

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Plan para Repotenciación y Mejoramiento del  
Laboratorio de Mecánica de Suelos de la  
Universidad San Francisco de Quito**

*Trabajo Experimental*

Idania Alejandra León Yumbo

Ingeniería Civil

Trabajo de titulación presentado como requisito  
para la obtención del título de Ingeniera Civil

Quito, 14 de diciembre 2018

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ  
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍAS

**HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Plan para Repotenciación y Mejoramiento del Laboratorio  
de Mecánica de Suelos de la Universidad San Francisco de  
Quito**

**Idania Alejandra León Yumbo**

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico:

Fernando Romo

Firma del profesor:

-----

Quito, 14 de diciembre 2018

# Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Además, declaro que María Eugenia Duque Ríos, con la cédula de identidad 171831412-1, colaboró con parte de la investigación y realización de todos los capítulos, a excepción del cuatro y seis del presente documento. Es por esto que, con la debida autorización, se publica su contenido.

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos: Idania Alejandra León Yumbo

Código: 00117995

Cédula de Identidad: 150087177-5

Lugar y fecha: Quito, 14 de diciembre de 2018

# Agradecimientos

Agradezco a mis padres, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más. Gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

*“You must do the thing you think you cannot do.”*

Eleanor Roosevelt

# Resumen

Los Laboratorios Universitarios son herramientas fundamentales en la educación superior, ya que afirman los conocimientos teóricos adquiridos en el aula y permiten que los estudiantes formen un criterio profesional para tomar decisiones. Tomando en cuenta la importancia de estos espacios de enseñanza, este proyecto incluye el inventario, reparación y calibración de los equipos del anterior laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad San Francisco de Quito, debido a que éste no satisfacía las necesidades académicas de los estudiantes de Ingeniería Civil.

Además, como segunda etapa, el proyecto presenta un plan de crecimiento para los próximos 3 años, basado en la investigación del estado de los laboratorios de las universidades más prestigiosas del Ecuador. Abarcando también el análisis del beneficio de un espacio destinado exclusivamente a la investigación científica, como una tercera etapa de la repotenciación del laboratorio.

**Palabras Clave:** Laboratorio, Mecánica de Suelos, mejoramiento, análisis, manuales.

# Abstract

University Laboratories are fundamental tools in higher education, since they affirm the theoretical knowledge acquired in the classroom and allow the students to form a professional criterion for making decisions. Taking into account the importance of these teaching spaces, this project includes the inventory, repair and calibration of the equipment of the previous Soil Mechanics Laboratory of the San Francisco University of Quito, because it did not satisfy the academic needs of the students of Civil Engineering.

In addition, as a second phase, the project presents a growth plan for the next 3 years, based on research on the state of the laboratories of the most prestigious universities in Ecuador. It also covers the analysis of the benefit of a space destined exclusively for scientific research, as a third phase of laboratory upgrading.

**Key words:** Laboratory, Soil Mechanics, improvement, analysis, manuals.

# Índice general

Derechos de Autor	3
Agradecimientos	4
Resumen	6
Abstract	7
Índice de Figuras	11
Índice de Tablas	13
Abreviaciones	14
1. Introducción	15
2. Historia de los Laboratorios de Mecánica de Suelos	21
3. Catálogos Académicos y de Servicios Comerciales	28
3.1. Análisis de Laboratorios Universitarios Nacionales . . . . .	29
3.1.1. Equipos y Marcas . . . . .	29
3.1.2. Catálogos Académicos Universitarios . . . . .	31
3.1.3. Catálogos de Servicios Comerciales . . . . .	32
3.2. Otras Universidades Latinoamérica . . . . .	36
4. Inventario del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la USFQ	37
5. Instalación y Calibración	40
5.1. Traslado . . . . .	40
5.2. Mantenimiento . . . . .	43
5.3. Instalación y Reparación . . . . .	44
5.4. Calibración . . . . .	45

<b>6. Planificación del Catálogo Académico, Servicios Comerciales e Investigación Científica en la USFQ</b>	<b>47</b>
6.1. Catálogo Académico de la USFQ . . . . .	48
6.1.1. Evaluación del Estado de los Equipos . . . . .	49
6.1.2. Evaluación de los Ensayos de Mecánica de Suelos . . . . .	49
6.1.3. Evaluación de Compra . . . . .	52
6.1.4. Adquisiciones . . . . .	54
6.2. Catálogos de Servicios Comerciales . . . . .	56
6.3. Investigación Científica en la USFQ . . . . .	57
<b>7. Conclusiones</b>	<b>59</b>
<b>A. Capítulo 1: Introducción</b>	<b>61</b>
A.1. Clasificación de Suelos . . . . .	61
<b>B. Capítulo 3: Catálogos Académicos y de Servicios Comerciales</b>	<b>63</b>
B.1. Formato de la Entrevista realizada para Obtención de Información Sobre Laboratorio de Suelos en Diferentes Universidades del Ecuador	63
B.2. Catálogos de Servicios Comerciales de Laboratorio de Mecánica de Suelos de Varias Universidades del Ecuador . . . . .	64
B.2.1. Catálogo de Servicios de Mecánica de Suelos de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) . . . . .	65
B.2.2. Catálogo de Servicios de Mecánica de Suelos de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE) . . . . .	67
B.2.3. Catálogo de Servicios de Mecánica de Suelos de la Universidad Central del Ecuador (UCE) . . . . .	69
B.2.4. Catálogo de Servicios de Mecánica de Suelos de la Universidad de Cuenca (UC) . . . . .	70
<b>C. Capítulo 4: Inventario Laboratorio de Mecánica de Materiales de la USFQ</b>	<b>71</b>
C.1. Inventario Herramientas . . . . .	72
C.2. Inventario Equipos . . . . .	75
C.3. Inventario Insumos . . . . .	79
C.4. Inventario Mobiliaria . . . . .	81
<b>D. Capítulo 6: Planificación del Catálogo Académico, Servicios Comerciales e Investigación Científica en la USFQ</b>	<b>82</b>
D.1. Guías y hojas de registro de ensayos académicos de la Universidad San Francisco de Quito . . . . .	82
D.1.1. Ensayo Copa Casa Grande . . . . .	83
D.1.2. Ensayo Cono de Arena . . . . .	85
D.1.3. Ensayo Compresión Simple . . . . .	87
D.1.4. Ensayo Proctor Estándar . . . . .	90

---

D.1.5. Ensayo Permeabilidad Carga Constante . . . . .	93
D.1.6. Ensayo Permeabilidad Carga Variable . . . . .	94
D.1.7. Ensayo Triaxial No confinado - No Drenado . . . . .	96
D.1.8. Ensayo Consolidación . . . . .	99
D.2. Evaluación de compra . . . . .	103
D.2.1. Proyecto de Adquisición de Equipos para el Laboratorio de Suelos de la USFQ . . . . .	103
D.2.2. Inventario de Equipos, Insumos y Herramientas Propuesto para la Adquisición para el Laboratorio de Mecánica de Suelos	107
D.2.3. Proforma de Equipos, Herramientas e Insumos para el labo- ratorio de Mecánica de Suelos de la USFQ . . . . .	112
D.2.4. Informes para Exoneración de Impuestos SENESCYT . . . . .	116
D.3. Folletos de Equipos esenciales para la Investigación Científica . . . . .	121
D.3.1. Folleto del Triaxial Dinámico . . . . .	121
D.3.2. Folleto del CT Escáner . . . . .	126

# Índice de figuras

1.1. Campos a considerar para el crecimiento progresivo del Laboratorio de Suelos de la USFQ . . . . .	20
2.1. Laboratorio de Mecánica de Suelos de Terzaghi, Universidad Técnica de Viena, 1935 . . . . .	22
2.2. Historia de investigación de la Universidad de Delft . . . . .	24
3.1. Comparación de Antigüedad . . . . .	30
3.2. Comparación de Marcas . . . . .	31
3.3. Comparación de Ensayos . . . . .	32
3.4. Ensayos por Caracterización del Suelo . . . . .	34
3.5. Ensayos por Resistencia y Deformación del suelo . . . . .	34
3.6. Triaxiales . . . . .	35
5.1. Traslado al nuevo Laboratorio . . . . .	40
5.2. Ordenamiento . . . . .	41
5.3. Plano Original . . . . .	41
5.4. Plano Ordenamiento . . . . .	42
5.5. Compresor Rehabilitado . . . . .	43
5.6. Bomba de Vacío . . . . .	44
5.7. Equipos para ensayo Triaxial . . . . .	44
5.8. Resultados Calibración 1 . . . . .	46
5.9. Resultados Calibración 2 . . . . .	46
6.1. Diagrama indicador de la planificación a futuro del laboratorio de Mecánica de Suelos . . . . .	48
6.2. Nuevos Ensayos . . . . .	50
A.1. Sistema Unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.) incluyendo identificación y descripción . . . . .	62
C.1. Inventario de Herramientas . . . . .	72
C.2. Inventario de Equipos . . . . .	75
C.3. Inventario de Insumos . . . . .	79
C.4. Inventario de Mobiliaria . . . . .	81
D.1. Guía del Ensayo Copa Casa Grande . . . . .	83
D.2. Hoja de registro del Ensayo Copa Casa Grande . . . . .	84

D.3. Guía del Ensayo Cono de Arena . . . . .	85
D.4. Hoja de registro del Ensayo Cono de Arena . . . . .	86
D.5. Guía del Ensayo Compresión Simple . . . . .	87
D.6. Hoja de registro del Ensayo Compresión Simple . . . . .	88
D.7. Guía del Ensayo Proctor Estándar . . . . .	90
D.8. Hoja de registro del Ensayo Proctor Estándar . . . . .	92
D.9. Guía del Ensayo Permeabilidad Carga Constante . . . . .	93
D.10. Guía del Ensayo Permeabilidad Carga Variable . . . . .	94
D.11. Hoja de registro del Ensayo Permeabilidad Carga Variable . . . . .	95
D.12. Guía del Ensayo Triaxial No confinado - No Drenado . . . . .	96
D.13. Hoja de registro del Ensayo Triaxial No confinado - No Drenado . . . . .	98
D.14. Guía del Ensayo de Consolidación . . . . .	99
D.15. Hoja de registro del Ensayo de Consolidación . . . . .	101
D.16. Folleto del Triaxial Dinámico . . . . .	121
D.17. Folleto del CT Escáner . . . . .	126

# Índice de tablas

3.1. Precio promedio de mercado . . . . .	35
3.2. Precios UNI . . . . .	36
4.1. Herramientas eliminadas del inventario . . . . .	39
6.1. Lista de Soportes Metálicos . . . . .	52
6.2. Lista de Vidrio y Cerámica para Laboratorio . . . . .	53
6.3. Lista de Contenedores y Productos Metálicos . . . . .	53
6.4. Lista de Balanzas y Pesas . . . . .	53
6.5. Lista de Equipos Varios . . . . .	54
6.6. Equipos para Ensayos Básicos . . . . .	55
6.7. Presupuesto de la inversión del proyecto de implementación del laboratorio de Mecánica de Suelos de la USFQ . . . . .	55
B.1. Catálogo de Servicios de Mecánica de Suelos de la EPN . . . . .	65
B.2. Catálogo de Servicios de Mecánica de Suelos de la PUCE . . . . .	67
B.3. Catálogo de Servicios de Mecánica de Suelos de la UCE . . . . .	69
B.4. Catálogo de Servicios de Mecánica de Suelos de la UC . . . . .	70

# Abreviaciones

<b>ASTM</b>	<b>American Society for Testing Material</b>
<b>CEAACES</b>	<b>Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior</b>
<b>EPN</b>	<b>Escuela Politécnica Nacional</b>
<b>ESPOL</b>	<b>Escuela Superior Politécnica del Litoral</b>
<b>ISRM</b>	<b>International Society for RockMechanics</b>
<b>LEMSUR</b>	<b>Laboratorio de Ensayo de materiales Mecánica de Suelos y Rocas</b>
<b>PUCE</b>	<b>Pontificia Universidad Católica del Ecuador</b>
<b>UC</b>	<b>Universidad de Cuenca</b>
<b>UCE</b>	<b>Universidad Central del Ecuador</b>
<b>UNI</b>	<b>Universidad Nacional de Ingeniería</b>
<b>USFQ</b>	<b>Universidad San Francisco de Quito</b>

# Capítulo 1

## Introducción

Desde el inicio de la civilización, el hombre ha tenido que enfrentarse a diversos riesgos impuestos por los diferentes tipos de terreno en donde ha vivido, se ha transportado, ha cultivado y se ha organizado. Los problemas de construcción relacionados con el suelo se deben a la naturaleza variable y compleja del mismo [1]. Tomando en cuenta las contingencias de la construcción, el conocimiento del terreno y sus características se han convertido en una necesidad ya que “todas las obras de ingeniería civil descansan, de una u otra forma, sobre el suelo, y muchas de ellas, además, utilizan la tierra como elemento de construcción” [2]. Es por esto que, de acuerdo con la Universidad de Coruña, la geotecnia y la mecánica de suelos han sido estudiadas de forma metódica desde el siglo XVIII.

A pesar de que se iba teniendo más comprensión de las edificaciones por encima de la superficie terrestre a inicios del siglo XX, los ingenieros se enfrentaban también a la obligación de entender lo que ocurría con los cimientos de sus construcciones. “Antes de la aparición de la geotecnia moderna, todos los triunfos y fracasos de la ingeniería civil y la arquitectura se derivan esencialmente del conocimiento empírico” [3]. Por esta razón, la necesidad de conocer el comportamiento de los suelos inició una profunda investigación a nivel mundial.

Un gran detonante para la necesidad de investigación fueron diversas catástrofes naturales que afectaron importantes obras civiles. “Estos eventos incluyeron deslizamientos ferroviarios en Países Bajos, fallas de taludes en el Canal de Panamá, fallas en muros del Canal de Kiel en Alemania, numerosas fallas de presas, y asentamientos de cimentaciones de grandes edificios.” [3]. Además, Suecia decidió crear en 1908 un comité especializado para estudiar los deslizamientos, debido a

las condiciones pobres del suelo. Sin embargo, como Santiago Osorio afirma en su publicación: Historia de la Geotecnia - El Ascenso de la Geotecnia, los primeros pasos del comité mencionado solo reflejaban que el conocimiento sobre taludes aún era primitivo.

Diversos principios fundamentales de la geotecnia eran conocidos a inicio del siglo XX. Por ejemplo “cuando Coulomb introdujo en 1776 sus teorías de presión de tierras, que se aplicaron los métodos analíticos” o cuando “en 1871 Mohr presentó una teoría de falla para materiales idealmente plásticos, que en combinación con el trabajo de Coulomb, produjo la expresión de resistencia cortante de suelos” [4]. A pesar de este conocimiento, aún no se lograba constituir estos estudios como una rama perteneciente a la ingeniería. Los primeros aportes importantes a la mecánica del suelo se deben a las investigaciones de Karl Terzaghi.

La Mecánica de Suelos, que es una rama de la Ingeniería Geotécnica, se ocupa del estudio del comportamiento y propiedades geotécnicas de los suelos. Fue reconocida a nivel mundial gracias al libro “Principios Fundamentales de Mecánica del Terreno” [5], que enuncia la Ley de las Tensiones Efectivas. Posteriormente, Arthur Casagrande complementó el trabajo de Terzaghi y realizó una investigación para “elaborar un método de prueba para la determinación del límite líquido” como resultado de la investigación nació la técnica basada en el uso de la Copa de Casagrande [2]. Años más tarde, Casagrande y el Cuerpo de Ingenieros del Distrito de Boston estandarizaron el uso del aparato Triaxial.

Gracias a la unión de todo este conocimiento, en 1934 Holanda decidió brindar soluciones e innovaciones a la sociedad, creó en Delft el Laboratorio de Mecánica de Suelos, ahora conocido como Deltares. El principal objetivo de varias instituciones que se unificaron para formar Deltares era adquirir, generar y propagar conocimiento acerca de la geotecnia [6]. Es por esto que hoy en día, muchas universidades, empresas e instituciones continúan desarrollando nuevas técnicas de construcción que nos permitan continuar expandiendo las fronteras de la construcción.

Con el paso de los años, diversas ramas de la ingeniería civil decidieron formar institutos y asociaciones dedicadas exclusivamente a compactar la investigación y el conocimiento que se había obtenido hasta esa época. Esto se hizo con la finalidad de reunir más personas comprometidas a aportar conocimiento y sobre todo, que tuvieran el mismo interés de cambiar el mundo, a través de códigos y manuales. Incluso en la actualidad, José Izquierdo, presidente del ACI en 2003, afirma que

es la misión de cada uno de nosotros aportar con una reserva de conocimiento y cooperación para poder satisfacer y resolver las necesidades mundiales de la comunidad.

Debido a la ardua dedicación de muchos ingenieros y a la evolución de incontables procesos de investigación, hoy en día podemos confiar en las normas, códigos y recomendaciones que, muchos de ellos, han sido obtenidos en laboratorios especializados de todas partes del mundo. Todo esto nos permite incrementar la seguridad de las obras civiles y múltiples innovaciones en el diseño de cada área de la Ingeniería Civil.

Dada la gran variedad de suelos que se presentan en la naturaleza, la Mecánica de Suelos ha desarrollado algunos métodos de clasificación de los mismos. Cada uno de estos métodos tiene, prácticamente, su campo de aplicación según la necesidad y uso que los haya fundamentado. Y así se tiene la clasificación de los suelos según el tamaño de sus partículas, entre los cuales los más utilizados en la ingeniería civil son: la clasificación de la Asociación Americana de Funcionarios de Caminos Públicos (AASHTO), la clasificación de la Administración de Aeronáutica Civil (C.A.A.), el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.), el sistema de clasificación AASHTO.

La existencia de esta variedad de sistemas de clasificación de suelos se debe, posiblemente, al hecho de que tanto el ingeniero civil como el geólogo y el agrónomo analizan al suelo desde diferentes puntos de vista. Es evidente que un sistema de clasificación que pretenda cubrir hoy las necesidades correspondientes, debe estar basado en las propiedades mecánicas de los suelos, por ser éstas lo fundamental para las aplicaciones en ingeniería civil. Hoy día es casi aceptado por la mayoría que el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.) es el que mejor satisface los diferentes campos de aplicación de la Mecánica de Suelos.

El sistema de clasificación de suelos S.U.C.S. fue presentado por Arthur Casagrande como una modificación y adaptación más general a su sistema de clasificación propuesto en 1942 para aeropuertos. La figura A.1 presenta la clasificación del sistema unificado. Como puede observarse en dicha tabla, los suelos de partículas gruesas y los suelos de partículas finas se distinguen mediante el cribado del material por la malla No. 200. Los suelos gruesos corresponden a los retenidos en dicha malla y los finos a los que la pasan, y así un suelo se considera grueso si más del .50% de las partículas del mismo son retenidas en la malla No. 200, y

fino si más del 50 % de sus partículas son menores que dicha malla. De la misma forma, como muestra la figura A.1. los suelos se designan por símbolos de grupo. El símbolo de cada grupo consta de un prefijo y un sufijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres ingleses de los seis principales tipos de suelos (grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turba), mientras que los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos.

La clasificación de los suelos fue un gran paso para la Mecánica de Suelos ya que, teniendo la capacidad de organizar los resultados, se puede obtener técnicas que permitan conocer mejor el terreno, para poder utilizarlo de mejor manera para la construcción. Además, proporciona una guía general para entender las propiedades ingenieriles de los suelos. Sin embargo, detrás de la clasificación mencionada, se encuentra un largo proceso de investigación, primero se estableció fases del suelo, propiedades físicas de los suelos y rangos de contenido de agua. Finalmente, gracias a la experiencia acumulada de los expertos, hoy en día tenemos una mayor comprensión sobre el comportamiento del suelo.

Por otra parte, aún hay mucha investigación por realizar. El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y el Instituto de Biología y Fertilidad de Suelos Tropicales (TSBF, por sus siglas en inglés) declaran que la restauración de los suelos degradados y el mantenimiento de la sanidad de tierras es un requerimiento central para reducir el hambre y la pobreza. Por lo que el Ecuador, al ser un país “muy productivo, gracias a la diversidad de suelos” (Del Salto, 2011) y en vías de desarrollo debe continuar con la investigación sobre el suelo.

Además, “con un crecimiento del 8,6 % en 2013 y 5,5 % en 2014, la construcción sigue ubicándose como uno de los sectores de mayor dinamismo de la economía.” [7]. Esto indica que el país necesita de profesionales capacitados para diseño y construcción responsables. Es por esta razón que en el Ecuador, cada universidad que ofrece la carrera de Ingeniería Civil, debería contar con catedráticos, investigadores, técnicos y laboratorios calificados que permitan a los estudiantes adquirir y mejorar sus habilidades y conocimientos, así como también hacer investigación y brindar servicios a la comunidad. De acuerdo con la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) y al Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la calidad de la Educación Superior (CEAACES), las universidades acreditadas del Ecuador que ofrecen la carrera de Ingeniería Civil en el 2016 son:

- Escuela Politécnica Nacional (EPN)
- Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
- Universidad San Francisco de Quito (USFQ).
- Universidad de Cuenca (UC)
- Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE
- Universidad Espíritu Santo (UEES)
- Universidad Técnica de Manabí (UTM)
- Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE)
- Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG)
- Universidad Central del Ecuador (UCE)
- Universidad del Azuay (UDA)
- Universidad Politécnica Salesiana (UPS) (Quito)
- Universidad Técnica de Ambato (UTA)
- Universidad Técnica particular de Loja (UTPL)
- Universidad Nacional del Chimborazo
- Universidad de Guayaquil
- Universidad Técnica de Machala
- Universidad Católica de Cuenca

La Universidad San Francisco de Quito tiene un reconocimiento internacional, al ser categorizada como “la mejor universidad del Ecuador en el QS Latin American University Ranking 2016, escalando al puesto 57 entre las mejores instituciones de educación superior de América Latina” [8]. Por lo que este proyecto de titulación tiene como objetivo implementar un plan de crecimiento y mejoramiento para el laboratorio de suelos de la carrera de Ingeniería Civil, que permita a la USFQ ofrecer servicios de alta calidad a la comunidad, a través de un laboratorio que a la vez pueda satisfacer las necesidades didácticas de los estudiantes, y así aportar

al desarrollo del país, por medio de profesionales calificados y preparados para los desafíos tecnológicos, científicos y prácticos de la actualidad.



FIGURA 1.1: Campos a considerar para el crecimiento progresivo del Laboratorio de Suelos de la USFQ

## Capítulo 2

# Historia de los Laboratorios de Mecánica de Suelos

La historia de la mecánica de suelos se relaciona directamente con la teoría, la práctica y el desarrollo de marcos conceptuales y modelos. Se debe notar como antes de 1885, muchos científicos como: Vauban, Bullet, Coulumb, etc. aportaron con teorías y fórmulas para tener una imagen más clara del comportamiento del suelo. Sin embargo, en los años siguientes ya fue posible experimentar con este conocimiento y gracias a la tecnología, aunque muy limitada, nacen los primeros ensayos.

Gonzalo Duque y Carlos Escobar publicaron en su libro Mecánica de Suelos la cronología de los avances de la mecánica de suelos:

En 1890 cuando el científico estadounidense Hazen mide por primera vez las propiedades de arena y cascajo para filtros. En 1906, Strahan (USA) estudia la granulometría para mezclas en vía. En 1906, Müller, experimenta modelos de muros de contención. En 1911, Atterberg (Suecia), establece los límites de Atterberg para suelos finos. En 1913, Fellenius (Suecia), desarrolla métodos de muestreo y ensayos para conocer la resistencia al corte de los suelos y otras propiedades. Además, desarrolla el método sueco del círculo para calcular la falla en suelos cohesivos.

No solo por lo antes mencionado, “es casi imposible hablar de mecánica de suelos sin mencionar en algún momento los límites de plasticidad de Atterberg” [9]. Y resulta admirable que Albert Atterberg, con herramientas rudimentarias, haya presentado en 1901 un primer sistema de clasificación de suelos, “en el que ya establece el tamaño 0,002 mm como límite entre las arenas y los suelos finos, división que se ha mantenido hasta hoy” [10]. A pesar de que los conocimientos y ensayos de Atterberg avanzaban más rápido que la tecnología, en tan solo 14 años logra establecer su clasificación de suelos en el U.S. Bureau of Standards, como lo señala Enrique Montalar, en su página web de Geotecnia.

De igual manera Karl Terzaghi, es considerado el padre de la mecánica de suelos por la luz que aportó a la mecánica de suelos. Es por esta razón que se debe tomar en cuenta el laboratorio de Terzaghi “en el Technische Hochschule de Viena, preparado por el propio Arthur Casagrande un año antes del primer Congreso de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, celebrado en Harvard en junio de 1935” [9]. Resulta admirable como estos científicos pudieron aportar con tanto conocimiento y sobre todo entender el comportamiento del suelo, a pesar de que el laboratorio tenía pocos equipos y muy básicos.

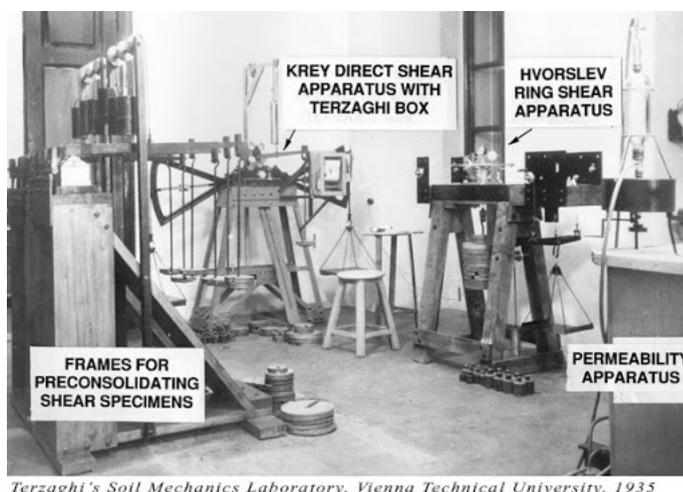


FIGURA 2.1: Laboratorio de Mecánica de Suelos de Terzaghi, Universidad Técnica de Viena, 1935

Pero en todas partes del mundo, los científicos buscaban nuevos resultados o simplemente obtener menor error en los ensayos ya establecidos. Como es el caso del Ingeniero Fernando Carneiro “que, entre otros muchos méritos y realizaciones, desarrolló el Ensayo de Tracción Indirecta, conocido internacionalmente como Ensayo Brasileño ” [11]. Con la misma motivación de Casagrande, construir aeropuertos en la segunda guerra mundial, en 1943 Carneiro investigó sobre el

comportamiento de cilindros de hormigón cargados a compresión que se rompían a tracción.

Como lo menciona Enrique Montalar, este planteamiento surgió ya que no era posible mover grandes estructuras utilizando cilindros de acero, porque todo el acero fue usado en la guerra. Y fue así como Carneiro se aventuró en un laboratorio que básicamente tenía una prensa de carga. Sin embargo, con los años, el ensayo se fue perfeccionando hasta ser “admitido por la American Society for Testing Material (ASTM) en 1962, por la International Society for Rock Mechanics (ISRM) en 1978, y por la International Organization for Standardization (ISO) en 1980 ” [11].

El salto de tecnología que ha experimentado la Mecánica de Suelos es muy evidente. A pesar de que antes de 1960 ya existían procedimientos de cálculo, métodos numéricos y modelos constitutivos para la ingeniería geotécnica, todos se realizaban a mano, por falta de computadoras. Por la misma razón, el tema principal fue la estabilidad, mientras que la deformación recibió menos atención. “Un buen ejemplo de esto es el método de Blum para el diseño de muros de contención” [12].

La solución a esta problemática surge alrededor de 1964, gracias a la introducción de las computadoras de tercera generación y los estándares de programación. Es aquí cuando se dio la posibilidad de implementar modelos en programas de computadora. Además, coincidió con el desarrollo de una nueva familia de modelos de suelo no lineal en el Reino Unido. Y en el mismo período, el método de elementos finitos evolucionó, pero el método fue inicialmente aplicable sólo para procesos lineales [13].

Después, en la década de 1970 varios modelos informáticos para computadoras fueron desarrollados por investigadores. Como mencionan Frans Barends y Paola Steijger en su libro publicado en 2002, “la atención pasó de los cálculos lineales a los procedimientos de solución no lineal, que era esencial para el uso en aplicaciones geotécnicas” [12]. Posteriormente, en Delft, el centro holandés de ingeniería civil desarrolló bastantes programas no lineales de elementos finitos: DIANA, un programa TNO, inicialmente sólo destinado a la estructura de hormigón y EL-PLAST, un programa de la Universidad de Delft para aplicaciones geotécnicas, evoluciona posteriormente como PLAXIS.

Poco después de la introducción de las computadoras personales y para el hogar, a comienzos de la década de 1980, ingenieros entusiastas de varias compañías

empezaron a hacer programas informáticos simples para acelerar los cálculos que solían hacerse a mano. Esto marcó el estándar para la ingeniería y los diseños geotécnicos en finales de los años 80. Al mismo tiempo, Arnold Verruijt en el Laboratorio de Geotecnia de la Universidad de Delft creó programas similares y estimuló el uso de modelos informáticos por parte de estudiantes e ingenieros civiles. Como resultado, una nueva generación de ingenieros civiles se familiarizó con el uso de modelos de ordenadores convencionales en ingeniería [12].



FIGURA 2.2: Historia de investigación de la Universidad de Delft

Estos grandes avances no solo impulsaron la investigación en Europa. En Latinoamérica también hubo muchos países que empezaron su investigación con los recursos disponibles. Este es el caso de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) de Lima-Perú, cuando en el año 1946, a iniciativa del Ing. Emilio Le Roux Catter se incluye en el plan curricular de ingeniería civil el dictado del curso de mecánica de suelos. La historia de su laboratorio de suelos está estrechamente relacionada con la enseñanza de la mecánica de suelos en la UNI, que se remonta a la época de la antigua Escuela de Ingenieros Civiles y de Minas.

Sin embargo, no fue sino hasta el año 1963 cuando, siendo jefe del laboratorio el Ing. José Tong Matos, la UNI adquiere un equipamiento moderno, que fue preparado especialmente para el laboratorio de suelos por la SOILTEST Inc. de Chicago USA, empresa reconocida de la época, con equipos para ensayos de suelos,

ensayos de pavimentos, equipos de perforación diamantina de percusión y rotación, en esa época se convierte en el mejor laboratorio del país.

Otro país de Latinoamérica que inició el estudio del suelo hace varias décadas es el Ecuador. La historia universitaria del Ecuador se remonta al 4 de abril de 1786, cuando se fusionaron las Universidades: San Fulgencio, fundada en 1586; San Gregorio Magno, fundada en 1651 y la Santo Tomás de Aquino, fundada en 1681. Posteriormente, una vez constituida la Gran Colombia, el 18 de marzo de 1826 se decreta en la Ley General sobre Educación aprobada por el Congreso de Cundinamarca que: “En las capitales de los departamentos de Cundinamarca, Venezuela y Quito se establecerán Universidades Centrales que abracen con más extensión la enseñanza de Ciencias y Artes” [14].

“A partir de esta ordenanza, la educación superior se convirtió en asunto de Estado”(U. De esta manera, sobre la base de la Real Universidad Pública Santo Tomás, la Universidad de Quito se constituye como la primera universidad del Ecuador.

Diez años más tarde, en 1836, mediante un decreto orgánico del presidente Vicente Rocafuerte se cambia la palabra Quito, por Ecuador y surge ya de manera definitiva la Universidad Central del Ecuador. Finalmente, en 1965 el Laboratorio de Mecánica de Suelos inició sus actividades y desde esa fecha ha complementado la formación académica, colabora con el desarrollo de la ciencia y tecnología nacional en el campo de los problemas que plantean tanto el diseño como el control tecnológico de la construcción de obras civiles, que se ejecutan en la ciudad y en el resto del país [14].

El Ecuador se había sumado al desarrollo por medio de la educación superior, ya que pocos años después fueron abiertas más escuelas de educación superior. Una de ellas es la Escuela Politécnica Nacional (EPN), que fue “fundada el 27 de agosto de 1869 por el Presidente García Moreno, concebida como el primer centro de docencia e investigación científica, como órgano integrador del país y como ente generador del desarrollo nacional.” (EPN-TECH) La página web de la epn-tech afirma que los Laboratorios de la EPN han cumplido un papel fundamental para que la EPN se destaque como uno de los principales centros de investigación técnica del Ecuador. Ofreciendo sus servicios hace más de 38 años, estos espacios de enseñanza han sido enfocados en los ámbitos de docencia e investigación. Esto se debe a la alta inversión tecnológica que esta universidad a provisto, además del

capital intelectual de sus profesionales, que han permitido poner su infraestructura al servicio de la comunidad.

Así pues, en la historia universitaria del Ecuador sobresale el nacimiento de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, ya que coincide con hechos significativos en la economía y la ciencia a nivel nacional y mundial. Varias Universidades decidieron ofertar la carrera de Ingeniería Geotécnica y con ella, su respectivo laboratorio. Una de las primeras es la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). El Laboratorio de Mecánica de Suelos, Rocas y Materiales fue creado en el año de 1973; laboratorio principal de la carrera Ingeniería Geotécnica (1967) de la ESPOL. En 1989 se crea la carrera de Ingeniería Civil, que reemplaza a la antigua carrera Ingeniería Geotécnica. En 1999 el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Rocas y Materiales, tomó el nombre de Raúl Maruri Díaz”, importante ex – docente de la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra.

De la misma manera, en la capital ecuatoriana surgía otra universidad que destinaba recursos para la investigación del suelo, dicha universidad es la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE).

La facultad de Ingeniería Civil fue creada en 1961, sin embargo gracias al Ing. José Chacón Toral, decano de la facultad mencionada y al Rvdo. Padre Rector Hernán Malo González, fue posible la construcción e implementación del laboratorio de Mecánica de Materiales de la PUCE en 1976.

No obstante, por la excesiva demanda de construcción del Ecuador a finales de 1998, la PUCE decidió invertir en la compra y actualización de equipos para el laboratorio, de esta manera fue viable el poder ofrecer servicios a la comunidad. Finalmente en el 2008 y 2009 se construyó un nuevo edificio destinado completamente al Laboratorio de Materiales, con áreas destinadas a la docencia y áreas para servicios comerciales.

En respuesta a la necesidad que Ecuador tenía de una institución privada de educación superior de alta calidad, en 1988 Santiago Gangotena fundó la Universidad San Francisco de Quito (USFQ), a través de la Corporación de Promoción Universitaria, posicionándose como la primera universidad privada totalmente autofinanciada en Ecuador.

Con el deseo de contribuir al País, la USFQ empezó a fortalecer las carreras de

ingeniería que la universidad ofrece. Tomando en cuenta que "sería imposible enseñar materias de ingeniería sin el apoyo didáctico y de trabajo permanente de un laboratorio" dijo el Ph.D., Fernando Romo en una entrevista, la Universidad San Francisco de Quito, en el año 2005 decide invertir en facilidades físicas necesarias. Es decir, en la formación y equipamiento de laboratorios para el Colegio de Ciencias e Ingeniería.

El laboratorio de Mecánica de Suelos fue implementado gracias a Fernando Romo, Profesor, Director del Departamento de Ingeniería Civil y Director del Programa de Postgrado Master en la USFQ. Y a César Landázuri, quién fue profesor de Mecánica de Suelos y gerente de la compañía "Geosuelos", una de las empresas del país con mayor experiencia en trabajos en el campo de suelos y geotecnia en diferentes ciudades del Ecuador. La colaboración del Ingeniero Landázuri fue muy valiosa para poder definir los equipos necesarios que permitirían poder implementar un laboratorio de nivel académico importante.

Tomó un par de años la implementar todo el laboratorio y fue allí donde inició el programa de mecánica de suelos y su respectivo laboratorio, dentro de la carrera de ingeniería civil.

## Capítulo 3

# Catálogos Académicos y de Servicios Comerciales

Como se vió en capítulos anteriores, los laboratorios de Mecánica de Suelos han tenido un gran impacto en el mundo de la construcción debido a que en cualquier obra civil, se debe conocer el comportamiento del terreno sobre el que se asentará una estructura. Es por esto que tener un laboratorio equipado y funcional es trascendental en la enseñanza universitaria. Es responsabilidad de todo futuro constructor estar familiarizado con los ensayos básicos que se deben realizar para poder tomar decisiones acertadas y para poder tener una correcta planificación de las obras.

Para empezar un plan de equipamiento progresivo para el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la USFQ, se debe tomar en cuenta los antecedentes y el estado de otros laboratorios universitarios a nivel nacional e internacional. Gracias a la experiencia de otros laboratorios de prestigio, se puede tomar referencias de su estado como modelo de crecimiento. Por esta razón, este capítulo analizará información relevante que permitirá proponer un plan estratégico de crecimiento adecuado.

## 3.1. Análisis de Laboratorios Universitarios Nacionales

Luego de determinar la información que se necesitaría para poder estudiar y comparar el nivel académico de los laboratorios de las principales universidades del país, se decidió realizar un formulario de 10 preguntas (ver la sección B.1 en el apéndice B), a manera de entrevista. Dicho documento se envió a la EPN, ESPOL, PUCE, UC y UCE. Con la información recolectada, se elaboró diversos listados de los principales ensayos que cada laboratorio ofrece, tanto a sus estudiantes, como a la comunidad en que se encuentra inmersa. También se evaluó el estado de los equipos que son utilizados por los laboratorios universitarios mencionados y finalmente se pudo sondear los precios actuales del mercado de la construcción ecuatoriana.

### 3.1.1. Equipos y Marcas

La importancia de un estudio de suelos, en el ámbito comercial, académico y científico, exige contar con equipos y herramientas de precisión para garantizar su fiabilidad. Adicionalmente, siendo espacios de enseñanza, los laboratorios deben tener equipos que permitan adquirir el conocimiento necesario para realizar un estudio geotécnico eficiente. De la misma manera, un laboratorio que brinde servicios externos, debe producir resultados de calidad analítica, precisión y confiabilidad.

Como la mayoría de universidades encuestadas que ofrecen la carrera de ingeniería civil son de Categoría A, según el CEAAACES (ver Capítulo 1), se encontró que gran parte de los Laboratorios Universitarios cuenta con los equipos y herramientas necesarios para realizar investigación, prestar servicios y sobre todo para la docencia. Además, a pesar de que dos de las universidades mencionadas están en Categoría B, también cuentan con laboratorios bien equipados.

En cuanto a la modernidad de los equipos, destaca la ESPOL, al tener 16 de sus 30 equipos principales comprados en 2015. Otros dispositivos fueron comprados entre 1993 y 2000, como prensas de compresión, copas Casagrande, entre otros. Finalmente los equipos de mayor antigüedad fueron adquiridos en 1973, por ejemplo: martillos de compactación, equipos de consolidación y prensas de compresión.

Con respecto a las marcas de los equipos, en su mayoría son ELE Interational, con la excepción de 10 equipos de marca Soiltest.

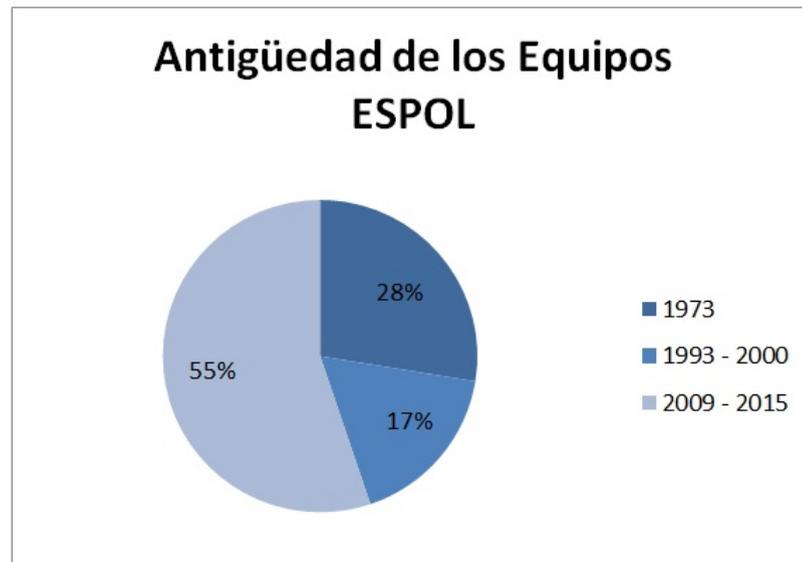


FIGURA 3.1: Comparación de Antigüedad

Por otro lado, la UC afirma que la mayor parte de su maquinaria fue comprada hace 10 años. A excepción de los consolidómetros, que fueron adquiridos en 2013, las tamizadoras, compradas en 2014 y una prensa de marca Controls, comprada en 2015. Además, reconociendo que la marca de los equipos influye en la credibilidad de los resultados de laboratorio, se analizó que aproximadamente el 57% de los equipos del laboratorio de la Universidad de Cuenca son de marca ELE Interational, un 14,33% son Trolex, otro 14,33% son Durham y finalmente otro 14,33% son Controls.

En el caso de la PUCE, realizaron una primera adquisición de equipamiento de los laboratorios de suelos, materiales y pavimentos en 1976. Sin embargo, a pesar de que en 1998 cuando hicieron una alta inversión en maquinaria de marca Soiltest y Humboldt, fue en el 2009 cuando completaron la compra de equipos automatizados marca GCTS Testing Systems, como la máquina para realizar ensayos de Triaxial dinámicos.

Adicionalmente en el 2009, la PUCE optó por mejorar el espacio de trabajo de sus laboratorios, otorgando todo un edificio para que los estudiantes, investigadores y laboratoristas puedan trabajar de manera más eficiente.

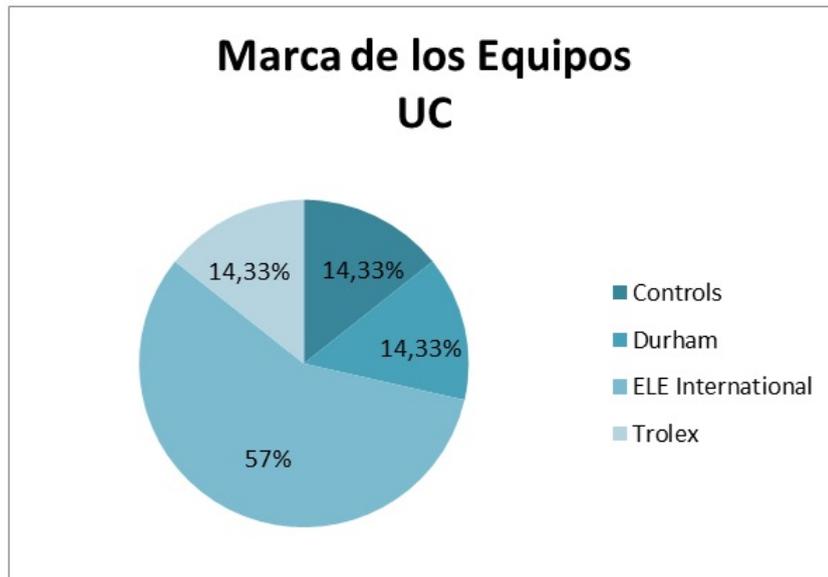


FIGURA 3.2: Comparación de Marcas

### 3.1.2. Catálogos Académicos Universitarios

En cuanto a los catálogos académicos de las Universidades antes mencionadas, se investigó sobre las prácticas que los estudiantes de Ingeniería Civil realizan en los laboratorios de Mecánica de Suelos. Se encontró que la EPN y la UC ofrecen a sus estudiantes una lista más extensa de ensayos (ver la Figura 3.1.3). Sin embargo, la mayoría de universidades ofrecen en común los siguientes ensayos básicos:

- Compactación
- Compresión Simple
- Consolidación
- Corte Directo
- Granulometría
- Triaxiales

Cabe recalcar que no todas las universidades tienen las mismas prácticas en un solo semestre. Algunas las han dividido en dos o hasta tres materias que no necesariamente se cursan en el mismo semestre, como es el caso de la ESPOL. En esta universidad, los estudiantes realizan sus prácticas del laboratorio de suelos en



FIGURA 3.3: Comparación de Ensayos

Mecánica de Suelos I, Mecánica de Suelos II y Carreteras I. En el caso de la EPN, solo lo realizan en Mecánica de Suelos I y II.

Por lo tanto, en base a la lista de ensayos básicos, se determina que la USFQ debe agregar el ensayo de Corte Directo, Consolidación y Triaxiales a la lista de prácticas que se deben realizar en la clase de Laboratorio de Mecánica de Suelos. Destacando que sí se realizaban los ensayos de Compactación Proctor Estándar y Modificado, Compresión Simple y Granulometría, siendo estos considerados como ensayos básicos en el resto de laboratorios universitarios.

### 3.1.3. Catálogos de Servicios Comerciales

A pesar de que la principal función de un laboratorio universitario es la docencia, muchas universidades han decidido prestar servicios de extensión al sector de la construcción, como aporte adicional a la comunidad. Por esta razón, la investigación sobre catálogos universitarios antes mencionada también abarca la comparación sobre los servicios que dichos laboratorios ofrecen. Tanto en variedad de pruebas de suelo, como en precios de los mismos.

Primeramente se analizará cuáles son los ensayos con fines comerciales que todas las universidades ofrecen. Es decir, los ensayos que tienen en común, según la

información que nos han otorgado para esta investigación. Se encontró que la EPN, PUCE y UCE ofrecen:

- CBR
- Compactación
- Compresión Simple
- Consolidación Unidimensional
- Corte Directo
- Densidad de Sólidos
- Expansión Controlada en Consolidómetro
- Granulometría por Hidrómetro
- Límite Líquido y Plástico
- Permeabilidad
- Triaxial CD
- Triaxial CU
- Triaxial UU

Esta información se basa en los catálogos de servicio que las universidades mencionadas proporcionaron como colaboración a esta investigación (Para ver los catálogos completos, ir al Apéndice B). El análisis de costos realizado consiste en la identificación de los recursos económicos necesarios para poder llevar a cabo la elaboración un ensayo de suelos. La clasificación de los tipos de ensayos para suelos es por la caracterización, la resistencia y deformación del suelo.

La figura indica que los precios para los ensayos que la EPN, UCE y PUCE ofrecen, según la caracterización del suelo son similares. Los ensayos de Densidad de Sólidos, Granulometría y Permeabilidad ofrecidos por la UCE tienen menor o igual costo que en la EPN. La diferencia de precios no varía mucho a excepción del ensayo de Límite Líquido y Plástico de la PUCE, que casi duplica el valor de las otras dos opciones.

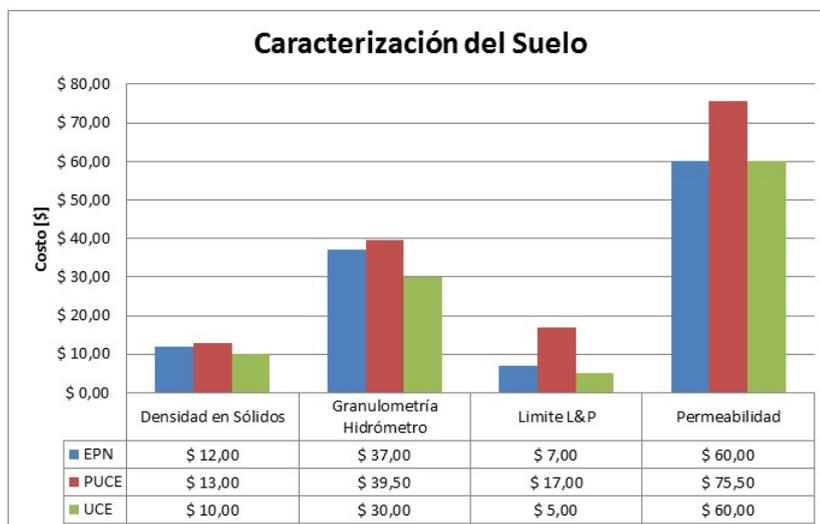


FIGURA 3.4: Ensayos por Caracterización del Suelo

De la misma manera, para los ensayos de resistencia y deformación del suelo, se puede apreciar que el costo del ensayo CBR realizado por la PUCE es superior al costo de la EPN y UCE, sin embargo mantiene precios similares para los otros ensayos de esta categoría. En la Figura 3.5 también se puede apreciar que los ensayos de la UCE mantienen menor precio.

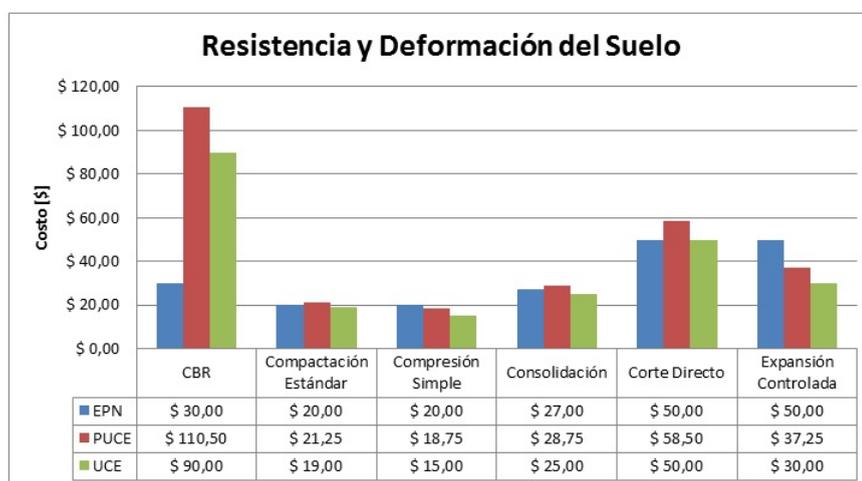


FIGURA 3.5: Ensayos por Resistencia y Deformación del suelo

Sin embargo, en la Figura 3.6 se observa que a pesar de que la EPN ofrece un ensayo triaxial no consolidado no drenado (UU) de mayor costo, y la UCE ofrece un ensayo triaxial consolidado drenado (CD), es más costoso realizar los tres ensayos juntos en la PUCE.

Entre los aspectos más importantes a tomar en cuenta para evaluar los catálogos de servicios está el hecho de que la PUCE, a pesar de tener los precios más altos,

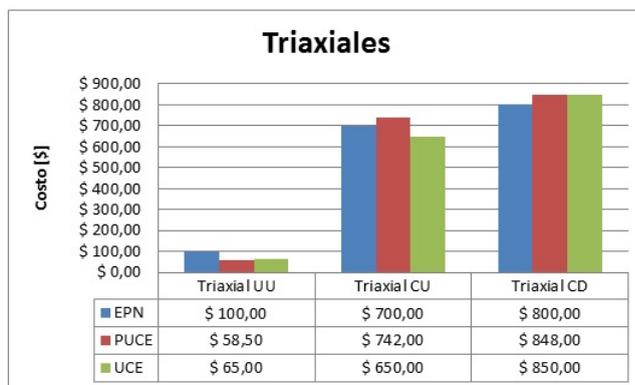


FIGURA 3.6: Triaxiales

TABLA 3.1: Precio promedio de mercado

Lista de ensayos en común	Precio Prom.
CBR (3 moldes)	76,83
Compactación Estandar	20,08
Compresión Simple	17,92
Consolidación Unidimensional	26,92
Corte Directo UU	52,83
Densidad de Sólidos	11,67
Expansión Controlada en Consolidómetro	39,08
Granulometría Hidrómetro	35,5
Límite Líquido y Plástico	8,67
Permeabilidad Arcillas	65,17
Triaxial UU	74,5
Triaxial CD	832,67
Triaxial CU	697,33

tiene el catálogo de mayor extensión entre los otros catálogos analizados. Cuenta con 55 ensayos en el área de Mecánica de Suelos y Geotécnia. Sin contar con los ensayos dinámicos que ofrece: Corte torsional, Ensayo de Columna Resonante, Triaxial cíclico y Medición de Velocidad de Onda PyS.

Finalmente, se realizó un promedio de los precios comparados. Tomando en cuenta los catálogos de la EPN, PUCE y UCE, se presenta un estimado de los precios del mercado actual. De esta manera la USFQ podrá tomar esta información como referencia si decide incursionar en otorgar servicios comerciales.

## 3.2. Otras Universidades Latinoamérica

Luego de analizar la información recolectada sobre los laboratorios de las principales universidades del Ecuador, se decidió comparar los mismos resultados con universidades extranjeras vecinas. Para esto, se solicitó información a la Universidad Nacional de Ingeniería de Lima, que se encuentra entre las 5 mejores universidades de Perú.

TABLA 3.2: Precios UNI

Cód.	Lista de ensayos en común	ASTM	Precio [PEN]	Precio [USD]
MS-01	Contenido de Humedad	D2216	339,127	101,64
MS-02	Análisis Granulométrico (Tamizado)	D422	339,128	103,47
MS-03	Límite Líquido	D4318	339,129	103,47
MS-04	Límite Plástico	D4318	339,129	103,47
MS-05	Límite de Concentración	D427	342,105	105,35
MS-06	Análisis Granulométrico (Hidrómetro)	D422	339,08	103,47
MS-07	Ensayo de Doble Hidrómetro	D4221	323,125	98,59
MS-08	Densidad de Suelos Cohesivos (parafina)	-	327,124	99,81
MS-09	Gravedad Específica de Sólidos	D854	339,131	103,47

En la tabla 3.2 mostrada, se puede observar el catálogo de servicios comerciales que ofrece la UNI. A pesar de ser un país vecino, los precios cambian drásticamente al ser comparados con el promedio de precios de los catálogos de laboratorios universitarios ecuatorianos, mostrados en la tabla 3.1.

Por la distancia y el difícil acceso a la comunicación instantánea, fue imposible indagar más acerca de la variación de precios en universidades Latinoamericanas vecinas. No solo con la UNI, sino también con la Universidad de Los Andes de Colombia. Quienes hasta el momento no han enviado ninguna información.

## Capítulo 4

# Inventario del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la USFQ

El aprendizaje de actividades relacionadas con diversas áreas de ingeniería civil, se fundamenta en la ejecución de pruebas o ensayos que permitan a los estudiantes entender los conocimientos científicos, de investigación y diseño. Teniendo en cuenta que un estudio geotécnico es fundamental en cualquier obra civil, se debe contar con un espacio de enseñanza bien equipado para que un estudiante de ingeniería civil pueda poner a prueba muchos de los conocimientos teóricos adquiridos. Por esta razón, la aplicación de actividades experimentales se debe llevar a cabo en espacios adecuados.

Lamentablemente, por muchos años, la Universidad San Francisco de Quito no contaba con un laboratorio de Mecánica de Suelos adecuado para sus estudiantes, basados tanto en la categorización de dicha universidad según el CEAACES, como en la meta de la USFQ de “constituirse en una Universidad modelo en la aplicación de la Filosofía de las Artes Liberales, emprendimiento, desarrollo científico, tecnológico y cultural para el Ecuador y América Latina” [8].

Desde el 2007, cuando se destinó un área para el Laboratorio de Suelos (ver historia en el Capítulo 2), el espacio fue insuficiente. Por lo que el nuevo laboratorio fue construido, junto con los demás laboratorios de Mecánica de Materiales, para la calidad académica y científica. Convirtiendo todo el área docente en el campus Hayek S4, en un complemento para la formación de los futuros ingenieros civiles del Ecuador. El desarrollo de las actividades académicas y la ejecución de pruebas

y ensayos del Laboratorio que se desea potenciar, integra los temas estudiados en la materia de Mecánica de Suelos y Pavimentos.

A inicios del segundo semestre del año académico 2016-2017 de la USFQ, se realizó el traslado del antiguo laboratorio al nuevo. Durante este proceso se realizó un inventario detallado (ver el Apéndice C) de todo lo que había en el antiguo laboratorio. Posteriormente se realizó un listado de los elementos nuevos, como sillas, mesas y repisas. Fue gracias a este inventario que se pudo divisar el estado del laboratorio y qué tan funcional era.

Se destaca la cantidad de herramientas que estaban dañadas o incompletas, tomando en cuenta el poco uso que se les daba.

- Juego de herramientas hexagonales: incompleto
- Equipo Medidor de Humedad Natural: incompleto
- Molde Proctor estándar: incompleto
- Soporte universal: incompleto
- Juego de llaves: incompleto
- Mortero: incompleto

Además se observó que había muchos equipos nuevos pero que nunca se les había dado uso, por lo que estaban cubiertos de polvo. Afortunadamente la mayoría de maquinaria costosa estaba en buenas condiciones. Algunas necesitaban repuestos y otras simplemente una limpieza, como es el caso del compresor de aire, la bomba de vacíos, y la máquina de compresión simple manual. (Para ver el proceso de calibración, ir al Capítulo 5)

Sin embargo otros equipos simplemente necesitaban pequeñas piezas pero fundamentales para su operación. Se determinó que el transductor para leer la presión de poro del ensayo triaxial no tenía el cable de poder, por lo que no se lo podía usar. Otro caso es del consolidómetro, que no se le daba uso por falta de un soporte para el deformímetro. Adicionalmente se determinó que no se podía realizar una perforación porque el equipo para ensayos Shelby estaba incompleto. Anteriormente se halló en el antiguo laboratorio de Mecánica de Suelos el equipo completo para realizar el Ensayo de Penetración Estándar de manera desordenada, lo que se podía

interpretar como incompleto, mediante el reordenamiento e inventario se organizaron todas las partes del SPT Manual y se anotó en el inventario como completo”, por lo tanto está habilitado para realizar las pruebas requeridas. Finalmente, para el ensayo de permeabilidad solo se contaba con el permeámetro, pero este no tenía las conexiones adecuadas, por lo que no se lo utilizaba.

Antes de realizar detalladamente el inventario final, se evaluó el estado de varias piezas que se encontraron dañadas. Con ayuda del criterio profesional de la Ing. Mercedes Villacís se evaluaron varios objetos que se encontraban en mal estado y se dieron de baja las siguientes herramientas:

TABLA 4.1: Herramientas eliminadas del inventario

Cantidad	Unidad	Herramienta	Observaciones
2	u	Acoples doble nuez para soporte universal	Rotura
6	qq	Muestra de suelo	Endurecido

Por otro lado, para dar un seguimiento progresivo de reparaciones calibraciones o desecho, se ha clasificado el inventario del laboratorio de suelos en 4 partes:

- Herramientas
- Equipos
- Insumos
- Mobiliaria

La parte mobiliaria corresponde al conjunto de muebles, que son objetos que sirven para facilitar los usos y actividades habituales. La parte de equipos hace referencia a las máquinas que realizan ensayos que tienen relación a mecánica de suelos. La herramientas son instrumentos externos que facilita la realización de tareas economizando esfuerzo y tiempo. Los insumos son objetos que son distribuidos a los diferentes equipos, para el correcto desempeño de los ensayos requeridos.

## Capítulo 5

# Instalación y Calibración

En este capítulo se explicará el proceso de rehabilitación que se hizo en el laboratorio de mecánica de suelos de la USFQ. Tomando en cuenta que en el capítulo cuatro se revisó el inventario y el estado en el que se encontraba la utilería y maquinaria del laboratorio, esta sección se centrará en el mantenimiento, reparación, instalación y calibración de los equipos para poder poner en funcionamiento al Laboratorio.

### 5.1. Traslado

El 23 de noviembre 2016 se trasladó los equipos y materiales desde el laboratorio de mecánica de suelos ubicado en el subsuelo del edificio maxwell, hasta el nuevo laboratorio, ubicado en el subsuelo 4 del campus Hayek en el Paseo San Francisco. Cada herramienta, equipo y utensilio fue empacado en cajas, según su tamaño y fragilidad.



FIGURA 5.1: Traslado al nuevo Laboratorio



FIGURA 5.2: Ordenamiento

Una vez trasladado todas las cajas hasta las nuevas instalaciones, se limpiaron todos los equipos, cristalería, utensilios, etc. Finalmente se empezó a poner todo en orden, incluyendo las mesas y sillas nuevas. El oren del laboratorio fue pensado previamente y sugerido según un plano en AutoCAD, en la que se tomaba en cuenta la ubicación de las instalaciones eléctricas y de agua. Con esto se presentó también un plan de la acomodación de los equipos, según las conexiones necesarias.

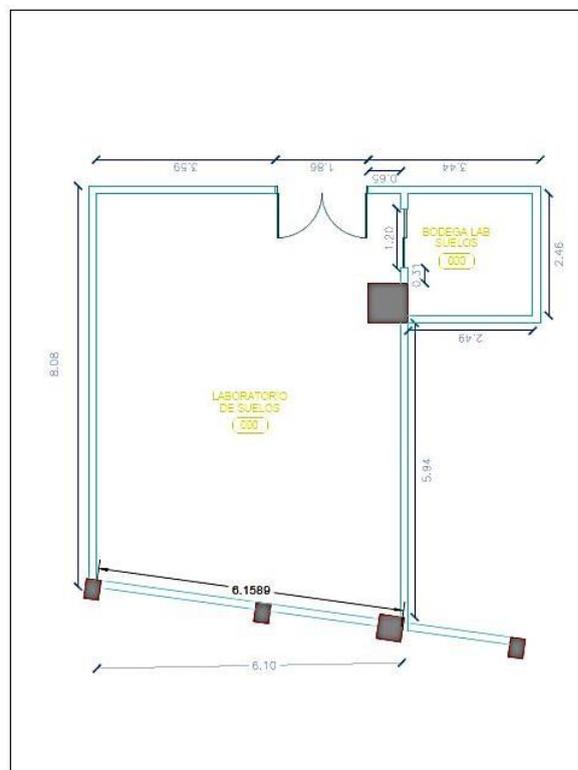


FIGURA 5.3: Plano Original

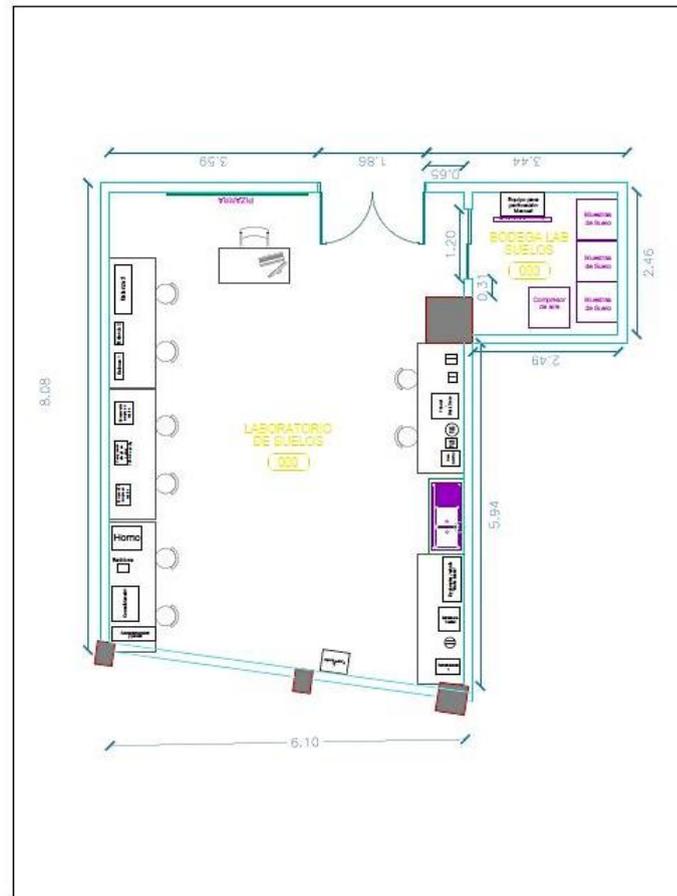


FIGURA 5.4: Plano Ordenamiento

El inconveniente con las sugerencias de ordenamiento se dio cuando se realizaron adquisiciones anteriores al inicio de este proyecto y que llegaron poco antes del traslado del antiguo laboratorio al nuevo. Por esta razón, se determinó el orden de todo el laboratorio considerando las entradas de aire y las conexiones, pero sin tomar en cuenta los espacios de trabajos adecuados ni las medidas de seguridad correspondientes. Por ejemplo, se decidió poner los hornos cerca de lugares con ventilación, es decir: ventana y puerta. Después de ubicar los hornos, se colocó todas las máquinas para ensayo triaxial cerca de la conexión de agua. Finalmente, el resto de maquinaria y equipos se los colocó sobre las mesas.

A pesar de que no se había considerado la garantía de espacios físicos de trabajo adecuados, se logró acomodar en anaqueles la mayor parte de enseres del laboratorio. Después de efectuar una simple inspección visual, se realizó ensayos con cada equipo probar su correcto funcionamiento. Adicionalmente se realizó manuales de uso de los principales equipos, los cuales se encuentran adjuntos en el Apéndice B. Estos manuales posibilitan el desarrollo de actividades académicas efectivas y

evitan el uso incorrecto o daño prematuro de los equipos, mobiliario y material disponible, por desconocimiento de su manejo o por malas prácticas de uso.

## 5.2. Mantenimiento

Con la ayuda del Ing. Francisco Játiva, ingeniero encargado del laboratorio de hormigones, se comprobó que el compresor de aire esté funcionando ya que, casi por diez años, no se lo había utilizado, al igual que muchos de los equipos y maquinas encontradas en el laboratorio. Al realizar una limpieza profunda del compresor se decidió que sería necesario reforzar la palanca para encender la máquina ya que parecía frágil.

Efectivamente, luego de mover la palanca en algunas ocasiones se desprendió. Inmediatamente se solicitó la reparación de la misma al Ing. Nelson Herrera, Coordinador de Desarrollo y Mantenimiento del Colegio de Ciencias e Ingenierías de la USFQ. Finalmente, luego de varias pruebas, se determinó que el compresor estaba en buen estado.



FIGURA 5.5: Compresor Rehabilitado

La siguiente máquina que se inspeccionó fue la bomba de vacío. Se encontró que el nivel de aceite de la bomba estaba muy bajo, por lo que se tomó las medidas necesarias para que la máquina no sufra daño alguno. Requirió 300 ml de aceite aproximadamente, para que el nivel de aceite llegue al mínimo requerido. A pesar del desuso y la falta de mantenimiento, se determinó que la bomba estaba en perfecto estado.



FIGURA 5.6: Bomba de Vacío

Finalmente, se le dio mantenimiento a la cámara del equipo para ensayos triaxiales. Por el tiempo y desuso, los tubos ajustadores estaban generando demasiada fricción, por lo que producían ruido. Para su mantenimiento, se compró aceite y se aplicó directamente en la zona de engranaje.

### 5.3. Instalación y Reparación

Para la máquina de ensayos triaxiales se tomó estrictas medidas de seguridad, tanto con todo el proceso de traslado del antiguo laboratorio al nuevo, como en el proceso de armado del mismo. Debido a que el equipo triaxial consta de 7 máquinas separadas, cada una con sus conexiones respectivas. Al no tener experiencia con el manejo de una máquina para el ensayo triaxial, se solicitó los servicios profesionales de un técnico.



FIGURA 5.7: Equipos para ensayo Triaxial

El tecnólogo mencionado consiguió los acoples y piezas faltantes para poder conectar los equipos, realizó las conexiones de agua correspondientes y fabricó accesorios necesarios para un ensayo básico. Además, se solicitó a Geotest los catálogos de cada máquina y finalmente, se realizó el primer ensayo triaxial de prueba para comprobar el funcionamiento del equipo y los resultados fueron positivos.

## 5.4. Calibración

En cuanto a calibraciones, antes de evaluar la precisión de las balanzas del laboratorio, primeramente se realizó una inspección externa para comprobar que estén completas. Es decir, se observó que las balanzas mecánicas tengan los platos superiores o los juegos de pesas correspondientes y que las balanzas electrónicas tengan su cable de alimentación respectivo.

Pese al tiempo en el que las balanzas estuvieron en desuso y sin el cuidado necesario, estaban en buen estado. Se encontró que solo una balanza electrónica estaba sin su cable de alimentación, por lo que inmediatamente se consiguió un repuesto para ponerla en funcionamiento. De esta manera, se pudo calibrar con exactitud todas las balanzas. Se encontró que las balanzas electrónicas Uni-bloc Shimadzu tienen apenas el 1% de error. Al ser un porcentaje bajo, se resume que todas las balanzas son precisas. Además se anotó en cada balanza la fecha de la calibración, para llevar el registro pertinente. Se espera que el próximo chequeo de calibración sea en un año.

Otra calibración necesaria en el Laboratorio fue la de los anillos de carga de la máquina de compresión simple y la máquina de ensayo para CBR. Debido a que estos equipos fueron comprados en el año 2007, no fue posible obtener los manuales de uso de las mismas. Sin embargo en internet se pudo conseguir información de procedimientos generales de calibración.

El Ing. Herrera, determinó la relación Fuerza-Desplazamiento del anillo de carga de la máquina de ensayo para CBR, aplicando una fuerza máxima de 30N. Después de varios análisis, encontró el factor de calibración del aro, el cual es  $CR = 0,13688414$ . Finalmente, recomendó que no se debería aplicar más de 10 000N ya que existirá deformación permanente.



FIGURA 5.8: Resultados Calibración 1

Para mantener una calibración óptima de manera frecuente, el Ing. Herrera nos proporcionó textos e indicaciones para poder realizar las calibraciones por nuestra cuenta. Es por esto que para el anillo de carga de la máquina de compresión simple fue sometido a carga en el marco de carga de máquina de triaxial, para poder obtener los datos correspondientes.

Se encontró que el factor de calibración es  $CR = 1,31799284$  y se recomienda que no se aplique una fuerza superior a 550N, para garantizar la fiabilidad de los datos obtenidos.



FIGURA 5.9: Resultados Calibración 2

## Capítulo 6

# Planificación del Catálogo Académico, Servicios Comerciales e Investigación Científica en la USFQ

A pesar de las reparaciones, calibraciones y mantenimiento que se dio a las máquinas, el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad San Francisco de Quito no cumplía con las necesidades didácticas que una universidad de categoría “A”, según el CEAACES, debería ofrecer. Por esta razón, el objetivo de este proyecto es ofrecer un plan de repotenciación para el Laboratorio, para que la USFQ mantenga su cultura de excelencia y su oferta académica responda al modelo educativo característico de la USFQ. Por otro lado, se busca implementar un proyecto a futuro para brindar servicios comerciales a la comunidad y solidificar el catálogo académico de la USFQ a través de planes de investigación científica para un mayor reconocimiento a nivel nacional e internacional.

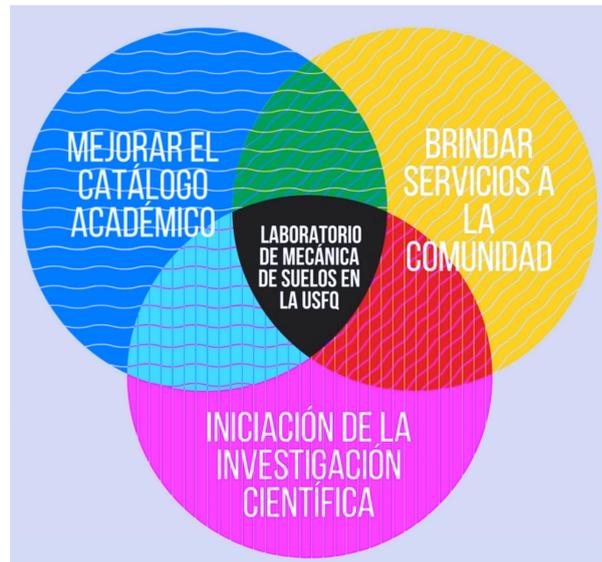


FIGURA 6.1: Diagrama indicador de la planificación a futuro del laboratorio de Mecánica de Suelos

## 6.1. Catálogo Académico de la USFQ

A pesar de las reparaciones, calibraciones y mantenimiento que se dió a las máquinas, el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad San Francisco de Quito no cumplía con las necesidades didácticas que una universidad de categoría “A”, según los “estándares de calidad definidos en el modelo de evaluación vigente”.<sup>9</sup>

El primer paso para cubrir las demandas académicas consistió en investigar cuáles son los principales ensayos de suelos que una malla académica de una carrera de Ingeniería Civil debe poseer (ver la Sección 3.1.2).

Los estudiantes de ingeniería civil de la USFQ debían realizar varias prácticas en los laboratorios de la EPN y ESPE bajo convenios de cooperación, debido a que el laboratorio de la USFQ, no contaba con los equipos necesarios para ofrecer los ensayos básicos para los cursos de Mecánica de Suelos. Las prácticas que no se podrían realizar en la universidad mencionada son:

- Consolidación
- Triaxial No confinado - No drenado (U-U)
- Triaxial Consolidado - Drenado (C-D)

- Triaxial Consolidado - No Drenado (C-U).
- Corte Directo

### 6.1.1. Evaluación del Estado de los Equipos

Luego de realizada la investigación sobre los principales ensayos que las facultades de Ingeniería civil más prestigiosas del país ofrecen en sus catálogos académicos, y del proceso de restauración del Laboratorio, se procedió primeramente a hacer una evaluación para determinar qué ensayos podemos realizar actualmente, de acuerdo a los equipos que fueron rehabilitados, reparados o dado el mantenimiento respectivo.

A pesar de que en el laboratorio de la USFQ se pueden realizar algunos de los ensayos antes mencionados no se contaba con los utensilios suficientes para el número de estudiantes que asistían a las prácticas. Por lo que se identificó los equipos que fueron adquiridos en años anteriores y que nunca se usaron, luego de la reparación de cada equipo, se estableció que se podía ampliar las prácticas académicas en el laboratorio de la USFQ.

El Consolidómetro estaba en buen estado así que, luego de la compra de sus repuestos, inmediatamente permitió poner el ensayo de consolidación en la lista de prácticas que se pueden realizar en la USFQ. De la misma manera, con la rehabilitación de los equipos para el ensayo triaxial, se puede ofrecer el ensayo Triaxial No confinado - No drenado (UU). Así mismo, con los acoples faltantes, es posible realizar el ensayo de Permeabilidad por carga constante y variable. Finalmente, como podemos ver en el Capítulo 4, el equipo para realizar ensayos SPT está completo y se puede utilizar.

En la Figura 6.2 se enlistan los nuevos ensayos que la USFQ puede ofrecer.

### 6.1.2. Evaluación de los Ensayos de Mecánica de Suelos

La caracterización y clasificación de los suelos son resultados de procesos que son facilitados por ensayos realizados en laboratorios de suelos. La necesidad de instituir poca variabilidad entre resultados y obtener datos reales que puedan ser útiles



FIGURA 6.2: Nuevos Ensayos

para otros campos, obliga a establecer directrices y un procedimiento recomendado por normas, una de ellas es “American Society for Testing and Materials” (ASTM). El conjunto de normas estándares rigen el proceso de la mayoría de ensayos correspondientes a la carrera de Ingeniería Civil.

La malla vigente de Mecánica de Suelos de Ingeniería Civil de la Universidad San Francisco ofrece los principales ensayos académicos, especificados en el Capítulo 3. Una manera de integrar el aprendizaje de los estudiantes es la creación de guías para algunas de las principales pruebas realizadas en el laboratorio de Mecánica de Suelos, basadas en las normas ASTM correspondiente a cada uno. Para complementar el ensayo que se lleva a cabo descrito en la guía, se crearon las hojas de registro respectivas para uno. Con fines didácticos se recrearon los procesos descritas en las guías para crear videos tutoriales de la mayoría de los ensayos descritos en las guías y hojas de registro.

La Real Academia de la lengua Española (RAE), define a guía como “Tratado en que se dan preceptos para encaminar o dirigir en cosas, ya espirituales o abstractas, ya puramente mecánicas”. De acuerdo a la definición de la RAE, se crearon las guías para los siguientes ensayos:

- Límite líquido
- Compactación
- Densidad de campo

- Compresión simple
- Permeabilidad por carga constante
- Triaxial No confinado - No drenado
- Consolidación

Las guías constan de:

- Preparación de la muestra
- Calibración del aparato
- Procedimiento
- Mantenimiento del aparato

Una hoja de control u hoja de recolección de datos, también llamada de registro, tiene como objetivo reunir y clasificar información según determinadas categorías, a través de anotaciones y registro bajo la forma de datos. Las hojas de registro realizadas sirven para recolectar los datos arrojados durante el proceso del ensayo. Es importante mencionar el formato que siguen las hojas de registro para establecer orden y categorías. En consecuencia, el formato usado es el siguiente:

- Datos personales
- Datos requeridos para la prueba
- Datos obtenidos durante el proceso.

Una vez creadas las guías y las hojas de registro para los ensayos de Mecánica de Suelos mencionados anteriormente, se vió la necesidad de integrar uniformemente estos conocimientos para el óptimo aprendizaje de los estudiantes de Ingeniería Civil, como solución de aquella necesidad se realizaron videos tutoriales. Los videos tutoriales presentan de una manera animada y dinámica indicando cada paso que se sigue para la exitosa culminación de cada prueba. Cada video consta de la descripción de:

- Objetivos

- Materiales
- Procedimiento
- Resultados

El material realizado servirá para facilitar la realización de las pruebas en el laboratorio de Mecánica de Suelos. Además cumple con la necesidad de instituir poca variabilidad entre resultados y obtener datos reales que puedan ser útiles, ya que están basadas en normas ASTM. Las guías y hojas de registro se encuentran en el Apéndice D del presente documento y los videos en el CD2 que es un CD físico externo.

### 6.1.3. Evaluación de Compra

La Ing. Mercedes Villacís, encargada del LEMSUR, muy amablemente ayudó también en esta etapa del crecimiento del Laboratorio de la USFQ. Siendo ella profesora de la clase ICV0380L, Laboratorio de Mecánica de Suelos, conocía más que nadie las dificultades para cumplir con las actividades académicas por la falta de equipamiento adecuado. Su criterio y experiencia, han sido fundamentales para este plan de mejoramiento del Laboratorio.

De esta manera, se procedió a realizar una lista de utensilios, herramientas y maquinaria fundamental para cubrir las necesidades académicas que aún no han sido satisfechas. Esta lista, ha sido dividida en varias tablas mostradas a continuación, para facilitar la explicación, ya que comprende varios artículos.

TABLA 6.1: Lista de Soportes Metálicos

#### SOPORTES METÁLICOS

Equipo	Cantidad
Sopórte Metálico:base de 165x140 mm. Varilla diám. 10x500 mm.	1
Sopórte Metálico:base de 200x260 mm. Varilla diám. 12x800 mm.	1
Pinza Hoffman	2
Pinza Mohr	2
Mango doble: metal/metal diámetro 10÷25mm.	2
Mango doble: metal/metal diámetro 10÷20mm.	2
Abrazadera Simple: diámetro 10÷20mm.	2
Abrazadera Simple: diámetro 10÷30mm.	2

En la tabla , se ha detallado el instrumental básico de laboratorio que facilita el manejo de aparatos y utensilios. Por ejemplo: con las pinzas Mohr se puede obstruir el paso de un fluido a través de una manguera; con las pinzas Hoffman se controla el flujo de líquidos; el mango doble ayuda con la sujeción de cristalería. Por lo tanto, todos los elementos de la lista de soportes metálicos son fundamentales y ayudarán a la eficacia de las prácticas.

TABLA 6.2: Lista de Vidrio y Cerámica para Laboratorio

## VIDRIO Y CERÁMICA DE LABORATORIO

Equipo	Cantidad
Picnómetro de Vidrio: diámetro boca 29mm, capacidad 500ml	6
Cápsula de Evaporación: diámetro 120mm	3
Embudo de Vidrio	6

TABLA 6.3: Lista de Contenedores y Productos Metálicos

## CONTENEDORES Y PRODUCTOS METÁLICOS

Equipo	Cantidad
Botes de Lata: diámetro 55x36mm de aluminio, con tapa	5
Recogedores de Aluminio: 335x120mm, capacidad 1000ml	4
Espátula Flexible: longitud 100mm, acero inoxidable	3

Otras piezas necesarias para las prácticas son la cristalería y cerámica, debido a que permiten determinar densidad o peso específico de fluidos. De la misma manera, los contenedores y productos metálicos, facilitan la toma de datos. Por lo que los equipos de las tablas y son considerados como necesarios. Se debe considerar que, a pesar de tener algunos de los elementos mencionados, no eran suficientes para la cantidad de estudiantes.

TABLA 6.4: Lista de Balanzas y Pesas

## BALANZAS

Equipo	Cant.
Balanza de Precisión Electrónica: carga superior con plataforma, capacidad 500 g, sensibilidad 0,001 g, plato de diámetro 110 mm.	1
Balanza de Precisión Electrónica: carga superior con plataforma, capacidad 15 Kg, sensibilidad 0,2 g, plato de 225x300 mm.	1
Conjunto de Pesas de Latón, peso completo 1000g	1

Adicionalmente, tenemos la lista de balanzas y equipos varios. En la tabla se enlista dos balanzas, las cuales se ha decidido adquirir porque actualmente no se podía pesar grandes cantidades de suelo, o cantidades pequeñas con alta precisión.

TABLA 6.5: Lista de Equipos Varios

VARIOS	
Equipo	Cantidad
Cronómetro Digital: antimagnético, precisión 0,1 segundos.	3
Calibre Pie de Rey, 0-205 mm x 0,02 mm	3
Cepillo Suave para Limpiar Tamices	3
Cepillo Alambre Fino	3
Cepillo para Botellas, diámetro 50 mm	3

Igualmente se solicitó un conjunto de pesas para facilitar la calibración de las balanzas. De la misma manera, la tabla indica que se consideró el mantenimiento de los tamices, por lo que se adicionó cepillos de limpieza a la lista de requerimientos básicos.

No solo se tomó en cuenta utensilios y herramientas, también se consideró la necesidad una alta inversión en equipos grandes para realizar adecuadamente todas las prácticas. Como es el caso de una máquina de corte totalmente automática, detallada en la tabla . Además, se analizó la problemática de que en el ensayo de límite líquido se tenía una sola copa de Casagrande, lo que frenaba el avance de las prácticas de los estudiantes. Por lo que se decidió comprar tres dispositivos de límite líquido manuales y un mecánico para satisfacer la comodidad y las necesidades didácticas de los estudiantes al momento de manipular los elementos.

#### 6.1.4. Adquisiciones

Las autoridades de la USFQ consideraron que la implementación de un Laboratorio de Mecánica de Suelos beneficiará a toda la comunidad. Luego de entregar la lista de requerimientos sugeridos en este Proyecto de Titulación, las autoridades de la carrera de Ingeniería Civil evaluaron todas las cotizaciones presentadas.

La elaboración del presupuesto de los equipos y accesorios se desarrolló en base a los requerimientos para ejecutar los ensayos básicos, mencionadas en el Capítulo 3. Este proceso inició a comienzos del año 2017. Finalmente se determinó una lista de compra de equipos y accesorios necesarios, que permitirán cumplir con el primer objetivo de este proyecto, es decir, para satisfacer las necesidades didácticas.

Luego de haber analizado y comparado varias propuestas, con diferentes proveedores de equipos y accesorios para laboratorio, se eligió como a MATEST para

TABLA 6.6: Equipos para Ensayos Básicos

Equipos	Cantidad
KIT Toma muestras	4
Corte Directo: Automatic	1
Martillo Proctor Estándar	1
Martillo Proctor Modificado	1
Molde Abierto Proctor Estándar	8
Molde Abierto Proctor Modificado	7
Membranas dia. 70 mm x140 mm alt. (paquete de 10 u.)	10

TABLA 6.7: Presupuesto de la inversión del proyecto de implementación del laboratorio de Mecánica de Suelos de la USFQ

Cantidad	Equipos	Valor Unitario (€)	Valor total (€)	Valor Final (\$)
4	KIT Toma muestras	322,80	1.291,20	132,46
1	Corte Directo	11.412,68	11.412,68	12.130,99
3	Dispositivo LL. Manual + Ranurador	204,86	614,58	653,36
1	Dispositivo LL. Automático + Ranurador	587,46	587,46	624,43
1	Martillo Proctor Estándar	79,47	79,47	84,47
1	Martillo Proctor Modificado	95,57	95,57	101,59
8	Molde Abierto Proctor Estándar	126,61	1.012,88	1.076,63
7	Molde Abierto Proctor Modificado	149,04	1.043,28	1.108,94
10	Membranas impermeables	29,80	298,00	316,75
1	Compresor de Aire	1.828,50	1.828,50	19.375,80
	Equipamiento General		2.414,41	2.566,37
	Piezas Consolidómetro		271,46	288,55
Total			20.949,49	38.460,34

realizar la compra. Los equipos italianos fueron ordenados el 24 de Marzo del 2017. La tabla 6.7 detalla lo comprado y los valores en euros. Sin embargo se comparó con el cambio de moneda para saber su valor en el país. Se debe aclarar que el valor del euro en esa semana fue de \$ 1,06294. Se estima que los equipos adquiridos por la USFQ lleguen en el mes de julio del presente año.

Esta inversión complementa el plan de mejoramiento, al agregar equipos que permiten realizar los ensayos de manera fácil, así como nueva maquinaria para ensayos que no se podían realizar. Como son los cuatro kits de toma de muestras en el

campo, ya que la falta de muestras de suelo dificultaba las prácticas. Para ver en detalle la adquisición realizada por la USFQ para el laboratorio de suelos (ver el inventario de compra).

Concluyendo con la primera etapa de planificación de crecimiento del Laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad San Francisco de Quito, se realizó manuales y hojas de registro que permitirán a los estudiantes cumplir con todas las normas y completar su formación profesional adecuadamente. Todas las hojas de ayuda para los estudiantes se encuentran en la Sección D.1 del Apéndice D.

## 6.2. Catálogos de Servicios Comerciales

Los principales laboratorios de las universidades más prestigiosas del país ya que dichos laboratorios son auto-sustentables. Este es uno de los principales beneficios de que un laboratorio académico de servicios a la comunidad ya que la variedad de muestras de suelos en diferentes sitios del país contribuyen a la enseñanza y amplía el conocimiento de los estudiantes.

Otro beneficio es que se puede tener recursos económicos fijos que no dependen del presupuesto académico, como en el caso de la PUCE y la EPN. Con este sistema se puede destinar fondos para la sustentación, tanto del área comercial, como del área docente. Es por esto que se propone la adquisición de maquinaria complementaria cuyo objetivo es ofrecer servicios a la comunidad para así autofinanciar los proyectos académicos y de investigación científica que la universidad quiera aportar al país. Para esto, se necesitará separar equipos, máquinas y herramientas exclusivamente para realizar los ensayos de proyectos particulares de los equipos de uso académico. Además se necesitará equipos computarizados como un dispositivo de límite líquido automático, un compactadora automática programable de Proctor/CBR, para evitar errores inherentes al ser humano. Esta propuesta está fundamentada en la entrevista antes mencionada a las principales facultades de ingeniería civil del Ecuador, que nos dicen que estos son los ensayos más comunes.

- Granulometría
- Límites de Atteberg
- Corte directo

- Consolidación

La Tabla 6.7 presenta una propuesta de los equipos que se necesitarán para poder dar servicios comerciales. Esta oferta se basa en los catálogos de MATEST, debido a que la USFQ está conforme con sus servicios y su rapidez de trabajo.

### 6.3. Investigación Científica en la USFQ

La investigación científica se encarga de producir conocimiento. El conocimiento científico se caracteriza por ser: sistemático, ordenado, metódico, racional, reflexivo, crítico y subversivo. La investigación funciona conjuntamente con experimentación y discusión de nuevas hipótesis que surgen en el proceso. Por otro lado, la experimentación se realiza mayoritariamente en laboratorios relacionados al tema sujeto a estudio. En tal virtud, la investigación científica es una manera de complementar el programa de estudio de Ingeniería Civil en la Universidad San Francisco de Quito.

Actualmente se ha comenzado un plan de investigación con el "Theoretical & Computational Mechanics Group" de la USFQ que abarca muchos campos, incluyendo la Mecánica de Suelos. Se requiere profundizar en la investigación científica por lo que es evidente la necesidad de una propuesta para la implementación futura de la misma que trabaje conjuntamente con el laboratorio. Los equipos para realizar las pruebas necesarias deberán formar parte del laboratorio para obtener resultados confiables. Existen dos equipos esenciales que servirán para ayudar a desarrollar la investigación en la USFQ:

- Triaxial Dinámico
- CT Escáner

El Ecuador se encuentra en una zona sísmica, razón suficiente para comenzar a realizar investigación sobre el suelo en que los Ecuatorianos viven. El triaxial dinámico cubre la necesidad de analizar dinámicamente el comportamiento de suelos y estructuras de tierra en zonas sísmicas ha impulsado el desarrollo de nuevas técnicas de ensayo, que permiten obtener los parámetros necesarios para modelizar el comportamiento de suelos granulares y cohesivos. La adquisición de un máquina

de triaxial dinámico abrirá nuevos campos en la incursión de la Universidad San Francisco de Quito en proyectos e investigación de la sismica Ecuatoriana. Las especificaciones técnicas del triaxial dinámico se puede ver en la Figura.

Dentro de las aplicaciones de la Mecánica de Suelos, se ubica a tomografía computarizada 3D CT X Ray, que es la técnica de inspección por rayos X más avanzada disponible. La tomografía computarizada de inspección por rayos X es un método completamente no destructivo y sin contacto con la muestra de suelo para obtener información interna y externa sobre casi cualquier objeto que varía de micrones a pies de tamaño [15]. Este equipo servirá para conocer con más detalle las propiedades geo-mecánicas del suelo, de esta manera se facilita la modelación del comportamiento del suelo. Por lo que le permite realizar investigaciones innovadoras para la más amplia gama de tamaños de muestra.

Se ha utilizado CT Escáner como parte fundamental de investigaciones relacionada con propiedades del suelo, haciendo uso de los datos de imagen en escala de grises de una muestra de suelo. De esta manera, se propuso permite una descripción cuantitativa de la forma de las partículas, la cinemática de las partículas y las características de los contactos vecinos[16]. Además otro artículo de investigación propuso un algoritmo computacional para clonar” las morfologías de grano de una muestra de granos reales que se han digitalizado. Con las dos referencias de publicaciones se reitera la necesidad de la implementación de los equipos propuestos anteriormente para realizar trabajos de investigación que sean sujetos de descubrimientos científicos [17].

# Capítulo 7

## Conclusiones

Al finalizar con toda la investigación y análisis de los catálogos académicos así como también comerciales, y luego de plantear la necesidad de destinar un espacio exclusivo para la investigación científica, se concluye que:

- El laboratorio es funcional y óptimo para la enseñanza de tercer nivel en una institución de primera clase, tomada como primera fase del proyecto.
- Todos los trámites y formularios correspondientes realizados para la adquisición de los equipos necesarios, permitirán la modernización y repotenciación del Laboratorio.
- El Laboratorio de la USFQ, obtendría calificaciones altamente satisfactorias, según el CEAACES, gracias al inventario detallado, videos tutoriales, al sistema de mantenimiento preventivo incluido en las guías de uso de cada equipo y a las hojas de registro.
- La USFQ podrá prestar satisfactoriamente servicios a la comunidad, en los que están considerados los precios actuales y la diversidad de ensayos para mecánica de suelos.
- Se debe destinar espacios y recursos exclusivos para investigación científica. Por lo que, se plantea la adquisición de dos equipos fundamentales para la investigación de mecánica de suelos en ingenierías.

Finalmente, se cree que el Laboratorio de Mecánica de Suelos podrá seguir creciendo de manera eficiente, permitiendo a la USFQ ofrecer servicios a la comunidad,

satisfacer las necesidades didácticas de los estudiantes, y además, aportar al desarrollo del Ecuador, por medio de profesionales calificados y preparados para los desafíos tecnológicos, científicos y prácticos de la actualidad.

# Apéndice A

## Capítulo 1: Introducción

### A.1. Clasificación de Suelos

DIVISION MAYOR		SIMBOLO	NOMBRES TIPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO	
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 @	GRAVAS Más de la mitad del material grueso es retenido por la malla No. 4	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	<p>DETERMINESE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LAS CURVA GRANULOMETRICA, DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (fracción que pasa por la malla No. 200). LOS SUELOS DEBEN SER CLASIFICADOS COMO: SQUEL, MENOS DE 5% GW, GP, SP, más de 5% GW, GC, SM, SC, entre 5 y 7, CL, caso de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.</p> <p>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Cu: mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA Cc: entre 1 y 3. <math>Cu = D_{60}/D_{10}</math> <math>Cc = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})</math></p> <p>NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACION PARA GW.</p> <p>LIMITES DE ATTERBERG DEBAJO DE LA "LINEA A" O I.P. MENOR QUE 4.</p> <p>LIMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LINEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.</p> <p>Cu = <math>D_{60}/D_{10}</math> mayor de 6, <math>Cc = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})</math> entre 1 y 3</p> <p>No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW</p> <p>LIMITES DE ATTERBERG DEBAJO DE LA "LINEA A" O I.P. MENOR QUE 4.</p> <p>LIMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LINEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.</p> <p>Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles</p> <p>Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.</p>	
		GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos		
		GM	Gravas limosas, arena con gravas, con poca o nada de finos		
		GC	Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla		
		SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.		
		SP	Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.		
	ARENAS Más de la mitad de la muestra pasa por la malla No. 4	PARA CLASIFICACION VISUAL PUEDE USARSE 1/8" EN COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4		ARENA LIMPYA Cantidad apreciable de partículas finas	
		ARENA LIMPYA Cantidad apreciable de partículas finas		ARENA LIMPYA Cantidad apreciable de partículas finas	
		SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo	<p>DETERMINESE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LAS CURVA GRANULOMETRICA, DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (fracción que pasa por la malla No. 200). LOS SUELOS DEBEN SER CLASIFICADOS COMO: SQUEL, MENOS DE 5% GW, GP, SP, más de 5% GW, GC, SM, SC, entre 5 y 7, CL, caso de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.</p> <p>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Cu: mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA Cc: entre 1 y 3. <math>Cu = D_{60}/D_{10}</math> <math>Cc = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})</math></p> <p>NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACION PARA GW.</p> <p>LIMITES DE ATTERBERG DEBAJO DE LA "LINEA A" O I.P. MENOR QUE 4.</p> <p>LIMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LINEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.</p> <p>Cu = <math>D_{60}/D_{10}</math> mayor de 6, <math>Cc = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})</math> entre 1 y 3</p> <p>No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW</p> <p>LIMITES DE ATTERBERG DEBAJO DE LA "LINEA A" O I.P. MENOR QUE 4.</p> <p>LIMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LINEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.</p> <p>Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles</p> <p>Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.</p>	
		SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla		
		ARENA CON FINOS Cantidad apreciable			ARENA CON FINOS Cantidad apreciable
		ARENA LIMPYA Cantidad apreciable de partículas finas			ARENA LIMPYA Cantidad apreciable de partículas finas
ARENA LIMPYA Cantidad apreciable de partículas finas		ARENA LIMPYA Cantidad apreciable de partículas finas			
SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 @	Las partículas de 0.075 mm de diámetro (la malla No. 200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.		ML		Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
	LIMOS Y ARCILLAS Menor de 50		CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres	
	LIMOS Y ARCILLAS Mayor de 50		OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.	
	LIMOS Y ARCILLAS Mayor de 50		MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o distomáceos, más elásticos	
	LIMOS Y ARCILLAS Mayor de 50		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.	
	LIMOS Y ARCILLAS Mayor de 50		OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos o de media plasticidad.	
SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS		P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.		

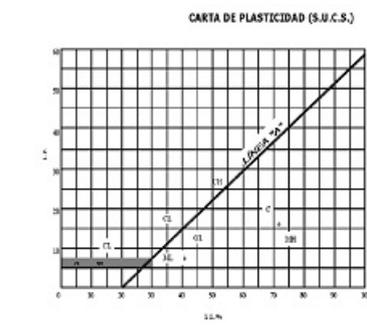


FIGURA A.1: Sistema Unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.) incluyendo identificación y descripción

## Apéndice B

### Capítulo 3: Catálogos Académicos y de Servicios Comerciales

En el presente apéndice se indican los catálogos de servicios comerciales de las siguientes universidades del Ecuador:

- Escuela Politécnica Nacional
- Universidad Católica del Ecuador
- Universidad Central del Ecuador
- Universidad de Cuenca

#### **B.1. Formato de la Entrevista realizada para Obtención de Información Sobre Laboratorio de Suelos en Diferentes Universidades del Ecuador**

- ¿Desde cuándo existe el Laboratorio de Suelos en la universidad?
- De acuerdo a la malla académica, ¿qué ensayos de suelos realizan los estudiantes de Ing. Civil?

- ¿Qué equipos se utilizan para los ensayos, de qué marca son y cuál es la antigüedad de cada equipo?
- ¿Cada cuánto tiempo se le da mantenimiento a los equipos? Y ¿quién realiza el mantenimiento?
- ¿Qué normas rigen los ensayos realizados en el laboratorio?
- ¿Con qué certificado o permiso opera el Laboratorio?
- ¿El Laboratorio satisface únicamente a las necesidades didácticas o también ofrece servicios a la comunidad?
- En caso de brindar servicios a la comunidad, ¿cuáles son los principales ensayos que se realiza?, ¿cuáles son más solicitados? Y ¿cuáles son las tarifas de cada prueba comercial que ofrecen?
- ¿El laboratorio de suelos satisface programas académicos de posgrado? De ser así, ¿cuál es el nombre del programa de posgrado?
- ¿Existe una permanente investigación científica en el laboratorio? En caso de que haya investigación, ¿cuáles son los equipos usados para investigación?, ¿sobre qué temas es? y ¿quiénes son los investigadores?

## **B.2. Catálogos de Servicios Comerciales de Laboratorio de Mecánica de Suelos de Varias Universidades del Ecuador**

Los catálogos de servicios comerciales de laboratorio de Mecánica de Suelos de las siguientes universidades del Ecuador se presentan a continuación:

- EPN
- PUCE
- UCE
- UC

### B.2.1. Catálogo de Servicios de Mecánica de Suelos de la Escuela Politécnica Nacional (EPN)

TABLA B.1: Catálogo de Servicios de Mecánica de Suelos de la EPN

EPN	
Ensayo	Precio Unitario
CBR (c/molde)	\$ 30,00
Clasificación SUCS	\$ 21,00
Coefficiente de Uniformidad	\$ 10,00
Compactación 1 Punto	\$ 5,00
Compactación Harvard Miniatura	\$ 20,00
Compactación Proctor Estándar	\$ 20,00
Compactación Proctor Modificada	\$ 21,00
Compresión Simple	\$ 20,00
Consolidación por Odómetro	\$ 250,00
Consolidación (cada estado)	\$ 27,00
Contenido Orgánico	\$ 25,00
Corte Directo (condición natural)	\$ 50,00
Corte Directo (condición saturada)	\$ 60,00
Densidad de Sólidos	\$ 12,00
Densidad Parafinada de muestras	\$ 18,00
Densidad Seca de muestras	\$ 12,00
Esponjamiento	\$ 20,00
Expansión libre	\$ 17,50
Expansión Controlada	\$ 50,00
Granulometría por Hidrómetro	\$ 37,00
Granulometría Tamizado	\$ 40,00
Continuación...	

<b>EPN</b>	
<b>Ensayo</b>	<b>Precio Unitario</b>
Gravedad Específica	\$ 8,50
Límite Líquido	\$ 5,00
Límite Plástico	\$ 8,00
Límites de Atterberg	\$ 16,00
Pérdida por Lavado	\$ 20,00
Permeabilidad	\$ 60,00
Sulfatos Solubles en Suelo	\$ 30,00
Triaxial CD	\$ 800,00
Triaxial CU	\$ 700,00
Triaxial UU	\$ 100,00
Triaxial UU Saturado	\$ 125,00

## B.2.2. Catálogo de Servicios de Mecánica de Suelos de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE)

TABLA B.2: Catálogo de Servicios de Mecánica de Suelos de la PUCE

PUCE	
Ensayos	Precio
Caracterización del Suelo	
Clasificación suelos	\$23,00
Contenido de agua en suelos	\$5,50
Densidad de sólidos en suelos	\$13,00
Densidad natural en suelos	\$21,25
Granulometría de filtros	\$16,00
Granulometría de suelos	\$8,00
Granulometría por hidrómetro	\$39,50
Límite de contracción con parafina	\$16,00
Límites líquido y plástico	\$17,00
Permeabilidad en suelos cohesivos (cabeza variable)	\$75,50
Módulo resiliente en suelos	\$159,00
Permeabilidad en suelos granulares (cabeza constante)	\$37,25
Continuación...	

PUCE	
Ensayos	Precio
Resistencia y deformación del suelo	
CBR (3 moldes)	\$110,50
Compactación estándar	\$21,25
Compactación modificada	\$22,50
Compresión simple en el suelo	\$18,75
Consolidación unidimensional	\$28,75
Corte directo	\$58,50
Expansión controlada	\$37,25
Expansión Libre	\$18,75
Expansión libre	\$8,50
Factor de esponjamiento	\$9,75
Triaxial C-D	\$848,00
Triaxial C-U	\$742,00
Triaxial U-U	\$58,50
Triaxial saturado U-U	\$122,00
Reducción volumen de compactación	\$11,75
Ensayos dinámicos	
Triaxial cíclico (probetas de 71mm de diámetro)	\$700,00
Medición de velocidad de onda PyS (probetas de 71mm de diámetro)	\$150,00
Corte torsional (probetas de 71 mm de diámetro)	\$900,00
Ensayo de columna resonante (probetas de 71mm de diámetro)	\$800,00

### B.2.3. Catálogo de Servicios de Mecánica de Suelos de la Universidad Central del Ecuador (UCE)

TABLA B.3: Catálogo de Servicios de Mecánica de Suelos de la UCE

Universidad Central del Ecuador		
Ensayo	Unidad	Precio Unitario
Contenido de Agua	u	\$ 2,50
CBR (3 moldes)	u	\$ 90,00
Compactación Estándar	u	\$ 19,00
Compresión Simple	u	\$ 15,00
Consolidación Unidimensional	u	\$ 25,00
Corte Directo U-U	u	\$ 50,00
Densidad de Campo (Cono de Arena)	u	\$ 15,00
Densidad de Campo (Densímetro)	u	\$ 15,00
Densidad de Sólidos	u	\$ 10,00
Densidad Natural	u	\$ 5,00
Ensayo de Placa	u	\$ 500,00
Expansión Controlada en Consolidómetro	u	\$ 30,00
Expansión Libre en Consolidómetro	u	\$ 30,00
Extracción de Muestras	u	\$ 40,00
Factor de Esponjamiento	u	\$ 10,00
Granulometría por Hidrómetro	u	\$ 30,00
Granulometría Tamizado	u	\$ 15,00
Límite de Contracción	u	\$ 8,00
Límite Líquido	u	\$ 5,00
Límite Plástico	u	\$ 5,00
Permeabilidad Arcillas	u	\$ 60,00
Permeabilidad Arenas	u	\$ 30,00
Presión de Expansión en Consolidómetro	u	\$ 30,00
Triaxial C-D	u	\$ 850,00
Triaxial C-U	u	\$ 650,00
Triaxial U-U	u	\$ 65,00

### B.2.4. Catálogo de Servicios de Mecánica de Suelos de la Universidad de Cuenca (UC)

TABLA B.4: Catálogo de Servicios de Mecánica de Suelos de la UC

Universidad de Cuenca		
Ensayo	Norma	Precio Unitario
Corte Directo	ASTM D 3080	\$90
Granulometría	ASTM D 422	\$25
Límite Líquido	ASTM D 4318	\$15
Límite Plástico	ASTM D 4318	\$12

# Apéndice C

## Capítulo 4: Inventario Laboratorio de Mecánica de Materiales de la USFQ

Se ha clasificado el inventario del laboratorio de suelos en 4 partes:

- Herramientas
- Equipos
- Insumos
- Mobiliaria

### C.1. Inventario Herramientas

Laboratorio de Suelos Universidad San Francisco de Quito										
Herramientas										
Equipo	Cantidad	Modelo	Marca	Medidas	Conexiones	Capacidad	Observaciones	Serie	Código de barras	
Balanza	1	3 BEAM	Ohaus		Mecánica	2610 gr.	Presición 1 gr.	700/800	USFQ-IR-5612220310011	
Balanza	1	311	Ohaus		Mecánica	311 gr.	No específica		USFQ-DC-5611220310011	
Balanza	2	EK80012	Castry		Pilas	5 kg.	Presición 2 gr.			
Balanza	1	1119	Ohaus		Mecánica	20 kg.	Incluido plato metálico y pesas.		USFQ-IR-5613220310011	
Balanza	1	DWP-6002	Digiweigh		Eléctrica	600 gr.	Presición 0,01 gr.	No específica	USFQ-IR-5612220310011	
Destornillador	1		Pretul	3/16 Plg.			Tipo estrella	DP-		
Destornillador	1		Pretul	1/4 Plg.			Tipo estrella	DP-1/4		
Mazo de goma	1									
Martillo	2									
Bailejo	1			8 Plg.						
Bailejo	1			9 Plg.						
Pizeta	2					250 ml.				
Pizeta	2		Soiltest			1000 ml.				
Probeta de vidrio	3					1000 ml.	Presición 7.5 ml.		USFQ-DC-2561922031001	
Probeta de	1					500 ml.	Presición 2.5 ml.			
Probeta de	2					100 ml.	Presición 1 ml.			
Tapón de goma	1						Uso: hidrómetro			
Probeta	1		Vitlab			50 ml.	Presición 0,5 ml.			
Probeta Vidrio	1		LMS			100 ml.	Presición 1 ml.			

FIGURA C.1: Inventario de Herramientas



Juego de llaves mixtas	1	Vikingo						Incompleto	
Acople para soporte Playo	2								
Mortero	1	Stanley						Falta 1 pistilo	
	2								
Vaso de precipitación	1	Kimax	6 cm. x 3.5 cm.					Material vidrio	

## C.2. Inventario Equipos

Laboratorio de Suelos Universidad San Francisco de Quito									
Equipo									
Equipo	Cantidad	Modelo	Marca	Medidas	Conexiones	Capacidad	Observaciones	Serie	Código de barras
Compresor de aire	1	ES-10P	Curtis		Eléctrica	120 PSI		AS-5120596	USFQ-IR-5641220310011
Bomba de vacío	1	2FY-1B	Mindman		Eléctrica	1/3 HP			USFQ-IR-5592220310011
Manómetro de vacío	1	MAFR300-10A	Mindman		Eléctrica				-
Desaireador	1		Geokon		Eléctrica			928	USFQ-IR-5594220310011
Máquina triaxial	1		Geotest		Baterías	200 PSI	Incluye: panel de control, cámara, transductor y marco de carga.		USFQ-IR-5577220310011
Marco de carga	1	S2000	Geotest		Mecánica	10 KN	Parte de compresión simple		USFQ-IR-5628220310011
Marco de carga	1		Ploog Eng.		Mecánica		Parte de CBR		USFQ-FP-29072220380008
Horno	1	2I-250	Quincy, Inc.		Eléctrica	198 lt.		B22-2613	USFQ-IR-5602220310011

FIGURA C.2: Inventario de Equipos

Tamizadora	1	H-4330	Humbold		Eléctrica					USFQ-FP-81857220310012
Tamizadora	1	SS-15	Gilson		Eléctrica				5414	USFQ-IR-5631220310011
Horno	1	30GC	Quincy, Inc.		Eléctrica				G3-006194	USFQ-IR-5605220310011
Baño María	1	E-198	Geotest		Eléctrica	90°F			32707	USFQ-IR-5646220310011
Cono de arena	3		Soiltest		Mecánica			Incluido cono, envase y placa		USFQ-IR-5633220310011
Placa	3	CN994	Soiltest		Mecánica			Parte del cono de arena		USFQ-IR-5633220310011
Penetrómetro	1	B056-10	Matest		Mecánica				B056-10/AE/0105	
Permeámetro	1	E-216	Geotest		Mecánica					
Ranurador	1				Mecánica			Material metálico		
Ranurador	9		Controls		Mecánica			Material plástico		
Copa Casa Grande	1	22-t0030/f	Controls		Mecánica				6118122	USFQ-IR-15562220310011

Consolidometro y pesas	1	26-WF0302	wykeham-farrance		mecanica					USFQ-IR-549122031012
Máquina batidora	1		Hamilton		Eléctrica			Incluido vaso metálico		USFQ-IR-15619220310011
Martillo proctor	1						8 kg.			USFQ-IR-550220310012
Martillo proctor	1						4,5 kg.			USFQ-IR.5499220310012
Tamiz	1		Endecoils	8 Plg.				3 Plg.		
Tamiz	1		Endecoils	8 Plg.				2 Plg.		
Tamiz	1		Endecoils	8 Plg.				1,5 Plg.		
Tamiz	1		Endecoils	8 Plg.				1 Plg.		
Tamiz	1		Endecoils	8 Plg.				3/4 Plg.		
Tamiz	1		Endecoils	8 Plg.				3/8 Plg.		
Tamiz	1		Endecoils	8 Plg.				N 4		
Tamiz	1		Endecoils	8 Plg.				N 10		
Tamiz	1		Endecoils	8 Plg.				N 120		
Tamiz	1		Endecoils	8 Plg.				N 40		
Tamiz	1		Endecoils	8 Plg.				N 60		
Tamiz	1		Endecoils	8 Plg.				N 140		
Tamiz	1		Endecoils	8 Plg.				N 200		
Tamiz	1		Endecoils	8 Plg.				N 8		
Tamiz	1		Humbold	8 Plg.				N 16		
Bandeja	1		Humbold	8 Plg.						

Tapa	1		Humbold	8 Plg.						
Tamiz	1		Humbold	12 Plg.			N 4			
Tamiz	1		Humbold	12 Plg.			N 10			
Tamiz	1		Humbold	12 Plg.			N 20			
Tamiz	1		Humbold	12 Plg.			N 40			
Tamiz	1		Humbold	12 Plg.			N 50			
Tamiz	1		Humbold	12 Plg.			N 100			
Tamiz	1		Humbold	12 Plg.			N 140			
Tamiz	1		Humbold	12 Plg.			N 200			
Termómetro	1		Temp test				40 - 260°C			USFQ-IR- 1556922031 0011
Termómetro	1		B & C Germany				0 - 50 °C			USFQ-DC- 4561922031 0011
Hidrómetro	2		Chase	3 cm.						USFQ-DC- 3561922031 0011
Penetrómetro de bolsillo										
Prueba de corte de bolsillo	1								Incluido 3 accesorios y una llave allen	
Molde Proctor	2			4 Plg. X 8 Plg.					Un collarín faltante	
Molde Proctor	2			6 Plg. X 8 Plg.						

### C.3. Inventario Insumos

Laboratorio de Suelos Universidad San Francisco de Quito										
Insumos										
Equipo	Cantidad	Modelo	Marca	Medidas	Conexiones	Capacidad	Observaciones	Serie	Código de barras	
Colocador de membrana	1		Tubo PVC							
Colocador de anillos O	1		Tubo PVC							
Lubricante de silicón en spray	1		3 en uno			284 ml.				
Piedras porosas	2									
Membrana impermeable	24			7 cm. x 15 cm.						
Cápsulas Metálicas	58			2 Plg. x 1,5 Plg.						
Cápsulas Metálicas	30			2 Plg. X 0,4 Plg.						
Cápsulas Metálicas	1			1,5 Plg. X 0,4 Plg.						
Cepillo de alambre	3									
Espátula	4			1/2 Plg.						
Homogenizador	2			3/4 Plg.						
Homogenizador	2			1 Plg.						
Homogenizador	6			1/2 Plg.						
Cuchillo	2		Tramontina							
Juego de guantes	2						Plásticos			

FIGURA C.3: Inventario de Insumos

Juego de guantes térmicos	1												
Tijera	2												
Brocha	1		Brochamon	1 plg.									
Brocha	1		Wilson	5 plg.						700147			USFQ-FP-29074220380008

### C.4. Inventario Mobiliaria

Laboratorio de Suelos Universidad San Francisco de Quito										
Mobiliaria										
Equipo	Cantidad	Modelo	Marca	Medidas	Conexiones	Capacidad	Observaciones	Serie	Código de barras	
Cajonera	2	Agglomerado								
Sillas de laboratorio	6	Laboratorio Basic	Bimos							
Silla de escritorio	3	Sala Limpia Basic	Bimos							
Mesas	5	Metálicas								
Escritorio	1	Agglomerado								
Muebles altos	2									

FIGURA C.4: Inventario de Mobiliaria

## Apéndice D

### Capítulo 6: Planificación del Catálogo Académico, Servicios Comerciales e Investigación Científica en la USFQ

#### D.1. Guías y hojas de registro de ensayos académicos de la Universidad San Francisco de Quito

Las hojas guías y hojas de registro de los ensayos mencionados en el capítulo 5 son las siguientes:

### D.1.1. Ensayo Copa Casa Grande

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
GUÍAS DE USO  
ICV-0380L

**ENSAYO: COPA CASA GRANDE**  
**Norma ASTM D-4318**

**Objetivo:** Obtener el límite líquido de una muestra de suelo.

#### 1. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

##### Método seco

- Del material que pasa la malla No. 40 se desmenuzan 150 a 200 gramos en un mortero sin romper los granos.
- Se agrega agua y con una espátula se mezcla hasta obtener una pasta homogénea, suave y espesa.

##### Método húmedo

- Se desmenuza el material en una bandeja y se lo deja remojar por 24 horas de tal forma que el agua cubra el material, luego se lo vacía sobre la malla No. 40 y se lava la muestra lo mejor posible.
- Se recoge el material en un recipiente y se deja evaporar el agua hasta que tome la apariencia de una pasta suave homogénea y espesa.

#### 2. CALIBRACIÓN DEL APARATO

- 2.1. Verificar el desgaste de:
  - Dispositivo de límite de líquido.
  - Desgaste de la Base.
  - Desgaste de la copa.
  - Desgaste del soporte de la copa.
  - 
  - Desgaste del contador.
  - Herramientas de ranurado.
- 2.2. Verificar el ajuste de la altura de caída

#### 3. PROCEDIMIENTO

- Se coloca una porción de la muestra en la copa y se enrasa la superficie con la espátula.
- Se forma una ranura en el centro de la muestra.
- Se gira la manija a razón de 2 golpes por segundo hasta que la ranura se cierre en una longitud de 1.3 cm aproximadamente.
- Se toma la lectura del número de golpes.
- Inmediatamente se saca el material de la copa.
- Se repite el procedimiento para el número de golpes: 10-20, 20-30, 30-40.
- Se limpia la copa y el ranurador.



Figura A : Copa casa grande  
CONTROLS.

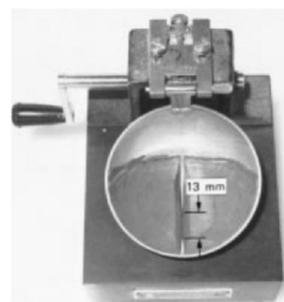


Figura B : Muestra después  
que la ranura se ha cerrado.  
Fuente: ASTM D-4318.

FIGURA D.1: Guía del Ensayo Copa Casa Grande

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
HOJAS DE REGISTRO  
ICV-0380L

**ENSAYO: COPA CASA GRANDE**  
**Norma ASTM D-4318**

*Grupo:*

*Fecha:*

Ensayo Nº	N	Wc	Wc+Wmh	Wc-Wms	Wms	Observaciones

Notación:

N: número de golpes

Wc: Peso de la cápsula

Wmh: Peso de la muestra húmeda

Wms: Peso de la muestra seca

FIGURA D.2: Hoja de registro del Ensayo Copa Casa Grande

## D.1.2. Ensayo Cono de Arena

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
MANUALES DE USO  
ICV-0380L  
**ENSAYO: CONO DE ARENA**  
**Norma ASTM D-4914**

**Objetivo:** Obtener el valor de la densidad en campo y grado de compactación del suelo.

### 1. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Este tipo de ensayo se realiza en campo, por lo que se debe preparar el terreno (nivelar 1 m<sup>2</sup>).

### 2. CALIBRACIÓN DEL APARATO

- Comprobar que exista la suficiente arena de Ottawa dentro de el frasco.
- Comprobar que la válvula para abrir y cerrar del embudo funcione correctamente.

### 3. PROCEDIMIENTO

- Prepare la superficie del terreno de tal manera que quede razonablemente plana.
- Coloque la placa sobre el sitio de ensayo y excave un orificio a través del agujero central de la placa, colocando el material en un recipiente debidamente numerado y pesado.
- Pese el aparato lleno de arena hasta la válvula.
- Coloque el aparato sobre la placa y abra la válvula permitiendo que se llene el orificio con arena hasta que ésta deje de fluir y luego cierre la válvula.
- Pese el aparato con la arena sobrante y recoja en otro recipiente la arena utilizada en el ensayo.
- Pese el material que fue sacado el orificio y determine el contenido de humedad del mismo por lo menos en 2 muestras representativas secando luego el material en el horno.
- Lavar y secar el cono.

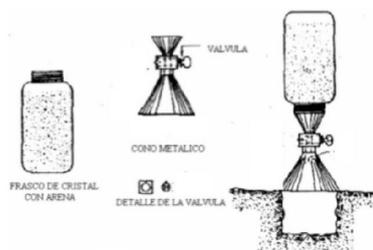


Figura C: Configuración del ensayo de densidad de campo por medio del cono de arena..

FIGURA D.3: Guía del Ensayo Cono de Arena

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
 MANUALES DE USO  
 ICV-0380L

*Grupo:*

*Fecha:*

**ENSAYO: CONO DE ARENA**

**Norma ASTM D-4914**

CALIBRACIÓN DE LA ARENA					
Ensayo N°					
Peso Arena + Cono + Frasco				(Antes)	
Peso Arena + Cono + Frasco				(Después)	
Peso de la Arena en el Cono					
Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )					
Peso del Molde + Arena					
Peso de Arena					
Densidad de la Arena					
DENSIDAD DE CAMPO					
Peso Arena+ Cono+ Frasco				(Antes)	
Peso Arena+ Cono+ Frasco				(Después)	
Peso Arena en Hoyo + Cono					
Peso Arena en Hoyo					
Volumen de Arena en Hoyo					
Peso de Material Extraído					
Densidad Húmeda en Campo					
HUMEDAD DE CAMPO					
Densidad Seca Campo					
Densidad Seca Laboratorio					
Grado de Compactación					

FIGURA D.4: Hoja de registro del Ensayo Cono de Arena

### D.1.3. Ensayo Compresión Simple

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
MANUALES DE USO  
ICV-0380L

**ENSAYO: COMPRESIÓN SIMPLE**  
**Norma ASTM D-2166**

**Objetivo:** Obtener el valor de la resistencia de suelos cohesivos en términos de esfuerzos totales.

#### 1. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Existen tres distintos tipos de muestras: muestra inalterada, muestras remodeladas y muestras compactadas. La relación altura-diámetro del cilindro que se usará como probeta debe estar entre 2 y 2.5 y el diámetro mínimo es de 30 mm.

Una probeta cilíndrica se realiza mediante el tallador de muestras de tal manera que cumpla con los parámetros de dimensiones mencionados anteriormente.

#### 2. CALIBRACIÓN DEL APARATO

- Revisar que el deformímetro se encuentre encerado y calibrado.
- Verificar la ausencia de imperfecciones sobre los platos de carga.

#### 3. PROCEDIMIENTO

- Se mide la muestra, se pesa y se anota en el registro correspondiente.
- Si las muestras son labradas se mide los diámetros: superior ( $D_s$ ), central ( $D_c$ ) e inferior ( $D_i$ ).
- De los diámetros anteriores se calcula el promedio, el cual es multiplicado por 2.5, esto para obtener la altura que tendrá el espécimen.
- Se corta el espécimen a la altura media calculada, después de haberlo cortado, se toma la altura real del espécimen y es la que se anota como altura media ( $H_m$ ).
- Se coloca la muestra en la prensa, exactamente en el centro de la placa de aplicación de carga.
- Se ajusta el dispositivo de carga con cuidado para que el plato superior haga contacto con la muestra.
- Se aplica carga para producir una deformación axial a una velocidad de  $1/2$  a  $2\%$  / min.
- Se toma 10 a 15 datos de carga y deformación hasta que se registren 2 cargas iguales o que de una carga menor que la inmediata anterior.
- Se bosqueja o se toma una fotografía de la falla a compresión.
- Lavar y secar: las piedras porosas y limpiar el exceso de material esparcido por la falla de compresión.



Figura B.7: Configuración del ensayo de compresión simple sin confinamiento.

FIGURA D.5: Guía del Ensayo Compresión Simple

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
 MANUALES DE USO  
 ICV-0380L

**ENSAYO: COMPRESIÓN SIMPLE**

Norma ASTM D-2166

*Grupo:*

*Fecha:*

Ds:	As:	Wm:	Esfuerzo máx.
Dc:	Ac:	Vm:	Centro:
Di:	Ai:	Ym:	Radio:

Donde:

D: diámetro

Wc: peso de la cápsula

Wsh: peso de suelo húmedo

Wss: peso de suelo seco

W%: porcentaje de humedad

A: área

FIGURA D.6: Hoja de registro del Ensayo Compresión Simple



### D.1.4. Ensayo Proctor Estándar

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
MANUALES DE USO  
ICV-0380L

**ENSAYO: PROCTOR ESTÁNDAR**  
**Norma ASTM D-698**

**Objetivo:** Obtener el contenido de humedad óptimo en una muestra de suelo.

Tipo	Molde [Plg.]	Material menor que el tamiz	Golpes	Capas	V [cm <sup>3</sup> ]
A	4	No. 4	25	3	944
B	6	No. 4	56	3	2134
C	4	3/4"	25	3	944
D	6	3/4"	56	3	2134

Tabla B.1: Especificaciones del molde próctor y tipo de ensayo.

#### 1. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- Se toma la muestra de suelo no menor a 8 Kg, se la disgrega con un pistilo o martillo con cabeza de caucho y se la deja airear por lo menos 12 horas en una bandeja grande.
- Se tamiza la muestra a través de una malla según el tipo de ensayo.
- El material así preparado no debe estar completamente seco, de ser así se debe aumentar una cierta cantidad de agua, generalmente del 2 al 3% del peso del suelo.

#### 2. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

- Balanza: Evalúela de acuerdo con la norma ASTM D4753.
- Moldes: Verificar las medidas especificadas en los gráficos 1 y 2.
- Martillo mecánico: Calibre y ajuste el martillo mecánico de acuerdo a la norma ASTM D2168.

#### 3. PROCEDIMIENTO

- De la manera preparada se pesan 4 Kg para el ensayo tipo A y C ó 6 Kg para el ensayo tipo B y D.
- Se pesa el molde de compactación, sin incluir la base ni el collar.
- Se mide las dimensiones internas del molde de compactación para determinar su volumen.
- Se compacta el suelo en 3 capas de tal forma que la última capa compacta sobresalga dentro del collarín 1 ó 2 cm, aplicando los golpes necesarios (Ver tabla B.1) sobre cada una.
- Se retira cuidadosamente el collarín, evitando girar el collar.
- Finalmente se enrasa perfectamente la superficie de suelo a nivel del plano superior del molde.
- Pesar el molde con el suelo compactado y enrasado.
- Extraer el suelo del molde y tomar una muestra representativa de la parte superior e inferior del molde, para determinar el contenido de humedad.
- Repetir el proceso 3 veces con diferentes porcentajes de humedad.
- Al finalizar la práctica se limpia todos los materiales usados con un utensilio textil y si es necesario con agua.

FIGURA D.7: Guía del Ensayo Proctor Estándar

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
 MANUALES DE USO  
 ICV-0380L

As an option to the full length stud, a 2 1/2" x 3/8" stud may be used. Then as an alternative construction, the collar may be held down with a slotted bracket attached to the collar and a pin in the mold.

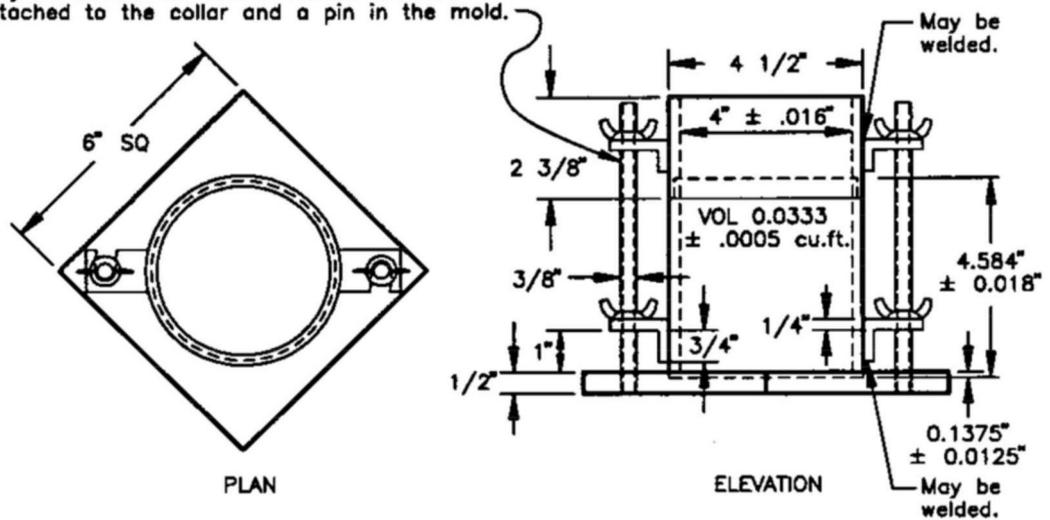


Figura E: Dimensiones del molde cilíndrico de 6 pulgadas. Fuente: ASTM D698

As an option to the full length stud, a 2 1/2" x 3/8" stud may be used. Then as an alternative construction, the collar may be held down with a slotted bracket attached to the collar and a pin in the mold.

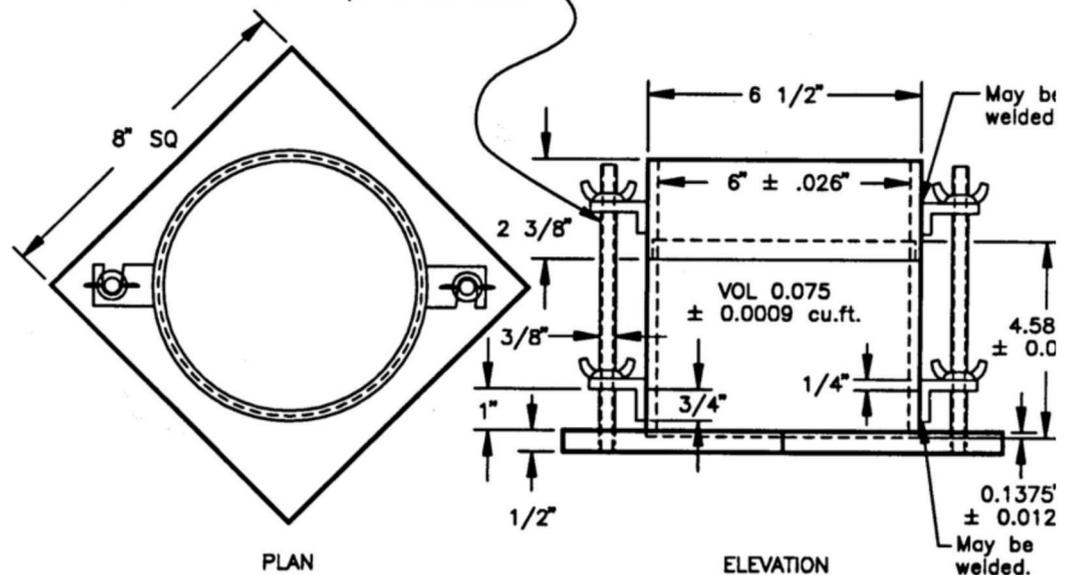


Figura F: Dimensiones del molde cilíndrico de 8 pulgadas. Fuente: ASTM D698

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
HOJAS DE REGISTRO  
ICV-0380L

**ENSAYO: PROCTOR ESTÁNDAR**  
**Norma ASTM D-698**

*Grupo:*

*Fecha*

Datos generales							
Método							
Variante							
No. de capas							
No. de golpes por capa							
Datos del cilindro							
Peso sin la base							
Altura							
Diámetro interior							

		Número del espécimen	1	2	3	4	5	6
Contenido de agua	Número de cápsula							
	Masa cápsula + suelo húmedo							
	Masa cápsula + seco							
	Masa del agua							
	Masa del suelo seco							
	Contenido de agua (%)							
Masa Volumétrica	Masa del molde + suelo húmedo							
	Masa del molde							
	Masa del suelo húmedo							
	Volumen del molde							
	Masa volumétrica húmeda							
	Masa volumétrica seca							

FIGURA D.8: Hoja de registro del Ensayo Proctor Estándar

## D.1.5. Ensayo Permeabilidad Carga Constante

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
MANUALES DE USO  
ICV-0380L

### ENSAYO: PERMEABILIDAD POR CARGA CONSTANTE Norma ASTM D-2434

**Objetivo:** Determinar el valor del coeficiente de permeabilidad  $k$  de un suelo.

#### 1. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Compactar el material (arena o grava) seleccionado con un contenido de humedad alto para reducir su permeabilidad al mínimo. El contenido de humedad requerido puede ser hasta de 5 o 6% superior al óptimo, ya sea por vibración o el método proctor estándar o modificado.

#### 2. CALIBRACIÓN DEL APARATO

- Comprobar que no exista fugas de agua en el permeámetro.
- Nivelar la superficie de trabajo.
- Verificar que todos los implementos del permeámetro estén funcionando correctamente.

#### 3. PROCEDIMIENTO

- Se determina el peso y volumen del permeámetro a utilizar y se vacía la muestra.
- Del suelo restante, se toman dos muestras representativas para determinar la humedad. Se engrasa la superficie.
- Se coloca un disco de papel filtro sobre la muestra y luego un empaque de caucho sobre el borde del molde para ajustar la tapa de este.
- Se sumerge el permeámetro en un estanque con agua, por lo menos 5 centímetros bajo el nivel de ésta, con las válvulas de entrada y salida de agua abiertas de modo de poder saturar la muestra durante un período de tiempo de 24 horas.
- Finalmente se cierran las válvulas y se saca el permeámetro del estanque. Retirado el permeámetro, se conecta el tubo de entrada de éste a una tubería vertical conectada a su vez a un recipiente de nivel de agua constante.
- Se desairean las líneas de entrada a la muestra, abriendo simultáneamente las válvulas de entrada y drenaje (salida), hasta remover todo el aire que pueda encontrarse atrapado.
- A continuación, se cierran las válvulas y se mide la altura del nivel de agua en la boca de salida del permeámetro, colocar el recipiente graduado para recibir el agua escurrida.
- Luego, abrir simultáneamente las válvulas de entrada, salida y suministro de agua junto con accionar el cronómetro.
- Lavar y secar: las piedras porosas, papel filtro, utensilios, permeámetro.

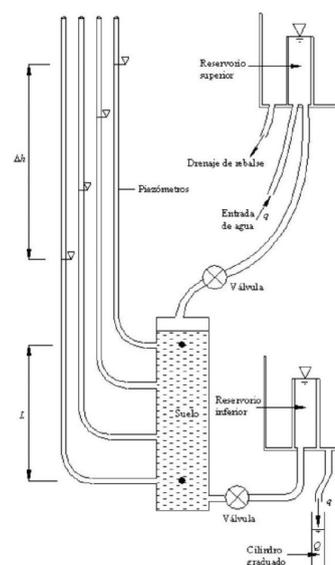


Figura G: Permeámetro por carga constante. Fuente: (Coduto, 1999).

FIGURA D.9: Guía del Ensayo Permeabilidad Carga Constante

## D.1.6. Ensayo Permeabilidad Carga Variable

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

MANUALES DE USO

ICV-0380L

### ENSAYO: PERMEABILIDAD POR CARGA VARIABLE

Norma ASTM D-5084

**Objetivo:** Determinar el valor del coeficiente de permeabilidad  $k$  de un suelo.

#### 1. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Compactar el material fino (arcillas, limos) seleccionado con un contenido de humedad alto para reducir su permeabilidad al mínimo. El contenido de humedad requerido puede ser hasta de 5 o 6% superior al óptimo, ya sea por vibración o el método proctor estándar o modificado.

#### 2. CALIBRACIÓN DEL APARATO

- Comprobar que no exista fugas de agua en el permeámetro.
- Nivelar la superficie de trabajo.
- Verificar que todos los implementos del permeámetro estén funcionando correctamente

#### 3. PROCEDIMIENTO

- Se coloca la piedra porosa superior, el resorte, la tapa superior y se conecta al sistema de abastecimiento.
- Se llena la bureta con agua hasta un nivel determinado y se permite que el flujo se estabilice o se establezca un régimen de flujo.
- Se coloca otro nivel de agua conocido.
- Cuando el nivel de agua pase por otro valor determinado, se anota el tiempo, la altura final y la temperatura del agua.
- Se desarma el conjunto y se pesa el permeámetro con la muestra húmeda.
- Limpiar el permeámetro.
- Lavar y secar: las piedras porosas, papel filtro, utensilios, permeámetro.

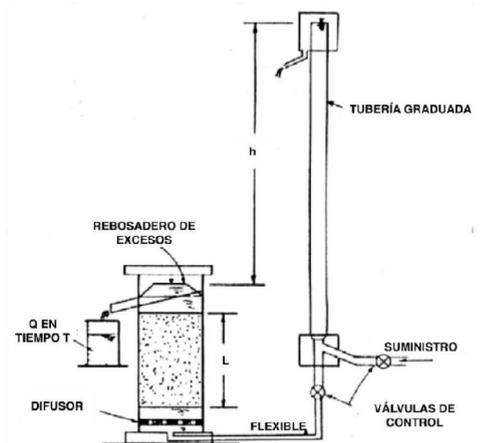


Figura H: Permeámetro por carga variable. Fuente: (J. Bowless, 1982).

FIGURA D.10: Guía del Ensayo Permeabilidad Carga Variable

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
MANUALES DE USO  
ICV-0380L

**ENSAYO: PERMEABILIDAD POR CARGA VARIABLE**

Norma ASTM D-5084

*Grupo:*

*Fecha:*

<b><u>Preparación de Muestra</u></b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
Volumen de la Muestra			
Densidad de Campo			
Peso de la Muestra			
Número de Capas			
Peso por Capa			
Prueba en Laboratorio			
Altura de Carga			
Área Transversal			
Longitud de Muestra			
Volumen de agua recogido			
Tiempo de Prueba			
Coficiente "K"			
Promedio "K"			
"K" Corregido a 20°C			

FIGURA D.11: Hoja de registro del Ensayo Permeabilidad Carga Variable

## D.1.7. Ensayo Triaxial No confinado - No Drenado

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
MANUALES DE USO  
ICV-0380L

### ENSAYO: TRIAXIAL NO CONFINADO – NO DRENADO

Norma ASTM D-4914

**Objetivo:** Obtener el ángulo de fricción cohesión del suelo.

#### 1. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Tallar una muestra cilíndrica utilizando el tallador de muestras, de tal manera que el la altura de la muestra dea de 2 a 2,5 veces el diámetro de la probeta.



Figura I: *Muestra para el ensayo Triaxial.*

#### 2. CALIBRACIÓN DEL APARATO

- Verificar que no exista fugas de agua de las conexiones hidráulicas hacia la celda de carga del triaxial.
- Comprobar que el panel de control esté cargado con la batería necesaria para el proceso.
- Revisar que el deformímetro se encuentre encerrado y calibrado.
- Constatar que el anillo de carga del panel de carga del triaxial esté funcionando en perfecto estado.

#### 3. PROCEDIMIENTO

- Tomar 3 medidas (superior, medio e inferior) del diámetro de la probeta.
- Medir 3 alturas iniciales de la muestra.
- Pesar y registrar la masa de la muestra de suelo.
- Abrir la celda de carga.
- Colocar el papel filtro saturado, seguido de una piedra porosa saturada y la probeta sobre la base de la celda de carga, para después situar el papel filtro saturado, seguido de una piedra porosa en la parte superior de la muestra.
- Ubicar la membrana impermeable en el accesorio colocador de membrana y desairarla, para después colocarla en el exterior de la muestra en la celda de carga y dejar que la membrana se adhiera a la muestra.
- Situar la tapa de la celda de carga en la parte superior de la muestra con la membrana.
- Rociar lubricante de silicón en los orificios donde se asegurará la celda de carga.
- Cerrar la celda de carga y asegurarla.
- Poner la celda de carga centrada en el marco de carga del triaxial.
- Abrir la válvula correspondiente al agua y dejar llenar la celda hasta que una delgada película de aire permanezca en la parte superior.
- Poner en contacto el pistón del marco de carga con el de la celda.
- Encender el panel de control.
- Verificar en el panel de control que no esté activado el envío de presión por la base ni la tapa de la celda.
- Digitar la presión constante con la que se trabajará en el ensayo.

FIGURA D.12: Guía del Ensayo Triaxial No confinado - No Drenado

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
MANUALES DE USO  
ICV-0380L

- Encender el marco de carga y configurar la velocidad con la que el marco de carga actuará.
- Encerar el deformímetro.
- Presionar “Comenzar test en el marco de carga”.
- Registrar las lecturas del dial a las deformaciones establecidas.
- Una vez terminada la prueba, se apaga el panel de control y el marco de carga del triaxial. Se extrae el agua de la celda de carga y se la desarma.
- Se retira la muestra y se registra la altura inicial.
- Se lava las piedras porosas y se limpia la celda y marco de carga del triaxial.



Figura *Configuración de la ubicación de la celda en el marco de carga del Triaxial.*

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
 HOJAS DE REGISTRO  
 ICV-0380L

**ENSAYO: TRIAXIAL NO CONFINADO – NO DRENADO**

**Norma ASTM D-4914**

*Grupo:*

*Fecha:*

PRES.CAM.=		PRES.CAM.=		PRES.CAM.=	
CP=		CP=		CP=	
$\sigma_1=$		$\sigma_2=$		$\sigma_3=$	
No. CÁPSULA		No. CÁPSULA		No. CÁPSULA	
W CÁPSULA		W CÁPSULA		W CÁPSULA	
W NATURAL		W NATURAL		W NATURAL	
WSAT		WSAT		WSAT	
W SECO		W SECO		W SECO	
Ds (cm)		Ds (cm)		Ds (cm)	
Dm (cm)		Dm (cm)		Dm (cm)	
Di (cm)		Di (cm)		Di (cm)	
Hm (cm)		Hm (cm)		Hm (cm)	

	1	2	3		1	2	3
DEFORMACIÓN	LECT. DIAL	LECT. DIAL	LECT. DIAL	DEFORMACIÓ N	LECT. DIAL	LECT. DIAL	LECT. DIAL
[mmx10 <sup>-2</sup> ]	[KN]	[KN]	[KN]	[mmx10 <sup>-2</sup> ]	[KN]	[KN]	[KN]
0				300			
10				350			
20				400			
30				450			
40				500			
50				600			
75				700			
100				800			
125				900			
150				1000			
175				1100			
200				1200			
250				1300			

FIGURA D.13: Hoja de registro del Ensayo Triaxial No confinado - No Drenado

## D.1.8. Ensayo Consolidación

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
MANUALES DE USO  
ICV-0380L

### ENSAYO: CONSOLIDACIÓN

**Norma ASTM D-2435**

**Objetivo:** Determinar el índice de compresibilidad y el índice de expansión del suelo para evaluar la magnitud y la velocidad de los asentamientos.

#### 1. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Las muestras pueden ser no disturbadas o remoldeadas. La muestra no disturbada es tallada y colocada en el anillo y luego colocada en el Consolidómetro.

La muestra remoldeada es compactada por amasado en el anillo y luego colocada en el Consolidómetro.



Figura K: *Muestra para el ensayo de Consolidación.*

#### 2. CALIBRACIÓN DEL APARATO

- Es necesario conocer la deflexión del aparato, bajo una de las caras a utilizarse. Para esto se ensambla el aparato igual que para un ensayo regular pero sin suelo y se colocan las cargas a utilizarse y se miden las deflexiones.
- Asegúrese que el dial indicador está trabajando libremente
- Coloque las pesas en el piso en la secuencia apropiada y verifique que todas las pesas estén presentes.
- El anillo de consolidación debe estar limpio y seco.

#### 3. PROCEDIMIENTO

- Colocar el soporte de la estructura de consolidación en la posición deseada, en donde permanecerá a lo largo de la prueba.
- Determinense las medidas interiores de anillo, utilizando el micrómetro.
- Pesar el anillo y anotar en la hoja de registro.
- Ubicar una fina capa de grasa en el interior del anillo.
- Colocar el espécimen en el anillo según sea el tipo de muestra.
- Pesar el anillo con el espécimen y registrar en la hoja de control.
- Colocar los discos de papel humedecidos en la base y el tope del anillo con la muestra, asegurándose de que no existen burbujas de airea entre el papel y la muestra.
- Situar el anillo en la cámara, luego la tapa superior.
- Ubicar la cámara en el marco de carga y colocar el peso de agua. Balancear la viga de carga y colocar el dial indicador encerrado.
- Colocar agua en la cámara y retirar el peso de agua simultáneamente
- Empezar a registrar las lecturas del dial en los tiempos indicados en la secuencia siguiente: 6, 15, 30 segundos 1, 2, 4, 8, 15, 30 minutos, 1, 2,4,8 y 24 horas

FIGURA D.14: Guía del Ensayo de Consolidación

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
MANUALES DE USO  
ICV-0380L

- Empezar con la secuencia de carga y antes de colocar la siguiente carga verificar que el nivel de agua en la cámara está por sobre la muestra y que el dial indicador aún tiene suficiente recorrido.
- Tomar lecturas hasta que la curva asentamiento log-tiempo indique que se ha alcanzado el tramo de consolidación secundaria. Esto ocurre típicamente en un período de 24 horas.
- Cuando el espécimen se ha equilibrado ante la presión final se levanta el dial indicador, se descarga la cámara y se la retira. Se vierte el agua en la cámara y se retira el anillo tan pronto como sea posible, se retiran cuidadosamente los discos de papel y se pesa el anillo tan pronto como sea posible, se retiran cuidadosamente los discos de papel y se pesa el anillo con la muestra.
- Colocar el anillo y muestra en el horno a  $\pm 110$  °C por 18 horas.
- Se lava las piedras porosas y se limpia la cámara de consolidación.



Figura L: Configuración del equipo para el ensayo de Consolidación.



UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
MANUALES DE USO  
ICV-0380L

Promedio Carga Kg/cm <sup>2</sup>	Promedio H cm.	Tiempo de "ajuste"		Coef. De consol. oV		Relación de Compresión primaria, x
		t <sub>90</sub> min.	t <sub>50</sub> min.	$35,3H^2/t_{90-1}$ Cm <sup>2</sup> /segx10	$8,21H^2/t_{50-1}$ Cm <sup>2</sup> /segx10	

Observaciones: \_\_\_\_\_

## D.2. Evaluación de compra

### D.2.1. Proyecto de Adquisición de Equipos para el Laboratorio de Suelos de la USFQ

#### **Adquisición de equipos para el Laboratorio de Mecánica de Suelos de Ingeniería Civil**

##### **Universidad San Francisco de Quito**

#### 1. Descripción

Como parte de la ejecución de la Etapa I del Laboratorio de Mecánica de Suelos se ha considerado adquirir equipos y herramientas esenciales para conocer los conceptos básicos de las propiedades de los suelos desde el punto de vista ingenieril y su aplicación en las obras de ingeniería civil. Dicha adquisición va a ser utilizada para la docencia e investigación mediante ensayos de consolidación, de resistencia al corte, de compactación, ensayos triaxiales y otros.

#### 2. Ejes estratégicos del proyecto

##### *2.1 Ejes estratégicos con la colectividad*

Dentro de la Facultad de Ingeniería Civil se está creando un nuevo laboratorio de suelos dirigido tanto a la enseñanza a nivel de pregrado y posgrado como a la investigación científica, para lo que se requiere los equipos aquí solicitados. En este sentido, los objetivos específicos de los equipos son los siguientes:

- Repotenciación del Laboratorio de Mecánica de Suelos ofrecer a nuestros estudiantes una educación más completa profunda e integral así como también la capacidad de profundizar sus conocimientos en mecánica de suelos, al igual que promover la investigación en esta área del saber ingenieril.
- Facilitar el desarrollo de proyectos e involucramiento con la comunidad a través de la participación y ayuda a la misma en preparación, prevención y mitigación de fenómenos y catástrofes naturales como sismos, erupciones volcánicas, fallas geológicas y derrumbes.

##### *2.2 Áreas de aplicación del proyecto*

Se plantea el desarrollo de un laboratorio para el aprendizaje e investigación de la mecánica de suelos. Con la implementación de esta etapa se incentivará el estudio del comportamiento del suelo de acuerdo con ciertos parámetros constitutivos del material que nos permiten, a través del uso de la mecánica de suelos, resolver una gran cantidad de problemas ingenieriles que son parte del diario vivir de nuestra sociedad.

### 3. Justificación del proyecto

La adquisición de los equipos es de suma importancia para la enseñanza de cursos de pregrado y posgrado en la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad San Francisco de Quito. El suelo es considerado como el material más importante en y para la construcción; actividad directamente vinculada con el ejercicio de la ingeniería civil como profesión. De aquí la necesidad de que los alumnos alcancen un gran entendimiento sobre el comportamiento de este noble material.

Por otro lado, y debido a la gran cantidad de obras de ingeniería emprendidas en el País en esta última década, es imperativo que los estudiantes con aspiraciones a obtener el grado de Ingenieros Civil, sean dotados de una gran expertiz para aplicar, controlar y mejorar los diferentes métodos de cálculo y construcción que mejoren el desempeño de las obras civiles en cuanto a la protección de la sociedad ecuatoriana contra los principales riesgos y fenómenos naturales que la aquejan, tales como sismos, erupciones volcánicas, crecida de ríos, maremotos, deslaves y fallas geológicas.

### 4. Datos generales

Sede: Universidad San Francisco de Quito, Cumbayá.

Facultad: Politécnico

Carrera: Ingeniería Civil

Modalidad de la carrera: Presencial

### 5. Recursos humanos asignados para el proyecto

Director de los laboratorios ICV: Juan José Recalde, PhD

Director del Laboratorio de Mecánica de Suelos: Alex Jerves, PhD

Profesores de Ingeniería Civil: Fabricio Yépez, PhD

### 6. Información de los beneficiarios del proyecto

Son 256 estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil directamente beneficiados de este Laboratorio

Cursos de Ingeniería Civil:

- Geología
- Geotecnia
- Mecánica de Suelos
- Laboratorio de Mecánica de Suelos
- Trabajo de Titulación.

- Diseño de Pavimentos.
- Investigación

Estudiantes de otras carreras:

- Estudiantes en la carrera de Ingeniería en Agroempresas
- Estudiantes en la carrera de Ingeniería Ambiental
- Estudiantes de la facultad de Arquitectura

7. Problema que se aspira atender:

- Enseñanza y entendimiento del comportamiento del suelo.
- Incentivo a la investigación científica por parte de alumnos y profesores de Ingeniería Civil para sus proyectos investigación o Trabajo de Titulación en los campos de la mecánica de suelos, pavimentos, geología y geotecnia, brindando así mayores y mejores facilidades tanto técnicas como científicas y tecnológicas para la esta actividad.
- Apoyo a otras áreas del conocimiento relacionadas directa o indirectamente con los campos de acción tanto académico como investigativo de del laboratorio en mención, tales como la ingeniería ambiental, arquitectura e ingeniería en agroempresas.

8. Objetivos del proyecto

Investigar, transmitir y mejorar el conocimiento acerca del comportamiento del Suelo como material de construcción, con la finalidad de que tanto alumnos como profesores de la Universidad San Francisco de Quito profundicen en el saber práctico, básico, intermedio y avanzado del tema para un correcto desenvolvimiento como profesionales, académicos e investigadores.

9. Alcance del proyecto

Esta adquisición corresponde a la repotenciación del laboratorio de docencia para el aprendizaje practico de los alumnos de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad San Francisco de Quito.

10. Inicio y terminación

Fecha de inicio: Mayo 2017

Fecha de terminación: Mayo 2018

Duración: Los equipos tienen una vida útil de entre 6 a 12 años, dependiendo del crecimiento de la carrera de Ingeniería Civil y el uso de los equipos.

### 11. Financiamiento

El presupuesto es de \$23.200 (Veinte y tres mil doscientos dólares de los Estados Unidos de América). Este proyecto está financiado en su totalidad por el presupuesto de inversiones de desarrollo de la Universidad San Francisco de Quito, destinado al Colegio de Ciencias e Ingeniería.

### 12. Tiempo de vida útil

Sujetos a un uso adecuado así como mantenimiento regular, los equipos y sus componentes tienen una vida útil estimada entre 6 y 12 años. Estos equipos forman parte de la primera etapa de desarrollo del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad San Francisco de Quito. Se planea implementar un total de 3 fases para el desarrollo de un Laboratorio de Mecánica de Suelos adecuado para la enseñanza e investigación.

### 13. Descripción de los equipos a ser adquiridos

Ver detalle completo en el Anexo adjunto.

### 14. Compromiso en cual conste que estos instrumentos adquiridos son para el uso exclusivo de la Universidad en beneficio de los estudiantes y profesores investigadores

Declaramos que la adquisición de los equipos aquí especificados (ver Anexo) es para la implementación de un laboratorio para la carrera de Ingeniería Civil, del tipo docente e investigativo, y para uso exclusivo de la Universidad San Francisco de Quito, y con el propósito de impartir conocimientos a los estudiantes, así como para desarrollar investigación científica por parte de los académicos de la institución.

Carlos Montufar, Ph.D.

Rector

Fernando Romo, Msc.

Director Ingeniería Civil

Alex Jerves, PhD.

Director del Laboratorio de Mecánica de Suelos

## D.2.2. Inventario de Equipos, Insumos y Herramientas Propuesto para la Adquisición para el Laboratorio de Mecánica de Suelos

Laboratorio de Mecánica de Suelos – ICV USFQ

Lista de equipos. Etapa I

ITEM	IMAGEN	CANT	EQUIPO	EQUIPMENT	DESCRIPCIÓN (español)	DESCRIPCIÓN (Inglés)	ORIGEN
1		1	<b>SOPORTE METALICO</b> , base de 165x140 mm. Varilla diámetro 10x500 mm.	<b>METAL STAND BASE 165 X 140 MM</b>	Sirve para sujetar pinzas de laboratorio y dobles nueces. Y para sujetar tubos de ensayo, buretas, embudos de filtración, embudos de decantación, etc.	It is used to hold the laboratory clamps, using double nuts. And for holding test tubes, burettes, filtration funnels, decant funnels, etc.	Italia
2		1	<b>SOPORTE METALICO</b> , base de 200x260 mm. Varilla diámetro 12x800 mm.	<b>METAL STAND BASE 200 X 260 MM</b>	Sirve para sujetar pinzas de laboratorio y dobles nueces. Y para sujetar tubos de ensayo, buretas, embudos de filtración, embudos de decantación, etc.	It is used to hold the laboratory clamps, using double nuts. And for holding test tubes, burettes, filtration funnels, decant funnels, etc.	Italia
3		2	<b>PINZA HOFFMAN</b> , abertura máxima 25mm	<b>HOFFMAN SCREW CLAMP</b>	Se utiliza para calibrar el flujo de un líquido presionando la tubería de látex	It is used to calibrate the flow of a liquid by pressing the latex tubing	Italia
4		2	<b>PINZA MOHR</b>	<b>MOHR CLAMP</b>	Se usa para obstruir el paso del líquido. Este se ajusta mediante presión a un conducto de manguera.	It is used to block the passage of the liquid. This is adjusted by pressure to a hose duct.	Italia
5		2	<b>MANGO DOBLE</b> metal/metal diámetro 10÷25 mm.	<b>DOUBLE SLEEVE METAL/METAL DIA 10 - 25 MM</b>	Se utiliza para sujetar las buretas y otras utensilios de laboratorio	It is used to hold burettes and other laboratory utensils	Italia
6		2	<b>MANGO DOBLE</b> metal/metal diámetro 10÷20 mm.	<b>DOUBLE SLEEVE METAL/GLASS DIA 10 - 20 MM</b>	Se utiliza para sujetar las buretas	Used to hold the burettes	Italia
7		2	<b>ABRAZADERA SIMPLE</b> diámetro 10÷20 mm.	<b>SIMPLE CLAMP DIA 10 - 20 MM</b>	Sirve para sujetar embudo de cristal	Serves to hold glass funnel.	Italia
8		2	<b>ABRAZADERA SIMPLE</b> diámetro 20÷30 mm.	<b>SIMPLE CLAMP DIA 20 - 30 MM</b>	Sirve para sujetar embudo de cristal	Serves to hold glass funnel	Italia
9		3	<b>CEPILLO SUAVE</b> , para limpiar tamices, etc.	<b>SOFT NYLON BRUSH</b>	Se utiliza para limpiar tamices delicados que separan arenas de limos.	It is used to clean delicate sieves that separate sands from limos.	Italia
10		3	<b>CEPILLO DE ALAMBRE FINO</b> .	<b>FINE WIRE BRUSH</b>	Se utiliza para los tamices que separan piedras de gravas.	It is used for sieves separating stones from gravel.	Italia
11		3	<b>BROCHA PARA TAMICES</b> , de doble extremo,	<b>BOTTLE BRUSH DIA 50</b>	Se utiliza para los tamices que separan arenas	It is used for sieves that separate sands	Italia

			hilos de nilón/latón.	MM	de gravas.	from gravel.	
12		4	<b>RANURADOR para limite líquido,</b> Normas UNI10014 - AASHTO	<b>GROOVING TOOL,</b> UNI/AASHTO	Sirve para hacer surcos en la muestra de suelo puesta en el dispositivo.	It serves to make grooves in the soil sample placed in the device.	Italia
13		1	<b>Compresor equivalente al V026-02X de 220-240 V 60 Hz</b> (tanque de 200 l, es de 10 bar Con cuatro salidas.	<b>COMPRESOR EQUIVALENTE AL V206-02X DE 220-240 V 60 HZ</b> (TANQUE DE 200 L, ES DE 10 BAR CON CUATRO SALIDAS	Abastecer de aire comprimido a cuatro máquinas al mismo tiempo.	Supply of compressed air to four machines at the same time.	Italia
14		8	<b>MOLDE PROCTOR ESTANDAR ABIERTO:</b> dia. 101,6 mm , escuadra 116,4 mm, volumen 944 ml.	<b>STANDARD PROCTOR MOULD, SPLIT,</b> ASTM	Usados para hallar la relación entre el contenido de humedad y la densidad de tierras compactadas.	Used for determining the relationship between the moisture content and density of compacted soils.	Italia
15		7	<b>MOLDE PROCTOR MODIFICADO ABIERTO:</b> dia. 152,4 mm , escuadra 116,4 mm volumen 2124 ml.	<b>MODIFIED PROCTOR MOULD, SPLIT,</b> ASTM	Usados para hallar la relación entre el contenido de humedad y la densidad de tierras compactadas.	Used for determining the relationship between the moisture content and density of compacted soils.	Italia
16		6	<b>PICNOMETRO DE VIDRIO,</b> con tapón esmerilado y agujereado.	<b>PYKNOMETER MOUTH</b> DIA 29 MM - 500 ML	Permite conocer la densidad o peso específico de un fluido líquido o sólido mediante gravimetría a una temperatura dada.	It allows knowing the specific density or weight of a liquid or solid fluid by gravimetry at a given temperature.	Italia
17		6	<b>EMBUDO DE VIDRIO</b>	<b>FUNNEL, GLASS</b> DIA 25 MM	Empleado para canalizar sustancias en recipientes con bocas angostas	Used to channel substances into containers with narrow mouths	Italia
18		1	<b>CONJUNTO DE PESAS DE LATON,</b> colocadas en una caja de madera.	<b>BRASS WEIGHTS SET,</b> 1000G	Sirven como estándares de masa o para calibración de balanzas.	They serve as mass standards or for calibrating balances.	Italia
19		1	<b>BALANZA DE PRECISION ELECTRONICA DE CARGA SUPERIOR CON PLATAFORMA,</b> capacidad 500 g, sensibilidad 0,001 g, plato de diámetro 110 mm	<b>DIGITAL BALANCE</b> 500G X 0,001G	Utilizadas para obtener pesos de muestras con mucha precisión	Used to obtain very accurate sample weights	Italia

20		1	<b>BALANZA DE PRECISION ELECTRONICA DE CARGA SUPERIOR CON PLATAFORMA</b> , capacidad 15 Kg, sensibilidad 0,2 g, plato de 225x300 mm	<b>DIGITAL BALANCE</b> 15000G X 0,2G	Utilizada para pesar grandes cantidades de muestras de suelo.	Used to weigh large quantities of soil samples.	Italia
21		3	<b>CRONOMETRO DIGITAL</b>	<b>STOP WATCH, DIGITAL</b>	Para determinar la duración de fenómenos. Generalmente, tiempos cortos	To determine the duration of phenomena. Generally, short times.	Italia
22		3	<b>CALIBREPIE DE REY DIGITAL</b> , 0-205 mm x 0,02 mm	<b>VERNIER CALIPER</b> 205 MM	Utilizado para realizar medidas directas con mayor precisión.	Used to perform direct measurements with greater precision.	Italia
23		3	<b>CAPSULA DE EVAPORACION</b> , diámetro 120mm.	<b>EVAPORATING DISH</b> DIA 120 MM	Se utiliza para calentar sustancias a altas temperaturas o poner sustancias calientes.	It is used to heat substances at high temperatures or to put hot substances.	Italia
24		3	<b>ESPATULA FLEXIBLE</b> , LONGITUD 100mm.	<b>FLEXIBLE SPATULA</b> 100 MM	Se utiliza para tomar pequeñas cantidades de muestras de suelo.	It is used to take small amounts of soil samples.	Italia
25		5	<b>BOTES DE LATA</b> , diámetro 55 x 36 mm. De aluminio, con tapa.	<b>TIN DIA 55X35MM ALUMINIUM WITH COVER</b>	Sirven para colocar pequeñas cantidades de suelo y pesarlas o ponerlas en el horno.	They are used to place small amounts of soil and weigh them or put them in the oven.	Italia
26		1	<b>DISPOSITIVO DE LIMITE LIQUIDO</b> , operado por motor, con ase dura de goma.	<b>LIQUID LIMIT, MOTORIZED</b> CNR/UNI, ASTM, BS, UNE 220V 60HZ	Sirve para evaluar la relación entre el porcentaje de humedad de las muestras de suelo y el número de golpes requerido para cerrar el surco hecho en la porción de suelo.	Used to evaluate the relationship between the moisture percentage of a soil sample and the number of blows required to close a groove made into the soil	Italia
27		3	<b>D ISPOSITIVO DE LIMITE LIQUIDO</b> , operado a mano, con manivela lateral derecho.	<b>LIQUID LIMIT DEVICE</b> , ASTM, RIGHT SIDE HANDWHEEL	Sirve para evaluar la relación entre el porcentaje de humedad de las muestras de suelo y el número de golpes requerido para cerrar el surco hecho en la porción de suelo.	Used to evaluate the relationship between the moisture percentage of a soil sample and the number of blows required to close a groove made into the soil	Italia
28		1	<b>MAZA PROCTOR ESTANDAR</b> , diámetro de la maza 50,8, altura de caída 304,8 mm, peso 2,495 Kg, peso	<b>STANDARD PROCTOR RAMMER</b> , ASTM	Se utiliza para compactar la muestra de suelo dentro del molde	Used to compact the soil sample into the mould.	Italia

			hilos de nilón/latón.	MM	de gravas.	from gravel.	
12		4	<b>RANURADOR para limite líquido,</b> Normas UNI10014 - AASHTO	<b>GROOVING TOOL,</b> UNI/AASHTO	Sirve para hacer surcos en la muestra de suelo puesta en el dispositivo.	It serves to make grooves in the soil sample placed in the device.	Italia
13		1	<b>Compresor equivalente al V026-02X de 220-240 V 60 Hz</b> (tanque de 200 l, es de 10 bar Con cuatro salidas.	<b>COMPRESOR EQUIVALENTE AL V206-02X DE 220-240 V 60 HZ</b> (TANQUE DE 200 L, ES DE 10 BAR CON CUATRO SALIDAS	Abastecer de aire comprimido a cuatro máquinas al mismo tiempo.	Supply of compressed air to four machines at the same time.	Italia
14		8	<b>MOLDE PROCTOR ESTANDAR ABIERTO:</b> dia. 101,6 mm , escuadra 116,4 mm, volumen 944 ml.	<b>STANDARD PROCTOR MOULD, SPLIT,</b> ASTM	Usados para hallar la relación entre el contenido de humedad y la densidad de tierras compactadas.	Used for determining the relationship between the moisture content and density of compacted soils.	Italia
15		7	<b>MOLDE PROCTOR MODIFICADO ABIERTO:</b> dia. 152,4 mm , escuadra 116,4 mm volumen 2124 ml.	<b>MODIFIED PROCTOR MOULD, SPLIT,</b> ASTM	Usados para hallar la relación entre el contenido de humedad y la densidad de tierras compactadas.	Used for determining the relationship between the moisture content and density of compacted soils.	Italia
16		6	<b>PICNOMETRO DE VIDRIO,</b> con tapón esmerilado y agujereado.	<b>PYKNOMETER MOUTH</b> DIA 29 MM - 500 ML	Permite conocer la densidad o peso específico de un fluido líquido o sólido mediante gravimetría a una temperatura dada.	It allows knowing the specific density or weight of a liquid or solid fluid by gravimetry at a given temperature.	Italia
17		6	<b>EMBUDO DE VIDRIO</b>	<b>FUNNEL, GLASS</b> DIA 25 MM	Empleado para canalizar sustancias en recipientes con bocas angostas	Used to channel substances into containers with narrow mouths	Italia
18		1	<b>CONJUNTO DE PESAS DE LATON,</b> colocadas en una caja de madera.	<b>BRASS WEIGHTS SET,</b> 1000G	Sirven como estándares de masa o para calibración de balanzas.	They serve as mass standards or for calibrating balances.	Italia
19		1	<b>BALANZA DE PRECISION ELECTRONICA DE CARGA SUPERIOR CON PLATAFORMA,</b> capacidad 500 g, sensibilidad 0,001 g, plato de diámetro 110 mm	<b>DIGITAL BALANCE</b> 500G X 0,001G	Utilizadas para obtener pesos de muestras con mucha precisión	Used to obtain very accurate sample weights	Italia

					bordes superior e inferior del espécimen.	the specimen.	
37		1	<b>TROQUEL DIA.</b> 60 XH 25 MM	<b>HOLLOW PUNCH</b> DIA 60 MM - SHEAR	<b>Accesorio del Sheartonic.</b> Se utiliza para preparar la muestra de suelo.	<b>Accessories for Sheartonic.</b> It is used to prepare the soil sample.	Italia
38		1	<b>PISÓN</b>	<b>TAMPER</b> DIA 60 MM - SHEAR	<b>Accesorio del Sheartonic.</b> El pistón expulsa la muestra compactada directamente a la caja de corte sin alterarla.	<b>Accessories for Sheartonic.</b> The tamper ejects the specimen filling it directly into the shear box without disturbing it	Italia
39		10	<b>MEMBRANAS DE LATEX</b> dia. 70 mm x140 mm Paquete de 10 Uds.	<b>RUBBER MEMBRANE</b> DIA 70 MM (10 PCS)	Se usa para acondicionar y hacer impermeables las muestras para el ensayo triaxial.	It is used to condition and to isolate the specimen from cell water.	Italia
40		1	<b>DISPOSITIVO DE MONTAJE</b>	<b>MOUNTING DEVICE ON OEDOMETER</b>	Dispositivo de montaje entre las pinzas de acoplamiento universal y el aparato de consolidación para fijar el transductor/reloj comparador para el desplazamiento vertical.	Mounting device between the universal coupling pliers and the consolidation apparatus to fix the transducer/dial gauge for the vertical displacement.	Italia
41		1	<b>PINZAS DE ACOPAMIENTO UNIVERSALES</b>	<b>UNIVERSAL COUPLING PLIERS FOR TRANSD./DIAL</b>	Pinza de acoplamiento universal para reloj comparador	Universal coupling pliers for dial gauge	Italia
42		1	<b>COMPARADOR DIGITAL</b>	<b>DIGITAL INDICATOR 25</b> X 0,001 MM - RS232	Reloj comparador para medir deformación.	Comparator watch for measuring deformation.	Italia

### D.2.3. Proforma de Equipos, Herramientas e Insumos para el laboratorio de Mecánica de Suelos de la USFQ



To  
UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

DIEGO DE ROBLES S/N Y PAMPITE  
(CUMBAYA)  
QUITO - ECUADOR - EC  
Tel. 2971929 -

Treviolo, 24/03/2017

Our Ref. : PROFORMA INVOICE N.33439/2017

Further to your above request please find herewith enclosed our proforma invoice for the required items.

Discount: 3,00 %

Packing: 1 CASE CM120X80XH82 + 3 PALLETS CM 120X80X95 – TOTAL WEIGHT 500KG  
Transport: SEAFREIGHT  
Delivery Term: CIF GUAYAQUIL PORT UNCLEARED  
Payment Term: IN ADVANCE  
Delivery : 5 WEEKS FROM RECEIPT OF BANK TRANSFER  
Proforma: 90 DAYS

Waiting for news, we remain with best regards.

**BANK:**  
INTESA SAN PAOLO – FIL DALMINE  
VIALE BETELLI, 11 – 24044 DALMINE (BG)  
ABI 03069  
CAB 52973  
C/C 100000005572  
CIN H  
SWIFT BCITITMMF66  
IBAN IT87H030695297310000005572

Matest S.p.A.  
Massimo Martorini

Page 1/4

Matest S.p.A. unipersonale

Direzione e coordinamento: Immobiliare Guerra s.r.l.  
Registered office | Sede legale: Viale Mantegna, 97 - 20862 Arcore (MB)  
Trading address | Sede operativa e amministrativa: Via delle Industrie, 25 - 24048 Treviolo (BG)  
Tel. +39 035 2055011 - Fax +39 035 2055055 - info@matest.com - www.matest.com - PEC: matest@legalmail.it  
C.F. e P.IVA 01696470168 - R.E.A. MB n. 1903369 - Cap. Soc. € 200.000,00 i.v.  
Registro A.E.E. IT08020000001572 - Registro Pile e Accumulatori IT16090P00004198





PROFORMA INVOICE N.33439/2017 Date 24/03/2017

Item	Your Item	Code	Description	Qty	Unit Price EURO	Total price EURO
1	1	V219	METAL STAND BASE 165 X 140 MM Country of origin: CE	1,00	32,290	32,29
2	2	V219-01	METAL STAND BASE 200 X 260 MM Country of origin: CE	1,00	44,710	44,71
3	3	V220	HOFFMAN SCREW CLAMP Country of origin: CE	2,00	7,450	14,90
4	4	V220-01	MOHR CLAMP Country of origin: CE	2,00	4,970	9,94
5	5	V220-02	DOUBLE SLEEVE METAL/METAL DIA 10 - 25 MM Country of origin: CE	2,00	14,900	29,80
6	6	V220-03	DOUBLE SLEEVE METAL/GLASS DIA 10 - 20 MM Country of origin: CE	2,00	14,290	28,58
7	7	V220-04	SIMPLE CLAMP DIA 10 - 20 MM Country of origin: CE	2,00	13,040	26,08
8	8	V220-05	SIMPLE CLAMP DIA 20 - 30 MM Country of origin: CE	2,00	12,420	24,84
9	9	V178	SOFT NYLON BRUSH Country of origin: CE	3,00	6,210	18,63
10	10	V178-01	FINE WIRE BRUSH Country of origin: CHINA	3,00	3,730	11,19
11	11	V178-03	BOTTLE BRUSH DIA 50 MM Country of origin: CE	3,00	3,110	9,33
12	12	S173-03	GROOVING TOOL, UNI/AASHTO Country of origin: CE.	4,00	16,140	64,56
13	13	V206-02X	COMPRESOR EQUIVALENTE AL V206-02X DE 220-240 V 60 HZ (TANQUE DE 200 L. ES DE 10 BAR CON CUATRO SALIDAS STANDARD PROCTOR MOULD, SPLIT, ASTM Country of origin: CE.	1,00	1.828,500	1.828,50
14	14	S189	STANDARD PROCTOR MOULD, SPLIT, ASTM Country of origin: CE.	8,00	126,610	1.012,88
15	15	S190	MODIFIED PROCTOR MOULD, SPLIT, ASTM Country of origin: CE.	7,00	149,040	1.043,28
16	16	V105	PYKNOMETER MOUTH DIA 29 MM - 500 ML Country of origin: CE	6,00	26,090	156,54
17	17	V119	FUNNEL, GLASS DIA 25 MM Country of origin: CE	6,00	4,970	29,82
18	18	V036	BRASS WEIGHTS SET, 1000G Country of origin: CE	1,00	115,460	115,46
19	19	V070-06	DIGITAL BALANCE 500G X 0,001G Country of origin: CE	1,00	1.266,150	1.266,15
20	20	V075-12	DIGITAL BALANCE 15000G X 0,2G Country of origin: CHINA	1,00	285,660	285,66
21	21	V170	STOP WATCH, DIGITAL Country of origin: CHINA	3,00	9,940	29,82

Page 2/4

**Matest S.p.A. unipersonale**

Direzione e coordinamento: Immobiliare Guema s.r.l.  
Registered office | Sede legale: Viale Mantegna, 97 - 20862 Arcore (MB)  
Trading address | Sede operativa e amministrativa: Via delle Industrie, 25 - 24048 Treviolo (BG)  
Tel. +39 035 2055011 - Fax +39 035 2055055 - info@matest.com - www.matest.com - PEC: matest@legalmail.it  
C.F. e P.IVA 01696470168 - R.E.A. MB n. 1903369 - Cap. Soc. € 200.000,00 i.v.  
Registro A.E.E. IT08020000001572 - Registro Pile e Accumulatori IT16090P00004198





OFFER N.33439/2017 Date 23/03/2017

Item	Your Item	Code	Description	Qty	Unit Price EURO	Total price EURO
22	22	V175-01	VERNIER CALIPER 205 MM	3,00	37,260	111,78
			Country of origin: CE			
23	23	V114-03	EVAPORATING DISH DIA 120 MM	3,00	20,500	61,50
			Country of origin: CE			
24	24	V192	FLEXIBLE SPATULA 100 MM	3,00	5,590	16,77
			Country of origin: PAKISTAN			
25	25	V122	TIN DIA 55X35MM ALUMINIUM WITH COVER	5,00	3,220	16,10
			Country of origin: CE.			
26	26	S172X	LIQUID LIMIT, MOTORIZED CNR/UNI, ASTM, BS, UNE 220V 60HZ	1,00	571,320	571,32
			Country of origin: CE.			
27	27	S170-05	LIQUID LIMIT DEVICE, ASTM, RIGHT SIDE HANDWHEEL	3,00	188,720	566,16
			Country of origin: CE.			
28	28	S187	STANDARD PROCTOR RAMMER, ASTM	1,00	79,470	79,47
			Country of origin: CE.			
29	29	S188	MODIFIED PROCTOR RAMMER, ASTM	1,00	95,570	95,57
			Country of origin: CE.			
30	30	V184-01	SCOOP, ROUND, ALUMINIUM 1000 ML	4,00	18,630	74,52
			Country of origin: TAIWAN			
31	31	S084-KIT	SOIL SAMPLER DIA 73 X 66 MM, COMPLETE	4,00	322,800	1.291,20
		S084-01	SAMPLING TUBE DIA 73 X 66 MM	4,00		
			Country of origin: CE.			
		S084-02	SOIL SAMPLER DIA 73X66MM, WITHOUT TUBE	4,00		
			Country of origin: CE.			
34		S276-02	SHEARTRONIC, AUTOM. PNEUM. SHEAR MCH, NEW MODEL	1,00	10.432,800	10.432,80
35	33	S262-11	AIR FILTER FOR COMPRESSOR	1,00	109,250	109,25
36	34	S277-41N	SOFTWARE SHEARLAB CONNECT - MATEST MADE	1,00	310,500	310,50
37	35	S283	SHEAR BOX DIA 60 MM	1,00	471,960	471,96
			Country of origin: CE.			
38	36	S286-KIT	COUPLE POROUS STONES DIA 60 MM, COMPOSED BY:	1,00	26,080	26,08
		S122-09	HOLLOW PUNCH DIA 60 MM - SHEAR	1,00	32,290	32,29
			Country of origin: CE.			
40		S123-09	TAMPER DIA 60 MM - SHEAR	1,00	29,800	29,80
			Country of origin: CE.			
41		S310-02	RUBBER MEMBRANE DIA 70 MM (10 PCS)	10,00	29,800	298,00
			Country of origin: CE			
42		S260-13	MOUNTING DEVICE ON OEDOMETER	1,00	49,770	49,77
			Country of origin: CE.			
43		S335-15	UNIVERSAL COUPLING PLIERS FOR TRANSD./DIAL	1,00	26,080	26,08
			Country of origin: CE.			
44		S383	DIGITAL INDICATOR 25 X 0,001 MM - RS232	1,00	195,610	195,61

Page 3/4

**Matest S.p.A. unipersonale**

Direzione e coordinamento: Immobiliare Guema s.r.l.  
 Registered office | Sede legale: Viale Mantegna, 97 - 20862 Arcore (MB)  
 Trading address | Sede operativa e amministrativa: Via delle Industrie, 25 - 24048 Treviolo (BG)  
 Tel. +39 035 2055011 - Fax +39 035 2055055 - info@matest.com - www.matest.com - PEC: matest@legalmail.it  
 C.F. e P.IVA 01696470168 - R.E.A. MB n. 1903369 - Cap. Soc. € 200.000,00 i.v.  
 Registro A.E.E. IT08020000001572 - Registro Pile e Accumulatori IT16090P00004198





PROFORMA INVOICE N.33439/2017 Date 24/03/2017

Item	Your Item	Code	Description	Qty	Unit Price EURO	Total price EURO
------	-----------	------	-------------	-----	--------------------	---------------------

Country of origin: CHINA

Total gross amount	<b>20.949,49</b>
Discount 3,00 %	628,46
Total net amount	20.321,03
Packing charges	351,00
Shipping Charges	545,00
Insurance	100,00
<b>Total amount CIF GUAYAQUIL PORT UNCLEARED</b>	<b>21.317,03</b>

Page 4/4

**Matest S.p.A. unipersonale**

Direzione e coordinamento: Immobiliare Guema s.r.l.  
 Registered office | Sede legale: Viale Mantegna, 97 - 20862 Arcore (MB)  
 Trading address | Sede operativa e amministrativa: Via delle Industrie, 25 - 24048 Treviolo (BG)  
 Tel. +39 035 2055011 - Fax +39 035 2055055 - info@matest.com - www.matest.com - PEC: matest@legalmail.it  
 C.F. e P.IVA 01696470168 - R.E.A. MB n. 1903369 - Cap. Soc. € 200.000,00 i.v.  
 Registro A.E.E. IT08020000001572 - Registro Pile e Accumulatori IT16090P00004198



## D.2.4. Informes para Exoneración de Impuestos SENESCYT

<b>INFORMACIÓN ADJUNTA A LAS SOLICITUDES DE EXONERACIÓN DE DERECHOS ADUANEROS, EMITIDAS POR LAS INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN SUPERIOR DEL PAÍS</b>			
<b>DATOS GENERALES</b>			
<b>Institución:</b> Universidad San Francisco de Quito			
<b>Facultad o área requirente:</b>	Colegio de Ciencias e Ingeniería		
<b>Áreas de Aplicación (Facultad, carreras, programas de cuarto nivel o proyectos de investigación) :</b>	Ingeniería Civil		
<b>Tipo de utilización:</b>	<b>Académico</b>	X	<b>Investigación</b>
<b>Director o coordinador (carrera, proyecto):</b>	Alex Jerves	<b>Teléfono(s):</b>	0969078011
		<b>Correo Electrónico:</b>	ajerves@usfq.edu.ec
<b>1. OBJETIVOS</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Repotenciación del Laboratorio de Mecánica de Suelos ofrecer a nuestros estudiantes una educación más completa profunda e integral así como también la capacidad de profundizar sus conocimientos en mecánica de suelos, al igual que promover la investigación en esta área del saber ingenieril.</li> <li>- Facilitar el desarrollo de proyectos e involucramiento con la comunidad a través de la participación y ayuda a la misma en preparación, prevención y mitigación de fenómenos y catástrofes naturales como sismos, erupciones volcánicas, fallas geológicas y derrumbes.</li> </ul>			
<b>2. JUSTIFICACIÓN DE LA IMPORTACIÓN</b>			
<b>(Fines de la adquisición/ áreas que se van a fortalecer/definir utilización/problemas que se desea atender, etc.)</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>- La adquisición de los equipos es de suma importancia para la enseñanza de cursos de pregrado y posgrado en la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad San Francisco de Quito. El suelo es considerado como el material más importante en y para la construcción; actividad directamente vinculada con el ejercicio de la ingeniería civil como profesión. De aquí la necesidad de que los alumnos alcancen un gran entendimiento sobre el comportamiento de este noble material.</li> <li>- Por otro lado, y debido a la gran cantidad de obras de ingeniería emprendidas en el País en esta última década, es imperativo que los estudiantes con aspiraciones a obtener el grado de Ingenieros Civil, sean dotados de una gran expertiz para aplicar, controlar y mejorar los diferentes métodos de cálculo y construcción que mejoren el desempeño de las obras civiles en cuanto a la protección de la sociedad ecuatoriana contra los principales riesgos y fenómenos naturales que la aquejan, tales como sismos, erupciones volcánicas, crecida de ríos, maremotos, deslaves y fallas geológicas.</li> </ul>			
<b>3. FUENTES DE FINANCIAMIENTO</b>			
<p>El presupuesto es de \$23.200 (Veinte y tres mil doscientos dólares de los Estados Unidos de America). Este proyecto está financiado en su totalidad por el presupuesto de inversiones de desarrollo de la Universidad San Francisco de Quito, destinado al Colegio de Ciencias e Ingeniería.</p>			

<b>4. BENEFICIARIOS</b> (No. de estudiantes y nombre de las careras, programas de cuarto nivel y proyectos de investigación a las cuales pertenecen)				
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son 285 estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil directamente beneficiados de este Laboratorio.</li> <li>- Estudiantes de otras carreras:               <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Estudiantes en la carrera de Ingeniería en Agroempresas</li> <li>✓ Estudiantes en la carrera de Ingeniería Ambiental</li> <li>✓ Estudiantes de la facultad de Arquitectura.</li> </ul> </li> </ul>				
<b>5. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS</b>				
<p>Persona responsable del equipo(s): Alex Jerves, PhD País de origen de la importación: Italia</p>				
#	Descripción (Equipo, marca, modelo, procedencia)	Cant.	Funciones que cumplirá	Área donde será ubicado (laboratorio, aula, etc.)
1	<b>SOPORTE METALICO</b> , base de 165x140 mm. Varilla diámetro 10x500 mm., marca MATEST, modelo V219	1	Servirá para sujetar pinzas, dobles nueces tubos de ensayo, buretas, embudos de filtración, etc.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
2	<b>SOPORTE METALICO</b> , base de 200x260 mm. Varilla diámetro 12x800 mm. marca MATEST, modelo V219-01	1	Servirá para sujetar pinzas, dobles nueces tubos de ensayo, buretas, embudos de filtración, etc.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
3	<b>PINZA HOFFMAN</b> , abertura máxima 25mm. marca MATEST, modelo V220	2	Se utiliza para calibrar el flujo de un líquido presionando la tubería de látex	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
4	<b>PINZA MOHR</b> marca MATEST, modelo V220-01	2	Se usa para obstruir el paso del líquido. Este se ajusta mediante presión a un conducto de manguera.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
5	<b>MANGO DOBLE</b> metal/metal diámetro 10÷25 mm. marca MATEST, modelo V220-02	2	Se utiliza para sujetar las buretas y otras utensilios de laboratorio	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
6	<b>MANGO DOBLE</b> metal/metal diámetro 10÷20 mm. marca MATEST, modelo V220-03	2	Se utiliza para sujetar las buretas	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
7	<b>ABRAZADERA SIMPLE</b> diámetro 10÷20 mm. marca MATEST, modelo V220-04	2	Sirve para sujetar embudos de cristal	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
8	<b>ABRAZADERA SIMPLE</b> diámetro 20÷30 mm. marca MATEST, modelo V220-05	2	Sirve para sujetar embudos de cristal	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
9	<b>CEPILLO SUAVE</b> , para limpiar tamices, etc. marca MATEST, modelo V178	3	Se utiliza para limpiar tamices delicados que separan arenas de limos.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
10	<b>CEPILLO DE ALAMBRE FINO</b> . marca MATEST, modelo V178-01	3	Se utiliza para los tamices que separan piedras de gravas.	Laboratorio de Mecánica de Suelos

				Edificio Hayek, H400Q
11	<b>BROCHA PARA TAMICES</b> , de doble extremo, hilos de nilón/latón. marca MATEST, modelo V178-03	3	Se utiliza para los tamices que separan arenas de gravas.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
12	<b>RANURADOR para limite líquido</b> , Normas UNI10014 - AASHTO marca MATEST, modelo S173-03	4	Sirve para hacer surcos en la muestra de suelo puesta en el dispositivo.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
13	<b>Compresor de 220-240 V 60 Hz</b> (tanque de 200 l, es de 10 bar Con cuatro salidas. marca MATEST, modelo V026-02X	1	Abastecer de aire comprimido a cuatro máquinas al mismo tiempo.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
14	<b>MOLDE PROCTOR ESTANDAR ABIERTO</b> : dia. 101,6 mm , escuadra 116,4 mm, volumen 944 ml. marca MATEST, modelo S189	8	Usados para hallar la relación entre el contenido de humedad y la densidad de tierras compactadas.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
15	<b>MOLDE PROCTOR MODIFICADO ABIERTO</b> : dia. 152,4 mm , escuadra 116,4 mm volumen 2124 ml. marca MATEST, modelo S190	7	Usados para hallar la relación entre el contenido de humedad y la densidad de tierras compactadas.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
16	<b>PICNOMETRO DE VIDRIO</b> , con tapón esmerilado y agujereado. marca MATEST, modelo V105	6	Permite conocer la densidad o peso específico de un fluido líquido o sólido mediante gravimetría a una temperatura dada.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
17	<b>EMBUDO DE VIDRIO</b> , dia. 25mm marca MATEST, modelo V119	6	Empleado para canalizar sustancias en recipientes con bocas angostas.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
18	<b>CONJUNTO DE PESAS DE LATON</b> , colocadas en una caja de madera. marca MATEST, modelo V036	1	Sirven para calibración de balanzas.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
19	<b>BALANZA DE PRECISION ELECTRONICA DE CARGA SUPERIOR CON PLATAFORMA</b> , capacidad 500 g, sensibilidad 0,001 g, plato de diámetro 110 mm marca MATEST, modelo V070-06	1	Utilizadas para obtener pesos de muestras con mucha precisión	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
20	<b>BALANZA DE PRECISION ELECTRONICA DE CARGA SUPERIOR CON PLATAFORMA</b> , capacidad 15 Kg, sensibilidad 0,2 g, plato de 225x300 mm marca MATEST, modelo V075-12	1	Utilizada para pesar grandes cantidades de muestras de suelo.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
21	<b>CRONOMETRO DIGITAL</b> marca MATEST, modelo V170	3	Para determinar la duración de fenómenos. Generalmente, tiempos cortos	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
22	<b>CALIBREPIE DE REY DIGITAL</b> , 0-205 mm x 0,02 mm marca MATEST, modelo V175-01	3	Utilizado para realizar medidas directas con mayor precisión.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q

23	<b>CAPSULA DE EVAPORACION</b> , diámetro 120mm. marca MATEST, modelo V114-03	3	Se utiliza para calentar sustancias a altas temperaturas o poner sustancias calientes.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
24	<b>ESPATULA FLEXIBLE</b> , LONGITUD 100mm. marca MATEST, modelo V192	3	Se utiliza para tomar pequeñas cantidades de muestras de suelo.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
25	<b>BOTES DE LATA</b> , diámetro 55 x 36 mm. De aluminio, con tapa. marca MATEST, modelo V122	5	Sirven para colocar pequeñas cantidades de suelo y pesarlas o ponerlas en el horno.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
26	<b>DISPOSITIVO DE LIMITE LIQUIDO</b> , operado por motor, con ase dura de goma. marca MATEST, modelo S172	1	Sirve para evaluar la relación entre el porcentaje de humedad de las muestras de suelo y el número de golpes requerido para cerrar el surco hecho en la porción de suelo.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
27	<b>DISPOSITIVO DE LIMITE LIQUIDO</b> , operado a mano, con manivela lateral derecho. marca MATEST, modelo S170-05	3	Sirve para evaluar la relación entre el porcentaje de humedad de las muestras de suelo y el número de golpes requerido para cerrar el surco hecho en la porción de suelo.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
28	<b>MAZA PROCTOR ESTANDAR</b> , diámetro de la maza 50,8, altura de caída 304,8 mm, peso 2,495 Kg, peso marca MATEST, modelo S187	1	Se utiliza para compactar la muestra de suelo dentro del molde	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
29	<b>MAZA PROCTOR MODIFICADO</b> , diámetro de la maza 50,8, altura de caída 457,2 mm, peso 4,536 Kg, peso total 8 Kg. marca MATEST, modelo S188	1	Se utiliza para compactar la muestra de suelo dentro del molde	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
30	<b>RECOGEDORES DE ALUMINIO FONDO REDONDO</b> . marca MATEST, modelo V187-01	4	Sirve para tomar grandes porciones de suelo.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
31	<b>TOMA MUESTRAS</b> 73mm diám. x 66mm alt. marca MATEST, modelo S084 KIT	4	Sirve para tomar muestras de suelo inalterado o de rellenos compactados para evaluar la densidad de compactación de las muestras de la superficie del suelo.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
32	<b>SHEARTRONIC Maquina de corte totalmente automática</b> ; High Performance: Data acquisition/processing, pneumatic, fully automatic version. Marca MATEST, modelo S276 - 02NX	1	Se utiliza para determinar la resistencia al corte de muestras de suelo, tanto consolidado como drenado, no perturbada o remodelada.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
33	<b>FILTRO DE AIRE</b> marca MATEST, modelo S262-11	1	<b>Accesorio del Sheartronic.</b> Auto-drenante.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
34	<b>SOFTWARE SHEAR-LAB REPORTS</b> . Marca MATEST, modelo S277-41N	1	<b>Accesorio del Sheartronic.</b> Para control, adquisición, procesamiento y	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q

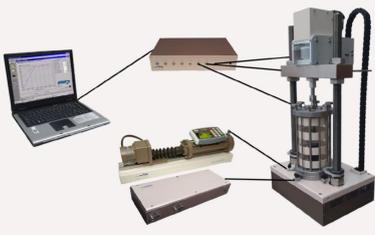
23	<b>CAPSULA DE EVAPORACION</b> , diámetro 120mm. marca MATEST, modelo V114-03	3	Se utiliza para calentar sustancias a altas temperaturas o poner sustancias calientes.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
24	<b>ESPATULA FLEXIBLE</b> , LONGITUD 100mm. marca MATEST, modelo V192	3	Se utiliza para tomar pequeñas cantidades de muestras de suelo.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
25	<b>BOTES DE LATA</b> , diámetro 55 x 36 mm. De aluminio, con tapa. marca MATEST, modelo V122	5	Sirven para colocar pequeñas cantidades de suelo y pesarlas o ponerlas en el horno.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
26	<b>DISPOSITIVO DE LIMITE LIQUIDO</b> , operado por motor, con ase dura de goma. marca MATEST, modelo S172	1	Sirve para evaluar la relación entre el porcentaje de humedad de las muestras de suelo y el número de golpes requerido para cerrar el surco hecho en la porción de suelo.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
27	<b>DISPOSITIVO DE LIMITE LIQUIDO</b> , operado a mano, con manivela lateral derecho. marca MATEST, modelo S170-05	3	Sirve para evaluar la relación entre el porcentaje de humedad de las muestras de suelo y el número de golpes requerido para cerrar el surco hecho en la porción de suelo.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
28	<b>MAZA PROCTOR ESTANDAR</b> , diámetro de la maza 50,8, altura de caída 304,8 mm, peso 2,495 Kg, peso marca MATEST, modelo S187	1	Se utiliza para compactar la muestra de suelo dentro del molde	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
29	<b>MAZA PROCTOR MODIFICADO</b> , diámetro de la maza 50,8, altura de caída 457,2 mm, peso 4,536 Kg, peso total 8 Kg. marca MATEST, modelo S188	1	Se utiliza para compactar la muestra de suelo dentro del molde	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
30	<b>RECOGEDORES DE ALUMINIO FONDO REDONDO</b> . marca MATEST, modelo V187-01	4	Sirve para tomar grandes porciones de suelo.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
31	<b>TOMA MUESTRAS</b> 73mm diám. x 66mm alt. marca MATEST, modelo S084 KIT	4	Sirve para tomar muestras de suelo inalterado o de rellenos compactados para evaluar la densidad de compactación de las muestras de la superficie del suelo.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
32	<b>SHEARTRONIC Maquina de corte totalmente automática</b> ; High Performance: Data acquisition/processing, pneumatic, fully automatic version. Marca MATEST, modelo S276 - 02NX	1	Se utiliza para determinar la resistencia al corte de muestras de suelo, tanto consolidado como drenado, no perturbada o remodelada.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
33	<b>FILTRO DE AIRE</b> marca MATEST, modelo S262-11	1	<b>Accesorio del Sheartronic.</b> Auto-drenante.	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q
34	<b>SOFTWARE SHEAR-LAB REPORTS</b> . Marca MATEST, modelo S277-41N	1	<b>Accesorio del Sheartronic.</b> Para control, adquisición, procesamiento y	Laboratorio de Mecánica de Suelos Edificio Hayek, H400Q

## D.3. Folletos de Equipos esenciales para la Investigación Científica

### D.3.1. Folleto del Triaxial Dinámico



World leaders in the manufacture of laboratory systems for soil & rock



**Enterprise Level Dynamic Triaxial Testing System (ELDYN)**

**Overview:** The GDS Enterprise Level Dynamic Triaxial Testing System (ELDYN) is a triaxial system, based on an axially-stiff load frame with a beam mounted electro-mechanical actuator. The ELDYN has been designed to fulfil the demand within the geotechnical laboratory testing industry for a lower cost, more basic dynamic triaxial testing system, yet still performs to the very advanced standards that customers expect from GDS.

For standards see website.

**Key Features:**

Electro-mechanical system:	
Cost savings, environmental benefits and safer operation:	

**Benefits to the User:**

The ELDYN system supersedes systems using pneumatic actuators in terms of life costs and overall usable performance. Electro-mechanical systems can carry out full load dynamic testing to the stated frequency. Pneumatic systems tend to reduce the available amplitude with load due to the amount of air that needs to be moved from one side of the actuator to the other.

Electro-mechanical systems are more environmentally friendly as they only draw the energy required to do the test, resulting in lower life costs. Electro-mechanical systems are also safer to run due to no high pressure air or hydraulic pipelines being required. No large noisy power packs are required to be running all the time, the ELDYN only requires a standard mains electricity outlet, this reduces the laboratory space required and the installation costs.

**Tests that can be Performed:**

Static and dynamic triaxial - consolidation undrained (CU), consolidation drained (CD), cyclic testing of samples under both strain and load control, slow cyclic testing, quasi-static (low speed/creep) tests, stress paths and user defined waveforms.

**Upgrade Options:**

Optional upgrade to user defined waveforms, upgrades from 5kN to 10kN, Bender element system (Vertical, Horizontal, S and P waves), hall effect local strain, LVDT local strain and unsaturated testing. Optional upgrade to Resilient Modulus with the addition of the RM software module only (specific range transducers may have to be purchased, depending on the RM standard). Note: the ELDYN by default is supplied with the capability of performing RM waveshapes for AASHTO, AS and AG standards.

**Technical Specification:**

<b>Actuators:</b>	Highly accurate dynamic electro-mechanical actuator
<b>Axial Displacement Encoder:</b>	Yes
<b>Axial Load:</b>	+/- 5 kN at 5Hz (upgradeable to +/-10kN)
<b>Computer Interface:</b>	USB
<b>Data Acquisition:</b>	16 Bit
<b>Load Range (kN):</b>	5 (optional 10)
<b>Operating Frequency (Hz):</b>	5 (optional 10)
<b>Pressure Range (MPa):</b>	1 standard (Up to 2)
<b>Sample Sizes (mm):</b>	Depends on cell chosen (38 to 150 standard)



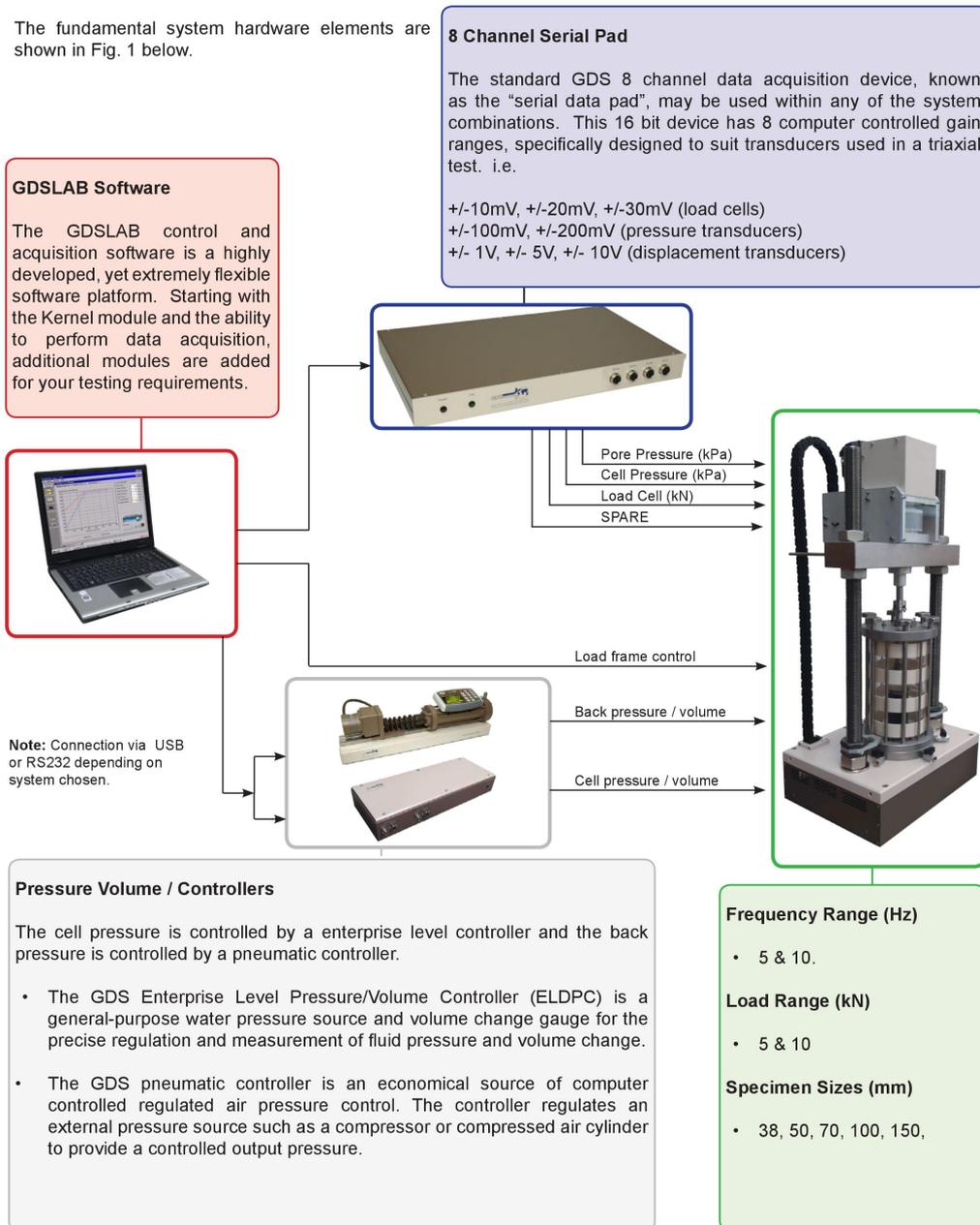
FIGURA D.16: Folleto del Triaxial Dinámico



World leaders in the manufacture of laboratory systems for soil & rock

### Systems Elements & Options

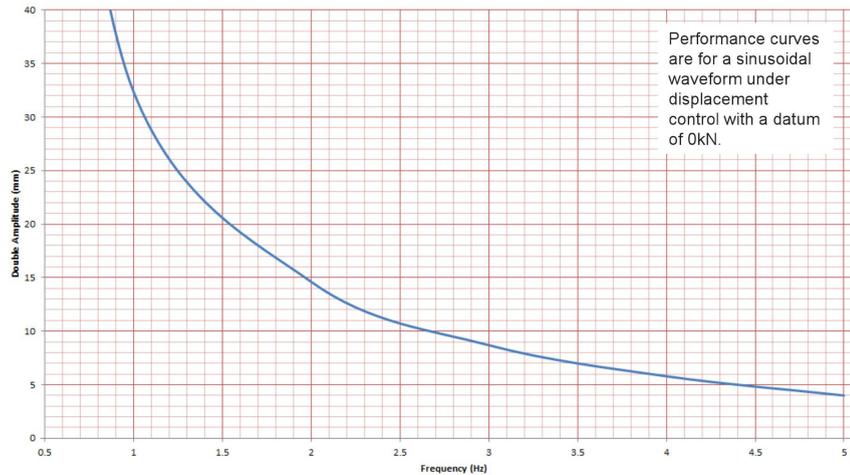
The fundamental system hardware elements are shown in Fig. 1 below.





World leaders in the manufacture of laboratory systems for soil & rock

Typical System Behaviour Showing Frequency & Amplitude for 5Hz / 10kN



Upgrade Options:

LVDT local strain and unsaturated testing, hall effects local strain & bender element system (Vertical, Horizontal, S and P waves).

Upgrade to Local Strain Measurement

Any DYNNTS system may be upgraded to perform Local Strain measurement using either Hall Effect or LVDT transducers. Both device types enable axial and radial deformation to be measured directly on the test specimen via lightweight aluminium holders. Hall Effect transducers may be used in water up to 1700kPa.

LVDT transducers come in 2 versions:

- Low pressure (up to 3500 kPa) version for use in water.
- High pressure (up to 200 MPa) version for use in nonconducting oil.



Fig 2. LVDT transducers as shown on sample.

Upgrade to Unsaturated Testing

Any DYNNTS system may be upgraded to perform unsaturated triaxial testing with the addition of the following items:

- Unsaturated pedestal with high air entry porous stone.
- 1000cc digital air Pressure/volume controller (ADVDP) for the application of pore air pressure and measurement of air volume change (see Fig. 3).
- Optional HKUST double cell (for more information on this please see the data sheet 'Unsaturated Triaxial Testing of Soil (UNSAT)).
- Optional double walled cell.



Fig 3. Advanced Pressure Controller used in Unsaturated Testing

For further information on unsaturated testing methods, please refer to the unsaturated datasheet.



World leaders in the manufacture of laboratory systems for soil & rock

**Upgrade to Bender Element Testing**

Any GDSTAS system may be upgraded to perform P and S wave bender element testing with the addition of the following items:

- Bender element pedestal with bender element insert.
- Bender element top-cap with bender element insert.
- High-speed data acquisition card.
- Signal conditioning unit which includes amplification of source and received signals (P and S-wave) with user controlled gain levels (via software).

**GDS Bender Element Analysis Tool:**

The subjectivity and lack of satisfactory standards for interpreting shear wave travel times across the industry from bender element test data, has led GDS to develop a bender elements analysis tool. The tool allows the rapid, automated analysis of bender element tests to objectively estimate the shear wave travel time. The analysis tool is available to download from GDS' website.

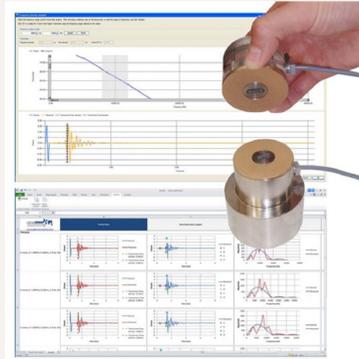


Fig. 4 Shows screenshots of the GDSBEAT software.

**GDSLAB Control Software**

GDSLAB is the control and data acquisition software for geotechnical laboratory applications. GDSLAB starts with a core application known as the kernel. The GDSLAB kernel allows for data acquisition from your hardware, but no test control. Simply add the appropriate module or modules to complete the test suite functionality you require. GDSLAB is compatible with all existing GDS equipment and furthermore key hardware from other manufacturers.

GDSLAB has the ability to be configured to your hardware of choice, no matter how unique the arrangement. A text file (\*.ini) or initialisation file is created that describes the hardware connectivity to the PC. The hardware layout is available in graphical format via the GDSLAB 'object display'. This makes setting up the devices and checking the connectivity extremely simple.

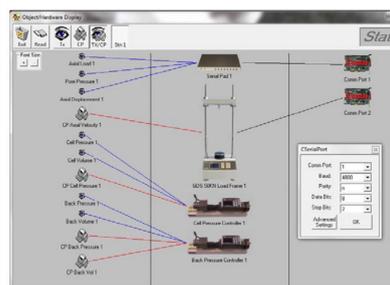


Fig. 5 Show a typical set-up screen in GDSLAB

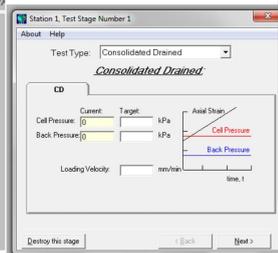


Fig. 6 Show a typical station test stage set-up in GDSLAB

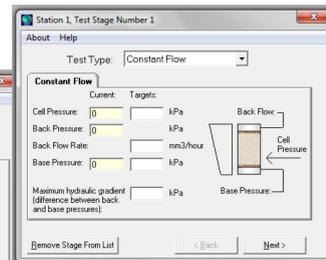


Fig. 7 Show a typical station test stage set-up in GDSLAB

Operating System: Windows XP SP3 or higher (We recommend that whichever version of Windows you are running, that it is up to date with the latest Service Pack). PC Spec Hardware: 1GHz (minimum) / 1GB Ram (minimum): CD Rom.



World leaders in the manufacture of laboratory systems for soil & rock

Why Buy GDS?

Technical Support:

GDS provide comprehensive on-site product training and installation. GDS understand the need for ongoing after sales support, so much so that they have their own dedicated customer support centre. The support centre allows the user to log queries, download helpsheets and get the latest information on product updates. The site is fully searchable and provides a great resource to customers.

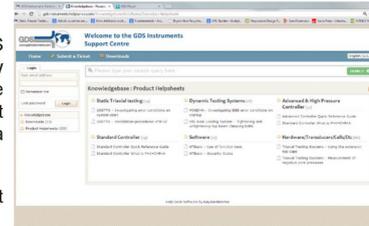


Fig 9. GDS online customer support centre.

Alongside their support centre GDS use a variety of additional support methods including...

- **Remote PC Support:** Remote PC support works by GDS providing a secure link to a customers PC, thereby allowing GDS to take control. Once in control of the PC, GDS can help with any problems associated to software, installation, testing etc.
- **Product Helpsheets:** The helpsheets are the GDS FAQ documents. They cover a multitude of hardware and software questions and are free to download from our online support centre.
- **YouTube Channel:** GDS YouTube channel holds both software and hardware video's aimed to give you better understanding of how the products work.
- **Email & Telephone Support:** If you prefer you can email requests to support@gdsinstruments.com where they will be automatically added to the support system and then allocated to a support engineer.

GDS Awarded Queens Award for Enterprise in International Trade:

GDS have been presented with the most prestigious corporate award made in the UK – The Queen's Award for Enterprise in the International Trade category. GDS are delighted to have won the award which has been given to GDS for increasing overseas trade by 190% over six years of continuous sustained growth, and for selling over 85% of their production overseas. GDS have achieved this through a combination of continuous product development, understanding customer's requirements and a company wide dedication to customer support.



Made in the UK:

All GDS products are designed, manufactured and assembled in the UK at our offices in Hook. Quality assurance is taken of all products before they are dispatched.

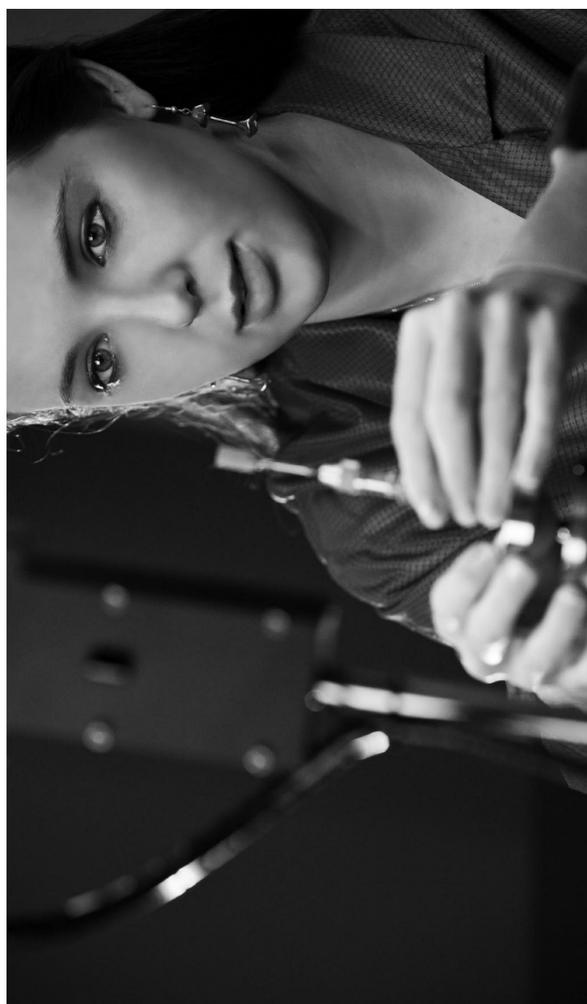


GDS are an ISO9001:2000 accredited company. The scope of this certificate applies to the approved quality administration systems relating to the "Manufacture of Laboratory and Field Testing Equipment".



Due to continued development, specifications may change without notice. See the GDS website for the full product range & to visit our Geotechnical Learning Zone.

D.3.2. Folleto del CT Escáner



**ZEISS Xradia 410 Versa**

Submicron X-ray Imaging: Bridge the Gap in Lab-based Microscopy

FIGURA D.17: Folleto del CT Escáner

## A Workhorse Solution for Your 3D Submicron Imaging

- > **In Brief**
- > The Advantages
- > The Applications
- > The System
- > Technology and Details
- > Service

Xradia 410 Versa bridges the gap between high-performing X-ray microscopes and less powerful, lower-cost computed tomography (CT) systems. Delivering non-destructive 3D imaging with industry best resolution, contrast, and *in situ* capabilities, Xradia 410 Versa enables you to achieve groundbreaking research for the widest range of sample sizes. Enhance imaging workflow with this powerful, cost-efficient "workhorse" solution, even in diverse lab environments.



## Simpler. More Intelligent. More Integrated.

- › In Brief
- › **The Advantages**
- › The Applications
- › The System
- › Technology and Details
- › Service

### Extend the Boundaries of Science

Xradia 410 Versa X-ray microscope delivers cost-efficient, flexible 3D imaging to enable you to address a wide range of samples and research environments. Non-destructive X-ray imaging preserves and extends the use of your valuable samples over time. The instrument achieves 0.9 µm true spatial resolution with minimum achievable voxel size of 100 nm. Advanced absorption and phase contrast (for soft or low-Z materials) offer you more versatility to overcome the limitations of traditional computed tomography approaches.

### Achieve Performance Beyond Micro-CT

Xradia Versa solutions extend scientific research beyond the limits of projection-based micro- and nano-CT systems. Where traditional tomography relies on a single stage of geometric magnification, Xradia 410 Versa features a unique two-stage process based on synchrotron-caliber optics. You will find it easy to use, with flexible contrast, while its breakthrough Resolution at a Distance (Raad) enables you to achieve unprecedented lab-based exploration for a diverse array of applications, sample types and sizes. And, multi-length scale capabilities enable you to image the same sample across a wide range of magnifications. Additionally, the Scout-and-Scan control system enables an efficient workflow environment with recipe-based set-up that makes Xradia 410 Versa easy for users with a wide variety of experience levels.

### Your Premier 4D / In Situ Solution

Non-destructive X-ray microscopes allow you to uniquely characterize the microstructure of materials in their native environments—in situ—as well as to understand the evolution of properties over time (4D). Raad capabilities enable you to maintain submicron resolution across a broad spectrum of sample dimensions in native environments and to use a wide range of *in situ* rigs. The Xradia Versa *In Situ* Kit makes set-up optimal and operation easy with a faster time to results.

## Your Insight into the Technology Behind It

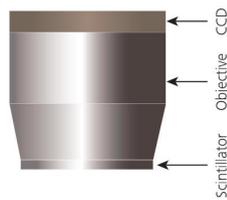
- » In Brief
- » **The Advantages**
- » The Applications
- » The System
- » Technology and Details
- » Service

Today's science requires three-dimensional insight into subjects in their native states and as they evolve over time. World-leading research facilities, universities, synchrotrons, national and private labs continue to deploy X-ray microscopy (XRM) to meet the growing need for flexible 3D/4D imaging at high resolution.

X-ray microscopy plays a vital role in your imaging workflow, delivering high resolution and contrast without destroying valuable samples for future use. Adding a non-destructive stage to the traditional workflow complements electron and optical techniques used in prominent labs worldwide, enabling you to quickly identify regions of interest for further study with destructive techniques.

Xradia Versa solutions employ sophisticated X-ray optics developed for synchrotrons and a unique system architecture. Along with superior resolution and contrast, Xradia Versa allow you to perform unique multi-length scale imaging using flexible working distances and workflow efficiencies for a diverse array of applications and samples.

XRM Detector Technology

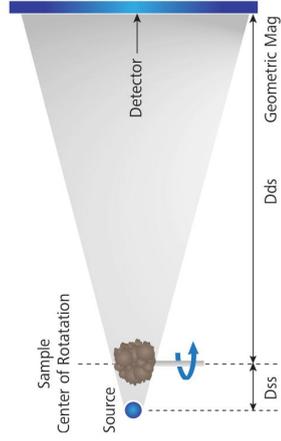


## Your Insight into the Technology Behind It

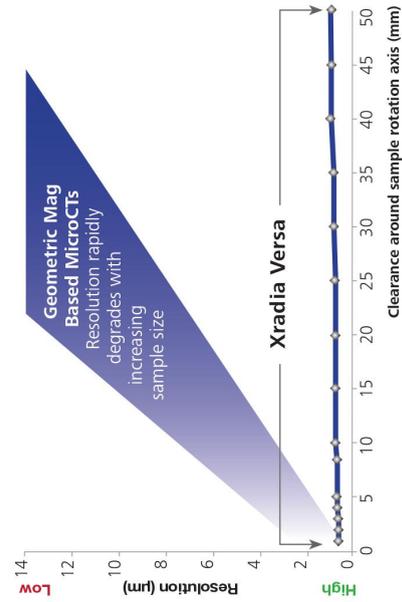
- > In Brief
- > **The Advantages**
- > The Applications
- > The System
- > Technology and Details
- > Service

### Architected for Advantage

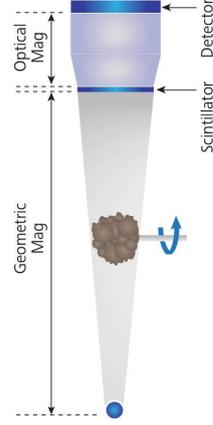
Xradia Versa architecture uses a two-stage magnification technique to enable you to uniquely achieve resolution at a distance (RaAD). Enlarge sample images through geometric magnification as with conventional micro-CT. In the second stage, a scintillator converts X-rays to visible light, which is then optically magnified. Reducing dependence upon geometric magnification enables Xradia Versa instruments to maintain submicron resolution at large working distances. This enables you to study the widest range of sample sizes effectively, including within *in situ* chambers.



Conventional Micro-CT Architecture



High resolution is maintained for large samples



ZEISS XRM Two-stage Magnification Architecture

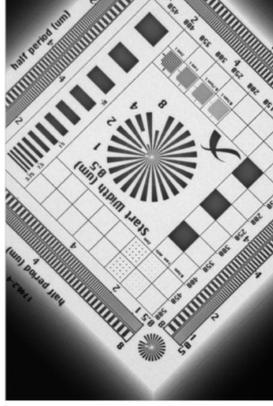
## Your Insight into the Technology Behind It

- > In Brief
- > **The Advantages**
- > The Applications
- > The System
- > Technology and Details
- > Service

### Achieving True Resolution

Xradia Versa solutions enable you to achieve powerful 3D X-ray imaging maintaining true submicron spatial resolution across varying distances, sample sizes, and environments. ZEISS XRM are specified on true spatial resolution, the most meaningful measurement of a microscope's performance.

Spatial resolution refers to the minimum separation at which you can resolve a feature pair with an imaging system. It is typically measured by imaging a standardized resolution target with progressively smaller line-space pairs. Spatial resolution accounts for critical characteristics such as X-ray source spot size, detector resolution, magnification geometry, and vibrational, electrical and thermal stability. Other terms such as "voxel," "spot size," "detail detectability," and "nominal resolution" do not provide you with an understanding of full system performance.



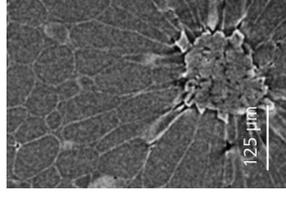
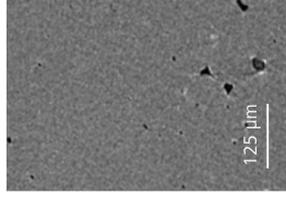
## Your Insight into the Technology Behind It

- › In Brief
- › **The Advantages**
- › The Applications
- › The System
- › Technology and Details
- › Service

### An Edge In Contrast

You require superior contrast capabilities to reveal details needed to visualize and quantify features. Xradia Versa deliver flexible, high contrast imaging for even your most challenging materials – low atomic number (low Z) materials, soft tissue, polymers, fossilized organisms encased in amber, and other materials of low contrast.

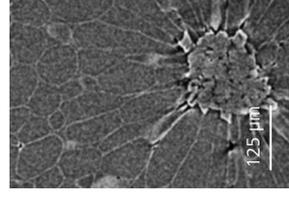
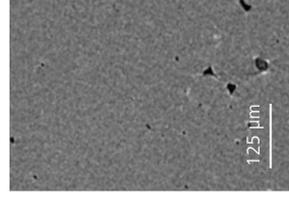
Our comprehensive approach employs proprietary Enhanced Absorption Contrast Detectors that achieve superior contrast by maximizing collection of low energy photons while minimizing collection of contrast-reducing high energy photons. In addition, Tunable Propagation Phase Contrast measures the refraction of X-ray photons at material transitions to allow you to visualize features displaying little or no contrast during absorption imaging.



*Pear imaged with absorption contrast – no visibility of cell walls (left), and pear imaged with phase contrast, showing details of cell walls in normal cells and stone cells (right).*

## Your Insight into the Technology Behind It

- › In Brief
- › **The Advantages**
- › The Applications
- › The System
- › Technology and Details
- › Service



*Pear imaged with absorption contrast – no visibility of cell walls (left), and pear imaged with phase contrast, showing details of cell walls in normal cells and stone cells (right).*

### An Edge In Contrast

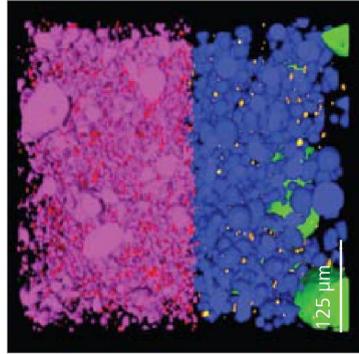
You require superior contrast capabilities to reveal details needed to visualize and quantify features. Xradia Versa deliver flexible, high contrast imaging for even your most challenging materials – low atomic number (low Z) materials, soft tissue, polymers, fossilized organisms encased in amber, and other materials of low contrast.

Our comprehensive approach employs proprietary Enhanced Absorption Contrast Detectors that achieve superior contrast by maximizing collection of low energy photons while minimizing collection of contrast-reducing high energy photons. In addition, Tunable Propagation Phase Contrast measures the refraction of X-ray photons at material transitions to allow you to visualize features displaying little or no contrast during absorption imaging.

## ZEISS Xradia 410 Versa at Work

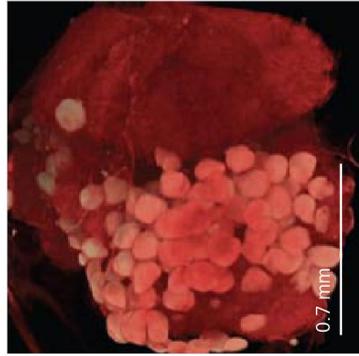
- › In Brief
- › The Advantages
- › **The Applications**
- › The System
- › Technology and Details
- › Service

### Materials Research



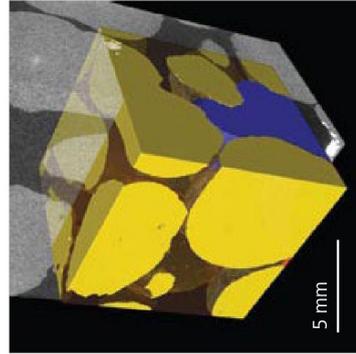
Composite material of polyurethane, EPDM, metal oxides and high melting explosive

### Life Sciences



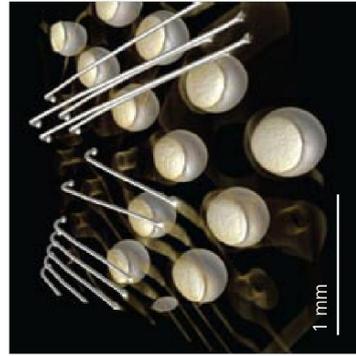
Murine breast tissue

### Natural Resources



Unstained water in Ottawa sand, imaged in a 12.5 mm diameter aluminum tube

### Electronics



Large flip chip (10x10x1 mm) imaged at high resolution



# Technical Specifications

- > In Brief
- > The Advantages
- > The Applications
- > The System
- > **Technology and Details**
- > Service

<b>Imaging</b>			
Spatial Resolution	0.9 µm		
Minimum Achievable Voxel* (Voxel size at sample at maximum magnification)	100 nm		
* Voxel (sometimes referred to as "nominal resolution" or "detail detectability") is a geometric term that contributes to but does not determine resolution, and is provided here only for comparison. ZEISS specifies on spatial resolution, the most meaningful measurement of instrument resolution.			
<b>X-ray Source Options</b>			
Tube Voltage Range	Standard	High Energy	High Power
Maximum Output	20-90 kV	40-150 kV	40-150 kV
Radiation Safety (measured 25 mm above surface of enclosure)	8 W	10 W	30 W
	< 1µS/hr		
<b>Detector System</b>			
ZEISS X-ray microscopes feature an innovative detector turret with multiple objectives at different magnifications. Each objective features optimized scintillators that deliver the highest absorption contrast details.			
Standard Objectives	0.4X, 4X, 10X, 20X		
Optional Objectives	40X		
<b>Stages</b>			
Sample Stage (load capacity)	15 kg		
Sample Stage Travel (x, y, z)	45, 100, 50 mm		
Stage Travel (rotation)	360°		
Source Travel (z)	350 mm		
Detector Travel (z)	290 mm		
Sample Size Limit	300 mm		
<b>Feature Comparison</b>			
Scout-and-Scan Control System	■	■	■
Automated Filter Changer	■		
High Aspect Ratio Tomography	■		
Dual Scan Contrast Visualizer	■		
Autoloader	Optional	Optional	Optional
Wide Field Mode	0.4X and 4X	0.4X	0.4X
GPU CUDA-based Reconstruction	Dual	Single	Single
In Situ Interface Kit	Optional	Optional	Optional
	<b>Xradia 520 Versa</b>	<b>Xradia 510 Versa</b>	<b>Xradia 410 Versa</b>

# Bibliografía

- [1] J. Diaz Rodriguez. *Mecánica de Suelos: Naturaleza y Propiedades*, volume 1. 2014.
- [2] E. Juárez and A. Rico. *Mecánica de Suelos I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos*, volume 1. 2005.
- [3] R. Osorio. *Mecánica de Suelos básica*. Number ISBN 958-69-6272-5. 2002.
- [4] J. Alva. Principales contribuciones de terzaghi, 1996. URL [www.cismid.uni.edu.pe/descargas/a\\_labgeo/labgeo31\\_a.pdf](http://www.cismid.uni.edu.pe/descargas/a_labgeo/labgeo31_a.pdf).
- [5] K. Terzaghi. *Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer grundlage*. 1925.
- [6] Deltares. About us, 2008. URL <https://www.deltares.nl/en/about-us/>.
- [7] El Telégrafo. El sector de la construcción creció el 5,5%. *El Telégrafo*, 2015.
- [8] USFQ. Noticias USFQ. [urlhttp://http://usfq.edu.ec/](http://http://usfq.edu.ec/), 2016.
- [9] E Montalar. Un vistazo al laboratorio de mecánica de suelos de karl terzaghi en 1935. [urlhttp://enriquemontalar.com/laboratorios-de-mecanica-de-suelos/](http://enriquemontalar.com/laboratorios-de-mecanica-de-suelos/), 2010.
- [10] E Montalar. Límites de atterberg, si, pero... ¿quién fue albert atterberg? [urlhttp://enriquemontalar.com/limites-de-atterberg/](http://enriquemontalar.com/limites-de-atterberg/), 2010.
- [11] E Montalar. Fernando carneiro y el ensayo brasileño, 68 años de tracción indirecta. [urlhttp://enriquemontalar.com/fernando-carneiro-y-el-ensayo-brasileno/](http://enriquemontalar.com/fernando-carneiro-y-el-ensayo-brasileno/), 2011.

- [12] F. Barends and P. Steijger. *Learned and Applied Soil Mechanics out of Delft*. 2002. URL [https://books.google.com.ec/books?id=OUf\\_4zDxRYYC&pg=PR3&lpg=PR3&dq=Frans+Barends+y+Paola+Steijger&source=bl&ots=hpl-rG0IcS&sig=egvDhmeb3qqUd5NjL-WLdw\\_X5pI&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwivrduHvubSAhUI4iYKHUYmBkYQ6AEIITAB#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=OUf_4zDxRYYC&pg=PR3&lpg=PR3&dq=Frans+Barends+y+Paola+Steijger&source=bl&ots=hpl-rG0IcS&sig=egvDhmeb3qqUd5NjL-WLdw_X5pI&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwivrduHvubSAhUI4iYKHUYmBkYQ6AEIITAB#v=onepage&q&f=false).
- [13] M Sanchez. Historia de la computación y la informática. [urlhttps://www.gestiopolis.com/historia-de-la-computacion-y-la-informatica/](https://www.gestiopolis.com/historia-de-la-computacion-y-la-informatica/), 2005.
- [14] Universidad Central del Ecuador. Información uce. [urlhttp://www.uce.edu.ec/](http://www.uce.edu.ec/), 2015.
- [15] Ketcham R. and Carlson W. Acquisition, optimization and interpretation of X-ray computed tomographic imagery: Applications to the geosciences. 27(Doi: 10.1016/S0098-3004(00)00116-3):381–400, May 2001.
- [16] Vlahinić, I., Andò, E., Viggiani, G. et al. *Granular Matter*. 16(Doi: 10.1007/s10035-013-0460-6):9–21, 2014.
- [17] Jerves, A.X., Kawamoto, R.Y., Andrade, J.E. *Granular Matter*. 19(Doi: 10.1007/s10035-017-0716-7), May 2017.