3. Determinación de la carga ultima

Por las características del terreno mencionadas en el acápite anterior un análisis para determinar la carga ultima del terreno será un análisis siempre discutible, sin embargo, se lo presenta de la siguiente manera:

Primero debemos mencionar que la carga ultima que encontremos con el ensayo de carga de placa depende de las dimensiones de la placa y del tipo de suelo que se está analizando, como ya se mencionó en el acápite correspondiente al marco teórico:

Para realizar una correcta evaluación de la resistencia del suelo en un ensayo de placa se debe considerar que:

- Si el ensayo se ejecuta sobre arena, la tensión máxima admisible aumenta con el tamaño de la placa debido a que el confinamiento del material aumenta con el tamaño de ella. Por el contrario, en los ensayos en suelos cohesivos dicha tensión disminuye con el tamaño de la placa, debido a que la componente de la resistencia al cortante inmediatamente por debajo del perímetro de la placa que, disminuye al aumentar el diámetro (Housel, 1956), lo cual debe tenerse en cuenta cuando se trate de definir la capacidad portante a partir de los ensayos de placa.

Para hacer un análisis y discusión del resultado de la prueba de carga, se analizará el ensayo PLT - 04, por la cantidad de puntos obtenidos.

Ya se ha mencionado que en la segunda parte de la gráfica esfuerzo – deformación, el terreno presenta un comportamiento lineal, propio de un tipo de falla por corte local, como podemos comprobar en la Imagen N° 23, cuando tenemos este tipo de comportamiento la determinación de la carga ultima no es evidente, teniendo una primera falla en “ $q_u(1)$ ” (carga primera de falla), a partir de este punto la forma de la gráfica se presenta como una recta, por ello, es que determinar la capacidad de carga ultima “ q_u ” para este terreno no está definida de manera exacta, para tener una visión mejor de esta carga tendríamos que aplicar una mayor carga, lo cual no fue posible con el presente equipo.

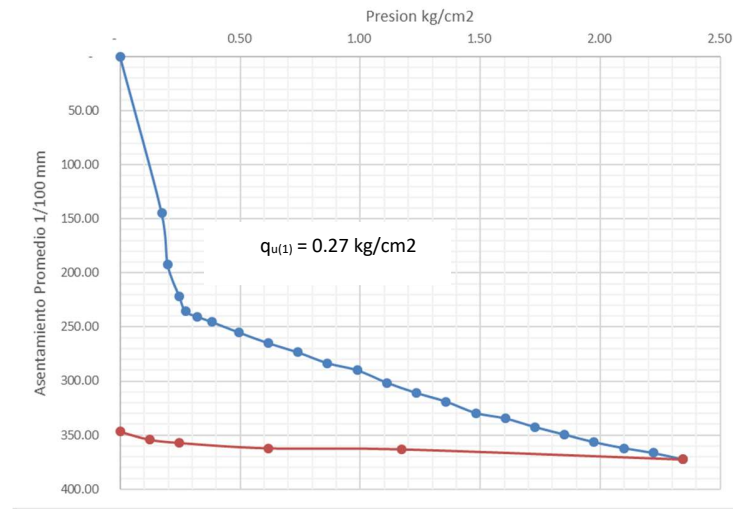


Figura 23. Determinación de “ $q_u (1)$ ”, para el ensayo PLT – 04
 Fuente: Elaboración propia

En las gráficas presentadas se puede apreciar que existe un punto donde la pendiente de la gráfica cambia, esta carga se podría tomar como la carga última, sin embargo, como se mencionó en el acápite anterior si traducimos los resultados obtenidos a escala real, el asentamiento presentado es muy pequeño como para ser tomado como una falla del terreno. Sin embargo, se hará el cálculo del esfuerzo que representa esta tensión para tener presente la magnitud de la misma.

De acuerdo a (Das, Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, 2012), en el que se menciona:

Para pruebas en arcillas:

$$q_{u(F)} = q_{u(P)} \quad (11)$$

Para pruebas en suelos arenosos:

$$q_{u(F)} = q_{u(P)} * \frac{B_F}{B_P} \quad (12)$$

Donde:

$q_{u(F)}$ = capacidad de carga última de la cimentación propuesta

$q_{u(P)}$ = capacidad de carga última de la placa de prueba

B_F = ancho de la cimentación

B_p = ancho de la placa de carga

Las ecuaciones presentadas implican:

- La capacidad de carga ultima en arcillas es virtualmente independiente del tamaño de la placa.
- La capacidad de carga en arenas es directamente proporcional a la dimensión de la cimentación.

Por lo mencionado, debemos tener en cuenta que, el terreno que se está analizando es un terreno principalmente constituido por una arcilla de muy baja plasticidad y por otra parte la presencia de arena es importante, entonces un criterio para determinar la capacidad de carga tendría que ser haciendo un análisis desde los dos puntos de vista y al final tener un criterio técnico para asumir el valor último.

A continuación, se presentan unas tablas de valores de carga ultima probable a escala real, tomando en cuenta los siguientes criterios:

- En todos los casos se presenta que el porcentaje de arena supera el 30%.
- Para determinar la capacidad de carga se necesita el valor de ancho de una cimentación (asumido), para el presente caso se tomará el valor de 1.50 m, como ancho de la fundación propuesta.
- Solo con el fin didáctico se presentará el valor de carga ultima haciendo un promedio ponderado entre los valores obtenidos considerando el terreno como solo arenoso y como solo arcilloso.

**Determinacion de la carga ultima "qu1"
(Calculado por el Ensayo de carga con placa horizontal)**

Para q1 : 0.27 kg/cm2 (placa)
Ancho de la cimentación: 1.50 m (assumido)
Ancho de la placa: 0.30 m (real)

Muestra	Composición de Agregado		qu (P)	qu (F)		
				Arcilla	Arena	Ponderado
2	Grava	10.32%	0.27	0.27	1.35	0.72
	Arena	31.67%				
	Finos	58.01%				
3	Grava	0.34%	0.27	0.27	1.35	0.63
	Arena	32.67%				
	Finos	66.99%				

Tabla 10. Estimación de la carga ultima q_{ul} , para el ensayo PLT - 04.
Fuente: Elaboración propia

La carga máxima que se alcanzado en el ensayo de carga fue de 2.34 kg/cm2, si proyectamos este valor para una fundación cuadrada de 1.50x1.50 m, tendremos el valor:

**Determinacion de la carga ultima "qu1"
(Calculado por el Ensayo de carga con placa horizontal)**

Para q1 : 2.34 kg/cm2 (placa)
Ancho de la cimentación: 1.50 m (assumido)
Ancho de la placa: 0.30 m (real)

Muestra	Composición de Agregado		qu (P)	qu (F)		
				Arcilla	Arena	Ponderado
2	Grava	10.32%	2.34	2.34	11.70	6.27
	Arena	31.67%				
	Finos	58.01%				
3	Grava	0.34%	2.34	2.34	11.70	5.43
	Arena	32.67%				
	Finos	66.99%				

Tabla 11. Estimación de la carga ultima q_{ul} , para la máxima carga alcanzada en PLT - 04.
Fuente: Elaboración propia

En la parte de anexos se presenta una gráfica y cuadro de los valores de esfuerzo – asentamiento determinados aquí, para todos los puntos obtenidos en el ensayo PLT – 04.

7.5.4. El coeficiente de balasto horizontal y su relación con el coeficiente de balasto vertical

Los siguientes conceptos se apoyan en el documento: “Apuntes de Coeficiente de Balasto”, de autoría del Ing. Augusto José Leoni, documento elaborado para el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de la Plata.

Se ha establecido a partir de análisis numérico y ensayos relaciones entre el coeficiente de balasto horizontal y vertical:

SUELOS COHESIVOS (EXCLUYENDO LAS ARCILLAS BLANDAS NORMALMENTE CONSOLIDADAS)

$$kh_1 = \frac{kv_1}{1.5} \tag{13}$$

Para calcular el coeficiente de balasto vertical tenemos que tener en cuenta que la clasificación del terreno es CL – ML (Arcilla limosa arenosa), por lo tanto, podemos utilizar la relación para arcillas entre el coeficiente de balasto horizontal y el vertical.

Pozo N°	Muestra	Profundidad (m)	Esfuerzo (kg/cm2)	Deformacion (cm)	Coeficiente de Balasto Horizontal	Coeficiente de Balasto Vertical	Observaciones
1	PLT - 01	1.50	0.18	0.127	1.42	2.13	Arcilloso limoso con grava y arena
1	PLT - 02	1.50	0.15	0.127	1.18	1.77	Arcilloso - Limoso con presencia de arena
1	PLT - 03	1.40	0.18	0.127	1.42	2.13	Arcilloso - Limoso con presencia de arena
1	PLT - 04	1.40	0.16	0.127	1.26	1.89	Arcilloso - Limoso con presencia de arena

Tabla 12. Estimación del coeficiente de Balasto Vertical de los ensayos de placa realizados.

Fuente: Elaboración propia

PROYECTO DE GRADO: “Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa”



Postulante: Univ. Rubén Fernando Yujra Tintaya

Capítulo 8. Evaluación del equipo

8.1. Problemas detectados en el uso del equipo

Se pueden citar los siguientes:

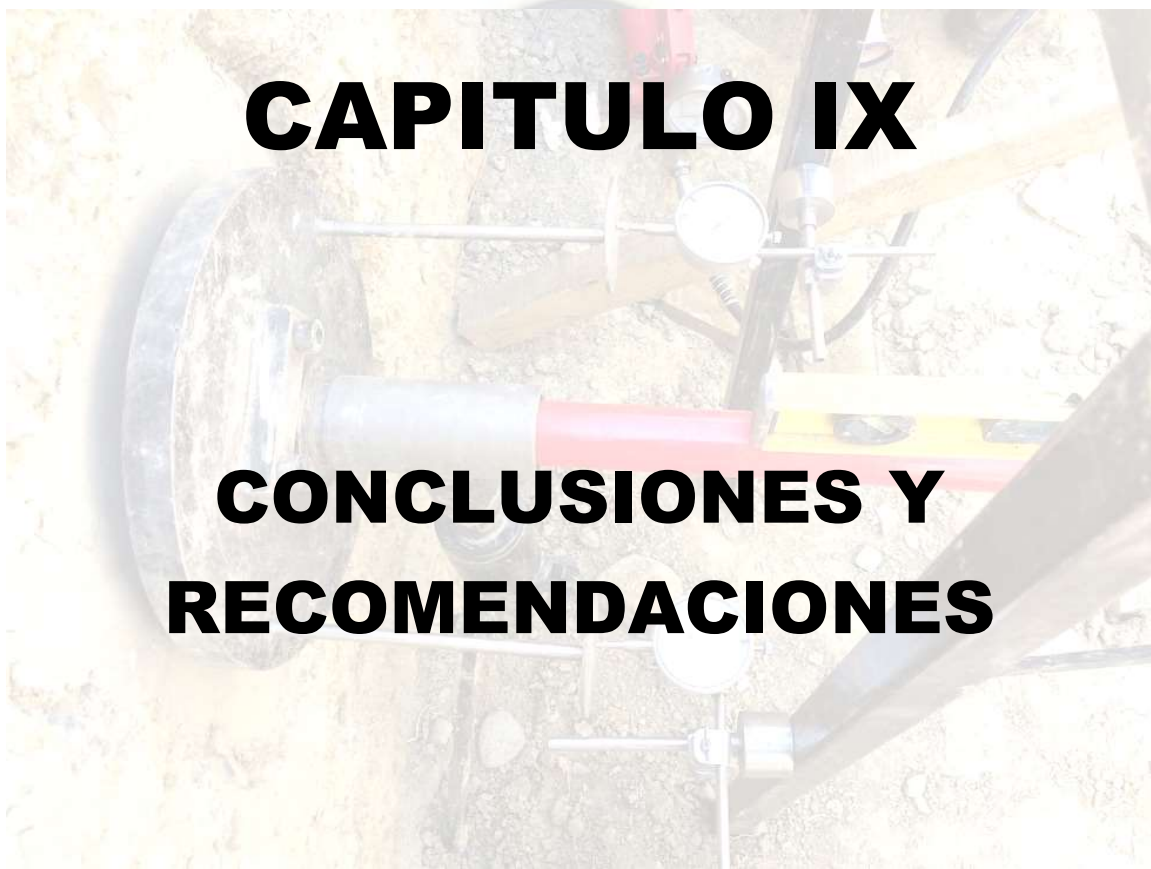
- El peso del disco de 1.20 m de diámetro es muy pesado, esto por supuesto limita mucho la facilidad de realizar los trabajos en campo, el peso del disco es de 225.50 kg.
- Si bien la prensa hidráulica que se ha adquirido tenía a capacidad de 10 toneladas, la capacidad práctica de está trabajando en conjunto con el resto del equipo resultó ser menor, ya que se presentaban problemas cuando se sobrepasaban las 3 toneladas, y debido a ello no se han podido realizar esfuerzos mayores.

8.2. Consideraciones acerca de las mejoras que se pueden aplicar

Se podrían realizar las siguientes mejoras:

- Se debe realizar un diseño más fácil de manipularse; principalmente se debería descartar el disco de 1.20 m por otro de 0.30 m, con la simple modificación de hacer el control de los desplazamientos de los dos discos.
- El disco de 0.30 m podría ser incluso reemplazado por otro disco de 0.20 m, para que con la misma carga se produzcan esfuerzos mayores.
- Acerca de esto último, el equipo podría ser modificado para hacerlos más compacto, incluyendo los accesorios para nivelación en un conjunto.

PROYECTO DE GRADO: “Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa”



Postulante: Univ. Rubén Fernando Yujra Tintaya

Capítulo 9. Conclusiones y recomendaciones

- El equipo ha sido fabricado conforme lo planificado y ha demostrado que su uso ha sido factible, posibilitando el análisis de los valores de resistencia y deformación del suelo.
- Los resultados obtenidos y sobre todo el análisis realizado de los mismos no deben considerarse como definitivos, esto debido a que el uso de correlaciones y criterios geotécnicos necesita un análisis muy riguroso que debería ser planteado con la rigurosidad correspondiente. Sin embargo, los valores y correlaciones realizadas podrán ser tomadas en cuenta como punto de partida para discusiones posteriores.
- Se recomienda continuar con el análisis del comportamiento de los suelos, de distintas características para seguir con el desarrollo del estudio del comportamiento esfuerzo – deformación de los suelos.
- Como recomendación adicional, se sugiere, que en futuros trabajos se pueda implementar el uso de platos de 15 y 10 cm, basados en las definiciones de Das y los trabajos de Vesic (1963).

PROYECTO DE GRADO: "Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa"



Postulante: Univ. Rubén Fernando Yujra Tintaya

Capítulo 10. Bibliografía

Libros:

- Jaime Alberto Ruiz Álvarez, i. C. (2010). Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga estático axial con placa en excavaciones para cimentaciones profundas. Medellín, Colombia. Ed. Universidad Nacional de Colombia
- Das, B. M. (2006). Ingeniería de Cimentaciones. México D.F. Ed. EDAMSA IMPRESIONES, S.A. DE C.V.
- Das, B. M. (2012). Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones. México: Ed. Cengage Learning Editores, S.A. de C.V.
- J. Calavera (1991). Calculo de Estructuras de Cimentación. (4ta ed.). Ed. INTEMAC
- Lambe. (2004). Mecánica de suelos. México. Ed. Limusa.
- Leoni, I. A. (2000). Apunte de Coeficiente de Balasto. Ed. La Plata: U.N.L.P
- Rodríguez, J. B.-R. (2005). Mecánica de suelos - Tomo II. México D.F. Ed. Limusa S.A.

Normas:

- Nlt – 357/98, Ensayo de carga con placa (Norma Española), estas normas han sido dejadas atrás por las normas UNE.
- Nc 11 : 1998, geotecnia, métodos de ensayo de carga sobre placa en suelos (norma cubana).
- ASTM D 1195-93. Standard test method for repetitive static plate load test of soils and flexible pavements components for use in evaluation and design of airport and highway pavements.
- ASTM D 1196-93. Standard test method for nonrepetitive static plate load test of soils and flexible pavement components for use in evaluation and design of airport and highway pavements.

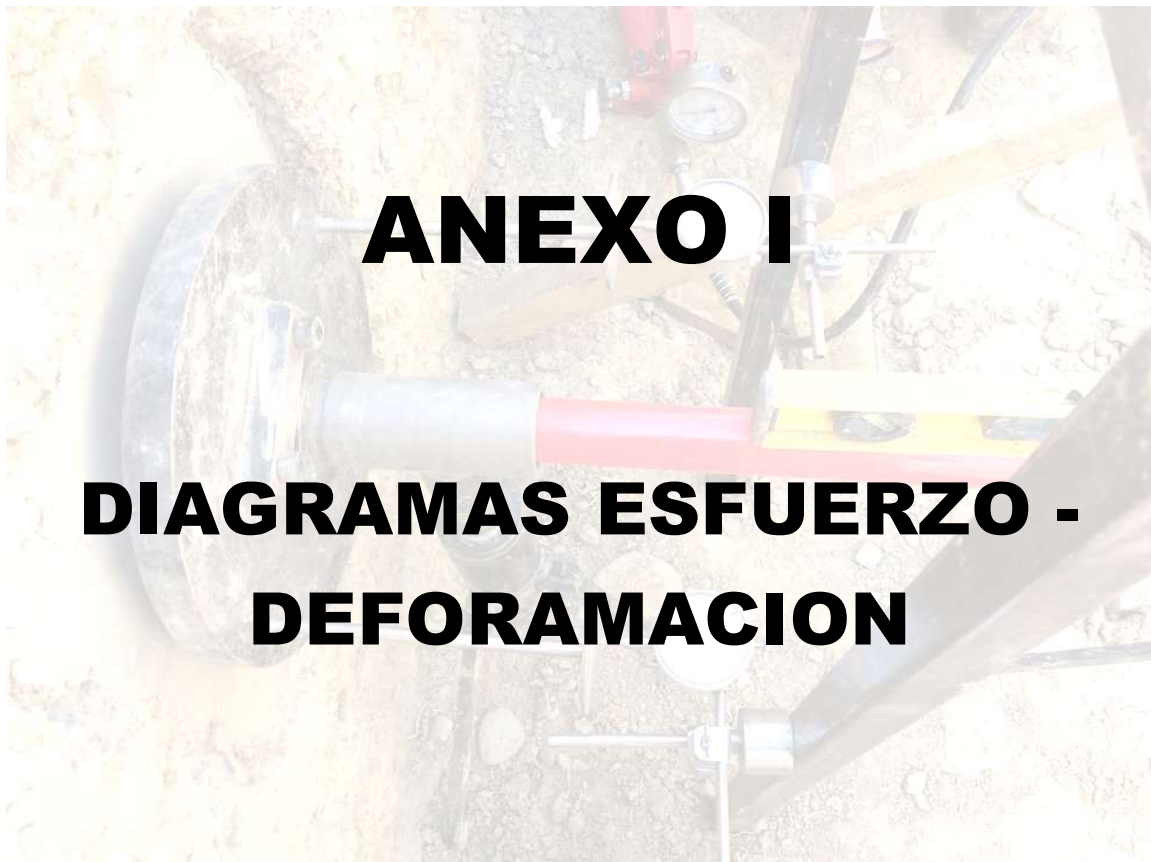
- ASTM D 1194-94. Standard. Test method for bearing capacity of static load on spread footings
- DIN 18134. Determining the deformation and strength characteristics of soil by the plate loading test. Septiembre 2001

Artículos web:

- Rodríguez, J. S. (1982). Curso aplicado de cimentaciones. Madrid: Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.
- Secretaría General de Vivienda, D. G. (2019). CTE Documento Basico SE - C, Seguridad estructural Cimientos. Madrid: Ministerio de Fomento, Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda.
- Lopichich, D. B. (2007). Estudio Experimental de la Reacción de un Suelo. Santiago De Chile, Universidad De Chile, Facultad De Ciencias Físicas Y Matemáticas, Departamento De Ingeniería Civil.
- Raúl Espinace Abarzúa, Carola Sanhueza Plaza. (2004). Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Jaime Alberto Ruiz Alvarez, I. C. (2010). Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Freire Tellado, M. J. (1999). Precisiones para el empleo del Método del Módulo de Balasto en Edificación. La Coruña - España: Dpto. de Tecnología de la Construcción. Univ. de A Coruña.
- Freire Tellado, M. J. (2000). Interacción del Suelo, Cimiento y Estructura: El caso de las Zapatas (1ra Parte). La Coruña - España: Dpto. de Tecnología de la Construcción, Univ. de A. Coruña.

- Arozamena, P., Jaramillo, A., Oteo, C. (2015). Cálculo retrospectivo del coeficiente de balasto horizontal a partir de mediciones de desplazamientos en pantallas del Metro de Sevilla. Informes de la Construcción - Vol. 67

PROYECTO DE GRADO: "Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa"

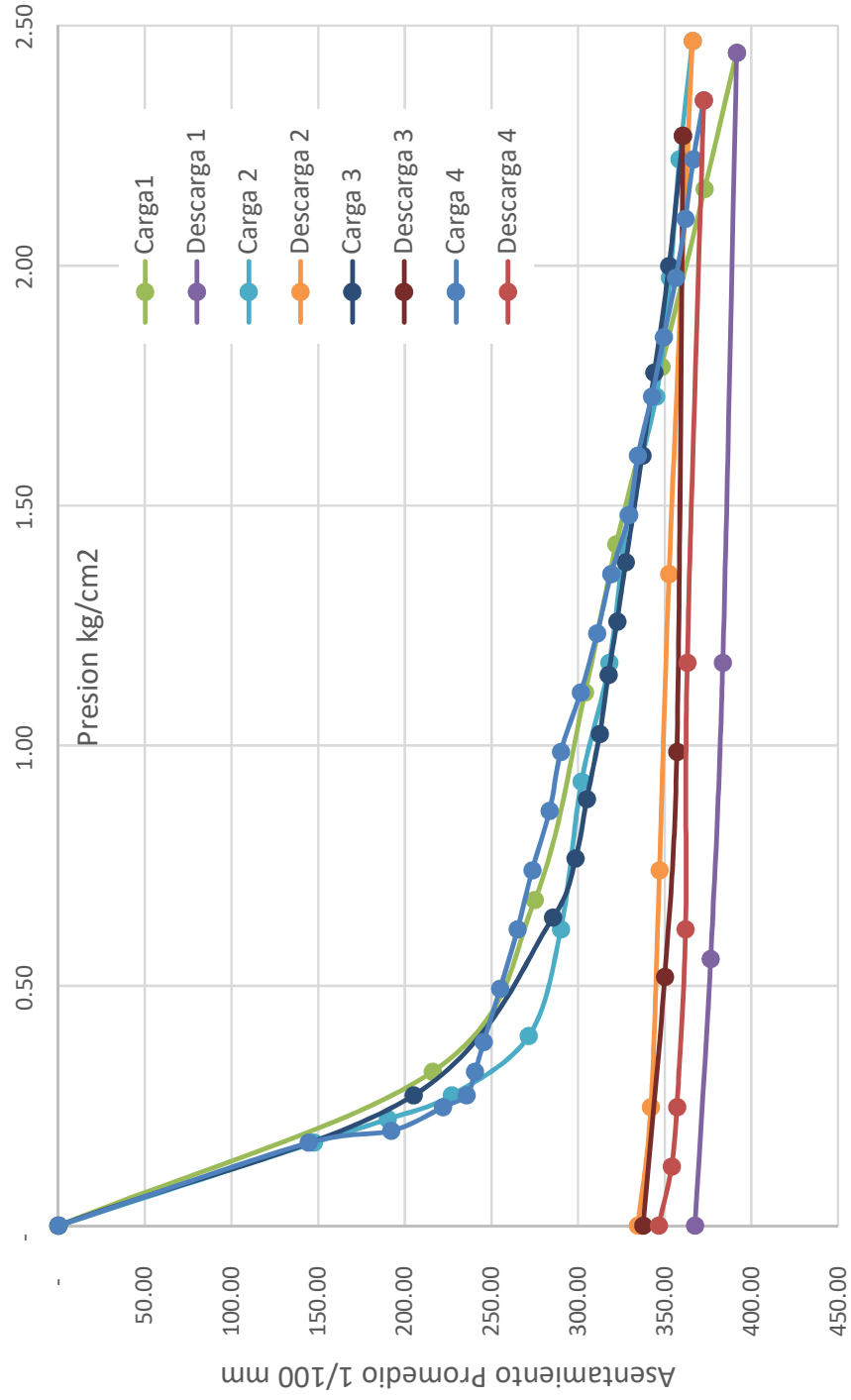




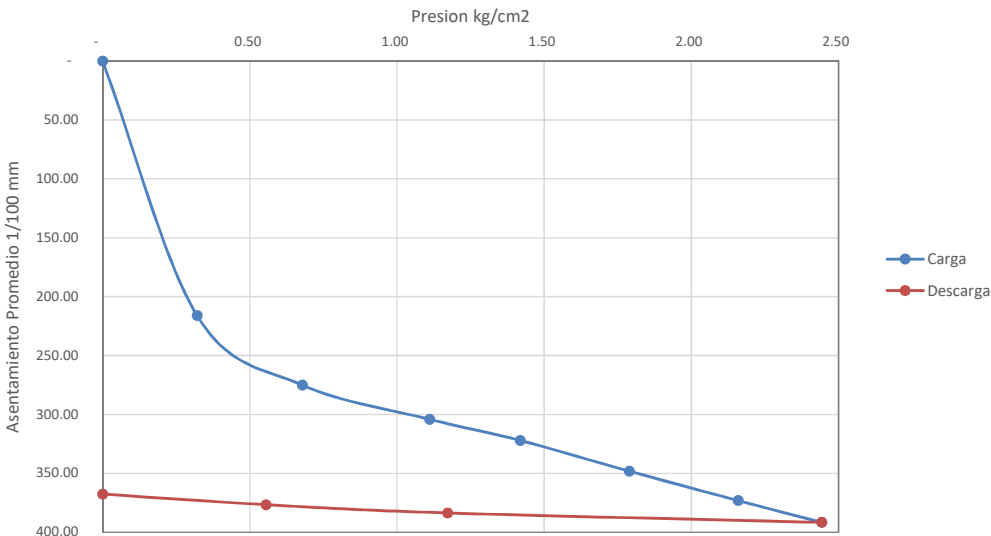
ANEXO I

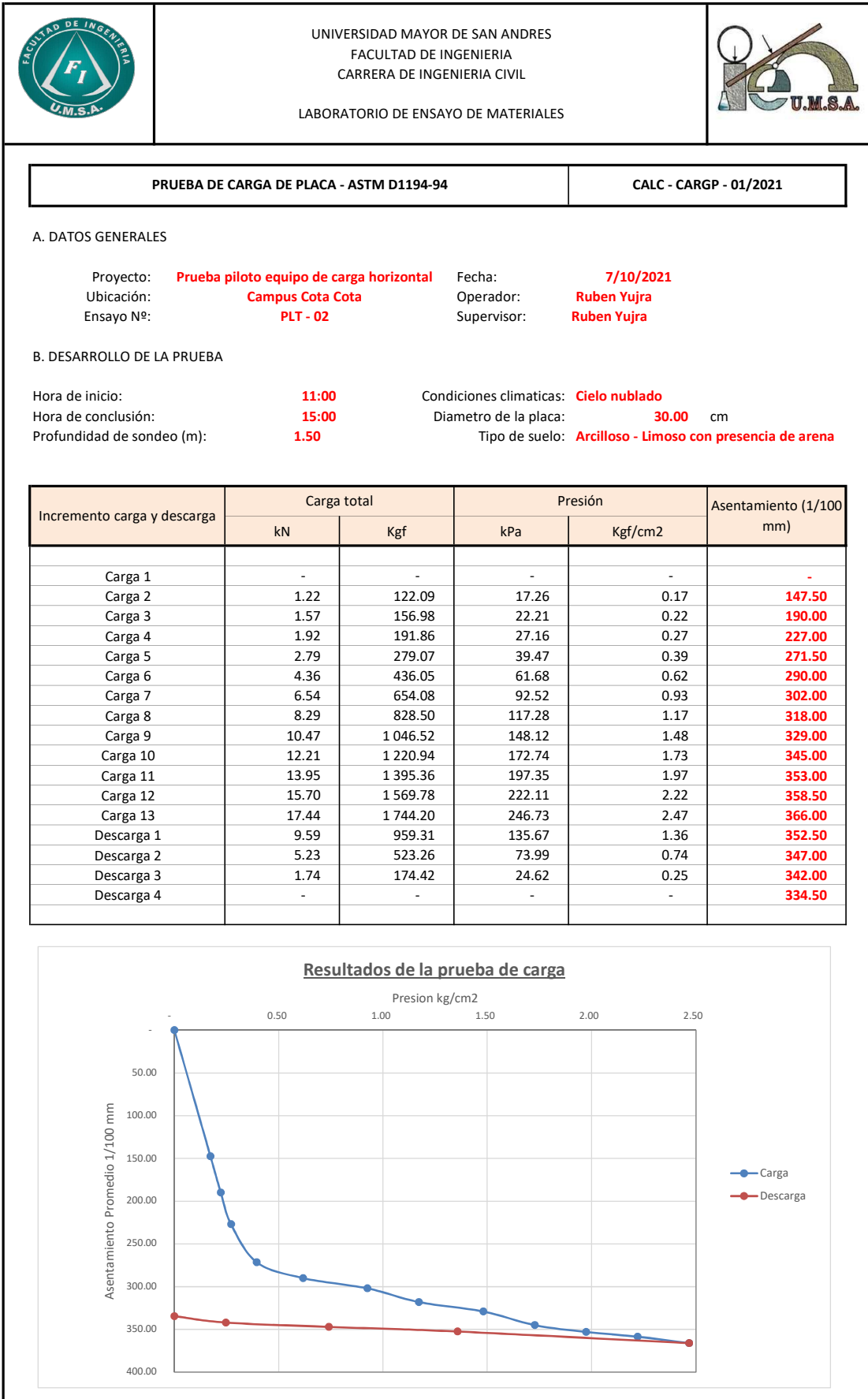
DIAGRAMAS ESFUERZO - DEFORAMACION

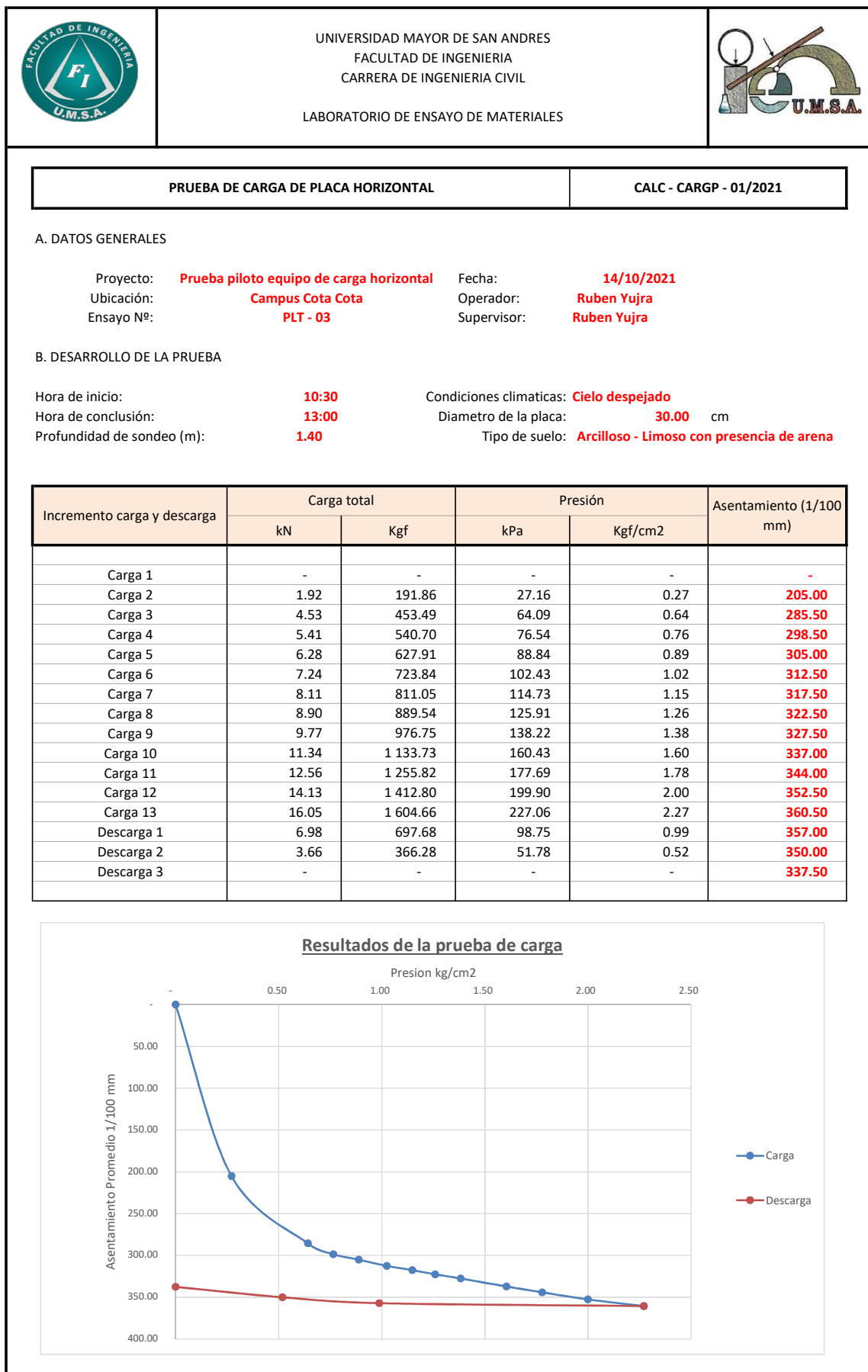
Postulante: Univ. Rubén Fernando Yujra Tintaya

Resultados de la prueba de carga - Lineas de tendencia (Los 4 ensayos realizados)



	UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FACULTAD DE INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES																																																																											
PRUEBA DE CARGA DE PLACA - ASTM D1194-94		CALC - CARGP - 01/2021																																																																										
A. DATOS GENERALES																																																																												
Proyecto: Prueba piloto equipo de carga horizontal Ubicación: Campus Cota Cota Ensayo Nº: PLT - 01	Fecha: 23/9/2021 Operador: Ruben Yujra Supervisor: Ruben Yujra																																																																											
B. DESARROLLO DE LA PRUEBA																																																																												
Hora de inicio: 10:30 Hora de conclusión: 15:00 Profundidad de sondeo (m): 1.46	Condiciones climaticas: Cielo despejado Diametro de la placa: 30.00 cm Tipo de suelo: Arcilloso limoso con grava y arena																																																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Incremento carga y descarga</th> <th colspan="2">Carga total</th> <th colspan="2">Presión</th> <th rowspan="2">Asentamiento (1/100 mm)</th> </tr> <tr> <th>kN</th> <th>Kgf</th> <th>kPa</th> <th>Kgf/cm²</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Carga 1</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>Carga 2</td><td>2.27</td><td>226.75</td><td>32.11</td><td>0.32</td><td>216.00</td></tr> <tr><td>Carga 4</td><td>4.80</td><td>479.66</td><td>67.91</td><td>0.68</td><td>275.00</td></tr> <tr><td>Carga 6</td><td>7.85</td><td>784.89</td><td>111.05</td><td>1.11</td><td>304.00</td></tr> <tr><td>Carga 8</td><td>10.03</td><td>1 002.92</td><td>141.90</td><td>1.42</td><td>322.00</td></tr> <tr><td>Carga 10</td><td>12.65</td><td>1 264.55</td><td>178.96</td><td>1.79</td><td>348.00</td></tr> <tr><td>Carga 12</td><td>15.26</td><td>1 526.18</td><td>215.88</td><td>2.16</td><td>373.00</td></tr> <tr><td>Carga 13</td><td>17.27</td><td>1 726.76</td><td>244.32</td><td>2.44</td><td>391.50</td></tr> <tr><td>Descarga 1</td><td>8.29</td><td>828.50</td><td>117.28</td><td>1.17</td><td>383.50</td></tr> <tr><td>Descarga 2</td><td>3.92</td><td>392.45</td><td>55.46</td><td>0.56</td><td>376.50</td></tr> <tr><td>Descarga 3</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>367.50</td></tr> </tbody> </table>	Incremento carga y descarga	Carga total		Presión		Asentamiento (1/100 mm)	kN	Kgf	kPa	Kgf/cm ²	Carga 1	-	-	-	-	-	Carga 2	2.27	226.75	32.11	0.32	216.00	Carga 4	4.80	479.66	67.91	0.68	275.00	Carga 6	7.85	784.89	111.05	1.11	304.00	Carga 8	10.03	1 002.92	141.90	1.42	322.00	Carga 10	12.65	1 264.55	178.96	1.79	348.00	Carga 12	15.26	1 526.18	215.88	2.16	373.00	Carga 13	17.27	1 726.76	244.32	2.44	391.50	Descarga 1	8.29	828.50	117.28	1.17	383.50	Descarga 2	3.92	392.45	55.46	0.56	376.50	Descarga 3	-	-	-	-	367.50
Incremento carga y descarga		Carga total		Presión			Asentamiento (1/100 mm)																																																																					
	kN	Kgf	kPa	Kgf/cm ²																																																																								
Carga 1	-	-	-	-	-																																																																							
Carga 2	2.27	226.75	32.11	0.32	216.00																																																																							
Carga 4	4.80	479.66	67.91	0.68	275.00																																																																							
Carga 6	7.85	784.89	111.05	1.11	304.00																																																																							
Carga 8	10.03	1 002.92	141.90	1.42	322.00																																																																							
Carga 10	12.65	1 264.55	178.96	1.79	348.00																																																																							
Carga 12	15.26	1 526.18	215.88	2.16	373.00																																																																							
Carga 13	17.27	1 726.76	244.32	2.44	391.50																																																																							
Descarga 1	8.29	828.50	117.28	1.17	383.50																																																																							
Descarga 2	3.92	392.45	55.46	0.56	376.50																																																																							
Descarga 3	-	-	-	-	367.50																																																																							
<p style="text-align: center;">Resultados de la prueba de carga</p> 																																																																												







UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
 FACULTAD DE INGENIERIA
 CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES



PRUEBA DE CARGA DE PLACA - ASTM D1194-94 **CALC - CARGP - 01/2021**

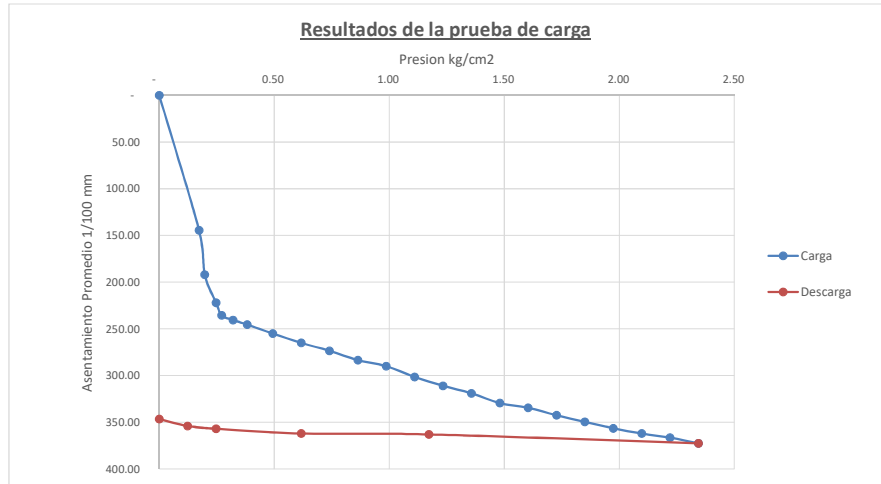
A. DATOS GENERALES

Proyecto: **Prueba piloto equipo de carga horizontal** Fecha: **21/10/2021**
 Ubicación: **Campus Cota Cota** Operador: **Ruben Yujra**
 Ensayo N°: **PLT - 04** Supervisor: **Ruben Yujra**

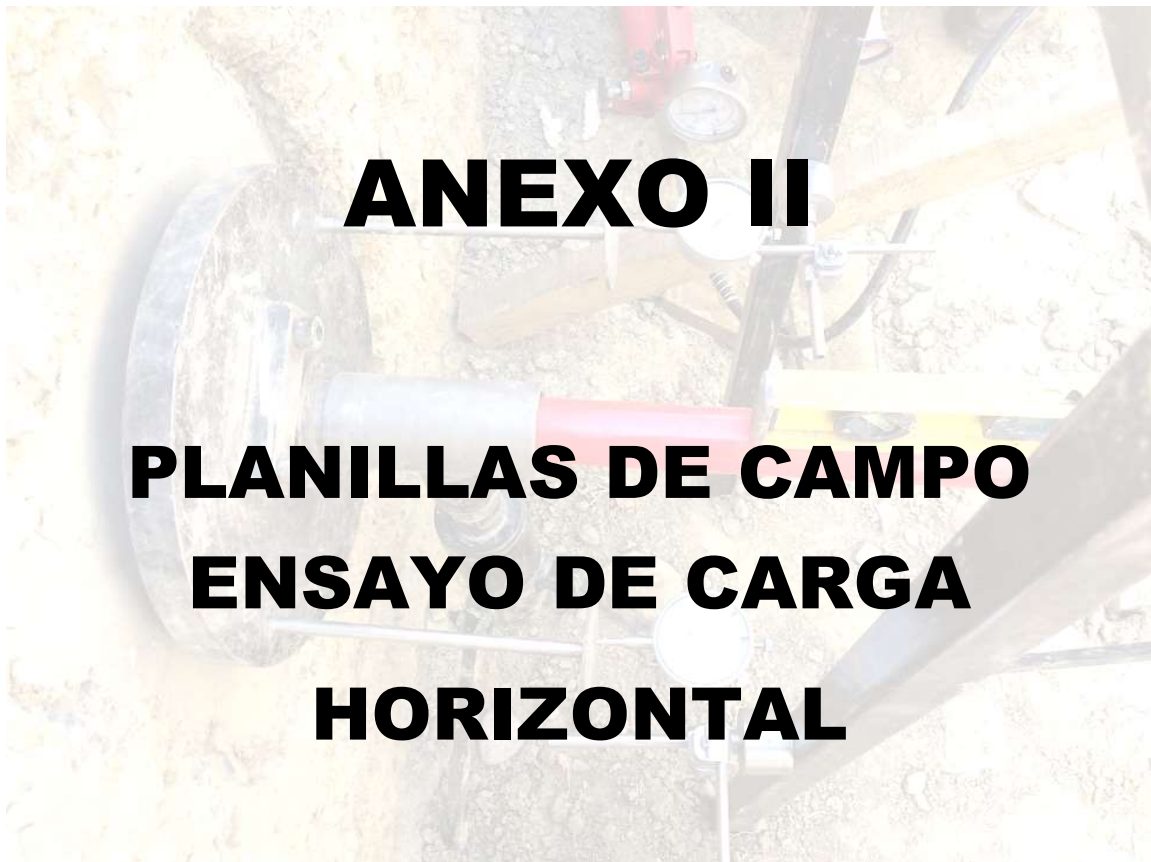
B. DESARROLLO DE LA PRUEBA

Hora de inicio: **10:30** Condiciones climaticas: **Cielo despejado**
 Hora de conclusión: **13:00** Diametro de la placa: **30.00** cm
 Profundidad de sondeo (m): **1.40** Tipo de suelo: **Arcilloso - Limoso con presencia de arena**

Incremento carga y descarga	Carga total		Presión		Asentamiento (1/100 mm)
	kN	Kgf	kPa	Kgf/cm2	
Carga 1	-	-	-	-	-
Carga 2	1.22	122.09	17.26	0.17	144.50
Carga 3	1.40	139.54	19.81	0.20	192.00
Carga 4	1.74	174.42	24.62	0.25	222.00
Carga 5	1.92	191.86	27.16	0.27	235.50
Carga 6	2.27	226.75	32.11	0.32	240.50
Carga 7	2.70	270.35	38.20	0.38	245.50
Carga 8	3.49	348.84	49.37	0.49	255.00
Carga 9	4.36	436.05	61.68	0.62	265.00
Carga 10	5.23	523.26	73.99	0.74	273.50
Carga 11	6.10	610.47	86.30	0.86	283.50
Carga 12	6.98	697.68	98.75	0.99	290.00
Carga 13	7.85	784.89	111.05	1.11	301.50
Carga 14	8.72	872.10	123.36	1.23	311.00
Carga 15	9.59	959.31	135.67	1.36	319.00
Carga 16	10.47	1 046.52	148.12	1.48	329.50
Carga 17	11.34	1 133.73	160.43	1.60	334.50
Carga 18	12.21	1 220.94	172.74	1.73	342.50
Carga 19	13.08	1 308.15	185.04	1.85	349.50
Carga 20	13.95	1 395.36	197.35	1.97	356.50
Carga 21	14.83	1 482.57	209.80	2.10	362.00
Carga 22	15.70	1 569.78	222.11	2.22	366.50
Carga 23	16.57	1 656.99	234.42	2.34	372.50
Descarga 1	8.29	828.50	117.28	1.17	363.00
Descarga 2	4.36	436.05	61.68	0.62	362.00
Descarga 3	1.74	174.42	24.62	0.25	357.00
Descarga 4	0.87	87.21	12.31	0.12	354.00
Descarga 5	-	-	-	-	346.50



PROYECTO DE GRADO: “Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa”



Postulante: Univ. Rubén Fernando Yujra Tintaya



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES



PRUEBA DE CARGA HORIZONTAL CON PLACA

CALC - CARGP - 01/2018

A. DATOS GENERALES

Proyecto: Prueba piloto equipo de carga horizontal
Ubicación: Campus Cota Cota
Ensayo N°: PLT - 01

B. DESARROLLO DE LA PRUEBA

Hora de inicio: 10:30
Hora de conclusión: 15:00
Profundidad de sondeo (m): 1.50

Fecha: 23/9/2021
Operador: Ruben Yujira
Supervisor: Ruben Yujira

Condiciones climáticas: Cielo despejado
Diámetro de la placa: 30.00 cm
Tipo de suelo: Arcilloso limoso con grava y arena

Carga/Descarga	Ciclo N°	Tiempo		Tension		Fuerza transmitida kg	Tension Normal (*)		Lectura de comparadores (10 ² mm)			Promedio (10 ² mm) (a+b)*0.5	Asiento (mm)	Observaciones	
		(min)	Bar	kg/cm ²	kg/cm ²		a	b							
Carga	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2.00	26.00	26.52	226.75	0.32	32.00	213.00	208.00	218.00	213.50	216.00	213.50		
		4.00	26.00	26.52	226.75	0.32	32.00	214.50	209.00	220.00	214.50	216.00	214.50		
		6.00	26.00	26.52	226.75	0.32	32.00	214.50	209.00	220.00	214.50	216.00	214.50		
		8.00	26.00	26.52	226.75	0.32	32.00	216.00	210.00	222.00	216.00	216.00	216.00		
Carga	2	10.00	26.00	26.52	226.75	0.32	32.00	216.00	222.00	216.00	216.00	216.00			
		-	55.00	56.10	479.66	0.68	68.00	271.00	261.00	281.00	271.00	271.00	271.00		
		2.00	55.00	56.10	479.66	0.68	68.00	271.00	261.00	281.00	271.00	271.00	271.00		
		4.00	55.00	56.10	479.66	0.68	68.00	273.00	263.00	283.00	273.00	273.00	273.00		
		6.00	55.00	56.10	479.66	0.68	68.00	273.00	263.00	283.00	273.00	273.00	273.00		
Carga	3	8.00	55.00	56.10	479.66	0.68	68.00	275.00	265.00	285.00	275.00	275.00			
		10.00	55.00	56.10	479.66	0.68	68.00	275.00	265.00	285.00	275.00	275.00	275.00		
		-	90.00	91.80	784.89	1.11	111.00	302.00	295.00	309.00	302.00	302.00	302.00		
		2.00	90.00	91.80	784.89	1.11	111.00	302.00	295.00	309.00	302.00	302.00	302.00		
		4.00	90.00	91.80	784.89	1.11	111.00	302.00	295.00	309.00	302.00	302.00	302.00		
Carga	4	6.00	90.00	91.80	784.89	1.11	111.00	304.00	297.00	311.00	304.00	304.00			
		8.00	90.00	91.80	784.89	1.11	111.00	304.00	297.00	311.00	304.00	304.00			
		10.00	90.00	91.80	784.89	1.11	111.00	304.00	297.00	311.00	304.00	304.00			
		-	115.00	117.30	1002.92	1.42	142.00	321.50	318.00	325.00	321.50	321.50	321.50		
		2.00	115.00	117.30	1002.92	1.42	142.00	321.50	318.00	325.00	321.50	321.50	321.50		
Carga	5	4.00	115.00	117.30	1002.92	1.42	142.00	322.00	319.00	325.00	322.00	322.00			
		6.00	115.00	117.30	1002.92	1.42	142.00	322.00	319.00	325.00	322.00	322.00			
		8.00	115.00	117.30	1002.92	1.42	142.00	322.00	319.00	325.00	322.00	322.00			
		10.00	115.00	117.30	1002.92	1.42	142.00	322.00	319.00	325.00	322.00	322.00			
		-	145.00	147.90	1264.55	1.79	179.00	348.00	346.00	347.00	346.50	346.50	346.50		
Carga	6	2.00	145.00	147.90	1264.55	1.79	179.00	347.00	346.00	347.00	347.00	347.00			
		4.00	145.00	147.90	1264.55	1.79	179.00	347.00	346.00	347.00	347.00	347.00			
		6.00	145.00	147.90	1264.55	1.79	179.00	347.00	346.00	347.00	347.00	347.00			
		8.00	145.00	147.90	1264.55	1.79	179.00	347.00	346.00	347.00	347.00	347.00			
		10.00	145.00	147.90	1264.55	1.79	179.00	348.00	347.00	349.00	348.00	348.00			



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES



PRUEBA DE CARGA HORIZONTAL CON PLACA

CALC - CARGP - 01/2018

A. DATOS GENERALES

Proyecto: **Prueba piloto equipo de carga horizontal**

Ubicación: **Campus Cota Cota**

Ensayo N°: **PLT - 01**

B. DESARROLLO DE LA PRUEBA

Hora de inicio: **10:30**

Hora de conclusión: **15:00**

Profundidad de sondeo (m): **1.50**

Fecha: **23/9/2021**

Operador: **Ruben Yujira**

Supervisor: **Ruben Yujira**

Condiciones climáticas: **Cielo despejado**

Diámetro de la placa: **30.00 cm**

Tipo de suelo: **Arcilloso limoso con grava y arena**

Carga	7	175.00	178.50	1526.18	2.16	216.00	368.00	376.00	372.00	
		2.00	175.00	1526.18	2.16	216.00	368.00	376.00	372.00	
		4.00	175.00	1526.18	2.16	216.00	368.00	376.00	372.00	373.00
		6.00	175.00	1526.18	2.16	216.00	368.00	376.00	372.50	
		8.00	175.00	1526.18	2.16	216.00	369.00	377.00	373.00	
Carga	8	198.00	201.96	1726.76	2.44	244.00	388.00	395.00	391.50	
		2.00	198.00	1726.76	2.44	244.00	388.00	395.00	391.50	
		4.00	198.00	1726.76	2.44	244.00	388.00	395.00	391.50	391.50
		6.00	198.00	1726.76	2.44	244.00	388.00	395.00	391.50	
		8.00	198.00	1726.76	2.44	244.00	388.00	395.00	391.50	
Descarga	1	95.00	96.90	828.50	1.17	117.00	378.00	389.00	383.50	
		2.00	95.00	828.50	1.17	117.00	378.00	389.00	383.50	
		4.00	95.00	828.50	1.17	117.00	378.00	389.00	383.50	383.50
		6.00	95.00	828.50	1.17	117.00	378.00	389.00	383.50	
		8.00	95.00	828.50	1.17	117.00	378.00	389.00	383.50	
Descarga	2	45.00	45.90	392.45	0.56	56.00	372.00	381.00	376.50	
		2.00	45.00	392.45	0.56	56.00	372.00	381.00	376.50	
		4.00	45.00	392.45	0.56	56.00	372.00	381.00	376.50	376.50
		6.00	45.00	392.45	0.56	56.00	372.00	381.00	376.50	
		8.00	45.00	392.45	0.56	56.00	372.00	381.00	376.50	
Descarga	3	364.00	371.00	364.00	-	-	364.00	371.00	367.50	
		2.00	364.00	371.00	-	-	364.00	371.00	367.50	
		4.00	364.00	371.00	-	-	364.00	371.00	367.50	367.50
		6.00	364.00	371.00	-	-	364.00	371.00	367.50	
		8.00	364.00	371.00	-	-	364.00	371.00	367.50	

NOTAS:

- 1) El proceso de carga debe incluir al menos seis escalones con intervalos aproximadamente iguales entre ellos.
- 2) En los ciclos de carga y descarga únicamente se puede pasar al nivel siguiente cuando las variaciones medidas cada 2 minutos no sean superiores a 0.2 mm/min
- 3) El proceso de descarga se debe realizar en tres escalones de: 50%, 25% y 0%.
- 4) El ensayo se interrumpirá en el caso de que se produzcan hundimientos con la correspondiente descarga, o si, al aumentar la carga, se produce un fuerte incremento de las deformaciones
- 5) Se debe continuar el ensayo hasta que el asentamiento total alcance por lo menos el 10% del diámetro de la placa



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES



PRUEBA DE CARGA HORIZONTAL CON PLACA

CALC - CARGP - 01/2021

A. DATOS GENERALES

Proyecto: **Prueba piloto equipo de carga horizontal**
Ubicación: **Campus Cota Cota**
Ensayo N°: **PLT - 02**

Fecha: **7/10/2021**
Operador: **Ruben Yujra**
Supervisor: **Ruben Yujra**

B. DESARROLLO DE LA PRUEBA

Hora de inicio: **11:00**
Hora de conclusión: **15:00**
Profundidad de sondeo (m): **1.50**

Condiciones climáticas: **Cielo nublado**
Diámetro de la placa: **30.00** cm
Tipo de suelo: **Arcilloso - Limoso con presencia de arena**

Carga/Descarga	Ciclo N°	Tiempo (min)	Tension		Fuerza transmitida kg	Tension Normal (*)		Lectura de comparadores (10 ⁻² mm)		Promedio (10 ⁻² mm)	Asiento (mm)	Observaciones
			Bar	kg/cm2		kg/cm2	kN/m2	a	b			
Carga	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		2.00	14.00	14.28	0.17	122.09	17.00	139.00	156.00	147.50		
		4.00	14.00	14.28	0.17	122.09	17.00	139.00	156.00	147.50		
		6.00	14.00	14.28	0.17	122.09	17.00	139.00	156.00	147.50		
		8.00	14.00	14.28	0.17	122.09	17.00	139.00	156.00	147.50		
Carga	2	10.00	14.00	14.28	0.17	122.09	17.00	139.00	156.00	147.50		
		-	18.00	18.36	0.22	156.98	22.00	188.00	192.00	190.00		
		2.00	18.00	18.36	0.22	156.98	22.00	188.00	192.00	190.00		
		4.00	18.00	18.36	0.22	156.98	22.00	188.00	192.00	190.00		
		6.00	18.00	18.36	0.22	156.98	22.00	188.00	192.00	190.00		
Carga	3	8.00	18.00	18.36	0.22	156.98	22.00	188.00	192.00	190.00		
		10.00	18.00	18.36	0.22	156.98	22.00	188.00	192.00	190.00		
		-	18.00	18.36	0.22	156.98	22.00	188.00	192.00	190.00		
		2.00	18.00	18.36	0.22	156.98	22.00	188.00	192.00	190.00		
		4.00	18.00	18.36	0.22	156.98	22.00	188.00	192.00	190.00		



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
 FACULTAD DE INGENIERIA
 CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES



PRUEBA DE CARGA HORIZONTAL CON PLACA

CALC - CARGP - 01/2021

Carga	11	-	160.00	163.20	1 395.36	1.97	197.00	342.00	364.00	353.00
		2.00	160.00	163.20	1 395.36	1.97	197.00	342.00	364.00	353.00
		4.00	160.00	163.20	1 395.36	1.97	197.00	342.00	364.00	353.00
		6.00	160.00	163.20	1 395.36	1.97	197.00	342.00	364.00	353.00
		8.00	160.00	163.20	1 395.36	1.97	197.00	342.00	364.00	353.00
		10.00	160.00	163.20	1 395.36	1.97	197.00	342.00	364.00	353.00
		-	180.00	183.60	1 569.78	2.22	222.00	347.00	370.00	358.50
		2.00	180.00	183.60	1 569.78	2.22	222.00	347.00	370.00	358.50
		4.00	180.00	183.60	1 569.78	2.22	222.00	347.00	370.00	358.50
		6.00	180.00	183.60	1 569.78	2.22	222.00	347.00	370.00	358.50
Carga	12	8.00	180.00	183.60	1 569.78	2.22	222.00	347.00	370.00	358.50
		10.00	180.00	183.60	1 569.78	2.22	222.00	347.00	370.00	358.50
		-	200.00	204.00	1 744.20	2.47	247.00	356.00	376.00	366.00
		2.00	200.00	204.00	1 744.20	2.47	247.00	356.00	376.00	366.00
		4.00	200.00	204.00	1 744.20	2.47	247.00	356.00	376.00	366.00
		6.00	200.00	204.00	1 744.20	2.47	247.00	356.00	376.00	366.00
		8.00	200.00	204.00	1 744.20	2.47	247.00	356.00	376.00	366.00
		10.00	200.00	204.00	1 744.20	2.47	247.00	356.00	376.00	366.00
		-	353.00	353.00	353.00	353.00	353.00	353.00	353.00	353.00
		-	358.50	358.50	358.50	358.50	358.50	358.50	358.50	358.50
Carga	13	2.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00
		4.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00
		6.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00
		8.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00
		10.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00
		-	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00
		2.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00
		4.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00
		6.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00
		8.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00	366.00



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES



PRUEBA DE CARGA HORIZONTAL CON PLACA													CALC - CARGP - 01/2021	
Descarga	1	-	110.00	112.20	959.31	1.36	136.00	338.00	367.00	352.50				
		2.00	110.00	112.20	959.31	1.36	136.00	338.00	367.00	352.50				
		4.00	110.00	112.20	959.31	1.36	136.00	338.00	367.00	352.50				
		6.00	110.00	112.20	959.31	1.36	136.00	338.00	367.00	352.50			352.50	
		8.00	110.00	112.20	959.31	1.36	136.00	338.00	367.00	352.50			352.50	
		10.00	110.00	112.20	959.31	1.36	136.00	338.00	367.00	352.50			352.50	
		-	60.00	61.20	523.26	0.74	74.00	333.00	361.00	347.00				
		2.00	60.00	61.20	523.26	0.74	74.00	333.00	361.00	347.00				
		4.00	60.00	61.20	523.26	0.74	74.00	333.00	361.00	347.00				
		6.00	60.00	61.20	523.26	0.74	74.00	333.00	361.00	347.00				347.00
8.00	60.00	61.20	523.26	0.74	74.00	333.00	361.00	347.00				347.00		
10.00	60.00	61.20	523.26	0.74	74.00	333.00	361.00	347.00				347.00		
-	20.00	20.40	174.42	0.25	25.00	331.00	353.00	342.00						
2.00	20.00	20.40	174.42	0.25	25.00	331.00	353.00	342.00						
4.00	20.00	20.40	174.42	0.25	25.00	331.00	353.00	342.00						
6.00	20.00	20.40	174.42	0.25	25.00	331.00	353.00	342.00				342.00		
8.00	20.00	20.40	174.42	0.25	25.00	331.00	353.00	342.00				342.00		
10.00	20.00	20.40	174.42	0.25	25.00	331.00	353.00	342.00				342.00		
-	-	-	-	-	-	328.00	341.00	334.50						
2.00	-	-	-	-	-	328.00	341.00	334.50						
4.00	-	-	-	-	-	328.00	341.00	334.50						
6.00	-	-	-	-	-	328.00	341.00	334.50				334.50		
8.00	-	-	-	-	-	328.00	341.00	334.50				334.50		
10.00	-	-	-	-	-	328.00	341.00	334.50				334.50		

NOTAS:

- 1) El proceso de carga debe incluir al menos seis escalones con intervalos aproximadamente iguales entre ellos.
- 2) En los ciclos de carga y descarga únicamente se puede pasar al nivel siguiente cuando las variaciones medidas cada 2 minutos no sean superiores a 0.2 mm/min
- 3) El proceso de descarga se debe realizar en tres escalones de: 50%, 25% y 0%.
- 4) El ensayo se interrumpe en el caso de que se produzcan hundimientos con la correspondiente descarga, o si, al aumentar la carga, se produce un fuerte incremento de las deformaciones
- 5) Se debe continuar el ensayo hasta que el asentamiento total alcance por lo menos el 10% del diámetro de la placa



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES



PRUEBA DE CARGA HORIZONTAL CON PLACA

CALC - CARGP - 01/2021

A. DATOS GENERALES

Proyecto: Prueba piloto equipo de carga horizontal
Ubicación: Campus Cota Cota
Ensayo Nº: PLT-03

B. DESARROLLO DE LA PRUEBA

Hora de inicio: 10:30
Hora de conclusión: 13:00
Profundidad de sondeo (m): 1.40

Fecha: 14/10/2021
Operador: Ruben Yujra
Supervisor: Ruben Yujra

Condiciones climáticas: Cielo despejado
Diámetro de la placa: 30.00 cm
Tipo de suelo: Arcilloso - Limoso con presencia de arena

Carga/Descarga	Ciclo N°	Tiempo (min)	Tension		Fuerza transmitida kg	Tension Normal (*)		Lectura de comparadores (10 ⁻² mm)			Promedio (10 ⁻² mm) (a+b)*0.5	Asiento (mm)	Observaciones
			Bar	kg/cm2		kg/cm2	kN/m2	a	b				
Carga	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2.00	22.00	22.44	191.86	0.27	27.00	194.00	216.00	205.00	205.00	205.00	-
		4.00	22.00	22.44	191.86	0.27	27.00	194.00	216.00	205.00	205.00	205.00	-
		6.00	22.00	22.44	191.86	0.27	27.00	195.00	215.00	205.00	205.00	205.00	-
		8.00	22.00	22.44	191.86	0.27	27.00	195.00	215.00	205.00	205.00	205.00	-
Carga	2	10.00	22.00	22.44	191.86	0.27	27.00	195.00	215.00	205.00	205.00	205.00	-
		-	52.00	53.04	453.49	0.64	64.00	264.00	307.00	285.50	285.50	285.50	-
		2.00	52.00	53.04	453.49	0.64	64.00	264.00	307.00	285.50	285.50	285.50	-
		4.00	52.00	53.04	453.49	0.64	64.00	264.00	307.00	285.50	285.50	285.50	-
		6.00	52.00	53.04	453.49	0.64	64.00	265.00	306.00	285.50	285.50	285.50	-
Carga	3	8.00	52.00	53.04	453.49	0.64	64.00	265.00	306.00	285.50	285.50	285.50	-
		10.00	52.00	53.04	453.49	0.64	64.00	265.00	306.00	285.50	285.50	285.50	-



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES



		PRUEBA DE CARGA HORIZONTAL CON PLACA														CALC. - CARGP - 01 / 2021	
Carga	4	62.00	63.24	540.70	0.76	76.00	278.00	321.00									299.50
		2.00	62.00	540.70	0.76	76.00	278.00	320.00									299.00
		4.00	62.00	540.70	0.76	76.00	278.00	320.00									299.00
		6.00	62.00	540.70	0.76	76.00	277.00	320.00									298.50
		8.00	62.00	540.70	0.76	76.00	277.00	320.00									298.50
		10.00	62.00	540.70	0.76	76.00	277.00	320.00									298.50
		-	72.00	627.91	0.89	89.00	283.00	329.00									306.00
		2.00	72.00	627.91	0.89	89.00	283.00	329.00									306.00
		4.00	72.00	627.91	0.89	89.00	282.00	328.00									305.00
		6.00	72.00	627.91	0.89	89.00	282.00	328.00									305.00
8.00	72.00	627.91	0.89	89.00	282.00	328.00									305.00		
10.00	72.00	627.91	0.89	89.00	282.00	328.00									305.00		
-	83.00	723.84	1.02	102.00	286.00	339.00									312.50		
2.00	83.00	723.84	1.02	102.00	286.00	339.00									312.50		
4.00	83.00	723.84	1.02	102.00	287.00	338.00									312.50		
6.00	83.00	723.84	1.02	102.00	287.00	338.00									312.50		
8.00	83.00	723.84	1.02	102.00	287.00	338.00									312.50		
10.00	83.00	723.84	1.02	102.00	287.00	338.00									312.50		
-	93.00	811.05	1.15	115.00	290.00	344.00									317.00		
2.00	93.00	811.05	1.15	115.00	290.00	344.00									317.00		
4.00	93.00	811.05	1.15	115.00	291.00	344.00									317.50		
6.00	93.00	811.05	1.15	115.00	291.00	344.00									317.50		
8.00	93.00	811.05	1.15	115.00	291.00	344.00									317.50		
10.00	93.00	811.05	1.15	115.00	291.00	344.00									317.50		
-	102.00	889.54	1.26	126.00	294.00	351.00									322.50		
2.00	102.00	889.54	1.26	126.00	294.00	351.00									322.50		
4.00	102.00	889.54	1.26	126.00	295.00	350.00									322.50		
6.00	102.00	889.54	1.26	126.00	295.00	350.00									322.50		
8.00	102.00	889.54	1.26	126.00	295.00	350.00									322.50		
10.00	102.00	889.54	1.26	126.00	295.00	350.00									322.50		
-	112.00	976.75	1.38	138.00	300.00	357.00									328.50		
2.00	112.00	976.75	1.38	138.00	299.00	357.00									328.00		
4.00	112.00	976.75	1.38	138.00	299.00	356.00									327.50		
6.00	112.00	976.75	1.38	138.00	299.00	356.00									327.50		
8.00	112.00	976.75	1.38	138.00	299.00	356.00									327.50		
10.00	112.00	976.75	1.38	138.00	299.00	356.00									327.50		
-	130.00	1133.73	1.60	160.00	306.00	368.00									337.00		
2.00	130.00	1133.73	1.60	160.00	306.00	368.00									337.00		
4.00	130.00	1133.73	1.60	160.00	306.00	368.00									337.00		
6.00	130.00	1133.73	1.60	160.00	307.00	367.00									337.00		
8.00	130.00	1133.73	1.60	160.00	307.00	367.00									337.00		
10.00	130.00	1133.73	1.60	160.00	307.00	367.00									337.00		
-	144.00	1255.82	1.78	178.00	312.00	374.00									343.00		
2.00	144.00	1255.82	1.78	178.00	312.00	374.00									343.00		
4.00	144.00	1255.82	1.78	178.00	313.00	374.00									343.00		
6.00	144.00	1255.82	1.78	178.00	313.00	374.00									343.00		
8.00	144.00	1255.82	1.78	178.00	313.00	375.00									344.00		
10.00	144.00	1255.82	1.78	178.00	313.00	375.00									344.00		
-	162.00	1412.80	2.00	200.00	319.00	385.00									352.00		



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES



PRUEBA DE CARGA HORIZONTAL CON PLACA

CALC - CARGP - 01/2021

A. DATOS GENERALES

Proyecto: **Prueba piloto equipo de carga horizontal**
Ubicación: **Campus Cota Cota**
Ensayo N°: **PLT - 04**

Fecha: **21/10/2021**
Operador: **Ruben Yujra**
Supervisor: **Ruben Yujra**

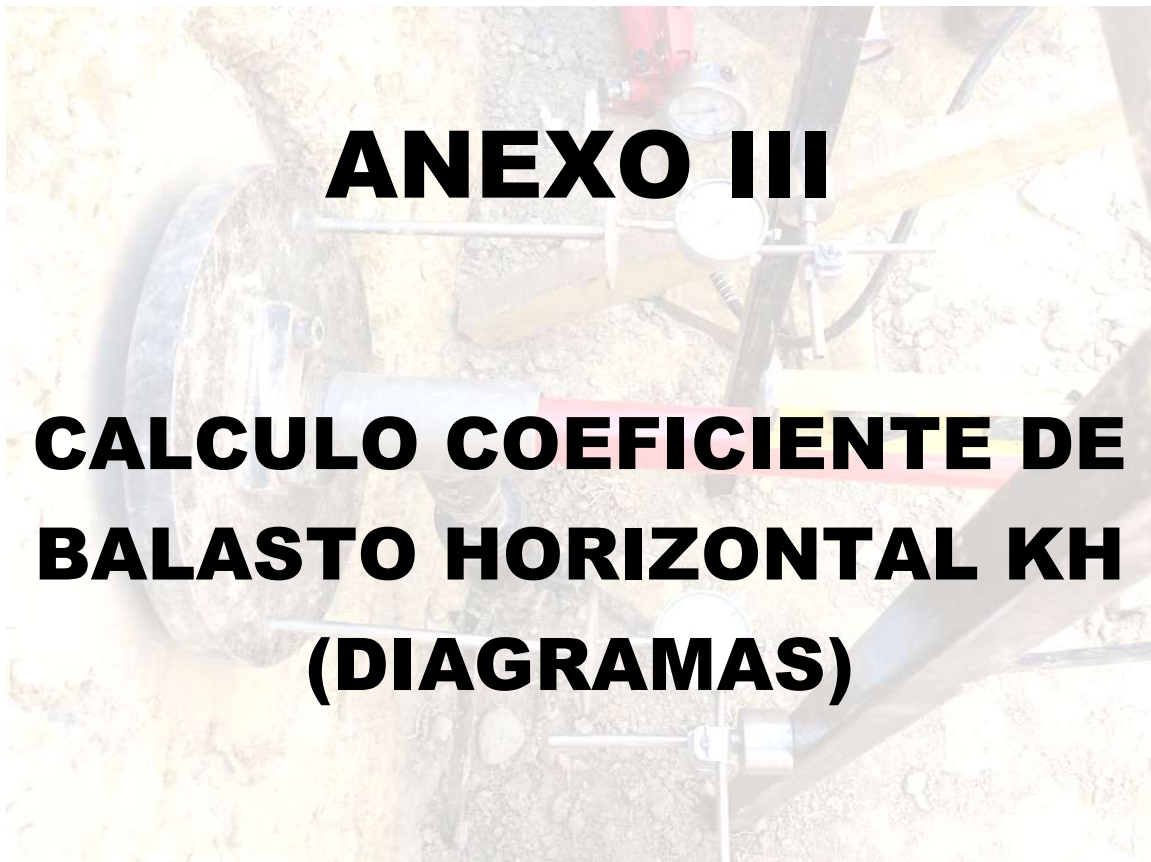
B. DESARROLLO DE LA PRUEBA

Horas de inicio: **10:30**
Horas de conclusión: **14:00**
Profundidad de sondeo (m): **1.40**

Condiciones climáticas: **Cielo despejado**
Diámetro de la placa: **30.00** cm
Tipo de suelo: **Arcilloso - Limoso con presencia de arena**

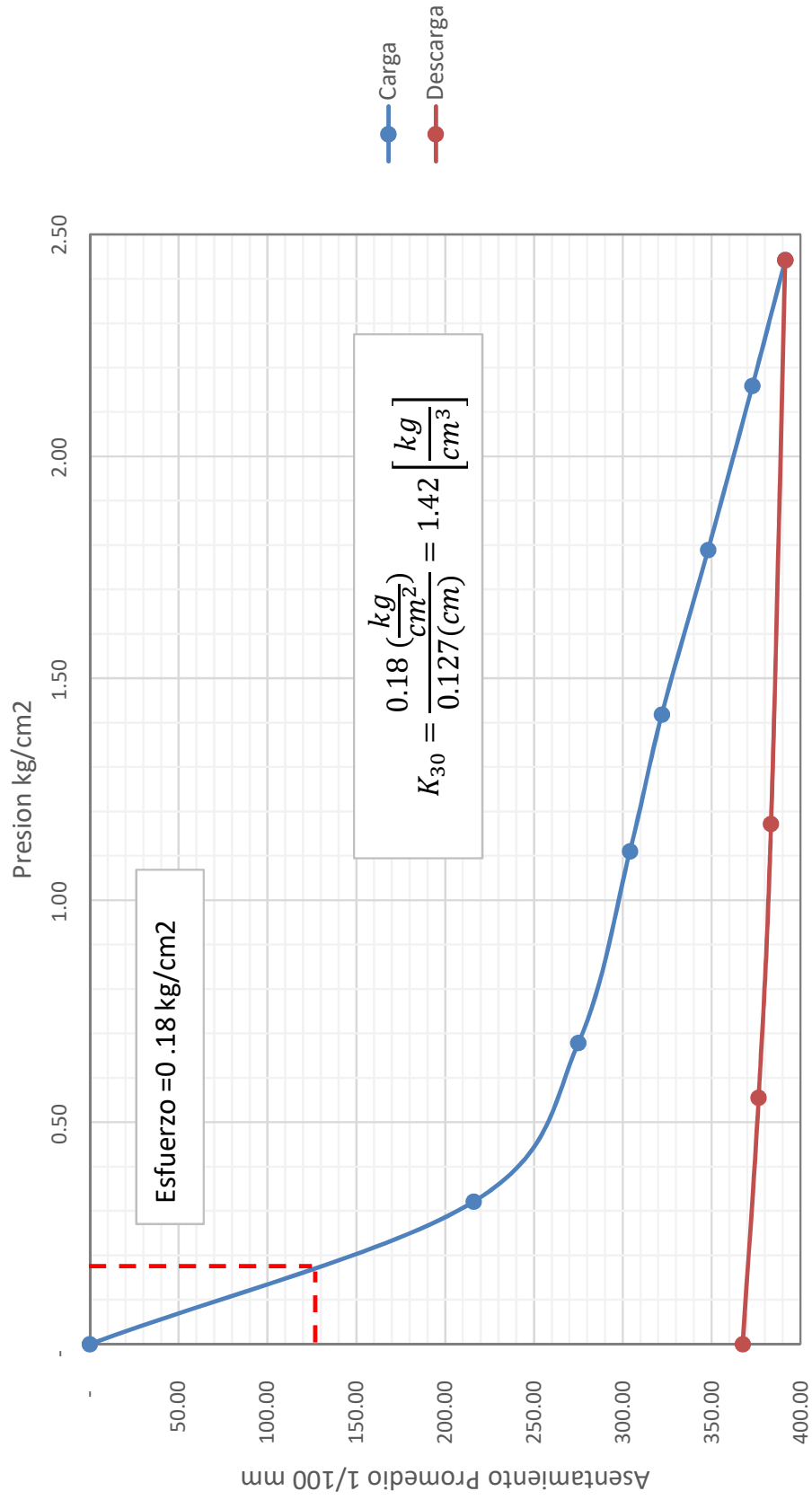
Carga/Descarga	Ciclo N°	Tiempo (min)	Tension		Fuerza transmitida (kg)	Tension Normal (*)		Lectura de comparadores (10 ⁻² mm)		Promedio (10 ⁻² mm) (a+b)*0.5	Asiento (mm)	Observaciones
			Bar	kg/cm2		kg/cm2	kN/m2	a	b			
Carga	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2.00	14.00	14.28	0.17	122.09	17.00	148.00	139.00	143.50	-	-
		4.00	14.00	14.28	0.17	122.09	17.00	148.00	139.00	143.50	-	-
		6.00	14.00	14.28	0.17	122.09	17.00	148.00	139.00	143.50	-	-
		8.00	14.00	14.28	0.17	122.09	17.00	149.00	140.00	144.50	-	-
Carga	2	10.00	14.00	14.28	0.17	122.09	17.00	149.00	140.00	144.50	-	-
		-	16.00	16.32	0.20	139.54	20.00	187.00	195.00	191.00	-	-
		2.00	16.00	16.32	0.20	139.54	20.00	187.00	195.00	191.00	-	-
		4.00	16.00	16.32	0.20	139.54	20.00	187.00	195.00	191.00	-	-
		6.00	16.00	16.32	0.20	139.54	20.00	187.00	196.00	191.50	-	-
Carga	3	8.00	16.00	16.32	0.20	139.54	20.00	188.00	196.00	192.00	-	-
		10.00	16.00	16.32	0.20	139.54	20.00	188.00	196.00	192.00	-	-
		-	16.00	16.32	0.20	139.54	20.00	188.00	196.00	192.00	-	-

PROYECTO DE GRADO: "Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa"

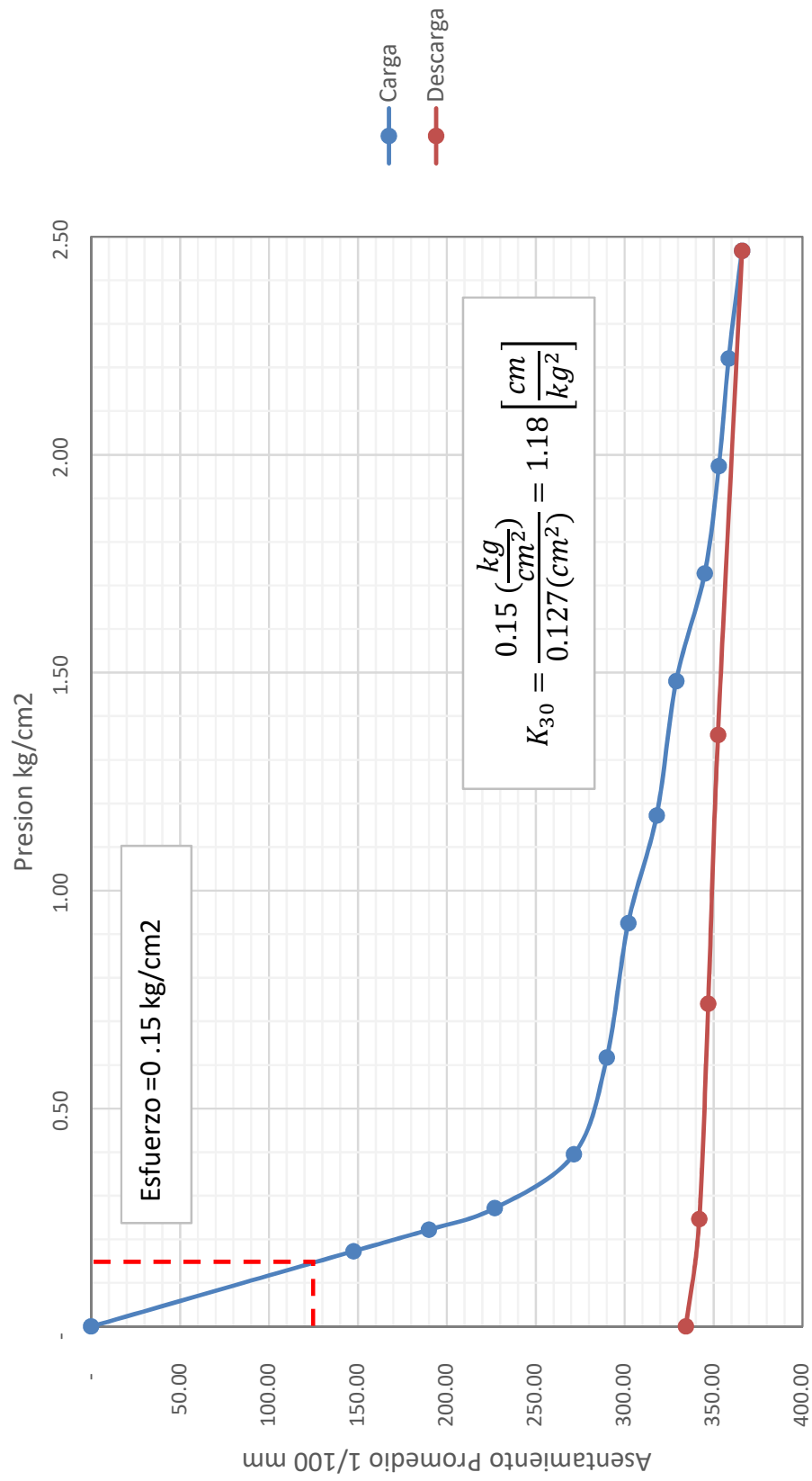


Postulante: Univ. Rubén Fernando Yujra Tintaya

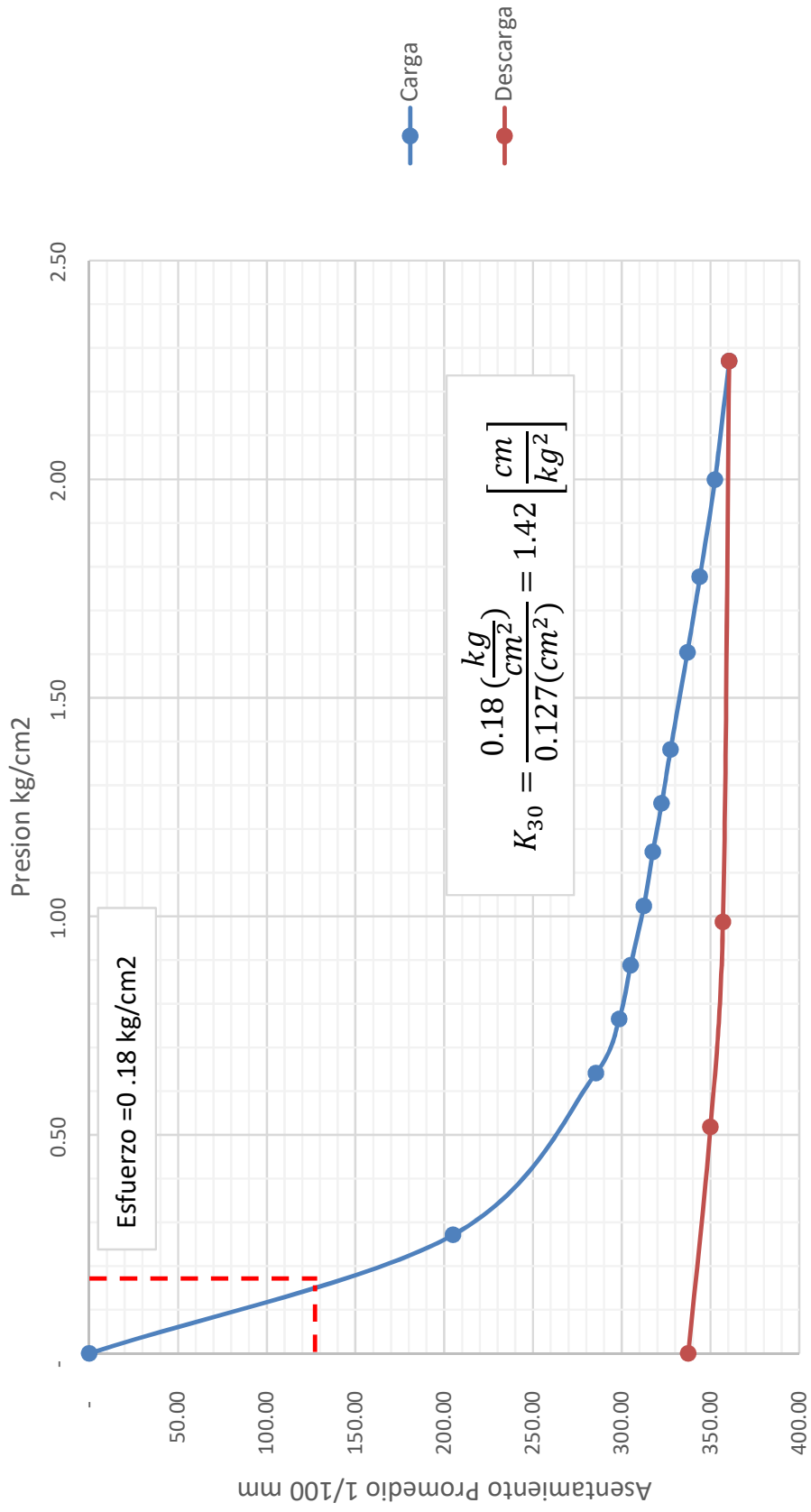
Determinación de Kh (PLT - 01)



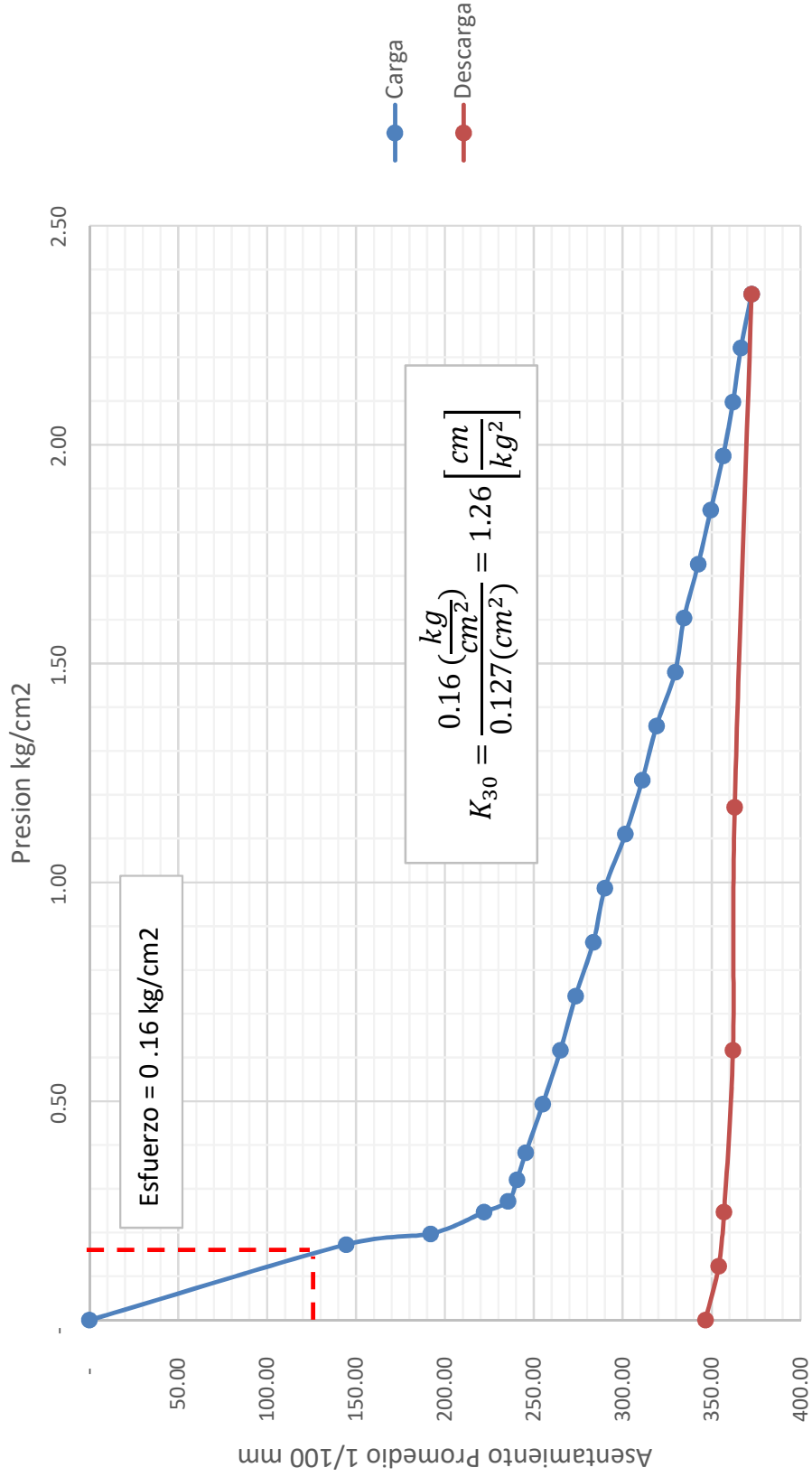
Determinación de Kh (PLT - 02)



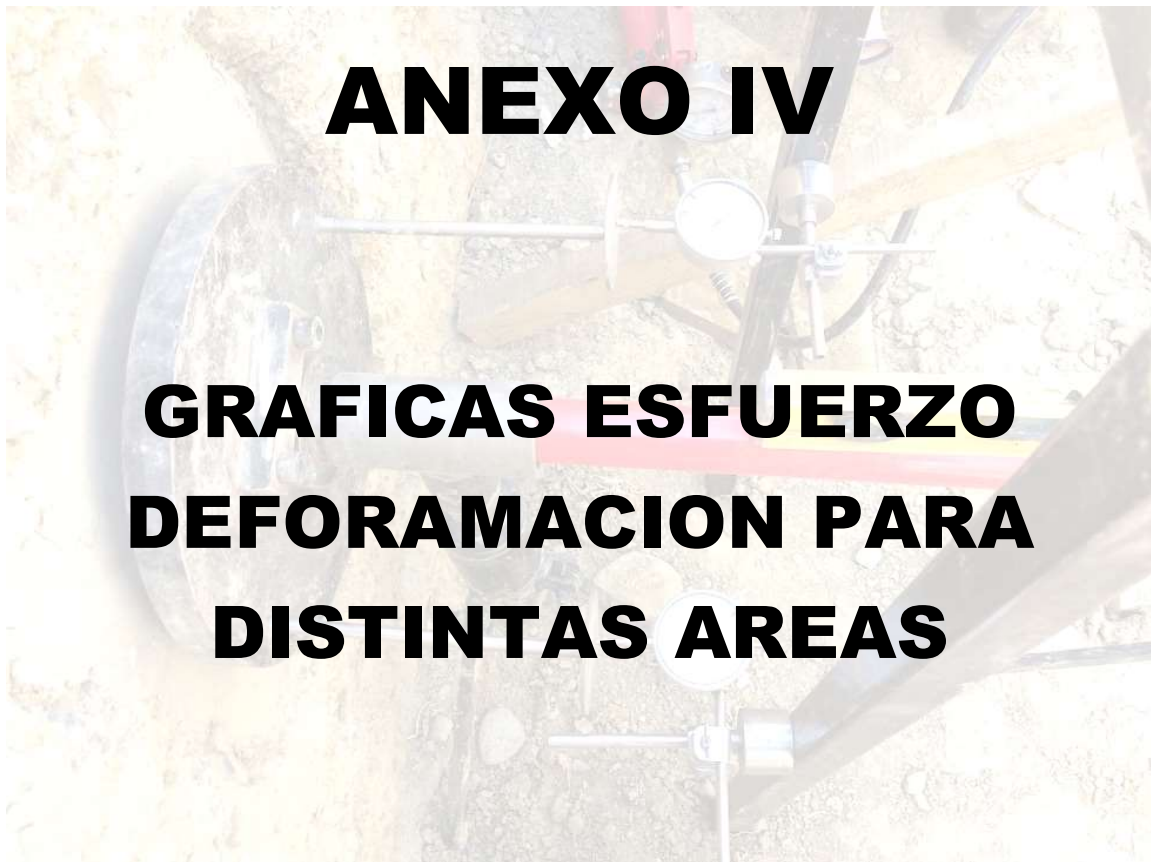
Determinación de Kh (PLT - 03)



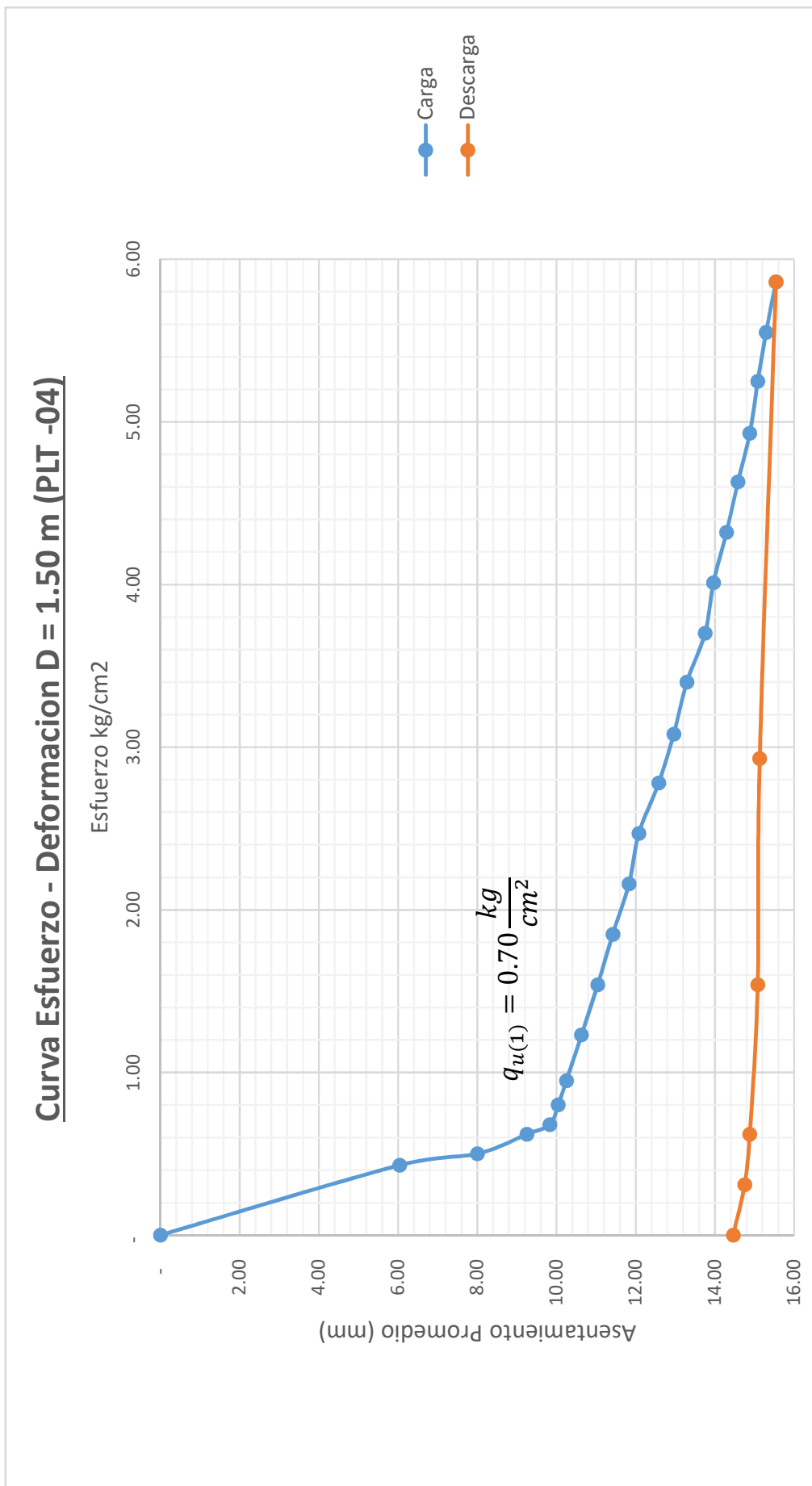
Determinación de Kh (PLT - 04)



PROYECTO DE GRADO: “Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa”



Postulante: Univ. Rubén Fernando Yujra Tintaya



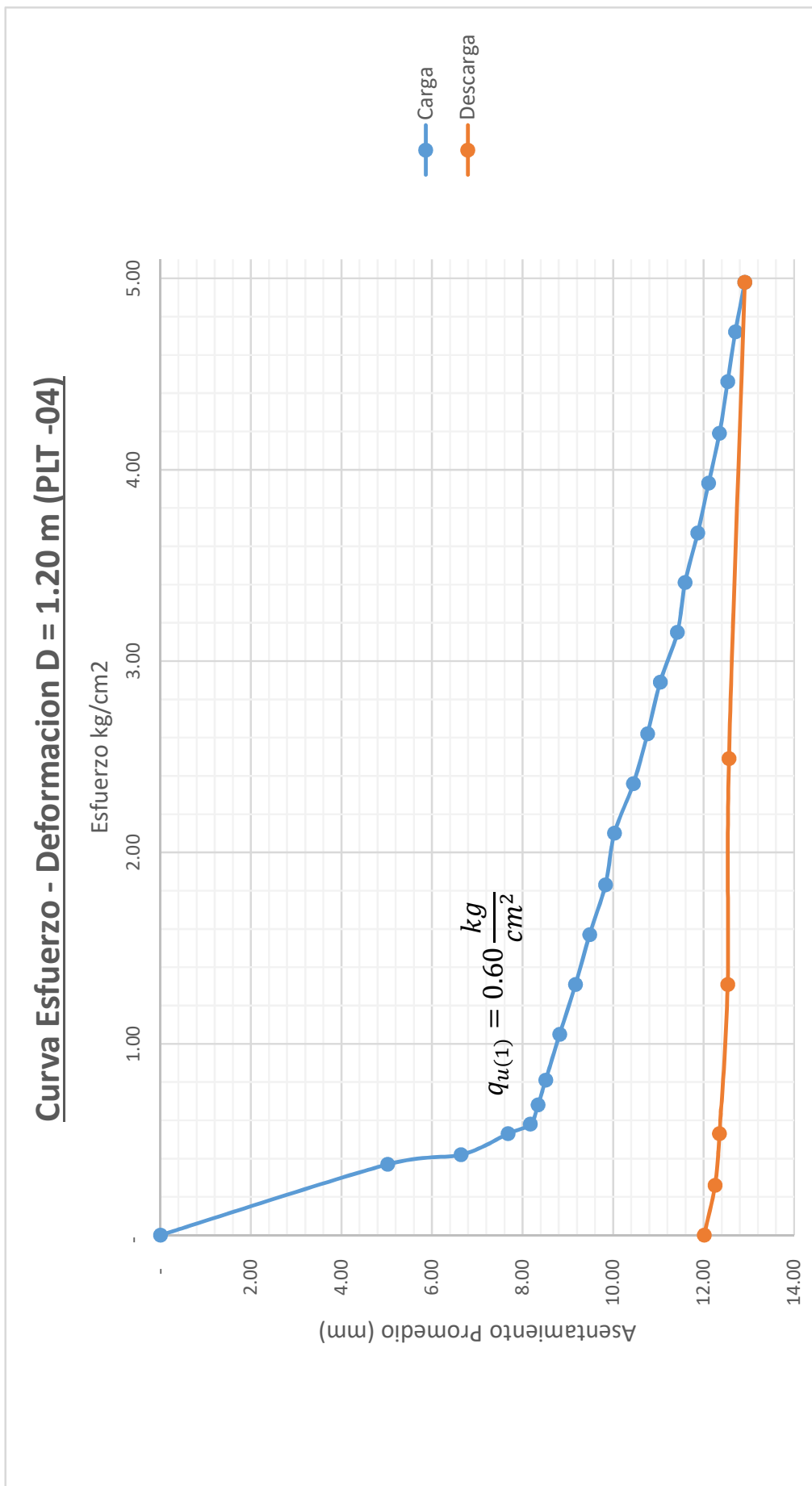
Calculo de curva Esfuerzo - Deformacion - Ensayo PLT - 04
Placa 1.50 m (a partir de placa de 0.30 m)

$$S_F = S_P * \frac{B_F}{B_P} \quad (\text{arcillas}) \quad q_{u(F)} = q_{u(P)} \quad (\text{arcillas})$$

$$S_F = S_P * \left[\frac{2 * B_F}{B_F + B_P} \right]^2 \quad (\text{arenosos}) \quad q_{u(F)} = q_{u(P)} * \frac{B_F}{B_P} \quad (\text{arenosos})$$

Ancho de cimentacion:	1.50	m	Grava	10.32%	0.34%	5.33%	37.50%
Ancho de placa:	0.30	m	Arena	31.67%	32.67%	32.17%	
			Finos	58.01%	66.99%	62.50%	62.50%

No	Esfuerzo (kg/cm2)	Asentamiento (1/100 mm)	Asentamiento (mm)	Sf (mm)			q (kg/cm2)		
				Arcilla	Arena	Ponderado	Arcilla	Arena	Ponderado
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0.17	144.50	1.45	7.25	4.03	6.04	0.17	0.86	0.43
3	0.20	192.00	1.92	9.60	5.33	8.00	0.20	0.99	0.50
4	0.25	222.00	2.22	11.10	6.17	9.25	0.25	1.23	0.62
5	0.27	235.50	2.36	11.80	6.56	9.83	0.27	1.36	0.68
6	0.32	240.50	2.41	12.05	6.69	10.04	0.32	1.60	0.80
7	0.38	245.50	2.46	12.30	6.83	10.25	0.38	1.91	0.95
8	0.49	255.00	2.55	12.75	7.08	10.63	0.49	2.47	1.23
9	0.62	265.00	2.65	13.25	7.36	11.04	0.62	3.08	1.54
10	0.74	273.50	2.74	13.70	7.61	11.42	0.74	3.70	1.85
11	0.86	283.50	2.84	14.20	7.89	11.83	0.86	4.32	2.16
12	0.99	290.00	2.90	14.50	8.06	12.08	0.99	4.94	2.47
13	1.11	301.50	3.02	15.10	8.39	12.58	1.11	5.55	2.78
14	1.23	311.00	3.11	15.55	8.64	12.96	1.23	6.17	3.08
15	1.36	319.00	3.19	15.95	8.86	13.29	1.36	6.79	3.40
16	1.48	329.50	3.30	16.50	9.17	13.75	1.48	7.40	3.70
17	1.60	334.50	3.35	16.75	9.31	13.96	1.60	8.02	4.01
18	1.73	342.50	3.43	17.15	9.53	14.29	1.73	8.64	4.32
19	1.85	349.50	3.50	17.50	9.72	14.58	1.85	9.25	4.63
20	1.97	356.50	3.57	17.85	9.92	14.88	1.97	9.87	4.93
21	2.10	362.00	3.62	18.10	10.06	15.08	2.10	10.49	5.25
22	2.22	366.50	3.67	18.35	10.19	15.29	2.22	11.10	5.55
23	2.34	372.50	3.73	18.65	10.36	15.54	2.34	11.72	5.86
24	1.17	363.00	3.63	18.15	10.08	15.13	1.17	5.86	2.93
25	0.62	362.00	3.62	18.10	10.06	15.08	0.62	3.08	1.54
26	0.25	357.00	3.57	17.85	9.92	14.88	0.25	1.23	0.62
27	0.12	354.00	3.54	17.70	9.83	14.75	0.12	0.62	0.31
28	-	346.50	3.47	17.35	9.64	14.46	-	-	-



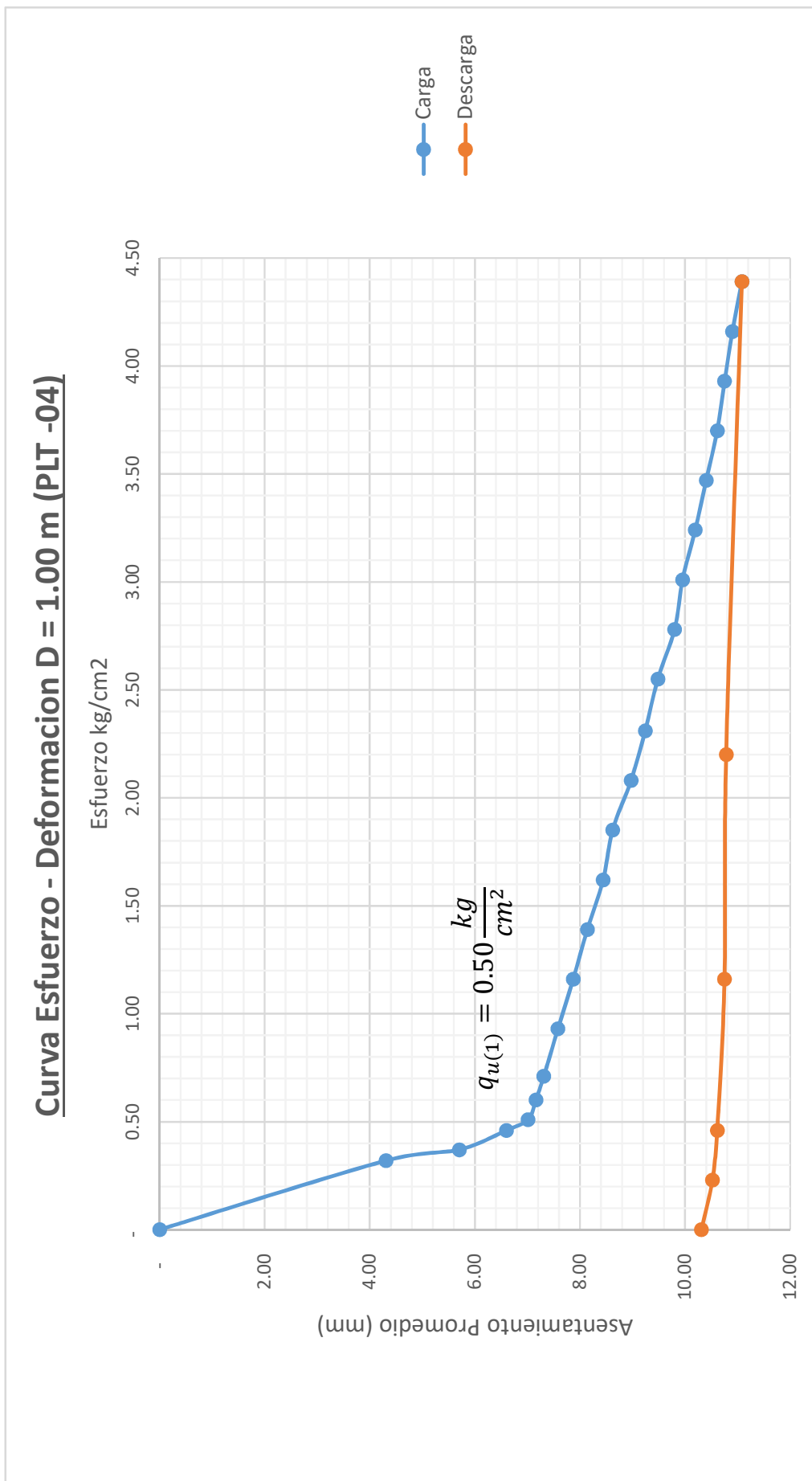
Calculo de curva Esfuerzo - Deformacion - Ensayo PLT - 04
Placa 1.20 m (a partir de placa de 0.30 m)

$$S_F = S_P * \frac{B_F}{B_P} \quad (\text{arcillas}) \quad q_{u(F)} = q_{u(P)} \quad (\text{arcillas})$$

$$S_F = S_P * \left[\frac{2 * B_F}{B_F + B_P} \right]^2 \quad (\text{arenosos}) \quad q_{u(F)} = q_{u(P)} * \frac{B_F}{B_P} \quad (\text{arenosos})$$

Ancho de cimentacion:	1.20	m	Grava	10.32%	0.34%	5.33%	37.50%
Ancho de placa:	0.30	m	Arena	31.67%	32.67%	32.17%	
			Finos	58.01%	66.99%	62.50%	62.50%

No	Esfuerzo (kg/cm2)	Asentamiento (1/100 mm)	Asentamiento (mm)	Sf (mm)			q (kg/cm2)		
				Arcilla	Arena	Ponderado	Arcilla	Arena	Ponderado
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0.17	144.50	1.45	5.80	3.71	5.02	0.17	0.69	0.37
3	0.20	192.00	1.92	7.68	4.92	6.64	0.20	0.79	0.42
4	0.25	222.00	2.22	8.88	5.68	7.68	0.25	0.99	0.53
5	0.27	235.50	2.36	9.44	6.04	8.17	0.27	1.09	0.58
6	0.32	240.50	2.41	9.64	6.17	8.34	0.32	1.28	0.68
7	0.38	245.50	2.46	9.84	6.30	8.51	0.38	1.53	0.81
8	0.49	255.00	2.55	10.20	6.53	8.82	0.49	1.97	1.05
9	0.62	265.00	2.65	10.60	6.78	9.17	0.62	2.47	1.31
10	0.74	273.50	2.74	10.96	7.01	9.48	0.74	2.96	1.57
11	0.86	283.50	2.84	11.36	7.27	9.83	0.86	3.45	1.83
12	0.99	290.00	2.90	11.60	7.42	10.03	0.99	3.95	2.10
13	1.11	301.50	3.02	12.08	7.73	10.45	1.11	4.44	2.36
14	1.23	311.00	3.11	12.44	7.96	10.76	1.23	4.94	2.62
15	1.36	319.00	3.19	12.76	8.17	11.04	1.36	5.43	2.89
16	1.48	329.50	3.30	13.20	8.45	11.42	1.48	5.92	3.15
17	1.60	334.50	3.35	13.40	8.58	11.59	1.60	6.42	3.41
18	1.73	342.50	3.43	13.72	8.78	11.87	1.73	6.91	3.67
19	1.85	349.50	3.50	14.00	8.96	12.11	1.85	7.40	3.93
20	1.97	356.50	3.57	14.28	9.14	12.35	1.97	7.90	4.19
21	2.10	362.00	3.62	14.48	9.27	12.53	2.10	8.39	4.46
22	2.22	366.50	3.67	14.68	9.40	12.70	2.22	8.88	4.72
23	2.34	372.50	3.73	14.92	9.55	12.91	2.34	9.38	4.98
24	1.17	363.00	3.63	14.52	9.29	12.56	1.17	4.69	2.49
25	0.62	362.00	3.62	14.48	9.27	12.53	0.62	2.47	1.31
26	0.25	357.00	3.57	14.28	9.14	12.35	0.25	0.99	0.53
27	0.12	354.00	3.54	14.16	9.06	12.25	0.12	0.49	0.26
28	-	346.50	3.47	13.88	8.88	12.01	-	-	-



Calculo de curva Esfuerzo - Deformacion - Ensayo PLT - 04
Placa 1.00 m (a partir de placa de 0.30 m)

$$S_F = S_P * \frac{B_F}{B_P} \quad (\text{arcillas}) \quad q_{u(F)} = q_{u(P)} \quad (\text{arcillas})$$

$$S_F = S_P * \left[\frac{2 * B_F}{B_F + B_P} \right]^2 \quad (\text{arenosos}) \quad q_{u(F)} = q_{u(P)} * \frac{B_F}{B_P} \quad (\text{arenosos})$$

Ancho de cimentacion:	1.00	m	Grava	10.32%	0.34%	5.33%	37.50%
Ancho de placa:	0.30	m	Arena	31.67%	32.67%	32.17%	
			Finos	58.01%	66.99%	62.50%	62.50%

No	Esfuerzo (kg/cm2)	Asentamiento (1/100 mm)	Asentamiento (mm)	Sf (mm)			q (kg/cm2)		
				Arcilla	Arena	Ponderado	Arcilla	Arena	Ponderado
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0.17	144.50	1.45	4.83	3.43	4.31	0.17	0.58	0.32
3	0.20	192.00	1.92	6.40	4.54	5.70	0.20	0.66	0.37
4	0.25	222.00	2.22	7.40	5.25	6.60	0.25	0.82	0.46
5	0.27	235.50	2.36	7.87	5.59	7.01	0.27	0.90	0.51
6	0.32	240.50	2.41	8.03	5.70	7.16	0.32	1.07	0.60
7	0.38	245.50	2.46	8.20	5.82	7.31	0.38	1.27	0.71
8	0.49	255.00	2.55	8.50	6.04	7.58	0.49	1.65	0.93
9	0.62	265.00	2.65	8.83	6.27	7.87	0.62	2.06	1.16
10	0.74	273.50	2.74	9.13	6.49	8.14	0.74	2.47	1.39
11	0.86	283.50	2.84	9.47	6.72	8.44	0.86	2.88	1.62
12	0.99	290.00	2.90	9.67	6.86	8.62	0.99	3.29	1.85
13	1.11	301.50	3.02	10.07	7.15	8.97	1.11	3.70	2.08
14	1.23	311.00	3.11	10.37	7.36	9.24	1.23	4.11	2.31
15	1.36	319.00	3.19	10.63	7.55	9.48	1.36	4.52	2.55
16	1.48	329.50	3.30	11.00	7.81	9.80	1.48	4.94	2.78
17	1.60	334.50	3.35	11.17	7.93	9.95	1.60	5.35	3.01
18	1.73	342.50	3.43	11.43	8.12	10.19	1.73	5.76	3.24
19	1.85	349.50	3.50	11.67	8.28	10.40	1.85	6.17	3.47
20	1.97	356.50	3.57	11.90	8.45	10.61	1.97	6.58	3.70
21	2.10	362.00	3.62	12.07	8.57	10.75	2.10	6.99	3.93
22	2.22	366.50	3.67	12.23	8.69	10.90	2.22	7.40	4.16
23	2.34	372.50	3.73	12.43	8.83	11.08	2.34	7.81	4.39
24	1.17	363.00	3.63	12.10	8.59	10.78	1.17	3.91	2.20
25	0.62	362.00	3.62	12.07	8.57	10.75	0.62	2.06	1.16
26	0.25	357.00	3.57	11.90	8.45	10.61	0.25	0.82	0.46
27	0.12	354.00	3.54	11.80	8.38	10.52	0.12	0.41	0.23
28	-	346.50	3.47	11.57	8.21	10.31	-	-	-

PROYECTO DE GRADO: “Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa”



Postulante: Univ. Rubén Fernando Yujra Tintaya

Clasificación de Suelos Análisis Granulométrico por tamizado

ASTM	D 2487 - 93	AASHTO	
Proyecto:	"Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa"		
Muestra:	Pozo N° 1 (Muestra No 1 - MO1)	Fecha de ensayo:	oct-21
Muestreado por:	Ruben Yujra	Fecha de cálculo:	11/10/2021
		Ensayo realizado por:	Ruben Yujra

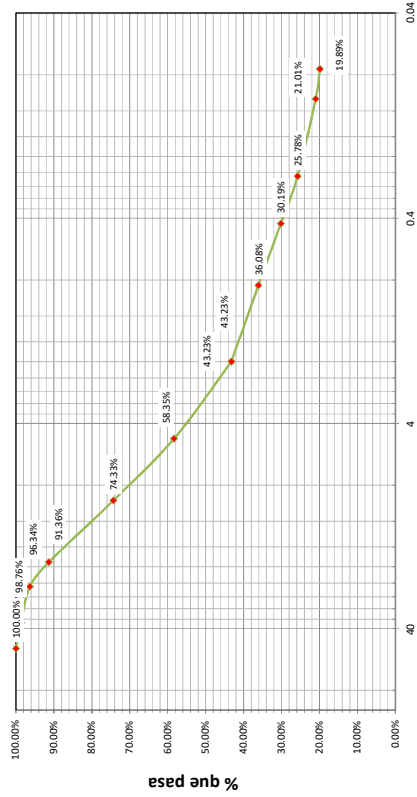
Determinación de humedad	Natural	Higroscópica
1. Peso húmedo + cápsula	1 301.25	165.54
2. Suelo seco + cápsula	1 264.92	165.12
3. Peso de agua (1-2)	36.33	0.42
4. Peso de la cápsula	152.43	65.54
5. Peso del suelo seco (2-4)	1 112.49	99.58
6. Porcentaje de humedad (3/5)	3.27	0.42

Peso seco de la muestra total

Muestra Total Humeda **9 423.00** g
 Peso de la muestra que es retenida en la malla Nº 10 (D) 5 340.07 g
 Agregado que pasa el tamiz Nº 10 (húmedo) 4 082.93 g
 Agregado que pasa el tamiz Nº 10 (seco) (C): 4 065.85 g

Muestra total seca: 9 405.92 g
 Porcentaje de agregado fino: 100.00% %

Análisis Granulométrico - Representación Gráfica



Granulometría de material que pasa la malla Nº 10

Peso de muestra tomada (C°) 100.00 g (Fracción de la muestra que pasa la malla Nº 10)
 Peso de muestra tomada, lavada y secada (C°) 99.58 g

Tamaño nominal del tamiz	Peso retenido		% retenido	% que pasa
	Parcial	Acumulado		
ASTM 2"	-	-	0.00%	100.00%
1 1/2"	117.02	117.02	1.24%	98.76%
1"	227.08	344.10	3.65%	96.34%
3/4"	466.95	813.05	8.64%	91.36%
3/8"	1 601.63	2 414.68	25.67%	74.33%
Nº 4	1 503.18	3 917.86	41.65%	58.35%
Nº 10	1 422.21	5 340.07	56.77%	43.23%
		5 340.07		

Tamaño nominal del tamiz	ASTM	mm	Peso retenido		% retenido parcial	% retenido acumulado	% que pasa
			Parcial	Acumulado			
Nº 10	2	2	-	-	0.00%	56.77%	43.23%
Nº 20	0.85	0.85	16.47	16.47	7.15%	63.92%	36.08%
Nº 40	0.425	0.425	13.58	30.05	5.89%	69.81%	30.19%
Nº 60	0.25	0.25	10.16	40.21	4.41%	74.22%	25.78%
Nº 140	0.105	0.105	10.98	51.19	4.77%	78.99%	21.01%
Nº 200	0.075	0.075	2.58	53.77	1.12%	80.11%	19.89%
				53.77		23.34%	

Composición de Agregado	
G	41.65%
A	38.46%
F	19.89%

Clasificación

SC - SM

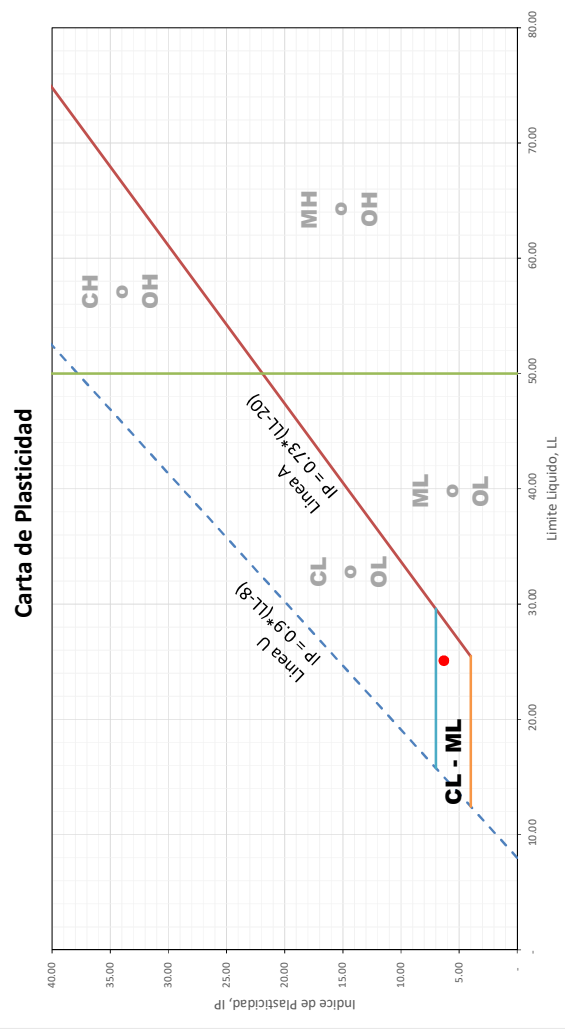
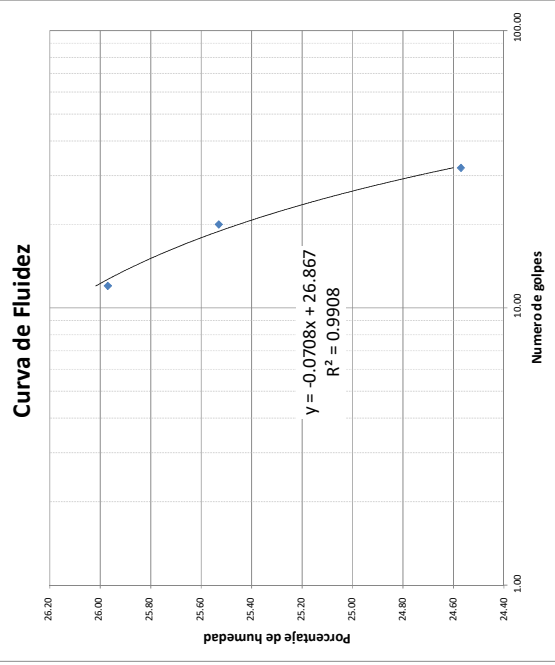
Arena limosa arcillosa con grava

Determinación del Límite Plástico, Líquido e Índice de Plasticidad ASTM D 4318 - AASHTO T 89 - AASHTO T 90

Proyecto:	"Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa"	Ensayo realizado por:	Ruben Yujra
Muestra:	Pozo N° 1 (Muestra No 1 - M01)	Fecha de ensayo:	oct-21
Muestreado por:	Ruben Yujra	Fecha de cálculo:	11/10/2021

Descripción	Límite Plástico			Límite Líquido		
	1	2		1	2	3
Numero de ensayo						
Cápsula NP	30	42x				
Numero de golpes				31	38	40
1. Peso de cápsula	12.85	12.83		32.00	20.00	12.00
2. Peso de cápsula + suelo humedo	34.40	31.92		12.39	13.53	12.60
3. Peso de cápsula + suelo seco	30.98	28.91		44.64	42.74	45.54
4. Peso de agua (2-3)	3.42	3.01		38.28	36.80	38.75
5. Peso del suelo seco (3-1)	18.13	16.08		6.36	5.94	6.79
6. Humedad (4/5)*100	18.86	18.72		25.89	23.27	26.15
7. Promedio de Límite Plástico			18.79	24.57	25.53	25.97

LL = 25.10 LP = 18.79 IP = 6.31



Clasificación de Suelos Análisis Granulométrico por tamizado

ASTM	D 2487 - 93	AASHTO	
Proyecto:	"Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa"		Ruben Yujra
Muestra:	Pozo N° 1 (Muestra No 2 - MO2)	Fecha de ensayo	oct-21
Muestreado por:	Ruben Yujra	Fecha de cálculo	11/10/2021

Determinación de humedad	Natural	Higroscópica
1. Peso húmedo + cápsula	1.056.12	165.56
2. Suelo seco + cápsula	1.011.08	165.15
3. Peso de agua (1-2)	45.04	0.41
4. Peso de la cápsula	152.72	65.56
5. Peso del suelo seco (2-4)	858.36	99.59
6. Porcentaje de humedad (3/5)	5.25	0.41

Peso seco de la muestra total

Muestra Total Humeda **6 088.00** g

Peso de la muestra que es retenida en la malla Nº 10 (D)

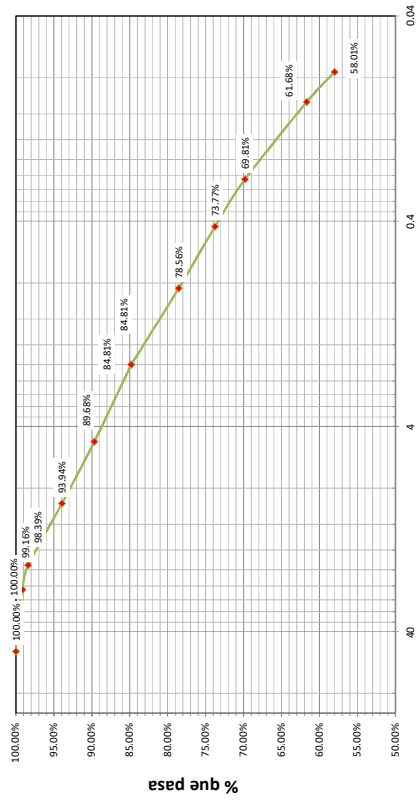
Agregado que pasa el tamiz Nº 10 (húmedo) **5 166.62** g

Agregado que pasa el tamiz Nº 10 (seco) (C) **5 145.52** g

Muestra total seca: **6 066.90** g

Porcentaje de agregado fino: **100.00%** %

Análisis Granulométrico - Representación Gráfica



Granulometría de material que pasa la malla Nº 10

Peso de muestra tomada (C) **100.00** g (Fracción de la muestra que pasa la malla Nº 10)

Peso de muestra tomada, lavada y secada (C') **99.59** g

Tamaño nominal del tamiz	Peso retenido		% retenido	% que pasa
	Parcial	Acumulado		
ASTM	mm			
2"	50	-	0.00%	100.00%
1 1/2"	37.5	-	0.00%	100.00%
1"	25	51.05	0.84%	99.16%
3/4"	19	46.61	1.61%	98.39%
3/8"	9.5	269.71	6.06%	93.94%
Nº 4	4.75	258.73	10.32%	89.68%
Nº 10	2	295.28	15.19%	84.81%

921.38

Tamaño nominal del tamiz	Peso retenido		% retenido parcial	% retenido acumulado	% que pasa
	Parcial	Acumulado			
ASTM	mm				
Nº 10	2	-	0.00%	15.19%	84.81%
Nº 20	0.85	7.34	6.25%	21.44%	78.56%
Nº 40	0.425	5.62	4.79%	26.23%	73.77%
Nº 60	0.25	4.65	3.96%	30.19%	69.81%
Nº 140	0.105	9.55	8.13%	38.32%	61.68%
Nº 200	0.075	4.31	3.67%	41.99%	58.01%

31.47

26.80%

Clasificación

CL - ML

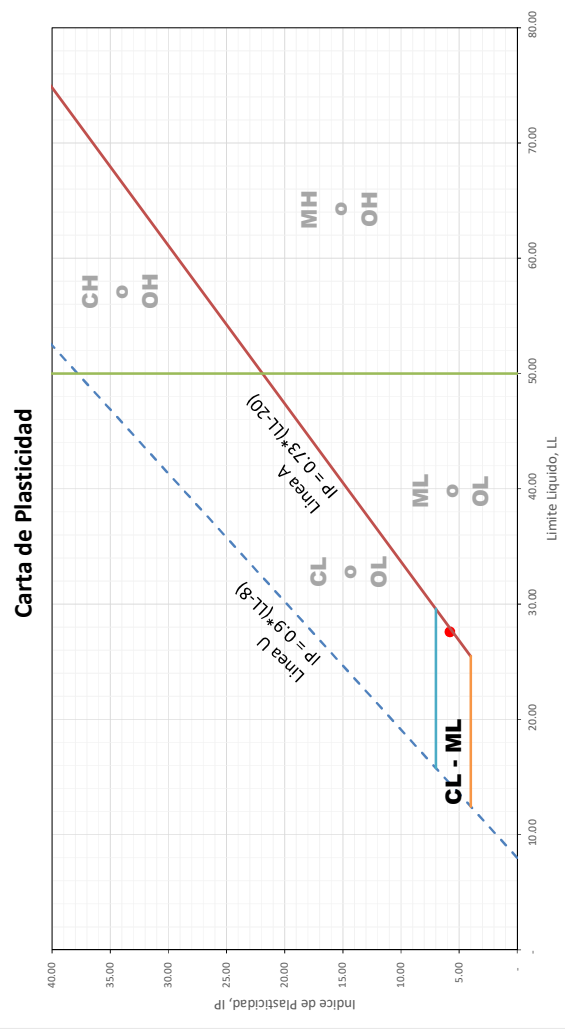
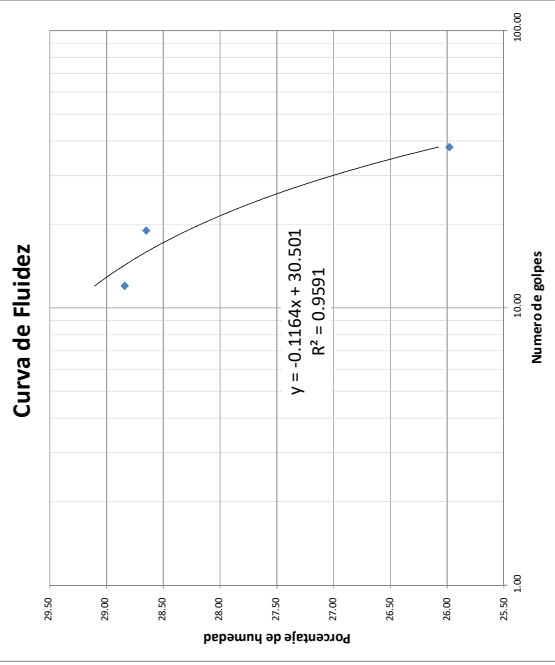
Arcilla limosa arenosa

Determinación del Límite Plástico, Líquido e Índice de Plasticidad ASTM D 4318 - AASHTO T 89 - AASHTO T 90

Proyecto:	"Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa"	Ensayo realizado por:	Ruben Yujra
Muestra:	Pozo N° 1 (Muestra No 2 - M02)	Fecha de ensayo:	oct-21
Muestreado por:	Ruben Yujra	Fecha de calculo:	11/10/2021

Descripción	Límite Plástico			Límite Líquido		
	1	2		1	2	3
Numero de ensayo						
Cápsula Nº	131	50				
Numero de golpes				65	60	61
1. Peso de cápsula	7.48	11.35		38.00	19.00	12.00
2. Peso de cápsula + suelo humedo	20.09	24.66		7.54	12.34	12.69
3. Peso de cápsula + suelo seco	17.84	22.27		45.12	49.34	45.93
4. Peso de agua (2-3)	2.25	2.39		37.37	41.10	38.49
5. Peso del suelo seco (3-1)	10.36	10.92		7.75	8.24	7.44
6. Humedad (4/5)*100	21.72	21.89		29.83	28.76	25.80
7. Promedio de Límite Plástico			21.81	25.98	28.65	28.84

LL = 27.59 LP = 21.81 IP = 5.79



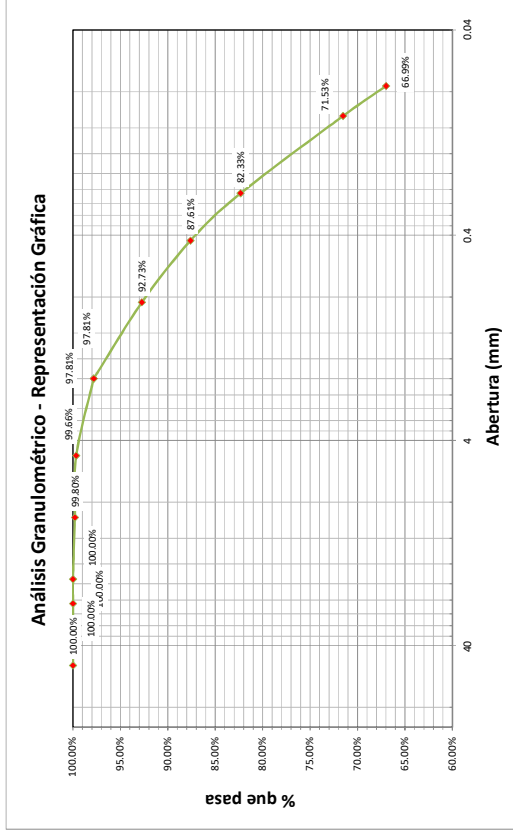
Clasificación de Suelos Análisis Granulométrico por tamizado

ASTM	D 2487 - 93	AASHTO	
Proyecto:	"Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa"		
Muestra:	Pozo N° 1 (Muestra No 3 - MO3)	Ensayo realizado por:	Ruben Yujra
Muestreado por:	Ruben Yujra	Fecha de ensayo	oct-21
		Fecha de cálculo	11/10/2021

Determinación de humedad	Natural	Higroscópica
1. Peso húmedo + cápsula	869.09	180.24
2. Suelo seco + cápsula	834.72	180.01
3. Peso de agua (1-2)	34.37	0.23
4. Peso de la cápsula	152.46	80.24
5. Peso del suelo seco (2-4)	682.26	99.77
6. Porcentaje de humedad (3/5)	5.04	0.23

Peso seco de la muestra total

Muestra Total Humeda **5 124.00 g**
 Peso de la muestra que es retenida en la malla Nº 10 (D') **111.91 g**
 Agregado que pasa el tamiz Nº 10 (húmedo) **5 012.09 g**
 Agregado que pasa el tamiz Nº 10 (seco) (C): **5 000.59 g**
 Muestra total seca: **5 112.50 g**
 Porcentaje de agregado fino: **100.00%** %



Granulometría de material que pasa la malla Nº 10

Peso de muestra tomada (C') **100.00 g** (Fracción de la muestra que pasa la malla Nº 10)
 Peso de muestra tomada, lavada y secada (C'') **99.77 g**

Tamaño nominal del tamiz	Peso retenido		% retenido	% que pasa
	Parcial	Acumulado		
ASTM	mm			
2"	50	-	0.00%	100.00%
1 1/2"	37.5	-	0.00%	100.00%
1"	25	-	0.00%	100.00%
3/4"	19	-	0.00%	100.00%
3/8"	9.5	10.25	0.20%	99.80%
Nº 4	4.75	7.31	0.34%	99.66%
Nº 10	2	94.35	2.19%	97.81%

111.91

Tamaño nominal del tamiz	Peso retenido		% retenido parcial	% retenido acumulado	% que pasa
	Parcial	Acumulado			
ASTM	mm				
Nº 10	2	-	0.00%	2.19%	97.81%
Nº 20	0.85	5.18	5.08%	7.27%	92.73%
Nº 40	0.425	5.22	5.12%	12.39%	87.61%
Nº 60	0.25	5.39	5.28%	17.67%	82.33%
Nº 140	0.105	11.02	10.80%	28.47%	71.53%
Nº 200	0.075	4.63	4.54%	33.01%	66.99%

31.44
30.82%

Composición de Agregado

G	0.34%
A	32.67%
F	66.99%

Clasificación

CL - ML

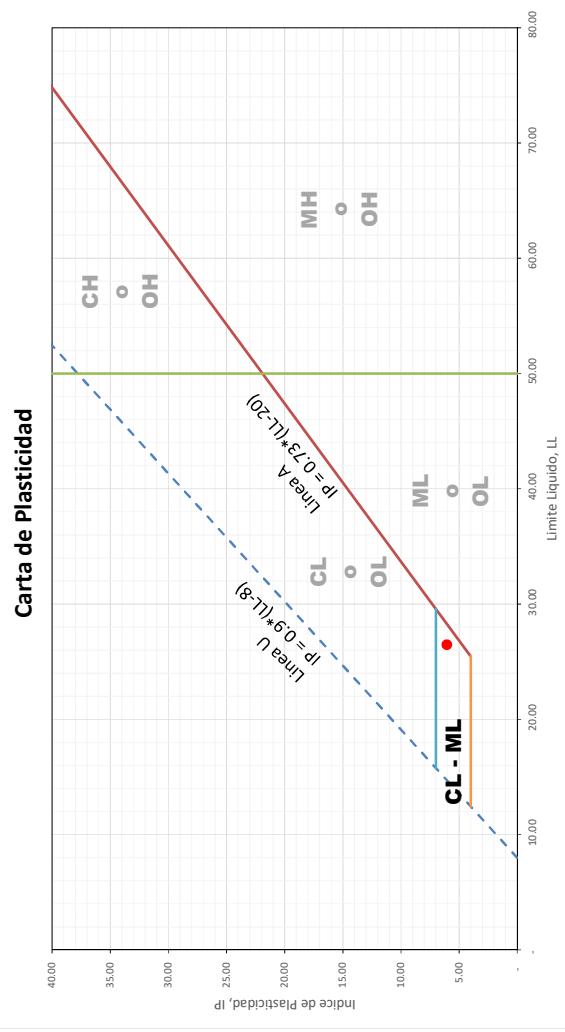
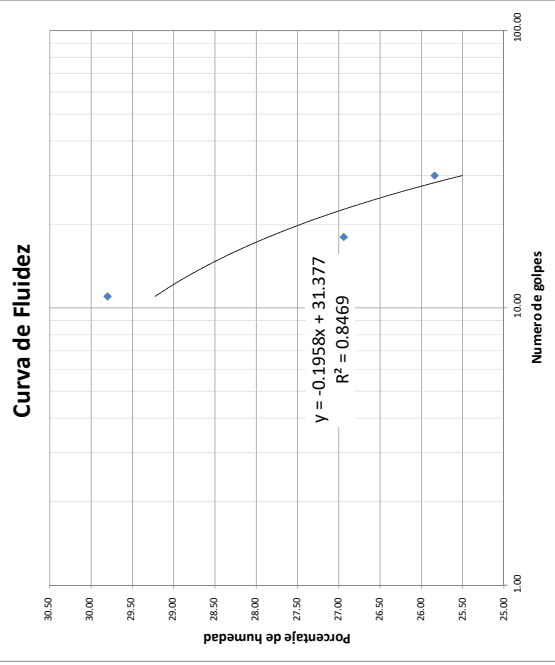
Arcilla limosa arenosa

Determinación del Límite Plástico, Líquido e Índice de Plasticidad ASTM D 4318 - AASHTO T 89 - AASHTO T 90

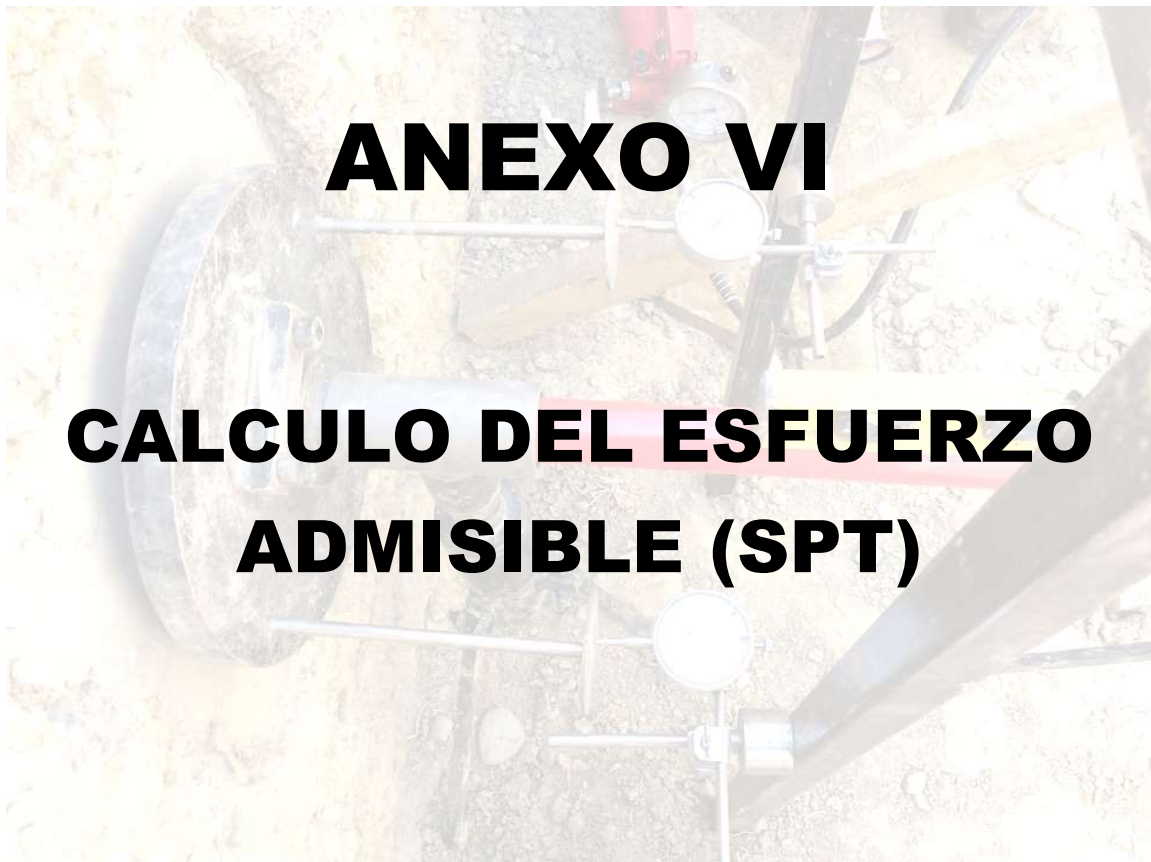
Proyecto:	"Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa"	Ensayo realizado por:	Ruben Yujra
Muestra:	Pozo N° 1 (Muestra No 3 - M03)	Fecha de ensayo:	oct-21
Muestreado por:	Ruben Yujra	Fecha de cálculo:	11/10/2021

Descripción	Límite Plástico			Límite Líquido		
	1	2		1	2	3
Numero de ensayo						
Cápsula NP	V7-1	V9-1		10	4	V8-1
Numero de golpes				30.00	18.00	11.00
1. Peso de cápsula	13.74	13.32		13.01	12.78	13.57
2. Peso de cápsula + suelo humedo	33.85	30.27		47.34	49.02	45.45
3. Peso de cápsula + suelo seco	30.42	27.41		40.29	41.33	38.13
4. Peso de agua (2-3)	3.43	2.86		7.05	7.69	7.32
5. Peso del suelo seco (3-1)	16.68	14.09		27.28	28.55	24.56
6. Humedad (4/5)*100	20.56	20.30		25.84	26.94	29.80
7. Promedio de Límite Plástico			20.43			

LL = 26.48 LP = 20.43 IP = 6.05



PROYECTO DE GRADO: “Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa”



ANEXO VI

CALCULO DEL ESFUERZO ADMISIBLE (SPT)

Calculo de SPT

Se lo realizara de acuerdo a procedimiento grafico según Hough B.K. “BASIC OIL ENGINEERING”

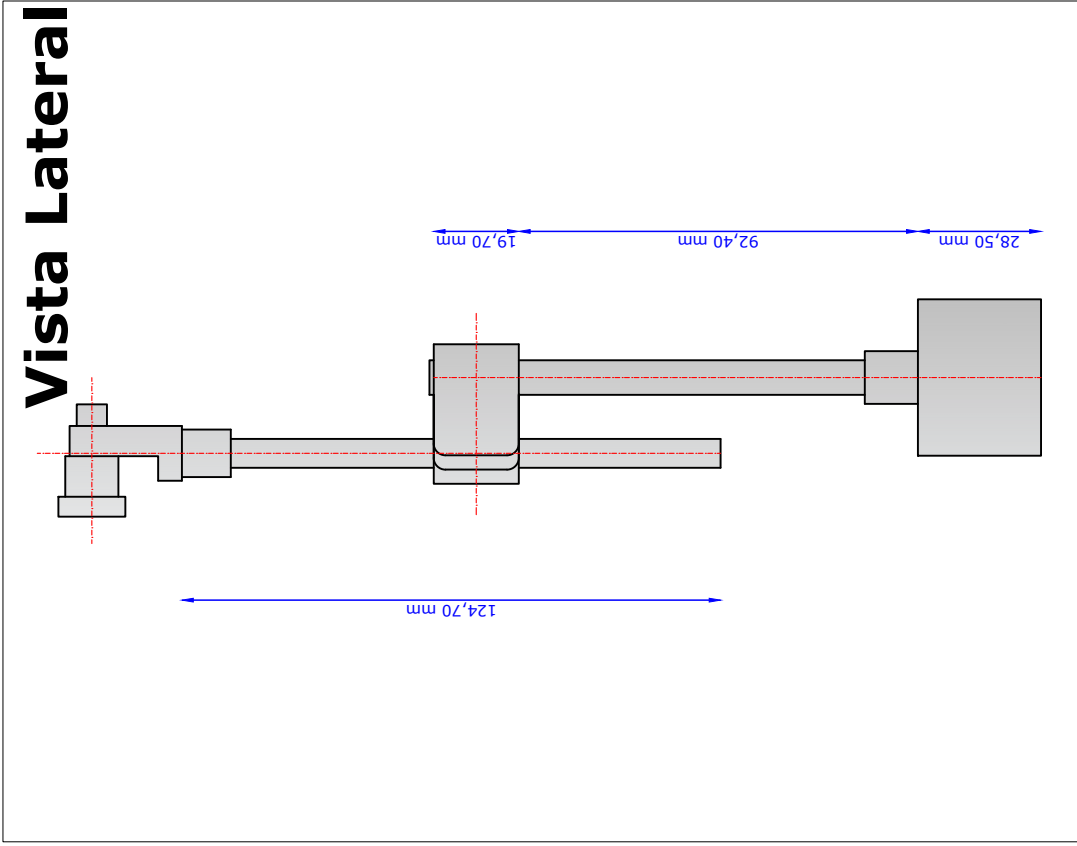
Muestra	Composición de Agregado		Factor de ponderación	Valor ponderado		Ensayo SPT			Carga admisible maxima probable		Esfuerzo admisible kg/cm2
						No de golpes	Obs	kg/cm2	F. de minoración		
1	Grava	41.65%	5.83	2.428	4.658	9.00	52.00	Punta	4.50	2.00	2.25
	Arena	38.46%	4.35	1.673		21.00					
	Finos	19.89%	2.8	0.557		22.00					
2	Grava	10.32%	5.83	0.602	3.604	5.00	14.00	Punta	1.80	2.00	0.90
	Arena	31.67%	4.35	1.378		4.00					
	Finos	58.01%	2.8	1.624		5.00					
2	Grava	10.32%	5.83	0.602	3.604	6.00	22.00	Cuchara	2.00	2.00	1.00
	Arena	31.67%	4.35	1.378		9.00					
	Finos	58.01%	2.8	1.624		13.00					
3	Grava	0.34%	5.83	0.020	3.317	5.00	16.00	Cuchara	1.50	2.00	0.75
	Arena	32.67%	4.35	1.421		7.00					
	Finos	66.99%	2.8	1.876		9.00					

PROYECTO DE GRADO: "Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa"

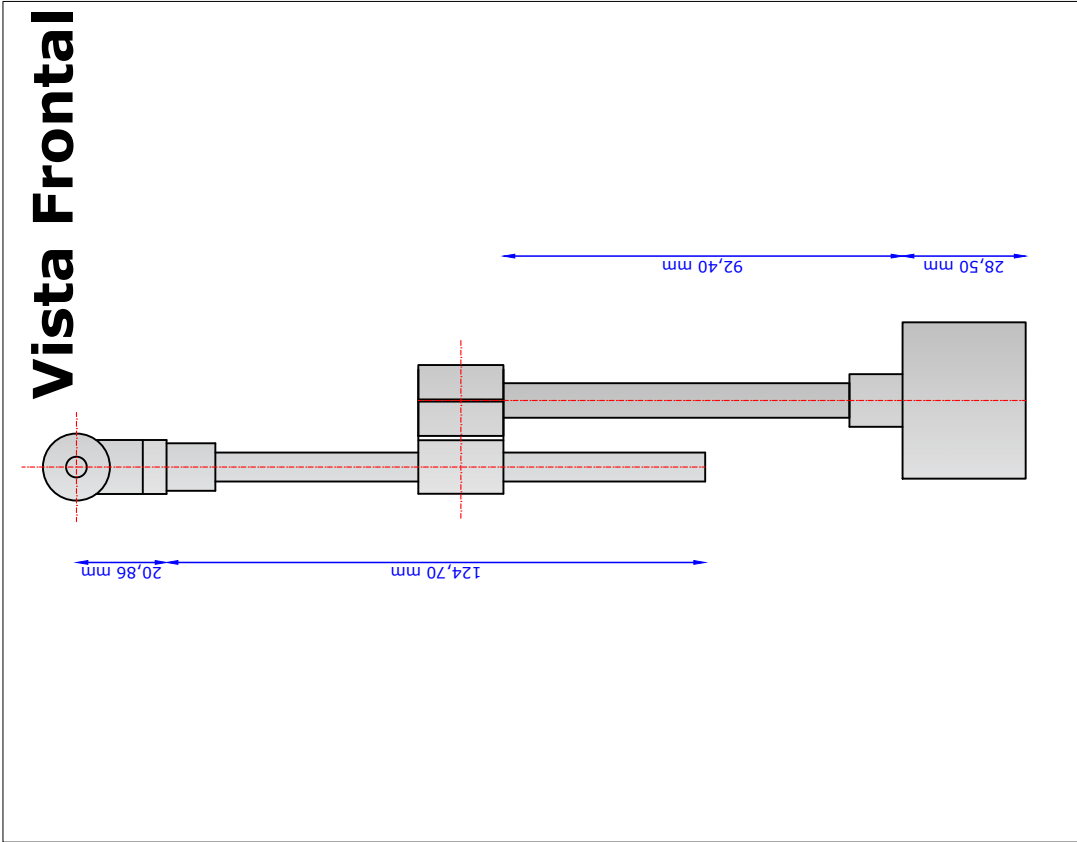


Postulante: Univ. Rubén Fernando Yujra Tintaya

Vista Lateral



Vista Frontal



Plano:

1/4

Proyecto de grado: "Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa"

Esc. 1 : 1.75

Bastidor para sujetar los relojes comparadores

Universidad Mayor de San Andres
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil

Nombre: Univ. Ruben Fernando Yujra Tintaya



Plano:

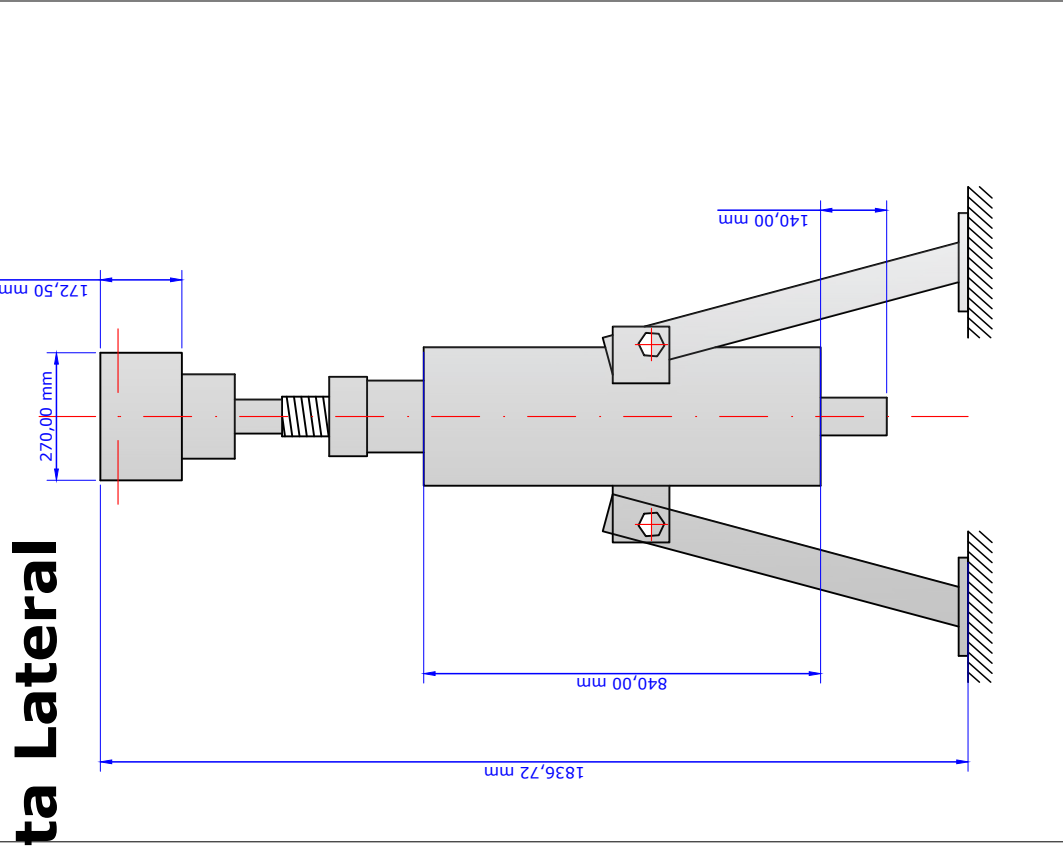
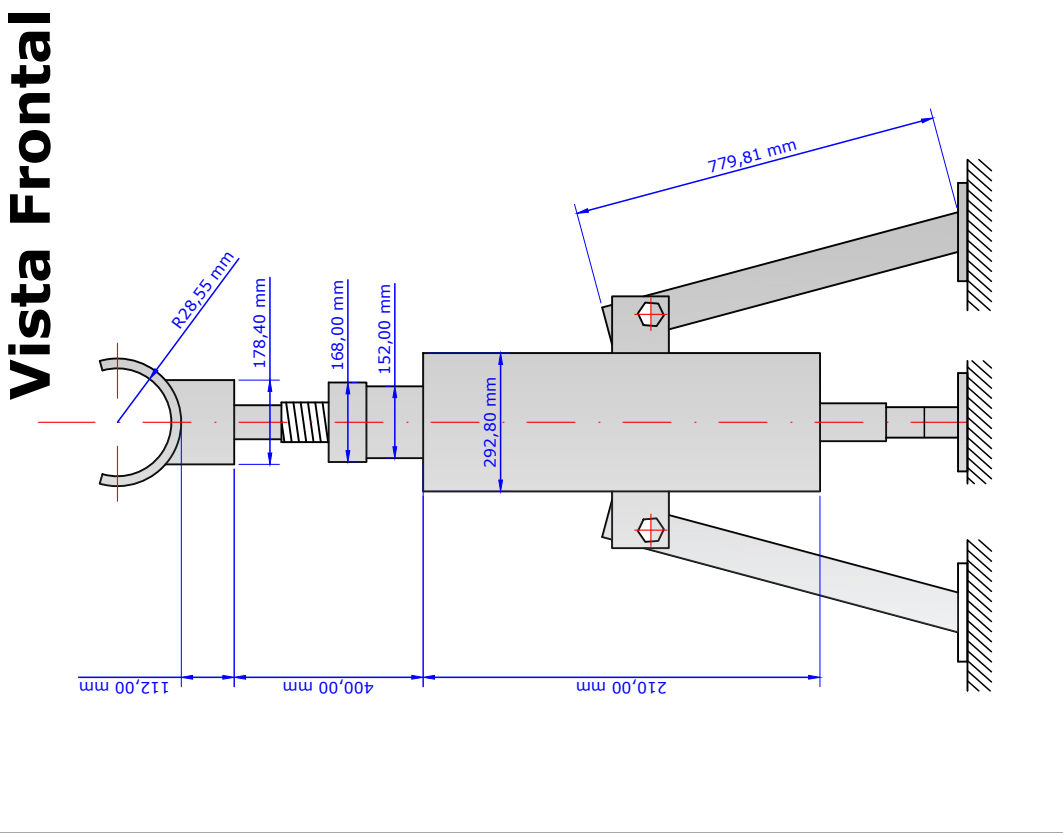
Proyecto de grado: "Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa"

Esc. 1 : 4

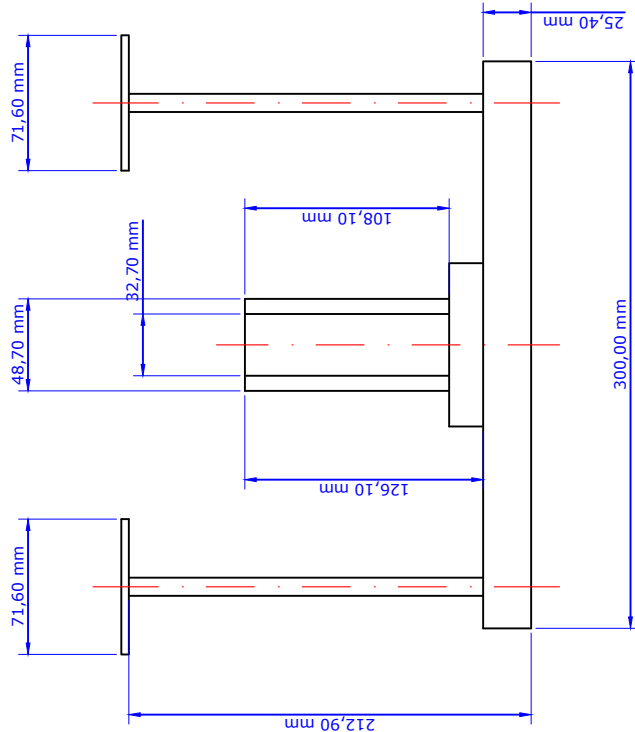
Bastidor para sujetar los relojes comparadores

Universidad Mayor de San Andres
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil

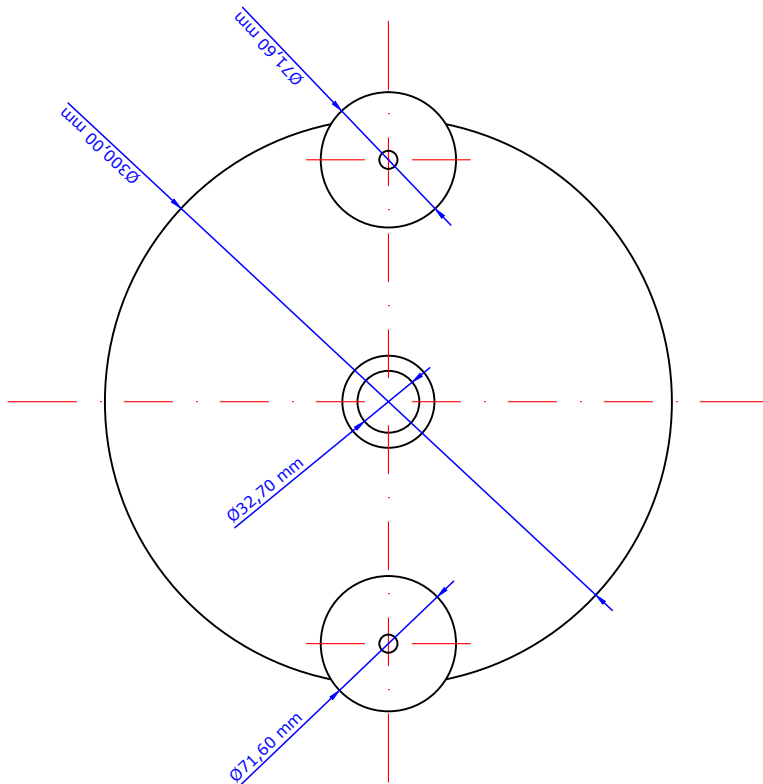
Nombre: Univ. Ruben Fernando Yujra Tintaya



Vista Lateral



Vista de Planta



Plano:

3/4

Proyecto de grado: "Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa"

Esc. 1 : 4

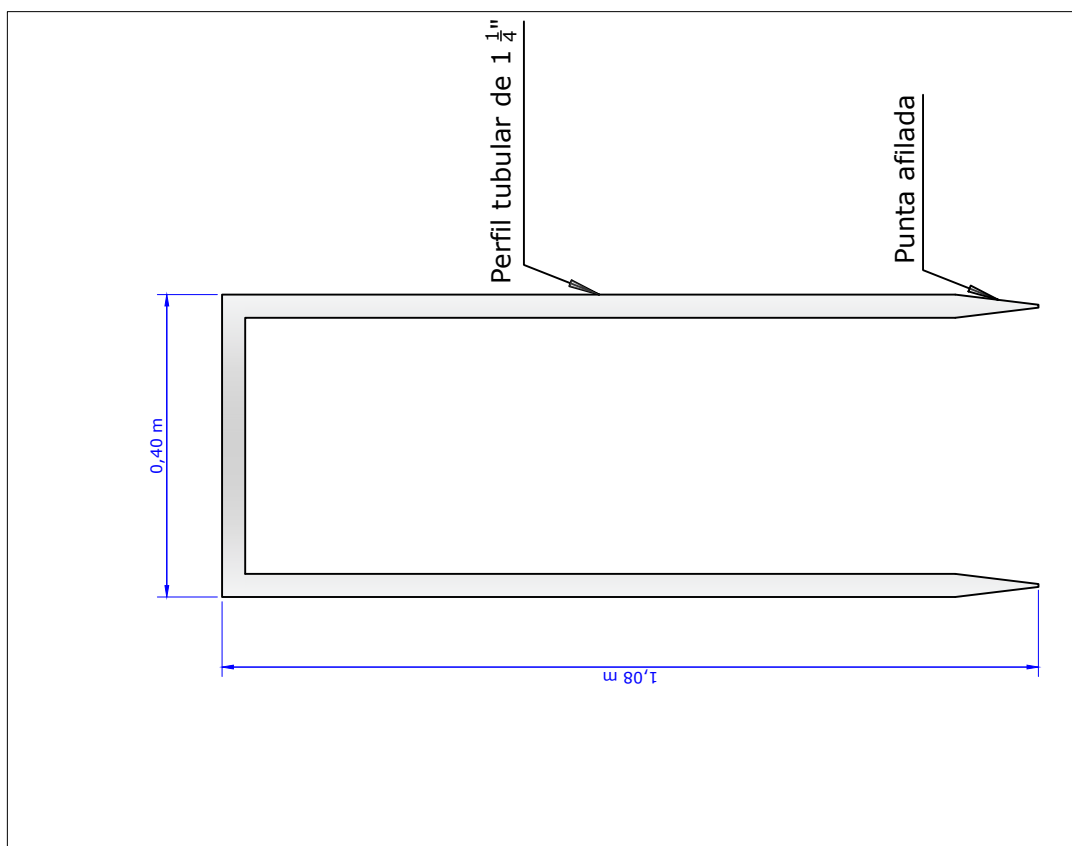
Bastidor para sujetar los relojes comparadores

Universidad Mayor de San Andres
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil

Nombre: Univ. Ruben Fernando Yujra Tintaya



Vista Frontal



Plano:

4/4

Proyecto de grado: "Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa"

Esc. 1 : 4

Bastidor para sujetar los relojes comparadores

Universidad Mayor de San Andres
Facultad de Ingenieria
Ingenieria Civil

Nombre: Univ. Ruben Fernando Yujra Tintaya



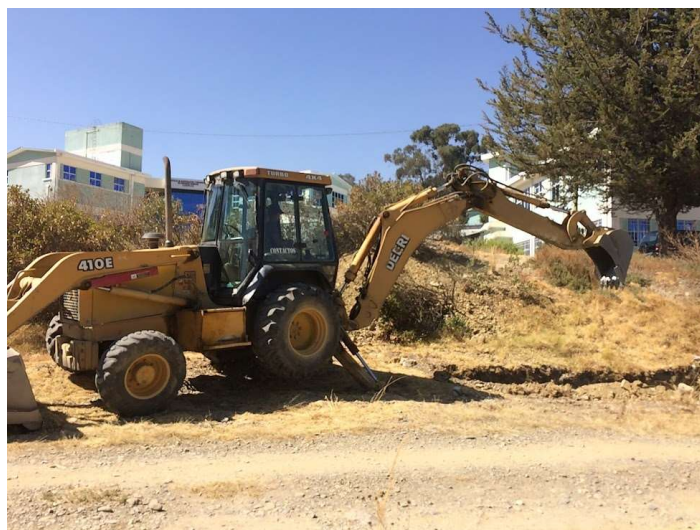
PROYECTO DE GRADO: “Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa”



Postulante: Univ. Rubén Fernando Yujra Tintaya



Fotografía 38. Soldado de agarraderas.



Fotografía 39. Excavación de la zanja de pruebas.



Fotografía 40. *Los dispositivos que sostienen el cilindro hidráulico cuentan con tornillos de nivelación.*



Fotografía 41. *Se ha realizado en laboratorio la clasificación de los suelos.*



Fotografía 42. *Pesado de las muestras.*



Fotografía 43. *Determinación de los límites de consistencia.*



Fotografía 44. Aparato para la determinación del límite líquido (Casagrande).



Fotografía 45. Masas listas para pesaje, para la determinación de la curva granulométrica.

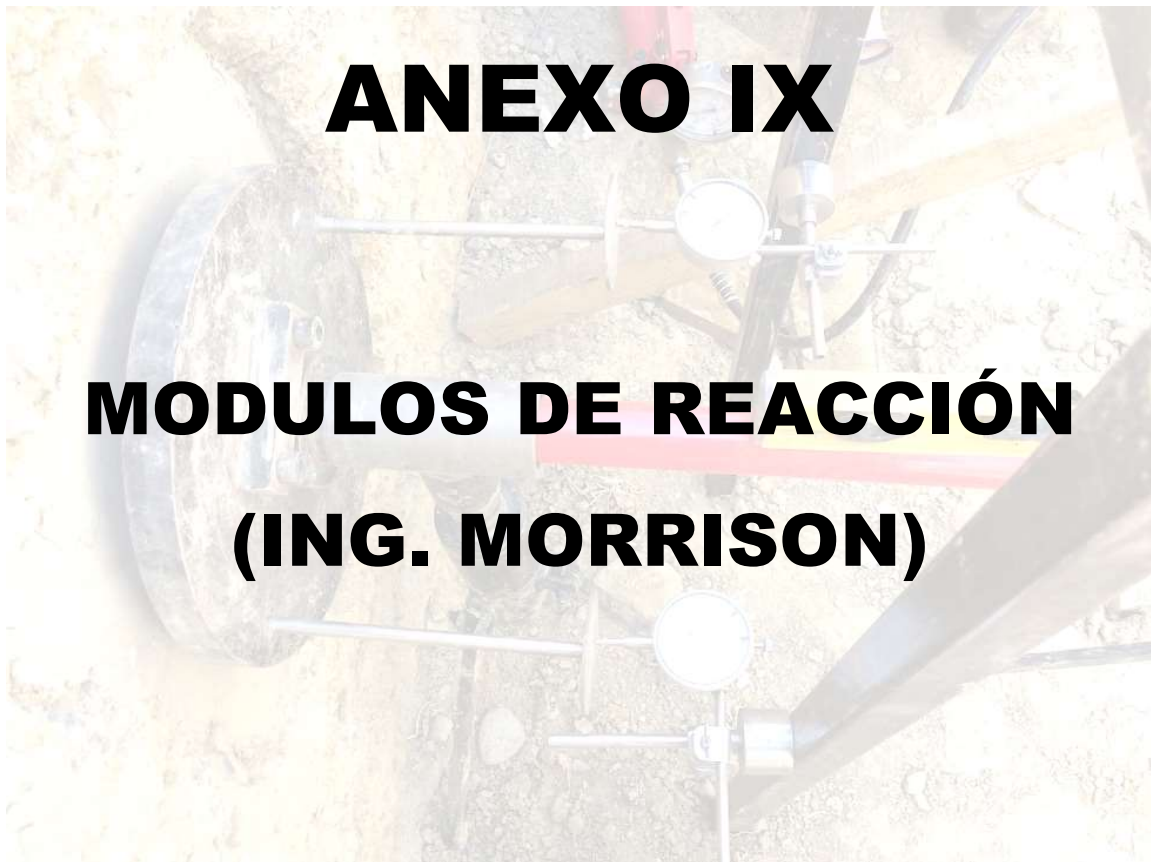


Fotografía 46. *Realizando el ensayo para determinar el límite plástico del suelo.*



Fotografía 47. *Verificación del reloj comparador en campo.*

PROYECTO DE GRADO: “Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga horizontal con placa”



Postulante: Univ. Rubén Fernando Yujra Tintaya

MODULOS DE REACCIÓN DEL SUELO

Distinguidos Usuarios de CSI, Morrison & Morrison Ingenieros www.morrisoningenieros.com, Coordinadores CSI Latinoamérica, Proporciona la siguiente Tabla para uso con el SAFE.

Está en una tabla con diferentes valores del Modulo de Reacción del Suelo (conocido también como Coeficiente de Balasto o Modulo de Winkler) en función de la resistencia admisible del terreno en cuestión. Los valores de esta tabla son para una superficie de apoyo (Área) Estos valores son los que hay que darles al SAFE (no requieren ninguna Modificación).

Esta tabla es un resumen de diferentes trabajos en mecánica de suelos que han realizado el Prof. Terzaghi y otros cinco Ingenieros connotados (en diferentes épocas).

Esta tabla se extrajo de la Tesis de maestría "Interacción Suelo-Estructuras: Semi-espacio de Winkler", Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona- España. 1993 (Autor Nelson Morrison).

Modulo de Reacción del Suelo Datos para SAFE

Esf Adm (Kg/Cm ²)	Winkler (Kg/Cm ³)	Esf Adm (Kg/Cm ²)	Winkler (Kg/Cm ³)	Esf Adm (Kg/Cm ²)	Winkler (Kg/Cm ³)
0.25	0.65	1.55	3.19	2.85	5.70
0.30	0.78	1.60	3.28	2.90	5.80
0.35	0.91	1.65	3.37	2.95	5.90
0.40	1.04	1.70	3.46	3.00	6.00
0.45	1.17	1.75	3.55	3.05	6.10
0.50	1.30	1.80	3.64	3.10	6.20
0.55	1.39	1.85	3.73	3.15	6.30
0.60	1.48	1.90	3.82	3.20	6.40
0.65	1.57	1.95	3.91	3.25	6.50
0.70	1.66	2.00	4.00	3.30	6.60
0.75	1.75	2.05	4.10	3.35	6.70
0.80	1.84	2.10	4.20	3.40	6.80
0.85	1.93	2.15	4.30	3.45	6.90
0.90	2.02	2.20	4.40	3.50	7.00
0.95	2.11	2.25	4.50	3.55	7.10
1.00	2.20	2.30	4.60	3.60	7.20
1.05	2.29	2.35	4.70	3.65	7.30
1.10	2.38	2.40	4.80	3.70	7.40
1.15	2.47	2.45	4.90	3.75	7.50
1.20	2.56	2.50	5.00	3.80	7.60
1.25	2.65	2.55	5.10	3.85	7.70
1.30	2.74	2.60	5.20	3.90	7.80
1.35	2.83	2.65	5.30	3.95	7.90
1.40	2.92	2.70	5.40	4.00	8.00
1.45	3.01	2.75	5.50		
1.50	3.10	2.80	5.60		