Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente

Departamento del Hábitat y Desarrollo Urbano

PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)

Sustentabilidad del hábitat

Programa de análisis del territorio: planeación, infraestructura y sustentabilidad

Coordinador: Juan Pablo Jiménez Gómez Loza

ITESO
Universidad Jesuita
de Guadalajara

Geotecnia aplicada a la mitigación de riesgos urbanos
Codigo PAP: 1C05

Líder del PAP:
M. en C. Pablo E. Zamudio Zavala

Profesores del PAP:
M. en I. Blanca R. Flores Maravel

Asesores del PAP:
M. en C. David Vargas del Río y M. en C. Gil H. Ochoa González

Alumnos:

Jahasiel Miguel Atondo Martínez	alumno de décimo semestre de Arquitectura
César Eduardo Zárate Rosales	alumno de décimo semestre de Ingeniería Civil
Carlos Topete Martín	alumno de noveno semestre de Ingeniería Civil
Diego González Castellanos	alumno de noveno semestre de Ingeniería Civil
Germán Cárdenas Artigas	alumno de octavo semestre de Ingeniería Civil
Julio Enrique Díaz Leal	alumno de décimo semestre de Ingeniería Civil
Aarón Zoe Mendoza Galán	alumno de décimo semestre de Ingeniería Civil
Emmanuel Josué García Leal	alumno de décimo semestre de Ingeniería Civil
Marcos Samuel Cobián Guerrero	alumno de octavo semestre de Ingeniería Civil

ÍNDICE

Los Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) del ITESO	4
Resumen ejecutivo (abstract)	5
Introducción	5
Capítulo I. Identificación del origen del proyecto, de la problemática y de los involucrados	7
1.1 Antecedentes del proyecto	7
1.2 Identificación del problema	8
1.3 Identificación de las organizaciones o actores que influyen o son beneficiarios del proyecto	8
Capítulo II. Marco teórico del proyecto	9
Capítulo III. Diseño de la propuesta de mejora	10
3.1 Objetivo del proyecto	10
3.2 Metodología	11
3.3 Plan de trabajo	12
Capítulo IV. Desarrollo de la propuesta	12
Capítulo V. Productos y resultados generados	13
5.1 Productos obtenidos	13
5.2 Resultados alcanzados	38
5.3 Impactos generados	59
Capítulo VI. Aprendizajes individuales y grupales	60
6.1 Aprendizajes profesionales. Competencias reforzadas. Conocimientos adquiridos	60
6.2 Aprendizajes sociales	62
6.3 Aprendizajes éticos	64

6.4 Aprendizajes en lo personal	66
Capítulo VII. Conclusiones y recomendaciones	68
7.1 Conclusiones	68
7.2 Recomendaciones	68
7.3 Conclusiones personales	69
Referencias Bibliográficas	73
Anexos	74

Los Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) del ITESO

Los Proyectos de Aplicación Profesional son una modalidad educativa del ITESO en la que los estudiantes aplican sus saberes y competencias socio-profesionales a través del desarrollo de un proyecto en un escenario real para plantear soluciones o resolver problemas del entorno.

A través del PAP los alumnos acrediten tanto su servicio social como su trabajo recepcional, por lo que requieren de acompañamiento y asesoría especializada para que sus actividades contribuyan de manera significativa al escenario en el que se desarrolla el proyecto, sus aprendizajes, reflexiones y aportes sean documentados en un reporte como el presente.

En las licenciaturas del ITESO se incluyen los Proyectos de Aplicación Profesional, como mediación educativa de la formación social y profesional de los estudiantes.

La formación social se entiende como un proceso con cuatro facetas:
a) conocimiento teórico profundo de las estructuras sociales.
b) desarrollo de la capacidad reflexiva y la sensibilidad mediante la interacción con problemáticas y grupos sociales a partir de casos concretos.
c) creación de conocimientos que permitan aportes sustantivos en beneficio de una sociedad más justa.
d) generación de prácticas socio-profesionales por parte de nuestros alumnos, entendidas como una intervención corresponsable que pretende incidir en las personas y grupos involucrados en el proceso en el que se participa.

Los Proyectos de Aplicación Profesional se orientan a formar para la vida a los estudiantes, en el ejercicio de una profesión socialmente pertinente. Este enfoque implica un aprendizaje centrado en los estudiantes y cuyo proceso, conforme al proyecto educativo del ITESO, demanda que sea:

1. Significativo, para que los aprendizajes incorporados abonen a una integración constructiva de pensamientos y acciones. Que posibiliten la apropiación de instrumentos y signos en su estructura de conocimiento de manera más permanente.

2. Situado, para que los estudiantes aprendan haciendo.
3. Reflexivo, para que los estudiantes produzcan explicaciones y procesos de comprensión sobre el objeto de estudio y sus contenidos, y al mismo tiempo, sepan dar cuenta de su propio proceso de aprendizaje.

4. Colaborativo, para que los estudiantes aprendan a hacer al lado de, y junto con, otros.

5. Transferible, para que los estudiantes desarrollen competencias aplicables para la vida.

Resumen ejecutivo (abstract)

En este semestre en particular el PAP Geotecnia Aplicada a la Mitigación de Riesgos, estuvo enfocado en demostrar que los suelos pumíticos que conforman la mayor parte de la zona metropolitana de Guadalajara presentan un comportamiento de falla al esfuerzo cortante muy particular, que requiere criterios de comportamiento mecánico diferentes a lo habitual (modelo Mohr-Coulomb, por ejemplo).

Adicionalmente se concentraron esfuerzos en obtener correlaciones de las propiedades físicas (como variables independientes de entrada) respecto de las propiedades mecánicas (como variables dependientes de salida), para los suelos típicos de la ZMG.

Mediante unos ejemplos prácticos y claros se pudo observar que tan confiables son las correlaciones propuestas, realizando una serie de pruebas de campo y de laboratorio a manera de comprobación de lo realizado en semestres anteriores y analizado en este mismo semestre.

This semester PAP, Risk Mitigation Geotechnics Applied was focused on demonstrating the pumice soils, make up most of the metropolitan area of Guadalajara, present behavior fails to very particular shear stress, which requires performance criteria mechanical different than usual (Mohr-Coulomb model, for example).

Efforts were concentrated on obtaining correlations of physical properties (as independent input variables) for the mechanical properties (as output dependent variables), for ZMG typical soils.

With a practical and clear examples could be observed how reliable are the proposed correlations, conducting a series of field and laboratory tests, way to check it was done in previous semesters and analyzed in this semester.

Introducción

Sabemos que la mecánica de suelos establece teorías sobre el comportamiento de los suelos sujetos a cargas, basadas en simplificaciones necesarias de acuerdo al estado de la técnica, así como también aporta diferentes formas para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos, para su aplicación a los problemas prácticos de ingeniería civil.

Los estudios y libros sobre mecánica de suelos utilizados en el medio laboral y académico son importados de otras latitudes y junto con ellos también se importan ecuaciones y formas de caracterización como , k, c entre otras propiedades físicas y mecánicas. Por lo que es una práctica común utilizar correlaciones para tener valores aproximados en diseños de cimentaciones, taludes, muros de contención etc., sin embargo, esta manera de globalizar al suelo nos lleva a no tomar en cuenta que las características de los suelos son cambiantes al moverse de una región a otra, incluso

dentro del mismo país. Es por ello que uno de los principales problemas que enfrentamos de forma rutinaria es la falta de una caracterización confiable de los suelos de nuestra región.

Ya se han realizado estudios previos efectuados por instituciones educativas locales a cargo de personas como el Dr. Saborío Ulloa (por ejemplo); sin embargo, de ninguno de ellos tenemos datos oficiales y aceptados por la "*comunidad de ingenieros y geotécnicos"*.

Así es como nuestro proyecto de investigación pretende obtener las propiedades mecánicas de los tipos de suelo más predominantes en la Zona Metropolitana de Guadalajara, utilizando en una frontera granulométrica una arena bien graduada con grava (SM)g, denominada localmente "jal" y en la otra frontera granulométrica una arena limosa franca (SM) denominada localmente "tepetate", con dos combinaciones intermedias 66% "jal" - 33% "tepetate" obteniendo una arena limosa con grava (SM)g, y 66% "tepetate" - 33% "jal" obteniendo otra arena limosa SM. Obteniendo la cohesión "c", el ángulo de fricción "", coeficiente de permeabilidad "k", el esfuerzo cortante máximo "T_{max}", entre otros parámetros mecánicos.

Lo anterior se realizó a través de un diseño de experimentos con distintas variables controladas para determinar los parámetros necesarios de entrada, logrando que el análisis de los resultados nos permitiera generar correlaciones para un diseño eficiente y ajustado a condiciones representativas de los suelos de la ZMG.
El material utilizado para realización de las pruebas se obtuvo de la obra en proceso denominada "TORRE MONSUR" ubicada en la Avenida López Mateos Sur # 4145 casi esquina Avenida La Calma en la colonia Pinar de la Calma, Zapopan, Jalisco. La (SW)g "jal" se obtuvo a los 12 m de profundidad y la SM "tepetate" se obtuvo a los 16 m de profundidad. Las cantidades extraídas de los materiales fueron aproximadamente 0,5 toneladas de cada uno.

Adicionalmente, en este semestre se realizaron:

- Modelos de falla al cortante en suelos pumíticos típicos de la ZMG
- Comprobación de los modelos de falla al cortante en suelos pumíticos mediante ensayes triaxiales
- Obtención de correlaciones entre propiedades mecánicas y propiedades índice en suelos pumíticos típicos de la ZMG
- Pruebas de campo y laboratorio para caracterización física de los suelos de 4 sitios de la ZMG
- Pruebas de laboratorio para caracterización mecánica de los suelos superficiales de 4 sitios de la ZMG
- Comparación

Capítulo I. IDENTIFICACIÓN DEL ORIGEN DEL PROYECTO Y DE LOS INVOLUCRADOS

1.1 Antecedentes del proyecto

> "La mayor parte de los depósitos superficiales en la cuenca y bajo el área urbana son de origen piroclásticos que en algunos casos han sido transportados y redepositados por el agua, así como gravas pumíticas, y se atribuyen al Cenozoico Superior. La pómez primaria es de textura filiforme o astillosa y tiene lustre, y la que ha sido transportada es de grano subredondeado y perdido algo de lustre. Se puede clasificar la pumíticas o piedra pómez como una roca ígnea extrusiva comprendida en el grupo de las rocas piroclásticas y es, así mismo, una espuma de vidrio con una gran cantidad de cavidades formadas por los gases al escaparse de un magma viscoso en proceso de enfriamiento rápido. Debido a que muchas de esas cavidades son tubos pequeños y serpenteantes, algunos de ellos sellados, la piedra pómez puede flotar en el agua por mucho tiempo." (Saborío, 1998).

La clasificación de un suelo proporciona un medio de denominación más seguro (libre de subjetividad de las descripciones geológicas) ya que se basa en pruebas simples, reproducibles y confiables que permite prever las principales propiedades mecánicas de los terrenos donde los términos, de manera universal, pueden ser reconocidos. De esta manera es como numéricamente se puede representar el suelo. La distribución granulométrica y la densidad de sólidos de un suelo determinan en gran manera el tipo de suelo con el que estamos trabajando.

En el caso de Guadalajara y en la zona conurbada hasta el bosque de la primavera tenemos un suelo muy específico con propiedades únicas al que llamamos suelo pumítico. La pumicita (también llamada piedra pómez o jal) es una roca ígnea volcánica vítrea, con baja densidad (flota en el agua), muy porosa y de color amarillo (con tendencias cafés), blanco y/ó gris. Este es un suelo contiene partículas de baja resistencia a la ruptura, es susceptible de fragmentación granular al imponerles una variación en los estados de esfuerzos sin embargo la fragmentación de este suelo conlleva a que los granos de tamaño mayor rellenen los vacíos de los granos de tamaño menor esto le permite al suelo tener mayor densidad al compactarse y por ende mayor capacidad de carga. De la misma manera el "tepetate" (arena limosa) es un material con características similares a la pumita sin embargo en tamaños más pequeños volviéndolo aún más resistente con capacidades de carga confiables para cualquier construcción.

Algunos estudios como los realizados por el Instituto de Investigaciones para la Ingeniería A.C., universidades y laboratorios privados muestran que las pruebas de laboratorio estandarizadas para determinar las propiedades mecánicas no son aplicables a los suelos pumíticos por los que se pretende realizar un diseño experimental riguroso que permita generar una base técnica aplicable a

Guadalajara relacionando el ángulo de fricción y la cohesión con la masa volumétrica, el contenido de humedad y la granulometría del suelo.

El PAP de "Geotecnia aplicada a la mitigación de riesgos urbanos" busca demostrar que la caracterización de suelos en la zona metropolitana de Guadalajara debe basarse en una ante solicitación de cargas con respuestas (ángulo de fricción y cohesión) diferentes a las que se usa en la actualidad. Debido a que el origen y la composición granulométrica de los suelos de la ciudad contiene materiales como el "Jal, una mezcla de arenas limosas que denominamos tepetate.

En otoño 2015 dio inicio el proyecto geotécnico de caracterización con muestras obtenidas de un terreno ubicado en la intersección de las avenidas López Mateos y Patria el cual contenía grandes concentraciones de Jal y tepetate (dichas muestras fueron posibles de recolectar gracias a que en ese terreno se construye un edificio con una cimentación profunda). Para completar el marco teórico este semestre primavera 2016 se decidió acudir a distintos terrenos del sur de la ciudad para realizar pruebas de penetración estándar (SPT) y calas en el suelo que fueron de 30 a 100 cm de profundidad. El grupo compuesto por dos equipos; el primero de seis personas en campo y el segundo de tres personas en laboratorio, los cuales realizaron pruebas a la par durante tres meses en 4 diferentes localidades de la zona sur de Guadalajara y finalizando todo el grupo con pruebas de laboratorio para concluir.

1.2 Identificación del problema

Comprobaremos que la tipología de suelos de Guadalajara demuestra un comportamiento mecánicamente diferente al de otras zonas del país, ya que poseen una resistencia diferente y bajo esa primicia se deben calcular para mitigar las demasías de los cálculos de cimentaciones en la actualidad.

1.3 Identificación de las organizaciones o actores que influyen o son beneficiarios del proyecto

Este PAP (Programa de Aplicación Profesional) es parte de un programa del ITESO denominado Programa de análisis del territorio: planeación, infraestructura y sustentabilidad, Coordinado por el M. Juan Pablo Jiménez Gómez Loza. Mismo que pertenece al ITESO A.C. en su totalidad y en el cual participan otros 4 PAP los cuales tienen la autorización de hacer alianzas con instancias públicas y/o privadas para conseguir sus objetivos. Nuestro proyecto está dedicado, a obtener la caracterización de los suelos en la zona metropolitana de Guadalajara (ZMG).

El proyecto se organizó a partir de dos profesores PAP Pablo Zamudio en laboratorio y Blanca Flores Maravel en campo y laboratorio que buscan mitigar junto con los alumnos el riesgo urbano en cuanto a cálculos de cimentaciones basados en el comportamiento mecánico de las partículas del suelo en Guadalajara.

Proyecto de investigación que aportará a quienes desarrollan políticas públicas y realizan planes de desarrollo urbano.

Aplica al 90% de la Zona Metropolitana de Guadalajara, en específico a toda aquella parte cubierta por suelos pumíticos como lo son el jal, la arena amarilla y el tepetate.
Destinatarios finales: Ingenieros Civiles y Arquitectos, que conocerán la caracterización geotécnica de la ZMG.

Destinatarios directos: Protección Civil, Obras Públicas, Ayuntamientos de la ZMG. Empresas de geotecnia a través de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica

Organizaciones aliadas: Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica. Protección Civil, Obras Públicas, Ayuntamientos de la ZMG.

Capítulo II. MARCO TEÓRICO DEL PROYECTO

La mecánica de suelos/rocas fue desarrollada y practicada por muchos años por ingenieros y geólogos, generalmente aplicada a la industria minera y petrolera; fue reconocida como parte de Ingeniería Civil hasta 1960 y como Ingeniería Geotécnica en 1974. En estos tiempos este término incluye la mecánica de suelos, ingeniería de cimentaciones y mecánica de rocas y una fuerte relación con la geología aplicada a la construcción.

Respecto de la situación geográfica, él proyecto está ubicado en el Estado de Jalisco donde se localiza en la zona occidente de la República Mexicana. Se encuentra limitado al norte por los Estados de Zacatecas, Aguascalientes; al noroeste con Nayarit; al noreste con Guanajuato y San Luis Potosí; al sur con Colima; al sureste con Michoacán y al suroeste con el Océano Pacífico. Tiene una extensión territorial de 80.137 km², lo que representa el 4,09% de la superficie total de México

El inicio del proyecto inicia como todos los estudios o análisis estadísticos de encontrar la función que describa la variabilidad espacial de las propiedades del subsuelo. Es necesario conocer las propiedades del suelo y rocas, así como, las pruebas que se le realizan para obtener sus características mecánicas para poder recibir cierta carga en algún momento y poder modelar su comportamiento una vez aplicada ya que estos suelos pueden presentar muchas discontinuidades y anisotropías.

Con la geoestadística se puede analizar y predecir su propiedad geotécnica distribuida en el espacio, en nuestro caso realizamos varias pruebas en campo y laboratorio, una de ellas que realizamos en campo es el Ensayo de Penetración Estándar (SPT); relacionamos valores unos con otros dependiendo la zona de donde realizamos los ensayos, buscando generalmente arenas para poder hacer un análisis adecuado para la zona de Jalisco que es nuestro campo de estudio.

El SPT consiste en alzar un martillo manualmente, la masa de 63.6 kg se alza por un tubo guía por lo que supone dar la altura correcta y entonces se suelta en caída libre. Las inconsistencias pueden ocurrir si el perforador es descuidado al momento de alzar el peso.

Las limitaciones de los estudios se generaron por la cantidad de los datos recopilados y el tiempo. Los datos con los que se realizó esta investigación fueron obtenidos por estudios de mecánica de suelos desde el semestre pasado junto con este, con el fin de obtener correlaciones con los suelos logrados para poder desarrollar una fórmula con en base las propiedades físicas del suelo (forma, humedad, tamaño, etc…) no solo con sus propiedades mecánicas.

Algunas correlaciones y aplicaciones del SPT dadas por Stroud (1989) en donde se pueden obtener parámetros del suelo y rocas blandas utilizando los resultados del SPT, anexas en la tabla N°1.4.

Parámetro y condiciones del suelo	Referencia
Ángulo de fricción efectiva en arena	Peck *et al* (1974) Mitchell *et al* (1978)
Rigidez en arena	Stroud (1989)
Gmax de arena	Crespellani y Vannucchi (1991)
Resistencia no drenada de arcilla	Stroud (1974)
Coeficiente de compresibilidad (m_c)	Stroud y Butler (1975)
Módulo de Young drenado de arcilla	Stroud (1989)
Resistencia a la compresión no confinada de rocas blandas	Stroud (1989)
Compresibilidad de chalk masiva fracturada	Stroud (1989)

Tabla 1. Correlaciones recomendadas entre la resistencia a la penetración del SPT y los parámetros de suelos y rocas blandas (Clayton et al. 1990)

El ensayo más comúnmente usado es el de Terzaghi, donde existen correlaciones en las cuales se hizo simple la aplicación y práctica, adecuado a muchos tipos de suelo y rocas blandas, excepto en gravas. Es recomendado para las investigaciones superficiales; el ensayo provee un índice alto en resistencia y compresibilidad del sitio del ensayo, pudiendo generar errores en la evaluación del comportamiento de las propiedades para el diseño.

Algunas de las contribuciones más importantes son: el principio de los esfuerzos efectivos, la teoría de consolidación y el concepto de módulo de reacción de subrasante. Desarrollo criterios de diseño para el soporte de túneles en roca en base a una evaluación empírica de la calidad de la roca.

Capítulo III. DISEÑO DE LA PROPUESTA DE MEJORA

3.1 Objetivo del proyecto

1) Proponer una forma de análisis diferenciado de los suelos típicos de la ZMG, para utilizar esos nuevos modelos del comportamiento mecánico en el diseño.

2) Obtener las propiedades físicas y mecánicas de los suelos de Guadalajara, que permitan calcular su vulnerabilidad. y la de la infraestructura de la ZMG. De igual forma calcular la vulnerabilidad social ante los fenómenos perturbadores.

3) Conocer los fenómenos perturbadores geológicos y meteorológicos, con la finalidad de evaluar el potencial, peligro o amenaza de cada uno de ellos y su influencia en la ZMG.

4) Crear un Sistema de Información Geográfica para estimar el Riesgo que provocan los fenómenos perturbadores geológicos y meteorológicos

3.2 Metodología

1) Llevar a cabo pruebas físicas y mecánicas de los suelos, como son pruebas de corte directo y triaxiales, analizar los resultados para proponer los modelos matemáticos que expliquen las ecuaciones de falla al cortante de suelos pumíticos típicos de la ZMG.

2) Proponer una serie de correlaciones que permitan obtener de forma confiable las propiedades mecánicas de los suelos a partir de las propiedades físicas de los mismos, que se encuentran informadas en cualquier estudio de mecánica de suelos.

3) Recopilar estudios de mecánica de suelos.

4) Generar mapas temáticos de las propiedades físico-mecánicas de la ZMG (vulnerabilidad física).

5) Establecer la vulnerabilidad social en la ZMG, una propuesta es mediante la ecuación:
Vs = (Rezago Social * 0.50) + (Capacidad respuesta * 0.25) + (Percepción local * 0.25)

6) Estudiar y conocer los fenómenos perturbadores geológicos identificando dónde, cuándo y cómo afectan a la ZMG. Llegando a establecer distintos niveles de detalle de las características actuales del riesgo, entendiéndolo como el producto del peligro (agente perturbador), la vulnerabilidad física y la vulnerabilidad social. Estableciendo un sistema de información geográfica (SIG).

Para ello se tomarán en cuenta:
Las Bases para la Estandarización en la Elaboración de Atlas de Riesgos y Catálogo de Datos Geográficos para Representar el Riesgo 2013, de la SEDATUM.

La ecuación para la evaluación del riesgo empleada es la siguiente:

$$R = (P)\ (Vf)\ (Vs)$$

Donde:
R = Indicador del riesgo
P = Intensidad del peligro, amenaza o potencial
Vf = Valor asignado según condición de vulnerabilidad física
Vs = Valor asignado según condición de vulnerabilidad social

3.3 Plan de trabajo

Los puntos 1 y 2 anteriores se llevaron a cabo en los semestres:

- Primavera 2015
- Otoño 2015
- Primavera 2016

Los puntos 3 al 6 anteriores se llevarán a cabo en los semestres:

- Otoño 2016
- Primavera 2017

Capítulo IV. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

Todos los integrantes del PAP contribuimos de alguna forma al análisis de las muestras de suelo. Para analizarlo, se realizaron distintas pruebas de laboratorio para determinar las características físicas y mecánicas del suelo, dividiéndolo en estratos de distinto espesor para su muestreo.

Entre las propiedades que se determinaron en el laboratorio se encuentran: granulometría, contenido de humedad, densidad relativa de los sólidos y la masa volumétrica seca suelta. Una vez que contamos con estos datos, y con la densidad que se obtuvo en campo, pudimos generar una base de datos de una gran cantidad de propiedades del suelo, las cuales pueden determinarse a partir de fórmulas basadas en los resultados obtenidos en el laboratorio, conocidas como relaciones volumétricas y gravimétricas.

Gracias a estas relaciones, se determinaron varias propiedades del suelo, como son el grado de saturación (*S*), pesos específicos en general, masa y peso específico seco (ρ_d, γ_d), compacidad relativa (C_r), porosidad (*n*) y diámetro 10 (D_{10}).

A partir de estos datos se elaboraron y compararon ecuaciones para determinar propiedades del suelo a partir de un simple ensayo SPT.

Se creó también una gráfica de comparación de todas las curvas granulométricas de las muestras de suelo, de forma que pueda apreciarse fácilmente una descripción básica simultánea de las

muestras, además de agregar curvas granulométricas de los rangos en los que normalmente se encuentran suelos como Jal, Jal-Tepe, Tepe-Jal y Tepetate, comparándolos así con las muestras obtenidas durante el semestre.

Las actividades a realizar fueron:

- Pruebas en campo
    - Ensayo de penetración estándar (SPT)
    - Obtención de densidades por medio de calas
- Pruebas de laboratorio
    - Granulometria
    - Triaxial
    - Corte Directo
    - Contenido de agua

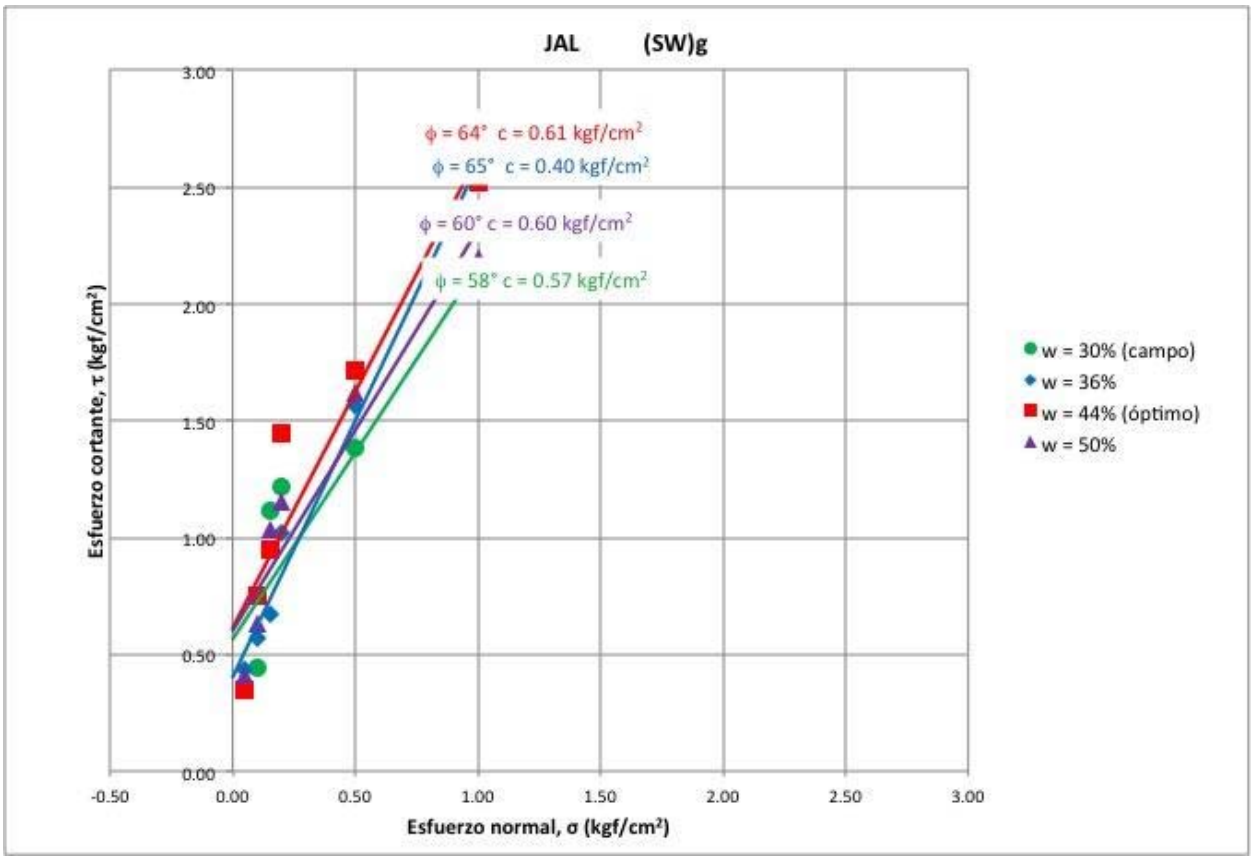
Capítulo V. PRODUCTOS Y RESULTADOS GENERADOS

Realizamos estudios en diferentes terrenos para obtener ciertos datos y muestras de suelo, para en un futuro poder analizarlos en laboratorio y obtener los resultados, que en este caso los resultados que obtuvimos del material recabado nos sirvió para poder hacer una comparación de los diferentes suelos y aplicarlo en la fórmula que desarrollamos para obtener ciertos valores en respuesta de los tipos de suelo.
La experiencia creo que fue muy buena, dado a que hubo un buen control de lo que se hacía en laboratorio, junto con lo que se realizaba en campo; así pudimos juntar todo el trabajo del equipo para llegar a un fin que fue la obtención de las fórmulas y correlaciones.

5.1 Productos obtenidos

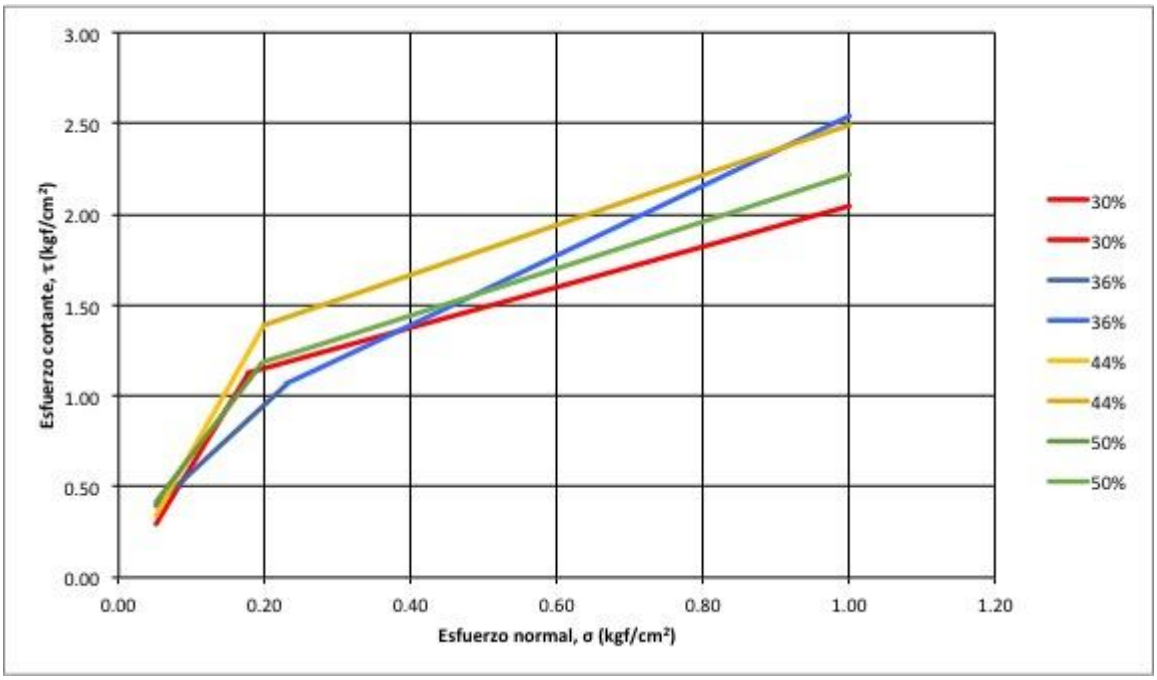
5.1.1 Modelos de falla al cortante en suelos pumíticos típicos de la Zona Metropolitana de Guadalajara

Para la determinación de los modelos de falla se identificaron los datos obtenidos de las pruebas de corte directo realizadas en semestres pasados por medio de contenido de finos identificando 4 tipos diferentes de suelos; el primer tipo de suelo se identificó como (SW)g arena bien graduada con grava (jal) por el menor contenido de finos (solo un 5%) y se realizaron pruebas con 4 tipos diferentes de contenido de agua (30, 36, 44 y 50%) obteniendo los siguientes datos de su prueba de corte directo:



Gráfica 1 - Corte directo Jal Otoño 2015

Con base en estos datos se determinaron ecuaciones de falla, obteniendo ángulos de fricción y cohesión de los suelos comprobando lo anterior con los datos de las pruebas triaxiales del laboratorio. Aquí se puede observar las ecuaciones determinadas con base en estos datos que se analizaron y los valores de los ángulos de fricción y cohesión para este tipo de suelo:



Gráfica 2 - Ecuaciones para suelo tipo "Jal"

Como podemos ver en la gráfica, se optó por definir 2 ecuaciones para la mejor relación de resultados, haciendo que estas ecuaciones fueran de tipo "Bilineal" utilizando un punto de inflexión diferente para cada uno de los diferentes contenidos de humedad.

Para suelos tipo (SW)g arena bien graduada con grava (jal) con un 30% de contenido de agua se utilizarán las siguientes ecuaciones para la obtención de un cortante máximo $\tau_{(max)}$:

Si $\sigma < 0.178$ kgf/cm^2

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

Donde:
ϕ: ángulo de fricción interna del suelo con valor de 81°
σ: esfuerzo máximo normal del suelo (kgf/cm^2)
τ: cortante máximo del suelo

Si $\sigma \geq 0.178$ kgf/cm^2

$$\tau(\max) = 0.92 + \tan(\phi)\sigma$$

Donde:
ϕ: ángulo de fricción interna del suelo con valor de 48°
σ: esfuerzo máximo normal del suelo (kgf/cm^2)
τ: cortante máximo del suelo

Para suelos tipo (SW)g arena bien graduada con grava (jal) con un 36% de contenido de agua se utilizarán las siguientes ecuaciones para la obtención de un cortante máximo $\tau_{(max)}$:

Si $\sigma < 0.230$ kgf/cm^2

$$\tau(\max) = 0.20 + \tan(\phi)\sigma$$

Donde:
ϕ: ángulo de fricción interna del suelo con valor de 75°
σ: esfuerzo máximo normal del suelo (kgf/cm^2)
τ: cortante máximo del suelo

Si $\sigma \geq 0.230$ kgf/cm^2

$$\tau(\max) = 0.62 + \tan(\phi)\sigma$$

Donde:
ϕ: ángulo de fricción interna del suelo con valor de 62°
σ: esfuerzo máximo normal del suelo (kgf/cm^2)
τ: cortante máximo del suelo

Para suelos tipo (SW)g arena bien graduada con grava (jal) con un 44% de contenido de agua se utilizarán las siguientes ecuaciones para la obtención de un cortante máximo $\tau_{(max)}$:

Si $\sigma < 0.200$ kgf/cm^2

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

Donde:
ϕ: ángulo de fricción interna del suelo con valor de 82°
σ: esfuerzo máximo normal del suelo (kgf/cm^2)
τ: cortante máximo del suelo

Si $\sigma \geq 0.200$ kgf/cm^2

$$\tau(\max) = 1.12 + \tan(\phi)\sigma$$

Donde:
ϕ: ángulo de fricción interna del suelo con valor de 54°
σ: esfuerzo máximo normal del suelo (kgf/cm^2)
τ: cortante máximo del suelo

Para suelos tipo (SW)g arena bien graduada con grava (jal) con un 50% de contenido de agua se utilizarán las siguientes ecuaciones para la obtención de un cortante máximo $\tau_{(max)}$:

Si $\sigma < 0.196$ kgf/cm^2

$$\tau(\max) = 0.15 + \tan(\phi)\sigma$$

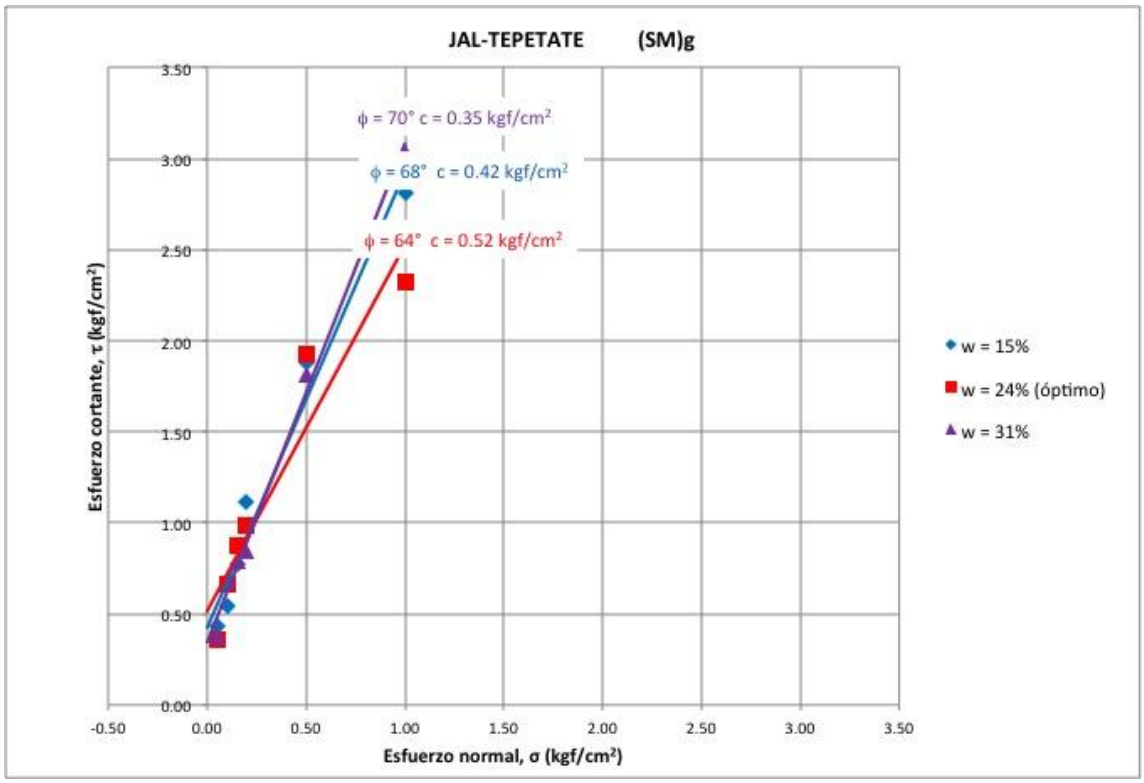
Donde:
ϕ: ángulo de fricción interna del suelo con valor de 79°
σ: esfuerzo máximo normal del suelo (kgf/cm^2)
τ: cortante máximo del suelo

Si $\sigma \geq 0.196$ kgf/cm^2

$$\tau(\max) = 0.93 + \tan(\phi)\sigma$$

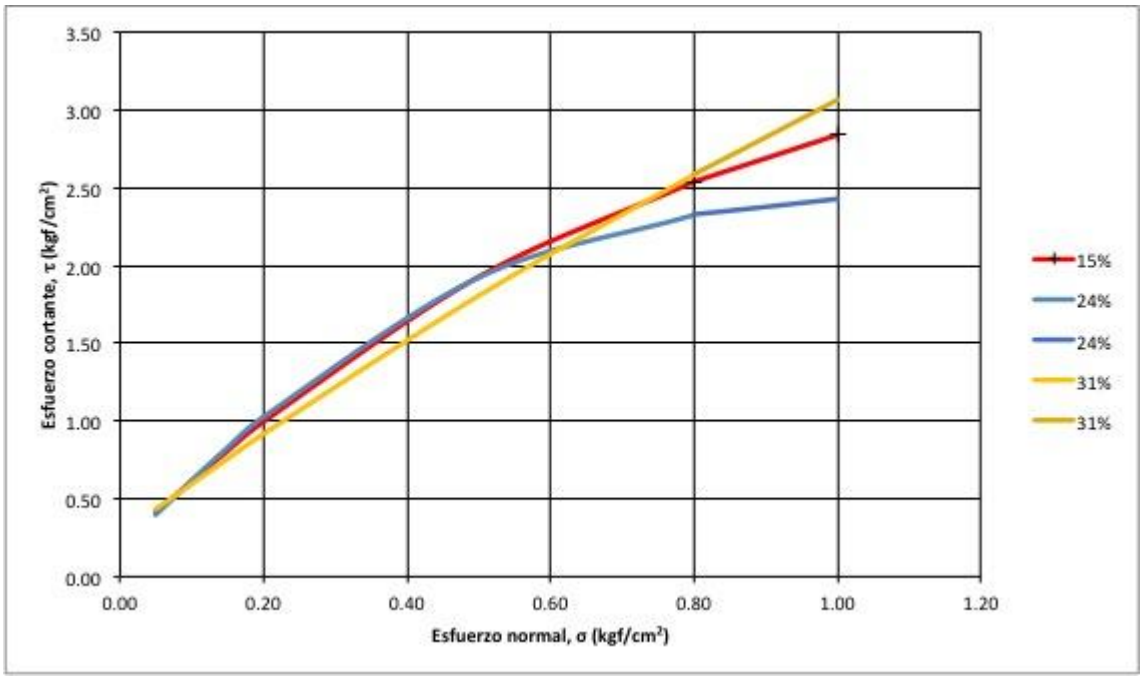
Donde:
ϕ: ángulo de fricción interna del suelo con valor de 52°
σ: esfuerzo máximo normal del suelo (kgf/cm^2)
τ: cortante máximo del suelo

El segundo tipo de suelo se identificó como (SM)g arena limosa con grava (jaltepe) el cual se identifica por su composición de dos terceras partes de "jal" y una tercera parte de "tepetate" y se realizaron pruebas con 3 tipos diferentes de contenido de agua (15, 24 y 31%) obteniendo los siguientes datos de su prueba de corte directo:



Gráfica 3 - Corte directo Jal-Tepetate Otoño 2015

Con base en estos datos se determinaron ecuaciones de falla, obteniendo ángulos de fricción y cohesión de los suelos comprobando lo anterior con los datos de las pruebas triaxiales del laboratorio. Aquí se puede observar las ecuaciones determinadas con base en estos datos que se analizaron y los valores de los ángulos de fricción y cohesión para este tipo de suelo:



Gráfica 4 - Ecuaciones para suelo tipo "Jal-Tepetate"

Este tipo de suelo, no se identificó, como tipo "bilineal" puesto que para la representación de los datos se adecua mejor una curva de segundo grado y a partir del punto de inflexión de 0.8 kgf/cm^2 se puede trazar una recta que representa los datos de las pruebas triaxiales.

Para suelos tipo (SM)g arena limosa con grava (jaltepe) con un 15% de contenido de agua se utilizarán las siguientes ecuaciones para la obtención de un cortante máximo $\tau_{(max)}$:

Si $\sigma < 0.800$ kgf/cm^2

$$\tau(\max) = 0.20 - 1.77\sigma^2 + \tan(\phi)\sigma$$

Donde:

ϕ: ángulo de fricción interna del suelo con valor de 77°

σ: esfuerzo máximo normal del suelo (kgf/cm^2)

τ: cortante máximo del suelo

Si $\sigma \geq 0.800$ kgf/cm^2

$$\tau(\max) = 1.34 + \tan(\phi)\sigma$$

Donde:
ϕ: ángulo de fricción interna del suelo con valor de 56°
σ: esfuerzo máximo normal del suelo (kgf/cm^2)
τ: cortante máximo del suelo

Para suelos tipo (SM)g arena limosa con grava (jaltepe) con un 24% de contenido de agua se utilizarán las siguientes ecuaciones para la obtención de un cortante máximo $\tau_{(max)}$:

Si $\sigma < 0.800$ kgf/cm^2

$$\tau(\max) = 0.16 - 2.74\sigma^2 + \tan(\phi)\sigma$$

Donde:
ϕ: ángulo de fricción interna del suelo con valor de 78°
σ: esfuerzo máximo normal del suelo (kgf/cm^2)
τ: cortante máximo del suelo

Si $\sigma \geq 0.800$ kgf/cm^2

$$\tau(\max) = 1.91 + \tan(\phi)\sigma$$

Donde:
ϕ: ángulo de fricción interna del suelo con valor de 27°
σ: esfuerzo máximo normal del suelo (kgf/cm^2)
τ: cortante máximo del suelo

Para suelos tipo (SM)g arena limosa con grava (jaltepe) con un 31% de contenido de agua se utilizarán las siguientes ecuaciones para la obtención de un cortante máximo $\tau_{(max)}$:

Si $\sigma < 0.800$ kgf/cm^2

$$\tau(\max) = 0.26 - 0.62\sigma^2 + \tan(\phi)\sigma$$

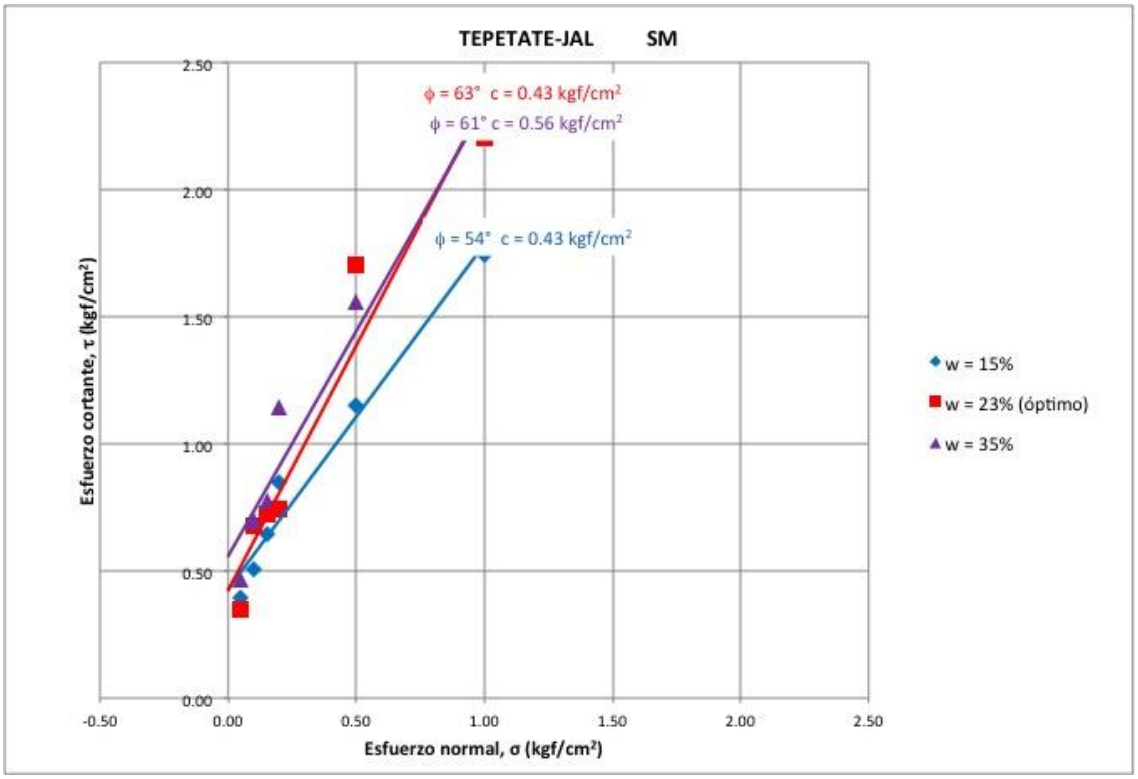
Donde:
ϕ: ángulo de fricción interna del suelo con valor de 74°
σ: esfuerzo máximo normal del suelo (kgf/cm^2)
τ: cortante máximo del suelo

Si $\sigma \geq 0.800$ kgf/cm^2

$$\tau(\max) = 0.66 + \tan(\phi)\sigma$$

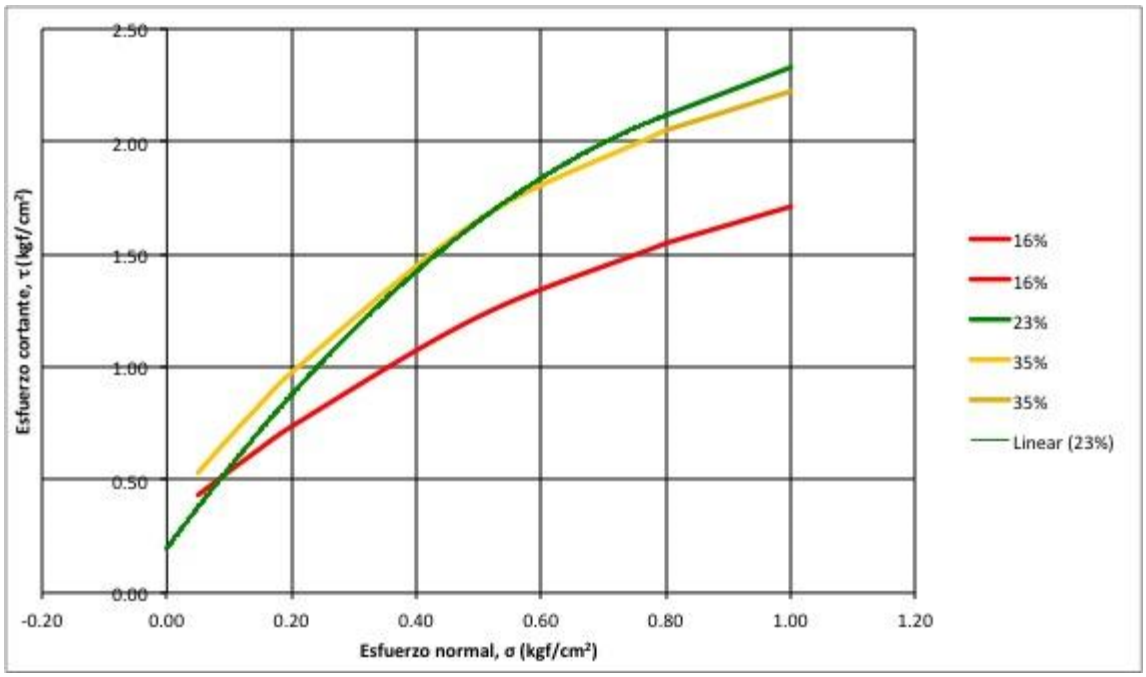
Donde:
ϕ: ángulo de fricción interna del suelo con valor de 67°
σ: esfuerzo máximo normal del suelo (kgf/cm^2)
τ: cortante máximo del suelo

El tercer tipo de suelo se identificó como SM arena limosa (tepejal) el cual se identifica por su composición de dos terceras partes de “tepetate” y una tercera parte de “jal” y se realizaron pruebas con 3 tipos diferentes de contenido de agua (16, 23 y 35%) obteniendo los siguientes datos de su prueba de corte directo:



Gráfica 5 - Corte directo Tepetate-Jal Otoño 2015

Con base en estos datos se determinaron ecuaciones de falla, obteniendo ángulos de fricción y cohesión de los suelos comprobando lo anterior con los datos de las pruebas triaxiales del laboratorio. Aquí se puede observar las ecuaciones determinadas con base en estos datos que se analizaron y los valores de los ángulos de fricción y cohesión para este tipo de suelo:



Gráfica 6 - Ecuaciones para suelo tipo "Tepetate-Jal"

Este tipo de suelo se representó, con una curva de segundo grado y a partir del punto de inflexión de 0.8 kgf/cm^2 se puede trazar una recta que se acomoda mejor a los datos de las pruebas triaxiales.

Para suelos tipo SM arena limosa (tepejal) con un 16% de contenido de agua se utilizarán las siguientes ecuaciones para la obtención de un cortante máximo $\tau_{(max)}$:

Si $\sigma < 0.800$ kgf/cm^2

$$\tau(\max) = 0.32 - 0.90\sigma^2 + \tan(\phi)\sigma$$

Donde:
ϕ: ángulo de fricción interna del suelo con valor de 66°
σ: esfuerzo máximo normal del suelo (kgf/cm^2)
τ: cortante máximo del suelo

Si $\sigma \geq 0.800$ kgf/cm^2

$$\tau(\max) = 0.90 + \tan(\phi)\sigma$$

Donde:
ϕ: ángulo de fricción interna del suelo con valor de 39°
σ: esfuerzo máximo normal del suelo (kgf/cm^2)
τ: cortante máximo del suelo

Para suelos tipo SM arena limosa (tepejal) con un 23% de contenido de agua se utilizarán las siguientes ecuaciones para la obtención de un cortante máximo $\tau_{(max)}$:

Si $\sigma < 0.800$ kgf/cm^2

$$\tau(\max) = 0.20 - 1.67\sigma^2 + \tan(\phi)\sigma$$

Donde:
ϕ: ángulo de fricción interna del suelo con valor de 75°
σ: esfuerzo máximo normal del suelo (kgf/cm^2)
τ: cortante máximo del suelo

Si $\sigma \geq 0.800$ kgf/cm^2

$$\tau(\max) = 1.27 + \tan(\phi)\sigma$$

Donde:
ϕ: ángulo de fricción interna del suelo con valor de 46°
σ: esfuerzo máximo normal del suelo (kgf/cm^2)
τ: cortante máximo del suelo

Para suelos tipo SM arena limosa (tepejal) con un 35% de contenido de agua se utilizarán las siguientes ecuaciones para la obtención de un cortante máximo $\tau_{(max)}$:

Si $\sigma < 0.800$ kgf/cm^2

$$\tau(\max) = 0.37 - 1.55\sigma^2 + \tan(\phi)\sigma$$

Donde:
ϕ: ángulo de fricción interna del suelo con valor de 73°
σ: esfuerzo máximo normal del suelo (kgf/cm^2)
τ: cortante máximo del suelo

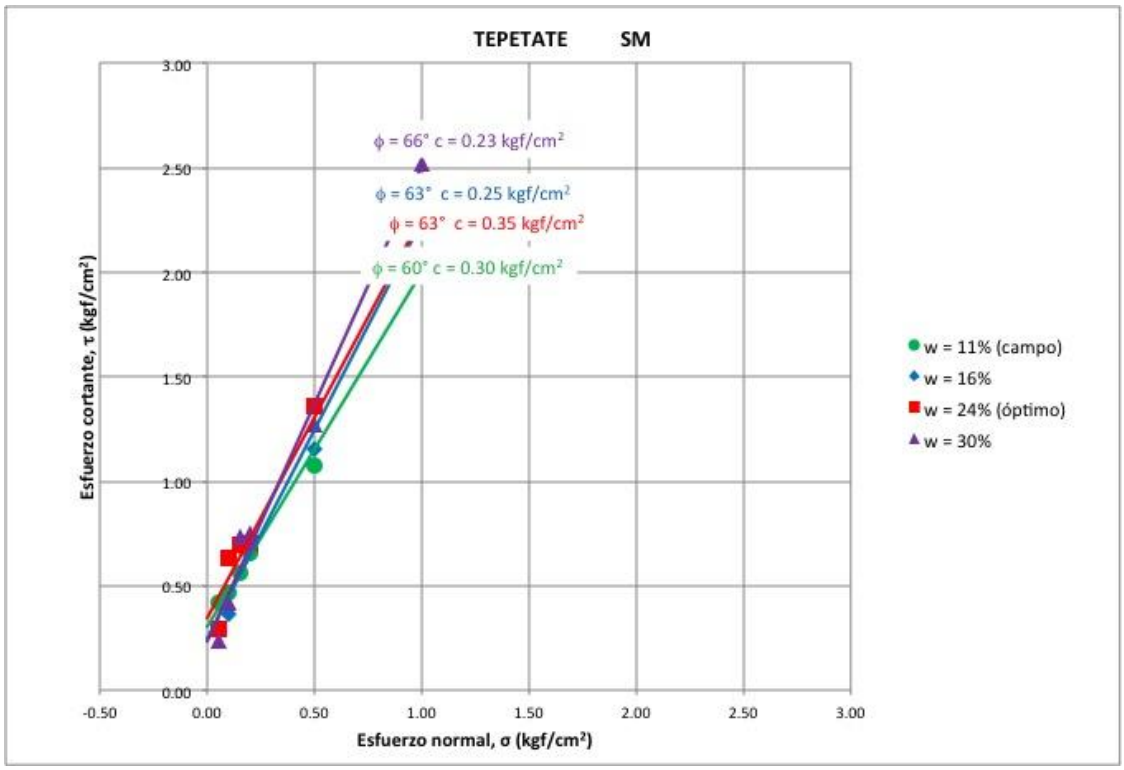
Si $\sigma \geq 0.800$ kgf/cm^2

$$\tau(\max) = 1.36 + \tan(\phi)\sigma$$

Donde:
ϕ: ángulo de fricción interna del suelo con valor de 40°
σ: esfuerzo máximo normal del suelo (kgf/cm^2)
τ: cortante máximo del suelo

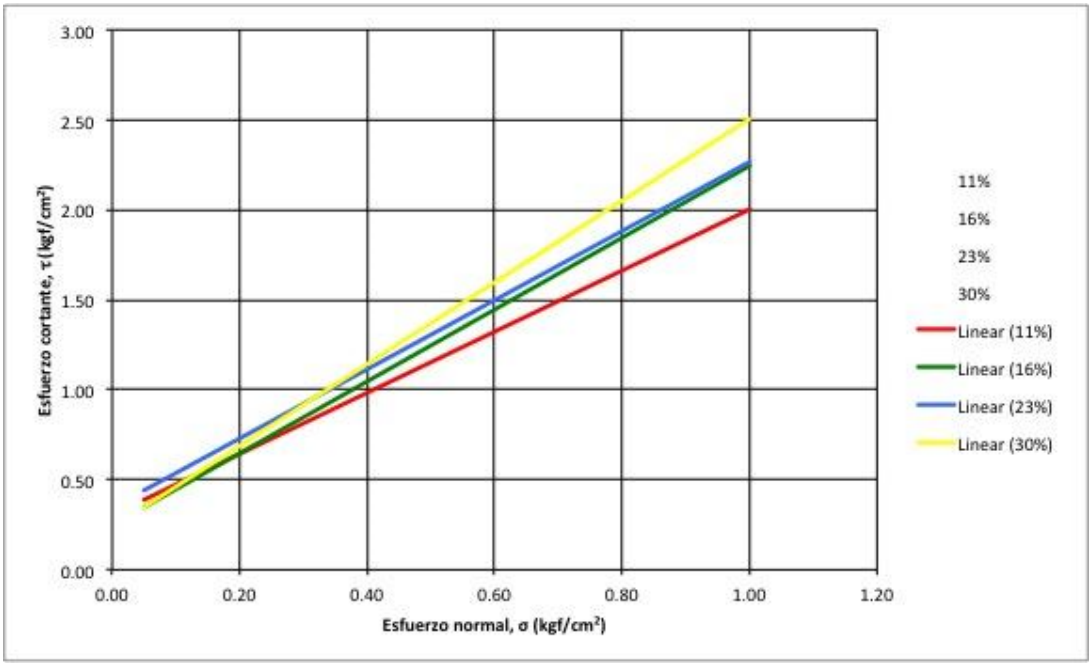
El cuarto y último tipo de suelo se identificó como SM arena limosa (tepetate) el cual contiene la mayor cantidad de finos de todos los tipos de suelo, a su vez, este suelo se probó con 4 contenidos de humedad diferentes (11, 16, 23 y 30%0; este suelo se comporta diferente a los demás ya que por

la cantidad de finos los valores del corte directo se comportaron de forma lineal como se puede observar en la siguiente gráfica:



Gráfica 7 - Corte directo Tepetate Otoño 2015

Con base en estos datos se determinaron ecuaciones de falla, obteniendo ángulos de fricción y cohesión de los suelos comprobando lo anterior con los datos de las pruebas triaxiales del laboratorio. Aquí se puede observar las ecuaciones determinadas con base en estos datos que se analizaron y los valores de los ángulos de fricción y cohesión para este tipo de suelo:



Gráfica 8 - Ecuaciones para suelo tipo "Tepetate"

Este tipo de suelo se representó, como una recta simple de acuerdo a la ecuación de Coulomb donde la pendiente de la recta es la tangente del ángulo de fricción del suelo y la ordenada de origen es el valor de cohesión del suelo.

Para suelos tipo SM arena limosa (tepetate) con un 11% de contenido de agua se utilizarán las siguientes ecuaciones para la obtención de un cortante máximo $\tau_{(max)}$:

$$\tau(\max) = 0.30 + \tan(\phi)\sigma$$

Donde:
ϕ: ángulo de fricción interna del suelo con valor de 59°
σ: esfuerzo máximo normal del suelo (kgf/cm^2)
τ: cortante máximo del suelo

Para suelos tipo SM arena limosa (tepetate) con un 16% de contenido de agua se utilizarán las siguientes ecuaciones para la obtención de un cortante máximo $\tau_{(max)}$:

$$\tau(\max) = 0.25 + \tan(\phi)\sigma$$

Donde:
ϕ: ángulo de fricción interna del suelo con valor de 63°
σ: esfuerzo máximo normal del suelo (kgf/cm^2)

τ: cortante máximo del suelo

Para suelos tipo SM arena limosa (tepetate) con un 23% de contenido de agua se utilizarán las siguientes ecuaciones para la obtención de un cortante máximo $\tau_{(max)}$:

$$\tau(\max) = 0.35 + \tan(\phi)\sigma$$

Donde:
ϕ: ángulo de fricción interna del suelo con valor de 62°
σ: esfuerzo máximo normal del suelo (kgf/cm^2)
τ: cortante máximo del suelo

Para suelos tipo SM arena limosa (tepetate) con un 30% de contenido de agua se utilizarán las siguientes ecuaciones para la obtención de un cortante máximo $\tau_{(max)}$:

$$\tau(\max) = 0.23 + \tan(\phi)\sigma$$

Donde:
ϕ: ángulo de fricción interna del suelo con valor de 66°
σ: esfuerzo máximo normal del suelo (kgf/cm^2)
τ: cortante máximo del suelo

Por último, en las siguientes tablas se puede observar en resumen los valores obtenidos por las ecuaciones con las cuales en la siguiente parte del documento se podrá observar cómo se realizan las correlaciones entre propiedades mecánicas y propiedades índice en suelos pumíticos típicos de la Zona Metropolitana de Guadalajara; como primera tabla se pueden ver los valores de cortantes máximos y cortantes residuales, así como, los contenidos de agua, ángulo de fricción del suelo y esfuerzos normales; la segunda tabla son los resultados del suelo tipo (SM)g arena limosa con grava (jaltepe) con los mismos valores; la tercera tabla contiene los resultados del suelo tipo SM arena limosa (tepejal) y dejando por último la tabla con el resumen de resultados del suelo tipo SM arena limosa (tepetate).

SUELO	W%	C	ϕ	τ max	σ
	30% (CAMPO)	0.00	81.31	0.289	0.050
		0.00	81.31	0.617	0.100
		0.00	81.31	0.944	0.150
		0.93	48.14	1.127	0.178
		0.93	48.14	1.152	0.200
		0.93	48.14	1.487	0.500
		0.93	48.14	2.045	1.000
	36%	0.21	74.94	0.395	0.050
		0.21	74.94	0.581	0.100
		0.21	74.94	0.767	0.150
		0.21	74.94	0.952	0.200
		0.62	62.47	1.064	0.230
		0.62	62.47	1.582	0.500
		0.62	62.47	2.541	1.000
	44% (OPTIMO)	0.00	81.90	0.343	0.050
		0.00	81.90	0.694	0.100
		0.00	81.90	1.046	0.150
		1.12	53.99	1.389	0.199
		1.12	53.99	1.391	0.200
		1.12	53.99	1.804	0.500
		1.12	53.99	2.492	1.000
	50%	0.15	79.24	0.412	0.050
		0.15	79.24	0.675	0.100
		0.15	79.24	0.938	0.150
		0.93	52.29	1.178	0.196
		0.93	52.29	1.184	0.200
		0.93	52.29	1.572	0.500
		0.93	52.29	2.218	1.000
Jal	W%	C	ϕ	τ res	σ
	30% (CAMPO)	0.00	71.26	0.106	0.050
		0.00	71.26	0.253	0.100
		0.00	71.26	0.401	0.150
		0.00	71.26	0.548	0.200
		0.44	40.55	0.644	0.232
		0.44	40.55	0.873	0.500
		0.44	40.55	1.300	1.000
	36%	0.00	66.65	0.056	0.050
		0.00	66.65	0.172	0.100
		0.00	66.65	0.287	0.150
		0.00	66.65	0.403	0.200
		0.74	37.11	1.135	0.516
		0.74	37.11	1.123	0.500
		0.74	37.11	1.501	1.000
	44% (OPTIMO)	0.09	64.97	0.193	0.050
		0.09	64.97	0.300	0.100
		0.09	64.97	0.407	0.150
		0.09	64.97	0.514	0.200
		0.70	42.03	1.144	0.494
		0.70	42.03	1.149	0.500
		0.70	42.03	1.600	1.000
	50%	0.00	67.03	0.116	0.050
		0.00	67.03	0.234	0.100
		0.00	67.03	0.352	0.150
		0.00	67.03	0.470	0.200
		0.26	51.04	0.539	0.229
		0.26	51.04	0.874	0.500
		0.26	51.04	1.492	1.000

Tabla 2 - Suelo tipo “Jal” Resumen de resultados

SUELO	W%	C	ϕ	τ max	σ
	15%	0.20	77.05	0.410	0.050
		0.20	77.05	0.614	0.100
		0.20	77.05	0.809	0.150
		0.20	77.05	0.996	0.200
		0.20	77.05	1.927	0.500
		1.34	56.38	2.538	0.800
		1.34	56.38	2.839	1.000
	24% (OPTIMO)	0.16	78.47	0.395	0.050
		0.16	78.47	0.619	0.100
		0.16	78.47	0.830	0.150
		0.16	78.47	1.027	0.200
		0.16	78.47	1.922	0.500
		1.91	27.33	2.324	0.800
		1.91	27.33	2.428	1.000
	31%	0.26	73.58	0.431	0.050
		0.26	73.58	0.431	0.050
		0.26	73.58	0.431	0.050
		0.26	73.58	0.431	0.050
		0.26	73.58	0.431	0.050
		0.66	67.43	0.431	0.050
		0.66	67.43	0.431	0.050
Jal-Tepetate	W%	C	ϕ	τ res	σ
	15%	0.03	67.28	0.144	0.050
		0.03	67.28	0.256	0.100
		0.03	67.28	0.364	0.150
		0.03	67.28	0.467	0.200
		0.03	67.28	0.982	0.500
		0.64	40.60	1.325	0.800
		0.64	40.60	1.497	1.000
	24% (OPTIMO)	0.05	65.26	0.158	0.050
		0.05	65.26	0.260	0.100
		0.05	65.26	0.358	0.150
		0.05	65.26	0.452	0.200
		0.05	65.26	0.929	0.500
		0.58	40.05	1.256	0.800
		0.58	40.05	1.424	1.000
	31%	0.00	72.35	0.078	0.050
		0.00	72.35	0.078	0.050
		0.00	72.35	0.078	0.050
		0.00	72.35	0.078	0.050
		0.00	72.35	0.078	0.050
		0.77	0.77	0.078	0.050
		0.77	0.77	0.078	0.050

Tabla 3 - Suelo tipo “Jal-Tepetate” Resumen de resultados

SUELO	W%	C	ϕ	τ max	σ
	16%	0.32	66.07	0.433	0.050
		0.32	66.07	0.538	0.100
		0.32	66.07	0.640	0.150
		0.32	66.07	0.737	0.200
		0.32	66.07	1.223	0.500
		0.90	39.07	1.548	0.800
		0.90	39.07	1.710	1.000
	23% (OPTIMO)	0.20	75.02	0.380	0.050
		0.20	75.02	0.554	0.100
		0.20	75.02	0.720	0.150
		0.20	75.02	0.878	0.200
		0.20	75.02	1.647	0.500
		1.27	46.64	2.115	0.800
		1.27	46.64	2.327	1.000
	35%	0.37	73.34	0.533	0.050
		0.37	73.34	0.688	0.100
		0.37	73.34	0.836	0.150
		0.37	73.34	0.976	0.200
		0.37	73.34	1.652	0.500
		1.36	40.63	2.049	0.800
		1.36	40.63	2.221	1.000
Tepetate-Jal	W%	C	ϕ	τ res	σ
	16%	0.00	67.53	0.111	0.050
		0.00	67.53	0.223	0.100
		0.00	67.53	0.330	0.150
		0.00	67.53	0.431	0.200
		0.00	67.53	0.920	0.500
		0.71	31.68	1.207	0.800
		0.71	31.68	1.330	1.000
	23% (OPTIMO)	0.00	67.89	0.125	0.050
		0.00	67.89	0.242	0.100
		0.00	67.89	0.355	0.150
		0.00	67.89	0.463	0.200
		0.00	67.89	1.026	0.500
		0.54	48.42	1.440	0.800
		0.54	48.42	1.665	1.000
	35%	0.03	65.60	0.135	0.050
		0.03	65.60	0.241	0.100
		0.03	65.60	0.345	0.150
		0.03	65.60	0.445	0.200
		0.03	65.60	0.993	0.500
		0.37	53.18	1.442	0.800
		0.37	53.18	1.710	1.000

Tabla 4 - Suelo tipo “Tepetate-Jal” Resumen de resultados

SUELO	W%	C	ϕ	τ max	σ
	11% (CAMPO)	0.30	59.51	0.418	0.050
		0.30	59.51	0.464	0.100
		0.30	59.51	0.565	0.150
		0.30	59.51	0.659	0.200
		0.30	59.51	1.078	0.500
		0.30	59.51	2.035	1.000
	16%	0.25	63.40	0.298	0.050
		0.25	63.40	0.366	0.100
		0.25	63.40	0.690	0.150
		0.25	63.40	0.705	0.200
		0.25	63.40	1.153	0.500
		0.25	63.40	2.269	1.000
	23% (OPTIMO)	0.35	62.51	0.290	0.050
		0.35	62.51	0.633	0.100
		0.35	62.51	0.693	0.150
		0.35	62.51	0.705	0.200
		0.35	62.51	1.357	0.500
		0.35	62.51	2.235	1.000
	30%	0.23	66.23	0.234	0.050
		0.23	66.23	0.422	0.100
		0.23	66.23	0.739	0.150
		0.23	66.23	0.754	0.200
		0.23	66.23	1.274	0.500
		0.23	66.23	2.525	1.000
Tepetate	W%	C	ϕ	τ res	σ
	11% (CAMPO)	0.13	53.93	0.196	0.050
		0.13	53.93	0.234	0.100
		0.13	53.93	0.335	0.150
		0.13	53.93	0.392	0.200
		0.13	53.93	0.886	0.500
		0.13	53.93	1.470	1.000
	16%	0.04	57.72	0.113	0.050
		0.04	57.72	0.166	0.100
		0.04	57.72	0.271	0.150
		0.04	57.72	0.396	0.200
		0.04	57.72	0.886	0.500
		0.04	57.72	1.602	1.000
	23% (OPTIMO)	0.11	53.96	0.147	0.050
		0.11	53.96	0.256	0.100
		0.11	53.96	0.328	0.150
		0.11	53.96	0.396	0.200
		0.11	53.96	0.837	0.500
		0.11	53.96	1.470	1.000
	30%	0.06	57.01	0.136	0.050
		0.06	57.01	0.200	0.100
		0.06	57.01	0.283	0.150
		0.06	57.01	0.403	0.200
		0.06	57.01	0.829	0.500
		0.06	57.01	1.600	1.000

Tabla 5 - Suelo tipo “Tepetatel” Resumen de resultados

5.1.2 Comprobación de los modelos de falla al cortante en suelos pumíticos mediante ensayes triaxiales

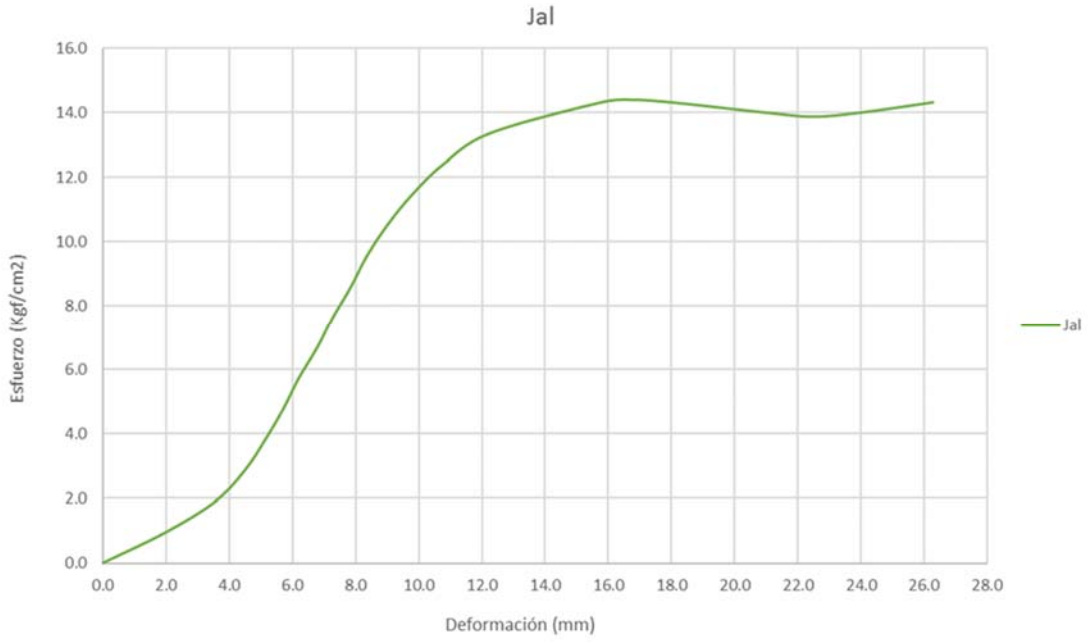
Se siguieron los parámetros de la norma NMX-C-432-ONNCCE-2002 para realizar ensayes de compresión triaxial a manera de comprobación de que las teorías de falla al cortante eran aplicables también para este tipo de ensayes.

El método de preparación de las muestras fue el procedimiento Proctor para compactación, para los cuatro diferentes tipos de suelo a los que coloquialmente nombramos como “Jal” (SW)g, “Jaltetpe” (SM)g, “Tepejal” (SM) y “Tepetate” (SM).

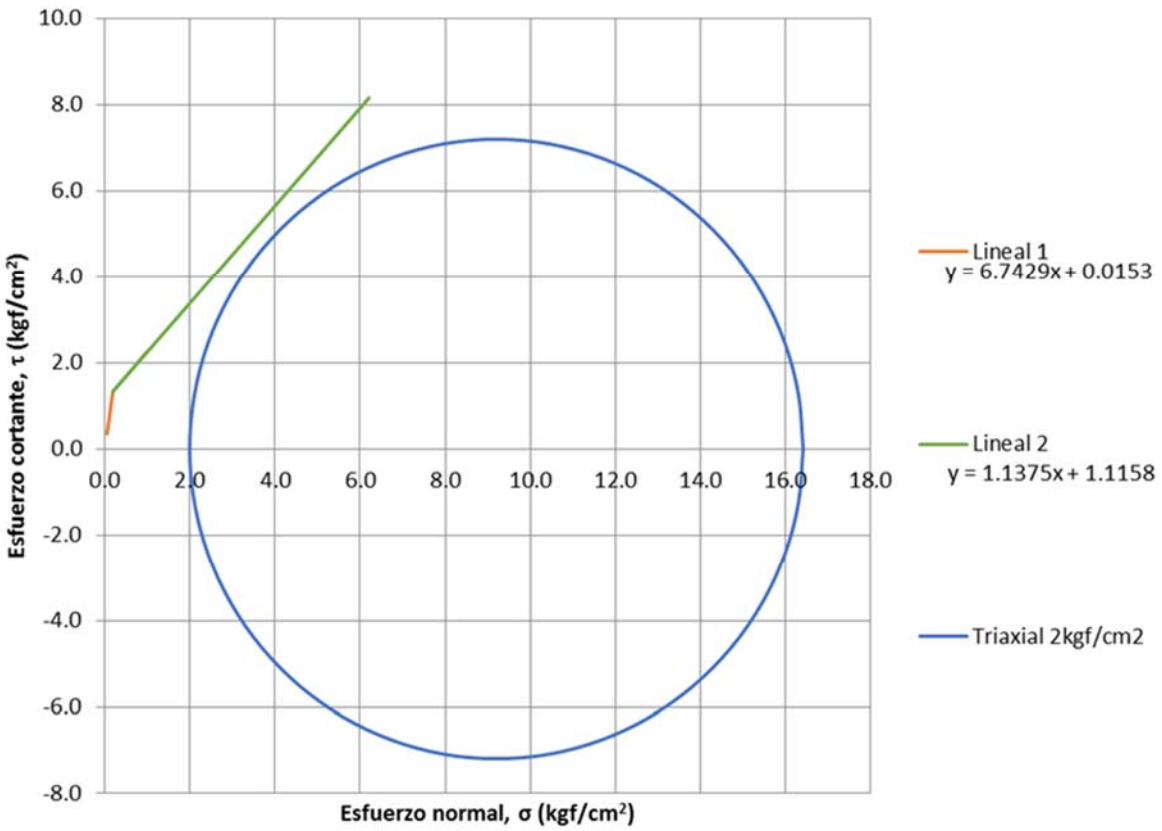
Las gráficas de esfuerzo/deformación obtenidas a partir del ensaye triaxial, así como la gráfica del círculo de Mohr, en comparación con las ecuaciones de teoría de falla desarrolladas en el apartado anterior, se muestran a continuación:

TIPO	JAL
SUCS	(SW)g
ρ(kg/m3)	1477
%W	44%
H (cm)	17.00
D (cm)	10.00
A(cm2)	78.54

Max Carga (Kgf)	1131.25
σ3 (kgf/cm2)	2.00
σ1 (kgf/cm2)	16.40



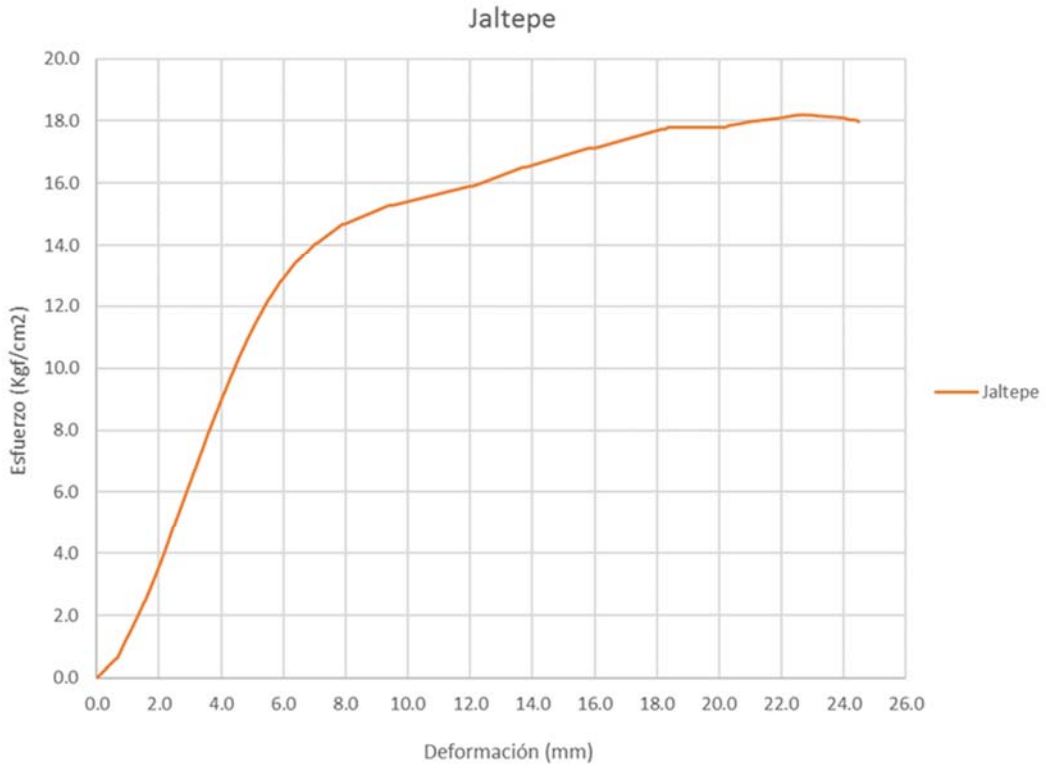
Gráfica 9 – Gráfica esfuerzo deformación (SW)g “jal”



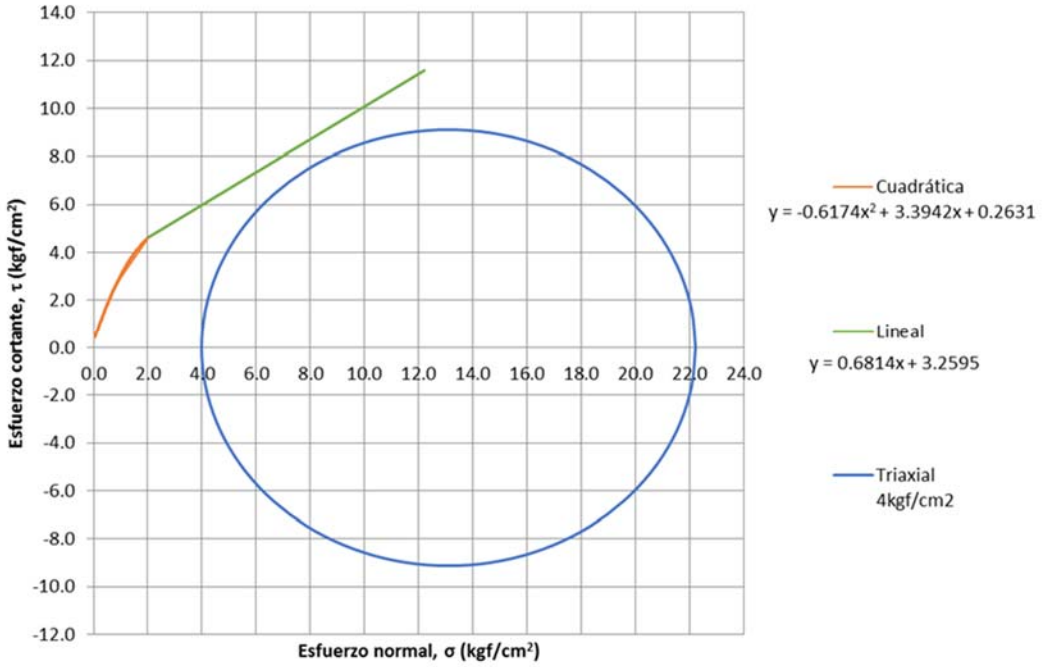
Gráfica 10 – Estado de esfuerzos (SW)g "jal"

TIPO	JALTEPE
SUCS	(SM)g
ρ(kg/m3)	1469
%W	29%
H (cm)	19.70
D (cm)	10.20
A(cm2)	81.71

Max Carga (Kgf)	1486.75
σ3 (kgf/cm2)	4.00
σ1 (kgf/cm2)	22.19



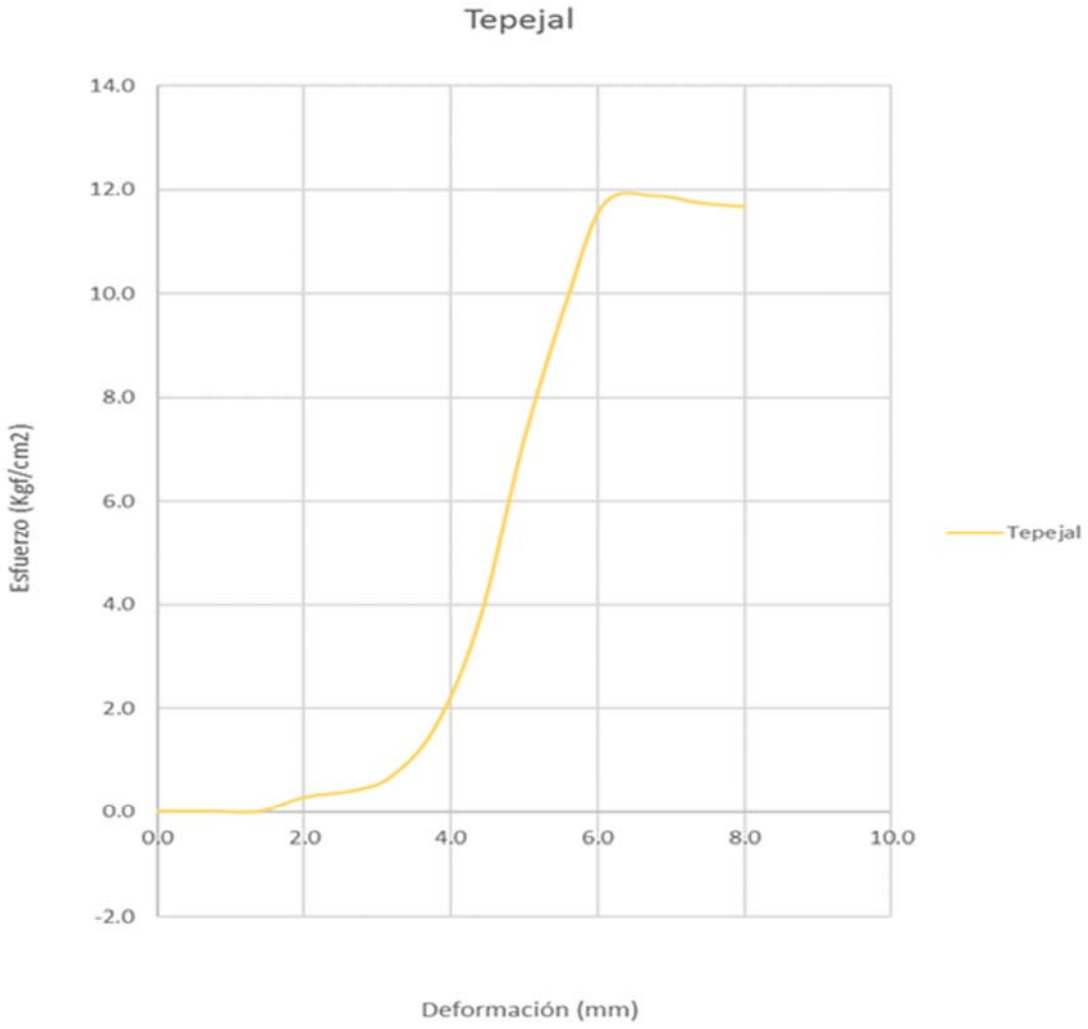
Gráfica 11 – Gráfica esfuerzo deformación (SM)g “jaltepe”



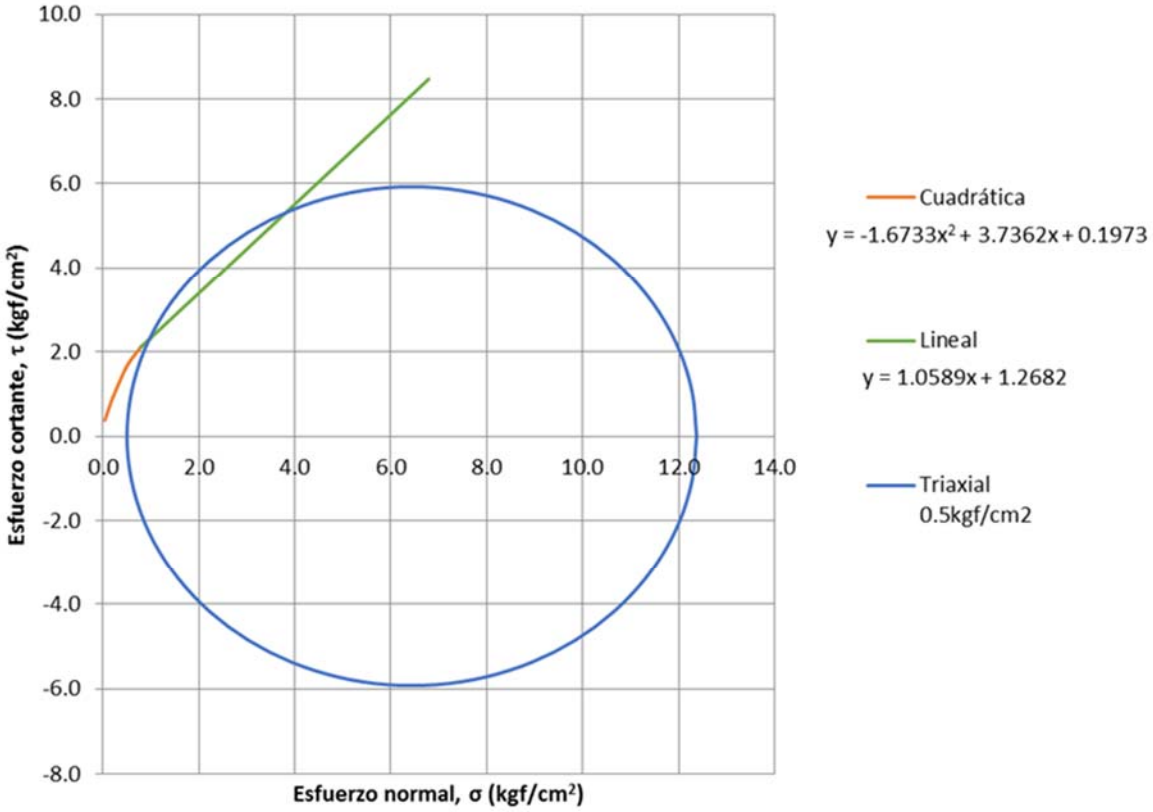
Gráfica 12 – Estado de esfuerzos (SW)g “jal”

TIPO	TEPEJAL
SUCS	SM
ρ(kg/m3)	1588
%W	25%
H (cm)	18.70
D (cm)	9.60
A(cm2)	72.38

Max Carga (Kgf)	860
σ3 (kgf/cm2)	0.50
σ1 (kgf/cm2)	12.38

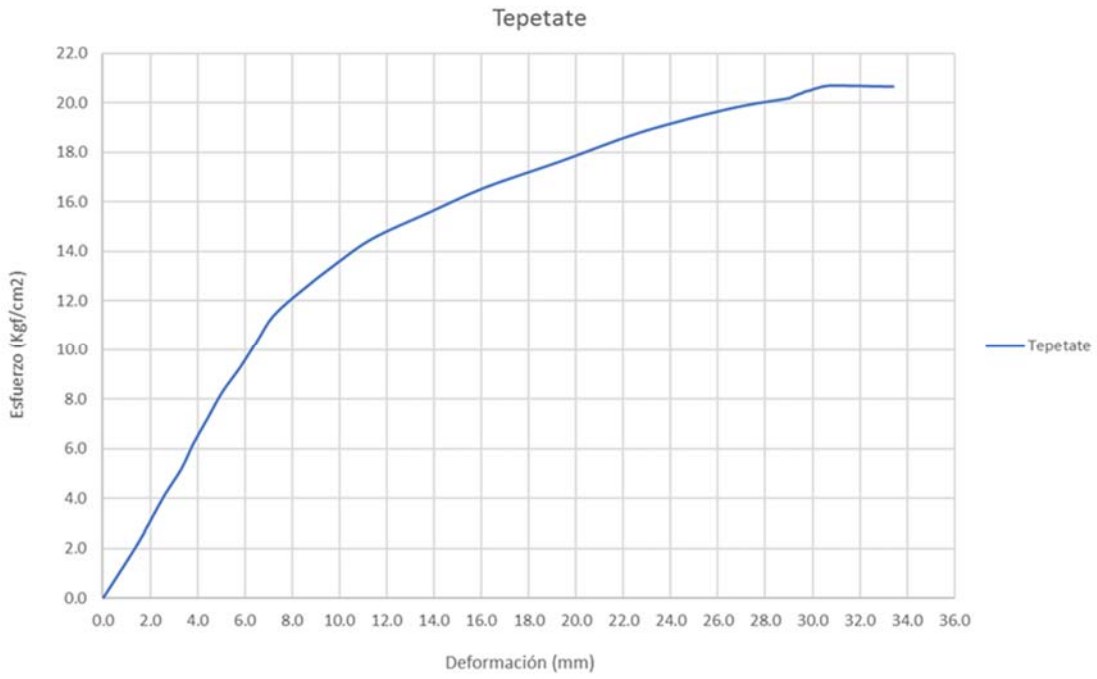


Gráfica 13 – Gráfica esfuerzo deformación SM “tepejal”

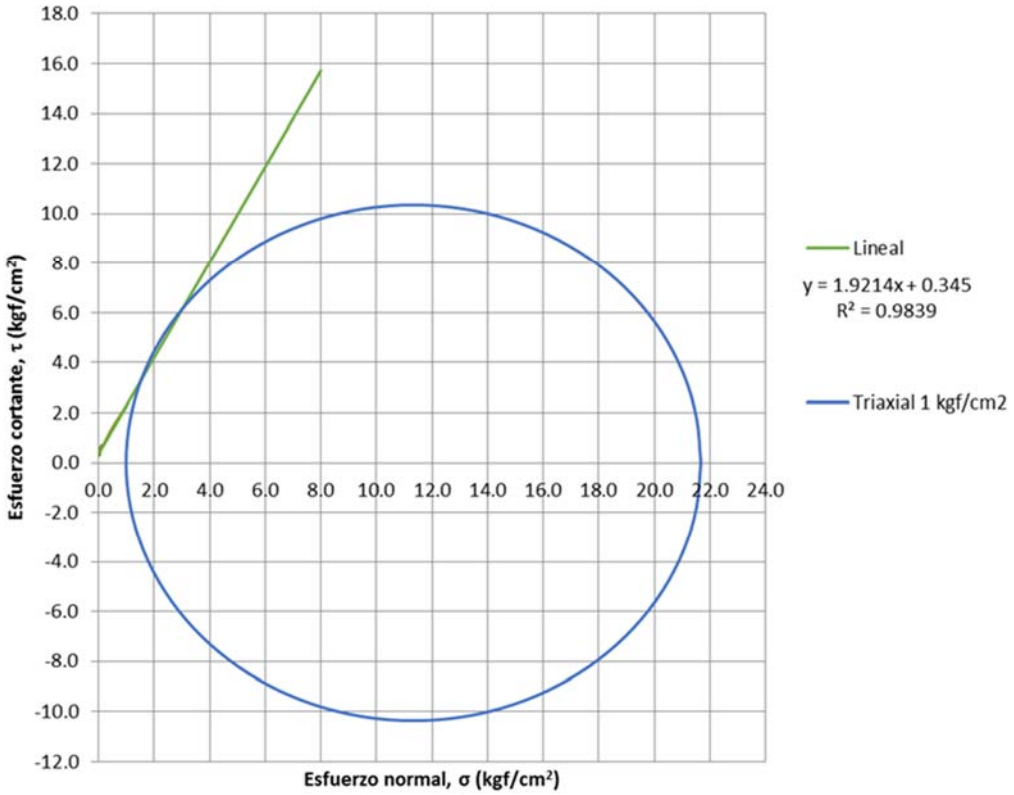


Gráfica 14 – Estado de esfuerzos (SW)g "jal"

TIPO	TEPETATE		
SUCS	SM		
ρ(kg/m3)	1617		
%W	21%		
H (cm)	19.00	Max Carga (Kgf)	1497.13
D (cm)	9.60	σ3 (kgf/cm2)	1.00
A(cm2)	72.38	σ1 (kgf/cm2)	21.68



Gráfica 15 – Gráfica esfuerzo deformación SM “tepetate”



Gráfica 16 – Estado de esfuerzos (SW)g “jal”

Observando las gráficas podemos apreciar que los círculos de Mohr para los diferentes tipos de suelo sí representan un comportamiento mecánico similar al descrito en las ecuaciones de teoría de falla por cortante; esta comprobación sienta las bases para que con un estudio más completo ensayando muestras con diferentes contenidos de agua, se obtengan ecuaciones aún más precisas.

5.1.3 Obtención de correlaciones entre propiedades mecánicas y propiedades índice en suelos pumíticos típicos de la ZMG

Gracias a los datos obtenidos en semestres anteriores, se realizó una matriz de datos que tomara en cuenta las propiedades mecánicas (ϕ, ϕ_{res}, c, τ_{max}, τ_{res}, k) y las propiedades índice (esfuerzo efectivo, densidad seca, contenido de agua, % de suelo que pasa la malla 200). Con esta matriz de datos y gracias al programa de StatGraphics, que nos permite realizar regresiones múltiples, obtuvimos una serie de ecuaciones que nos permiten calcular las propiedades mecánicas de los suelos pumiticos con base en las propiedades índice.

El programa de StatGraphics nos arrojó, junto con las ecuaciones, un dato conocido como R cuadrada la cual nos ayuda para saber qué nivel de confianza tiene la ecuación que se obtiene mediante las correlaciones de las propiedades. Cuanto más se aproxime al 100% o a 1 quiere decir que nuestra ecuación tiene más poder explicativo. Las ecuaciones obtenidas fueron las siguientes:

- Cohesión, con una R cuadrada de 76.67%

$$c = -10.44\sigma_0' + 6.49x10^{-3}\omega + 1.16x10^{-2}\sigma_0'\rho_d + 39.54\sigma_0' f - 4.09x10^{-2}\sigma_0'\rho_d f$$

- Donde:
  - $\rho_d = densidad\ seca, {}^{kg}/_{m^3}$
  - $\sigma_0' = esfuerzo\ efectivo, {}^{kgf}/_{cm^2}$
  - $\omega = contenido\ de\ agua, \%$
  - $f = porcentaje\ de\ suelo\ que\ pasa\ la\ malla\ 200, \%$

- Ángulo de fricción, con una R cuadrada de 98.01%

$$\phi = 0.081\rho_d - 0.0475\sigma_0'\rho_d + 142.563\sigma_0' f - 0.084\rho_d f$$

- Donde:
  - $\rho_d = densidad\ seca, {}^{kg}/_{m^3}$
  - $\sigma_0' = esfuerzo\ efectivo, {}^{kgf}/_{cm^2}$
  - $f = porcentaje\ de\ suelo\ que\ pasa\ la\ malla\ 200, \%$

.

- Ángulo de fricción residual, con una R cuadrada de 97.11%

$$\phi_{res} = 0.073\rho_d - 0.048\sigma_0'\rho_d + 158.713\sigma_0' f - 0.0782\rho_d f$$

- Donde:
  - $\rho_d = densidad\ seca, {}^{kg}/_{m^3}$
  - $\sigma_0' = esfuerzo\ efectivo, {}^{kgf}/_{cm^2}$
  - $f = porcentaje\ de\ suelo\ que\ pasa\ la\ malla\ 200, \%$

- Esfuerzo cortante máximo, con una R cuadrada de 93.9%

$$\tau_{max} = 1.773\sigma_0' + 5.69x10^{-4}\rho_d - 1.081f$$

- Donde:
  - $\rho_d = densidad\ seca, {}^{kg}/_{m^3}$
  - $\sigma_0' = esfuerzo\ efectivo, {}^{kgf}/_{cm^2}$
  - $f = porcentaje\ de\ suelo\ que\ pasa\ la\ malla\ 200, \%$

- Esfuerzo cortante residual, con una R cuadrada de 91.81%

$$\tau_{res} = 1.389\sigma_0' + 4.17x10^{-3}\omega$$

- Donde:
  - $\sigma_0' = esfuerzo\ efectivo, {}^{kgf}/_{cm^2}$
  - $\omega = contenido\ de\ agua, \%$

- Permeabilidad, con una R cuadrada de 89.18%

$$k = 3.31x10^{-6}\rho_d - 0.01236f$$

- Donde:
  - $\rho_d = densidad\ seca, {}^{kg}/_{m^3}$
  - $f = porcentaje\ de\ suelo\ que\ pasa\ la\ malla\ 200, \%$

5.2 Resultados alcanzados

5.2.1 Pruebas de campo para caracterización física de los suelos en ZMG

Durante el curso se realizaron distintos sondeos en un total de 4 terrenos ubicados en la ZMG.

Dichos sondeos fueron realizados mediante dos tipos de métodos para obtención de muestras:
- Ensayo de penetración estándar o SPT por sus siglas en inglés, según la norma: ASTM-D-486
- Método de pozo a cielo abierto (PCA), según la norma: NMX-C-416-ONNCCE-2007

Cada muestra obtenida en capo fue etiquetada y llevada a laboratorio donde se realizaron diferentes pruebas para definir las propiedades y caracterización de cada suelo.

Sondeo #1
Ubicación: Carretera a Tala km 7 (20.489269, -103.555280) UTM

SPT

Muestra	Profundidad		AVANCES (#golpes cada 15cm)				
	Desde	Hasta	I	II	III	IV	Avance II y III
1	0.00	0.60	2	2	2	4	4
2	0.60	1.20	5	4	6	4	10
3	1.20	1.80	1	2	2	2	4
4	1.80	2.40	2	1	1	1	2
5	2.40	3.00	2	2	5	4	7
6	3.00	3.60	8	7	8	9	15
7	3.60	4.20	7	10	18	-	28
8	4.20	4.80	3	2	4	3	6
9	4.80	5.40	3	8	18	23	26
10	5.40	6.00	17	19	15	17	34
11	6.00	6.60	9	11	13	14	24
12	6.60	7.20	7	12	14	23	26
13	7.20	7.80	6	9	13	15	22
14	7.80	8.40	16	22	25	25	47

PCA

PROFUNDIDAD (cm)	PESO (kg)	VOLUMEN (m3)	DENSIDAD kg/m3
C1 30 a 50	5.116	0.00377	1357.0
C2 50 a 80	5.642	0.004265	1322.9

Sondeo #2

Ubicación: calle Huatulco, La Florida (20.600072, -103.420811) UTM

SPT

M	PROFUNDIDAD		AVANCES (#golpes cada 15cm)				
	DESDE	HASTA	I	II	III	IV	Avance II y III
1	0.00	0.60	3	2	2	3	4
2	0.60	1.20	4	5	5	5	10
3	1.20	1.80	7	7	7	6	14
4	1.80	2.40	5	9	7	6	16
5	2.40	3.00	4	5	6	6	11
6	3.00	3.60	6	3	1	1	4
7	3.60	4.20	3	7	7	4	14
8	4.20	4.80	5	2	3	4	5

PCA

PROFUNDIDAD (cm)	PESO (kg)	VOLUMEN (m3)	DENSIDAD kg/m3
C1 20 a 50	5.439	0.0039	1394.6
C2 50 a 80	5.409	0.00384	1408.6
C3 80 a 100	5.313	0.003782	1404.8

Sondeo #3

Ubicación: Camino al Molino, El Paraíso (20.539859, -103.418406) UTM

SPT

M	PROFUNDIDAD		AVANCES (#golpes cada 15cm)				
	DESDE	HASTA	I	II	III	IV	Avance II y III
1	0.00	0.60	1	3	2	1	5
2	0.60	1.20	1	1	1	2	2
3	1.20	1.80	2	1	5	5	6
4	1.80	2.40	1	1	2	4	3
5	2.40	3.00	2	1	1	3	2
6	3.00	3.60	2	5	5	6	10
7	3.60	4.20	5	4	4	5	8
8	4.20	4.80	2	3	3	8	6

PCA

cm	PESO (kg)	VOLUMEN (m3)	DENSIDAD kg/m3
C1 26 a 46	4.41	0.00385	1145.5
C2 56a 86	3.439	0.003	1146.3

Sondeo #4

Ubicación: Privada Bugambilias, La Florida (20.599461, -103.426635) UTM

SPT

Sitio 4, Agua Blanca							
M	PROFUNDIDAD		AVANCES (#golpes cada 15cm)				
	DESDE	HASTA	I	II	III	IV	Avance II y III
	0.00	0.60	9	11	7	4	18
	0.60	1.20	3	2	2	2	4
	1.20	1.80	3	4	5	6	9
	1.80	2.40	8	10	12	11	22
	2.40	3.00	16	24	25	22	49
	3.00	3.60	25	19	14	16	33
	3.60	4.20	8	7	10	8	17

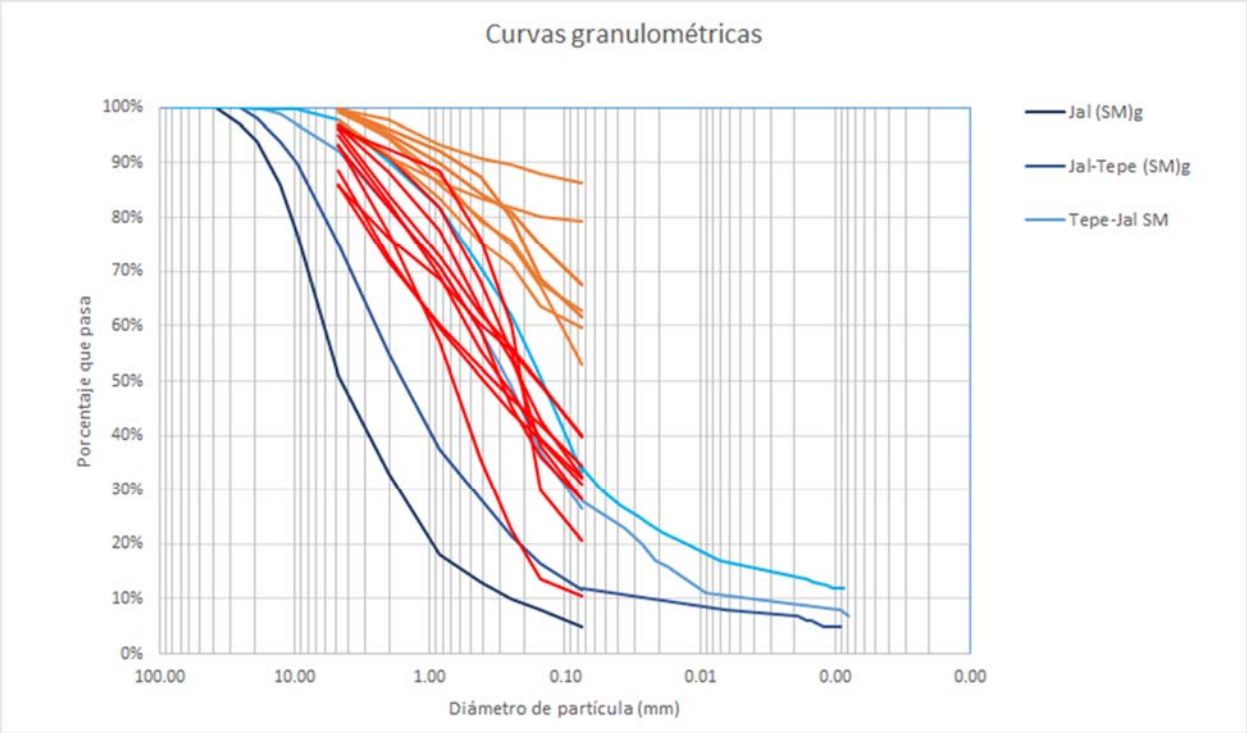
PCA

PROFUNDIDAD (cm)	PESO (kg)	VOLUMEN (m3)	DENSIDAD kg/m3
C1 20 a 50	4.707	0.00381	1235.4
C2 50 a 80	4.1	0.0038	1078.9
C3 80 a 100	2.755	0.0027	1020.4

5.2.2 Pruebas de laboratorio para caracterización física de los suelos de cuatro sitios en la Zona Metropolitana de Guadalajara

Después de recolectar las muestras en distintos sitios de la ZMG, se procedió a analizarlas realizando distintas pruebas de laboratorio. Se analizó la granulometría de cada estrato, realizando la gráfica correspondiente de tamaño de partícula y el porcentaje que pasa a través de las mallas para la prueba. A partir de estas gráficas se pudieron determinar el diámetro 60 (D60), diámetro 30 (D30) y un aproximado del diámetro 10 (D10).

Una vez que se realizaron todas las pruebas de granulometría, se crearon también gráficas que incorporan a todos los estratos junto con las gráficas típicas de suelos como Tepetate, Tepe-Jal, Jal-Tepe y Jal, para permitir un análisis general de todas las muestras de forma simultánea.



Gráfica 17 – curvas granulométricas para los suelos de 4 sitios de la ZMG

Se determinaron también otras propiedades como el contenido de humedad, la densidad relativa de los sólidos y la masa volumétrica seca suelta. Se obtuvo también un aproximado de la densidad en campo de las muestras mediante la densidad de las calas que se realizaron a poca profundidad, y una relación de la densidad y el número de golpes (N). A partir de estas propiedades, pudieron obtenerse otras tantas mediante las relaciones volumétricas y gravimétricas: Masa Volumétrica Seca Máxima (MVSM), Relación de vacíos (e), Peso específico seco (γ_d), Masa específica seca (ρ_d), Porosidad (*n*), Grado de saturación (S) y Compacidad relativa (C_r). Todas estas propiedades se reportan en un informe independiente por cada muestra analizada, el siguiente reporte es una muestra representativa de todos los reportes creados.

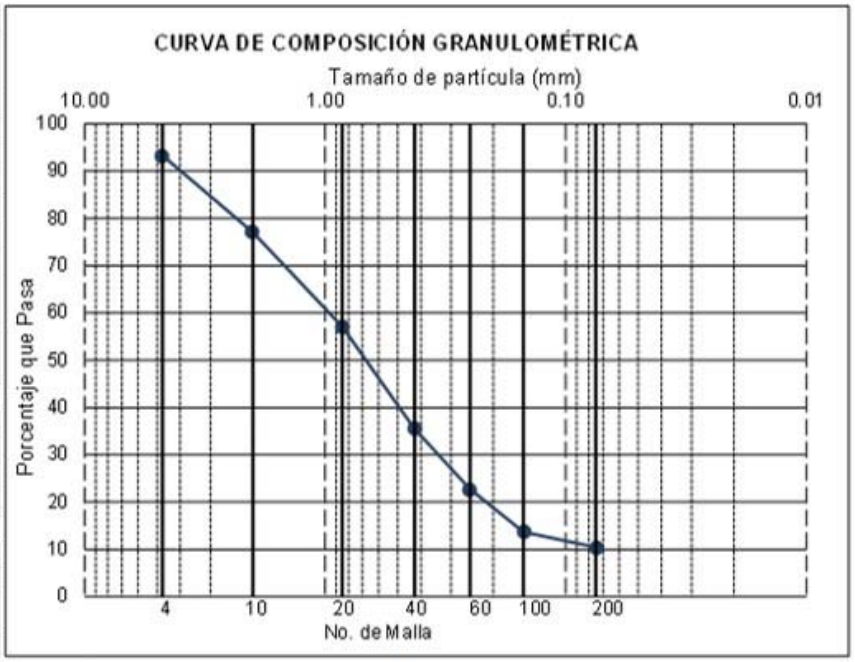
ITESO	TERRENO:	Sitio 3, El Paraíso			
	UBICACIÓN:	Camino al Molino			
	SONDEO:	S-3	ESTRATO: M-3	PROFUNDIDAD:	3.6 a 4.1 m
	DESCRIPCIÓN	SW-SM Arena bien graduada con limo		FECHA:	2016-04-26

CARACTERIZACIÓN FISICA DE LOS ESTRATOS DEL SUELO

Composición granulométrica	
Tamaño de la Partícula (mm)	Porcentaje que Pasa
4.75	93.3
2.00	77.1
0.85	57.1
0.43	35.4
0.25	22.7
0.15	13.6
0.08	10.4
Coeficiente de uniformidad, C_u	16.7
Coeficiente de curvatura, C_c	1.9

Límites de consistencia	
LL (%) =	NP
LP (%) =	NP
IP (%) =	NP

No. Golpes	
N =	14
N_{60} =	14
$(N_1)_{60}$ =	18



Clasificación del suelo, SUCS	SW	ARENA BIEN GRADUADA		ASTM D 2487

densidad relativa de sólidos, G_s	2.43		Compacidad relativa C_r	25.35	%
contenido de agua, ω	37.9	%	relación de vacíos, e	1.38	
masa específica, ρ	1500	kg/m^3	porosidad, n	58.05	%
peso específico, γ	13.78	kN/m^3	grado de saturación,	66.49	%
masa específica seca, ρ_d	1019.03	kg/m^3	esfuerzo efectivo, σ'_0	53	kPa
peso específico seco, γ_d	10.00	kN/m^3	diámetro, D_{10}	0.06	mm

Gráfica 18 – ejemplo de caracterización física y mecánica de los suelos para los 4 sitios

Por último, se creó una tabla general que contiene todos los datos de cada muestra que se analizó, la cual funciona como matriz para alimentar los procesos mediante los que se crean ecuaciones que relacionen los datos con distintas propiedades mecánicas del suelo.

Suelo	Muestra	Profundidad		Clasificación	Porcentaje que pasa malla no. 200	Número de golpes SPT	Densidad relativa de los sólidos (Gs)
-	-	De	A	-	%	-	-
S-1	M-1	0	0.6	ML Limo arenoso	61.73	4	2.39
S-1	M-2	0.6	1.2	ML Limo arenoso	67.47	10	2.05
S-1	M-3	1.2	1.8	ML Limo arenoso	52.84	4	1.93
S-1	M-4	1.95	2.55	ML Limo con arena	86.25	2	2.54
S-1	M-6	3.15	3.75	SM Arena limosa	30.95	15	1.98
S-1	M-7	3.75	4.35	SM Arena limosa	30.95	28	1.98
S-1	M-9, 10 y 11	5	6.8	ML Limo con arena	79.26	28	2.06
S-1	M-12, 13 y 14	6.8	8.6	SM Arena limosa	34.48	33	1.95
S-2	M-1	0.3	2.1	SM Arena limosa	33.38	5	0.00
S-2	M-2	2.4	4.8	ML Limo con arena	76.72	2	0.00
S-2	M-3	4.2	5.1	SM Arena limosa	32.44	14	9.81
S-3	M-1	0.3	2.4	SM Arena limosa	40.03	11	1.71
S-3	M-2	2.1	3.6	SM arena limosa	39.76	8	1.83
S-3	M-3	3.6	4.1	SW-SM Arena bien graduada con limo	10.43	14	2.43
S-3	M-4	4.1	5.1	SM Arena limosa	28.34	5	2.43
S-4	M-1	0	0.6	ML Limo arenoso	62.86	18	2.32
S-4	M-2	0.6	1.2	ML Limo arenoso	59.56	4	2.80
S-4	M-3	1.2	1.8	SM Arena limosa	32.29	9	2.42
S-4	M-4	1.8	2.4	SM Arena limosa	28.35	22	2.31
S-4	M-5	2.4	3	SM Arena limosa	20.54	49	2.02
S-4	M-6	3	3.6	SP-SM Arena Limosa	11.28	33	2.43
S-4	M-7	3.6	4.2	SP-SM Arena limosa	6.40	17	2.16

Suelo	Muestra	Profundidad		Contenido de agua (ω)	Masa específica campo (ρ)	Masa volumétrica seca suelta (MVSS)	Masa volumétrica seca máxima AASHTO (MVSM)
-	-	De	A	%	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3
S-1	M-1	0	0.6	26%	1357.00	809.12	1199.39
S-1	M-2	0.6	1.2	38%	1396.00	796.84	1186.19
S-1	M-3	1.2	1.8	43%	1382.00	798.49	1187.97
S-1	M-4	1.95	2.55	71%	1377.00	758.91	1145.44
S-1	M-6	3.15	3.75	47%	1407.00	850.00	1243.32
S-1	M-7	3.75	4.35	43%	1438.00	850.00	1243.32
S-1	M-9, 10 y 11	5	6.8	36%	1438.00	761.31	1148.01
S-1	M-12, 13 y 14	6.8	8.6	40%	1446.00	845.00	1237.95
S-2	M-1	0.3	2.1	24%	1145.00	903.77	1301.10
S-2	M-2	2.4	4.8	74%	1388.00	770.00	1157.35
S-2	M-3	4.2	5.1	33%	1047.05	1385.81	13.59
S-3	M-1	0.3	2.4	20%	1394.00	1131.73	1546.07
S-3	M-2	2.1	3.6	30%	1390.00	939.47	1339.46
S-3	M-3	3.6	4.1	38%	1405.00	942.00	1342.18
S-3	M-4	4.1	5.1	22%	1384.00	989.78	1393.53
S-4	M-1	0	0.6	17%	1235.00	823.12	1214.43
S-4	M-2	0.6	1.2	13%	1382.00	815.48	1206.22
S-4	M-3	1.2	1.8	17%	1393.00	1024.15	1430.46
S-4	M-4	1.8	2.4	17%	1424.00	966.78	1368.81
S-4	M-5	2.4	3	14%	1487.00	1111.58	1524.41
S-4	M-6	3	3.6	16%	1449.00	1120.75	1534.27
S-4	M-7	3.6	4.2	15%	1412.00	1140.68	1555.68

Suelo	Muestra	Profundidad		Peso volumétrico seco suelto (PVSS)	Peso volumétrico seco máximo AASHTO (PVSM)	Relación de vacíos (e)	Peso específico campo (γ)	Peso específico seco (γ_d)
-	-	De	A	kN/m^3	kN/m^3	-	kN/m^3	kN/m^3
S-1	M-1	0	0.6	7.94	11.77	1.22	13.31	10.53
S-1	M-2	0.6	1.2	7.82	11.64	1.02	13.69	9.95
S-1	M-3	1.2	1.8	7.83	11.65	0.99	13.56	9.50
S-1	M-4	1.95	2.55	7.44	11.24	2.17	13.51	7.88
S-1	M-6	3.15	3.75	8.34	12.20	1.07	13.80	9.39
S-1	M-7	3.75	4.35	8.34	12.20	0.97	14.11	9.88
S-1	M-9, 10 y 11	5	6.8	7.47	11.26	0.95	14.11	10.37
S-1	M-12, 13 y 14	6.8	8.6	8.29	12.14	0.89	14.19	10.14
S-2	M-1	0.3	2.1	8.87	12.76	1.51	11.23	9.05
S-2	M-2	2.4	4.8	7.55	11.35	0.58	13.62	7.81
S-2	M-3	4.2	5.1	0.00	0.00	982.59	9.81	0.58
S-3	M-1	0.3	2.4	11.10	15.17	0.47	13.68	11.39
S-3	M-2	2.1	3.6	9.22	13.14	0.70	13.64	10.51
S-3	M-3	3.6	4.1	9.24	13.17	1.38	13.78	10.00
S-3	M-4	4.1	5.1	9.71	13.67	1.14	13.58	11.15
S-4	M-1	0	0.6	8.07	11.91	1.20	12.12	10.37
S-4	M-2	0.6	1.2	8.00	11.83	1.30	13.56	11.95
S-4	M-3	1.2	1.8	10.05	14.03	1.04	13.67	11.64
S-4	M-4	1.8	2.4	9.48	13.43	0.90	13.97	11.97
S-4	M-5	2.4	3	10.90	14.95	0.55	14.59	12.85
S-4	M-6	3	3.6	10.99	15.05	0.95	14.21	12.25
S-4	M-7	3.6	4.2	11.19	15.26	0.76	13.85	12.04

Suelo	Muestra	Profundidad		Masa específica seca (ρ_d)	Porosidad (n)	Grado de saturación (S)	Compacidad relativa (Cr)	D10
-	-	De	A	kg/m^3	%	%	%	mm
S-1	M-1	0	0.6	1073.75	55%	52%	75.74%	0.001
S-1	M-2	0.6	1.2	1013.83	51%	76%	65.21%	0.001
S-1	M-3	1.2	1.8	968.03	50%	83%	53.42%	0.001
S-1	M-4	1.95	2.55	803.18	68%	84%	16.33%	0.00001
S-1	M-6	3.15	3.75	956.68	52%	87%	35.25%	0.005
S-1	M-7	3.75	4.35	1007.26	49%	88%	49.35%	0.006
S-1	M-9, 10 y 11	5	6.8	1057.48	49%	78%	83.14%	0.000001
S-1	M-12, 13 y 14	6.8	8.6	1033.70	47%	88%	57.51%	0.001
S-2	M-1	0.3	2.1	922.08	60%	37%	6.50%	0.0005
S-2	M-2	2.4	4.8	796.33	37%	161%	9.88%	0.0005
S-2	M-3	4.2	5.1	0.59	21%	0%	0.00%	0.01
S-3	M-1	0.3	2.4	1160.95	32%	73%	9.39%	0.001
S-3	M-2	2.1	3.6	1071.02	41%	77%	41.13%	0.001
S-3	M-3	3.6	4.1	1019.03	58%	66%	25.35%	0.06
S-3	M-4	4.1	5.1	1137.05	53%	46%	44.70%	0.01
S-4	M-1	0	0.6	1057.35	54%	33%	68.75%	0.0005
S-4	M-2	0.6	1.2	1218.58	56%	29%	102.12%	0.0002
S-4	M-3	1.2	1.8	1186.50	51%	41%	48.17%	0.007
S-4	M-4	1.8	2.4	1220.11	47%	43%	70.69%	0.004
S-4	M-5	2.4	3	1309.57	35%	50%	55.83%	0.009
S-4	M-6	3	3.6	1249.14	49%	41%	38.13%	0.009
S-4	M-7	3.6	4.2	1227.83	43%	43%	26.61%	0.009

5.2.3 Pruebas de corte directo para caracterización mecánica de los suelos superficiales de 4 sitios de la ZMG.

Para comprobar que las ecuaciones obtenidas mediante las correlaciones se realizaron 4 pruebas de corte directo para cada profundidad y a diferentes niveles de esfuerzos normales (0.5, 1, 2 y 4 kg/cm^2). El equipo fue configurado con una velocidad de 2 mm/min y para un desplazamiento máximo de 19 mm. Estas pruebas fueron realizadas a los suelos de los 4 terrenos visitados durante este semestre. En total fueron 32 especímenes.

Se trazaron curvas esfuerzo deformación:

•Deformación Vertical vs Esfuerzo Normal.

•Deformación Horizontal vs Esfuerzo Normal.

•Esfuerzo Normal vs Esfuerzo Cortante.

Carretera Tala

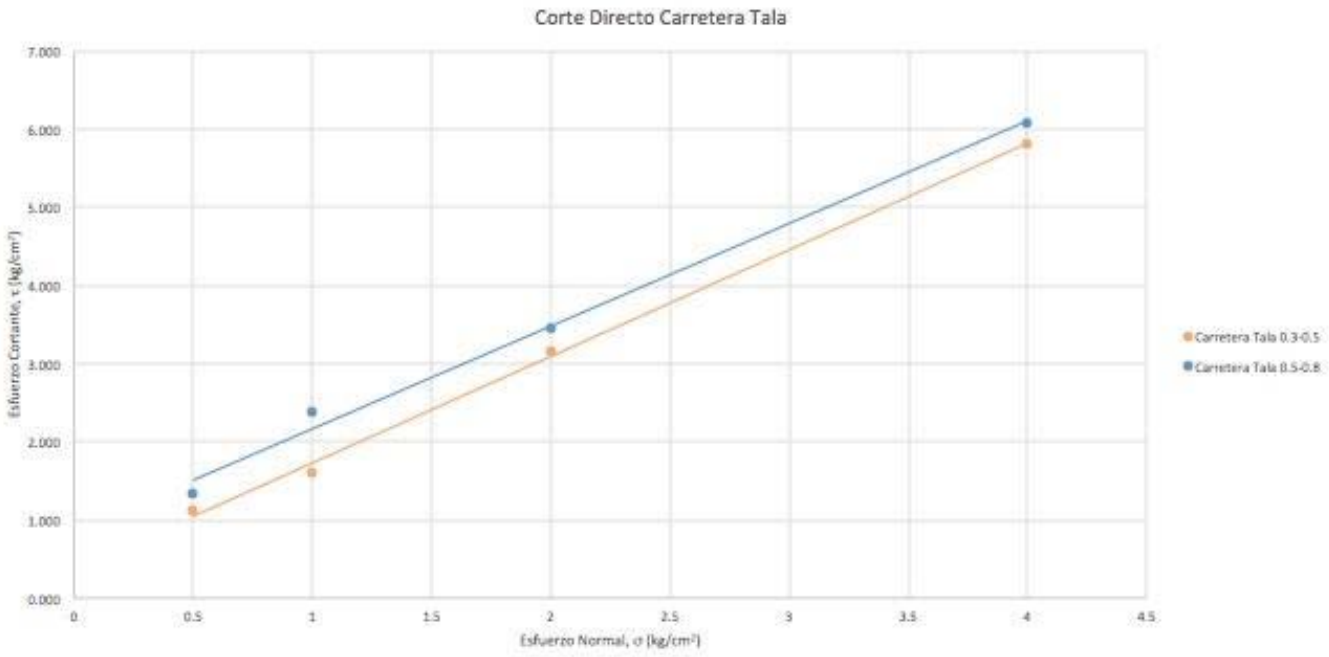
SUCS: ML Limo Arenoso

Laboratorio:

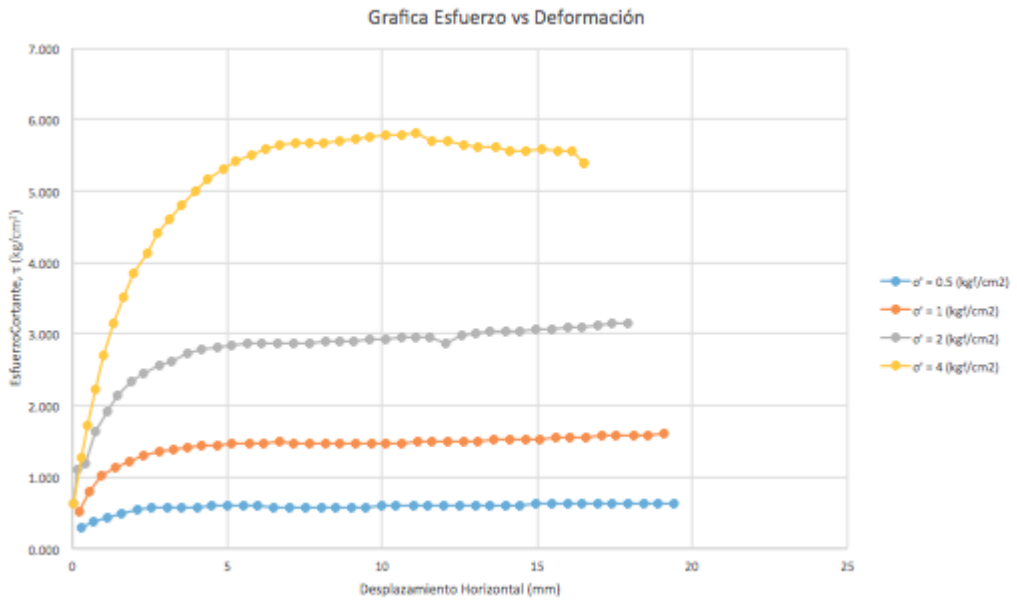
•0.30m-0.50m •0.50m-0.80m

$c = 0.3648$ $c = 0.8517$

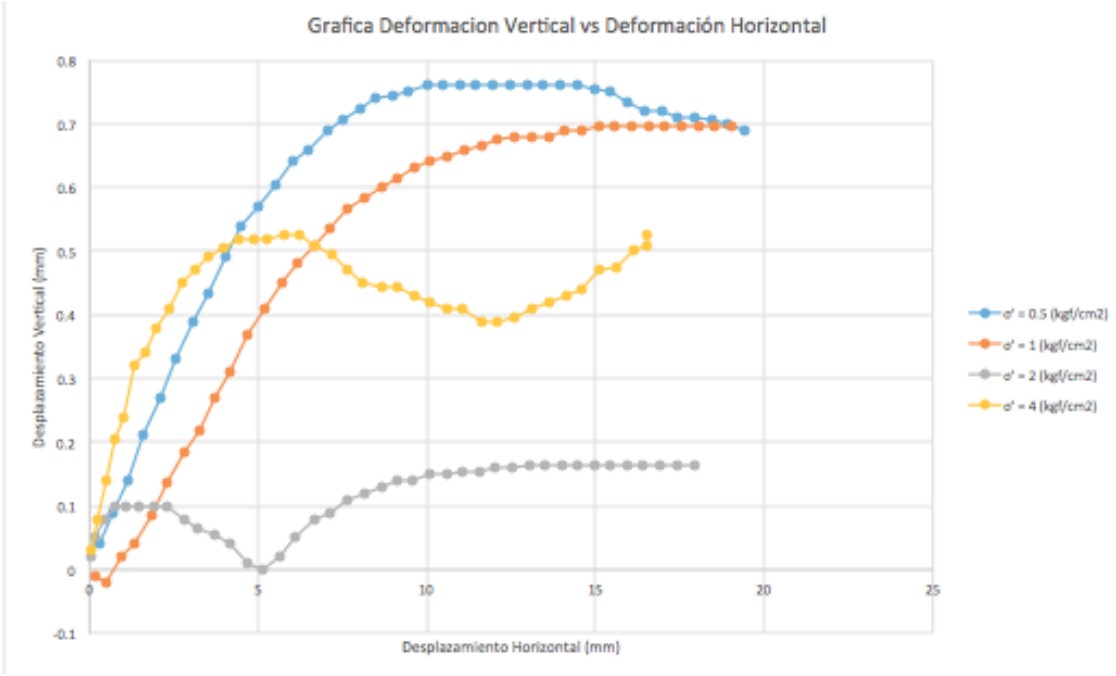
$\phi = 53.74^o$ $\phi = 52.71^o$



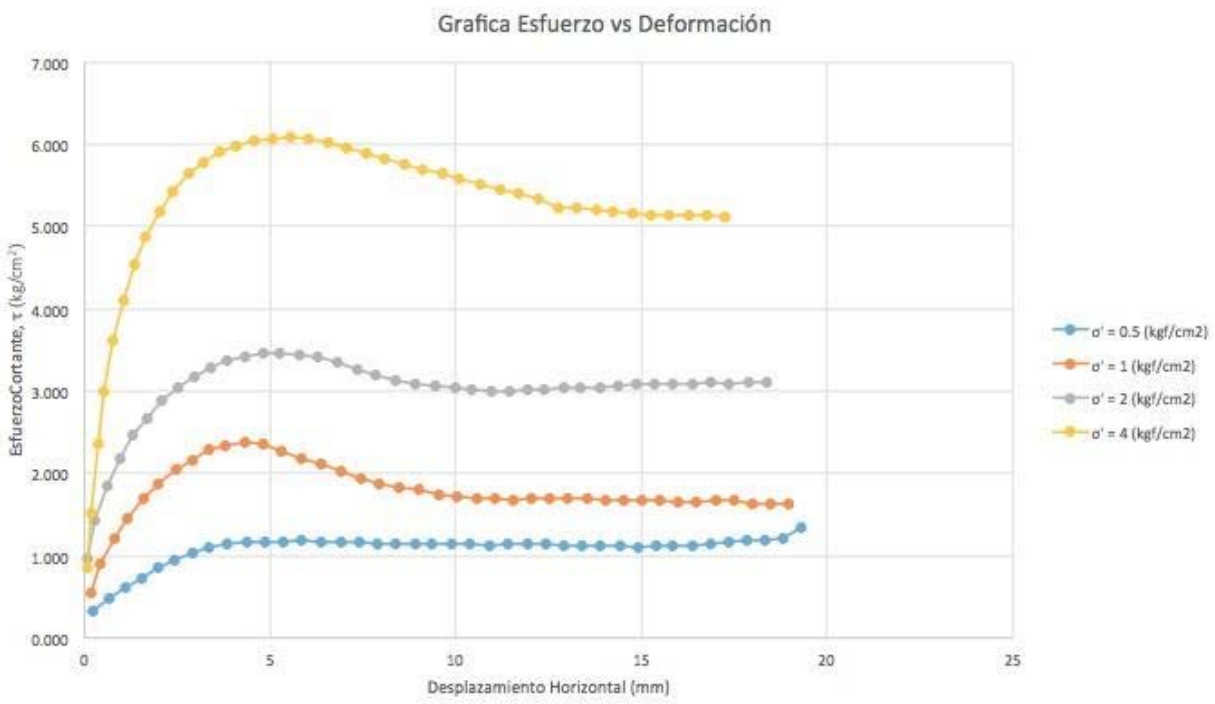
Gráfica 19 – Estado de esfuerzos carretera a Tala



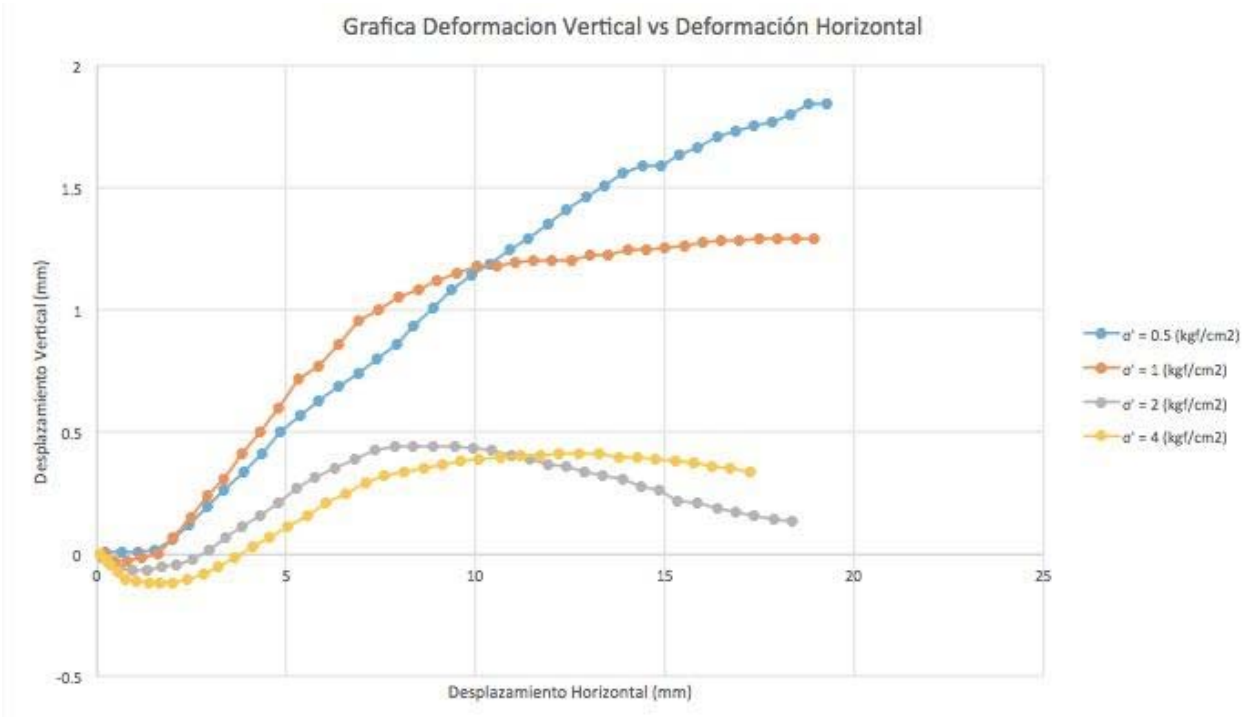
Gráfica 20 – Gráfica esfuerzo - deformación carretera a Tala Prof (0.3 m – 0.5 m)



Gráfica 21 – Gráfica deformación horizontal - deformación vertical carretera a Tala Prof (0.3 m – 0.5 m)

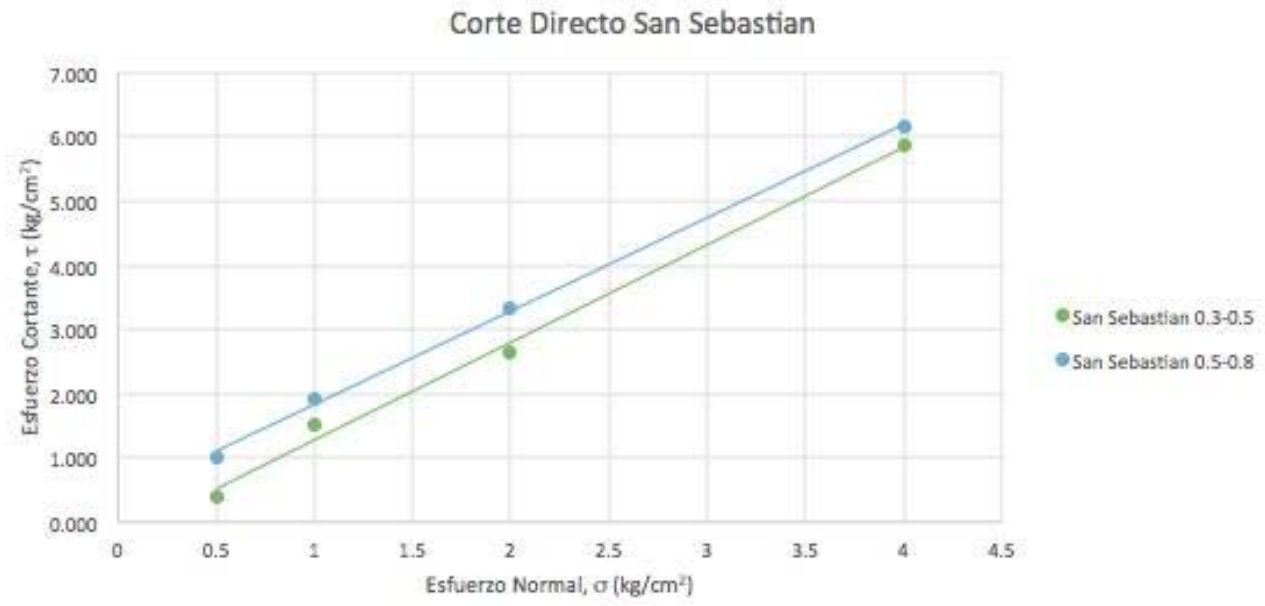


Gráfica 22 – Gráfica esfuerzo - deformación carretera a Tala Prof (0.5 m – 0.8 m)

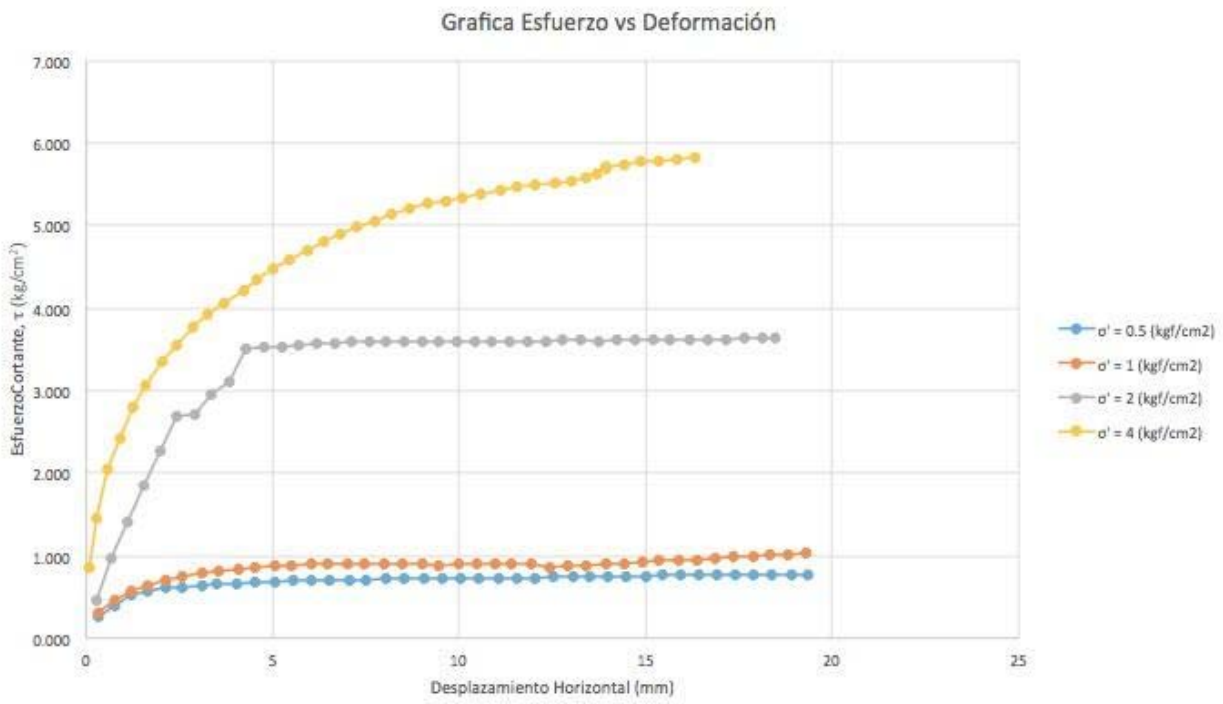


Gráfica 23 – Gráfica deformación horizontal - deformación vertical carretera a Tala Prof (0.5 m – 0.8 m)

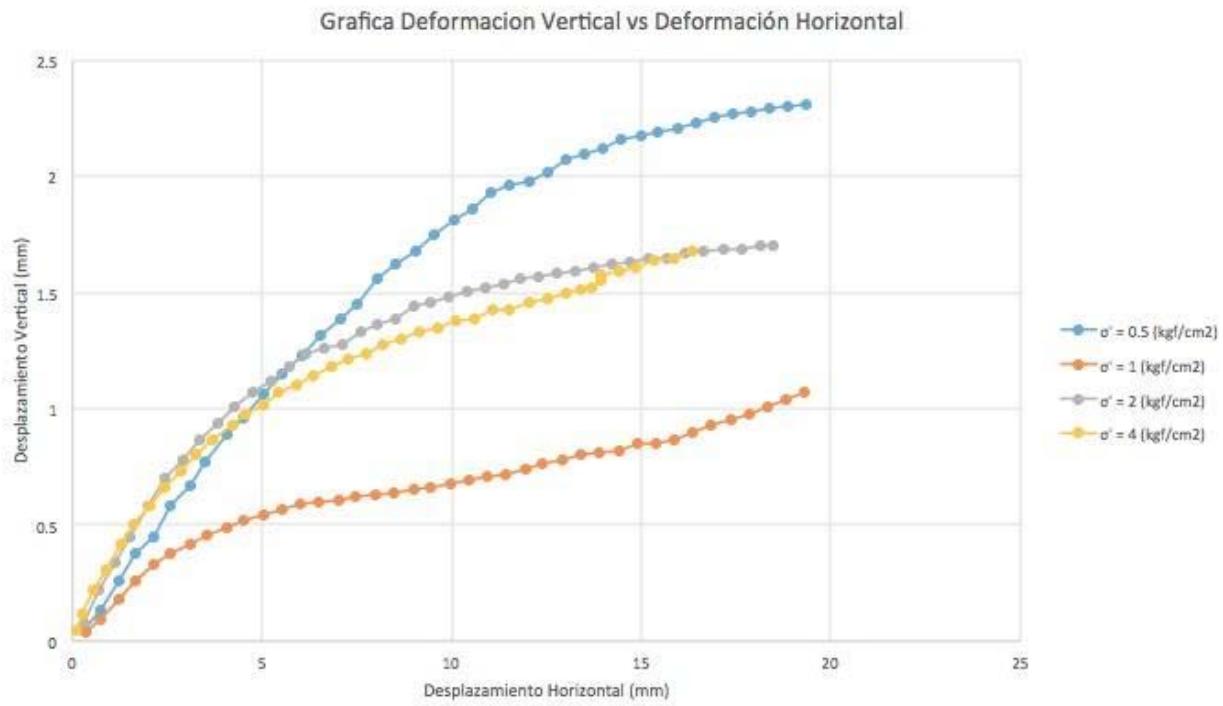
San Sebastián
SUCS: SM Arena Limosa
Laboratorio:
•0.30m-0.50m •0.50m-0.80m
$c = 0.000$ $c = 0.379$
$\phi = 56.46^o$ $\phi = 55.48^o$



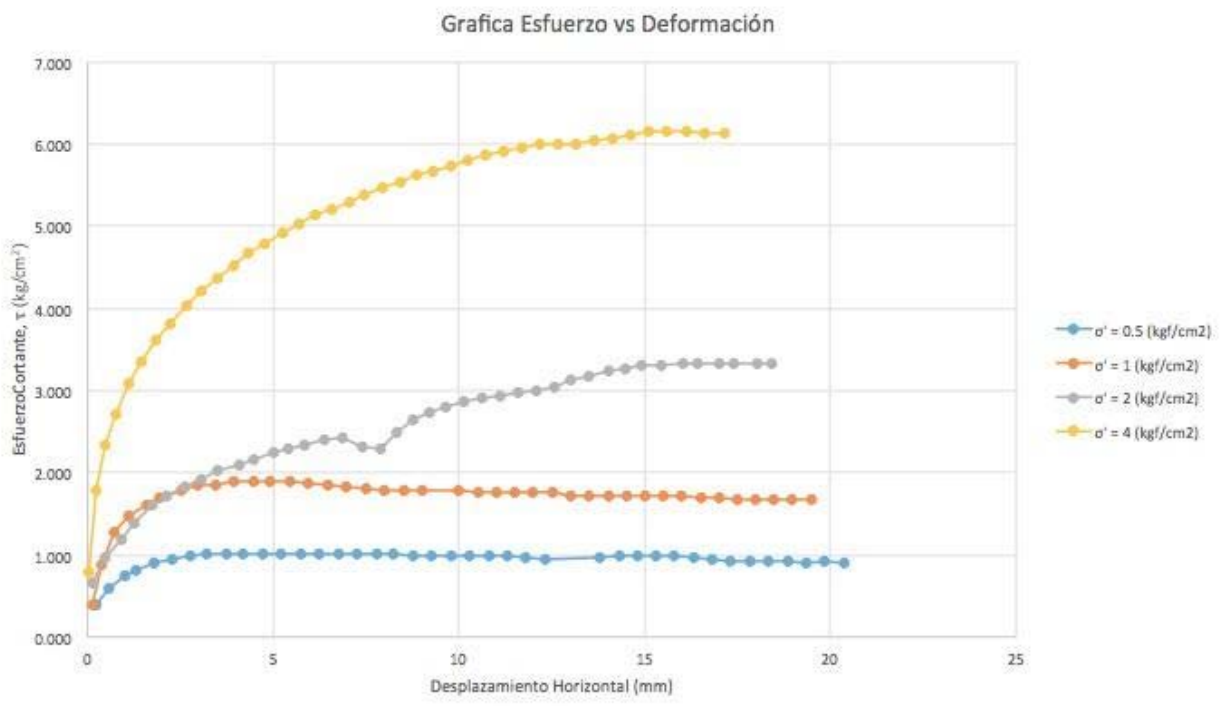
Gráfica 24 – Estado de esfuerzos San Sebastian



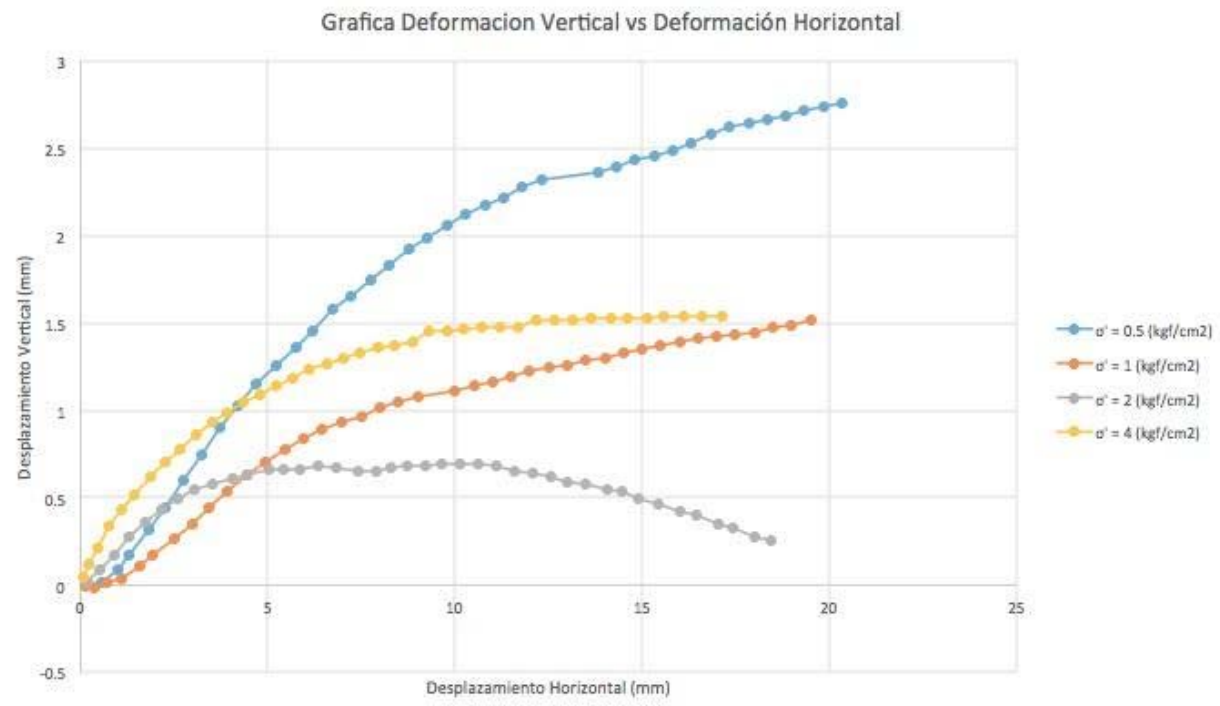
Gráfica 25 – Gráfica esfuerzo - deformación San Sebastian Prof (0.3 m – 0.5 m)



Gráfica 26 – Gráfica deformación horizontal - deformación vertical San Sebastian Prof (0.3 m – 0.5 m)



Gráfica 27– Gráfica esfuerzo - deformación San Sebastian Prof (0.5 m – 0.8 m)



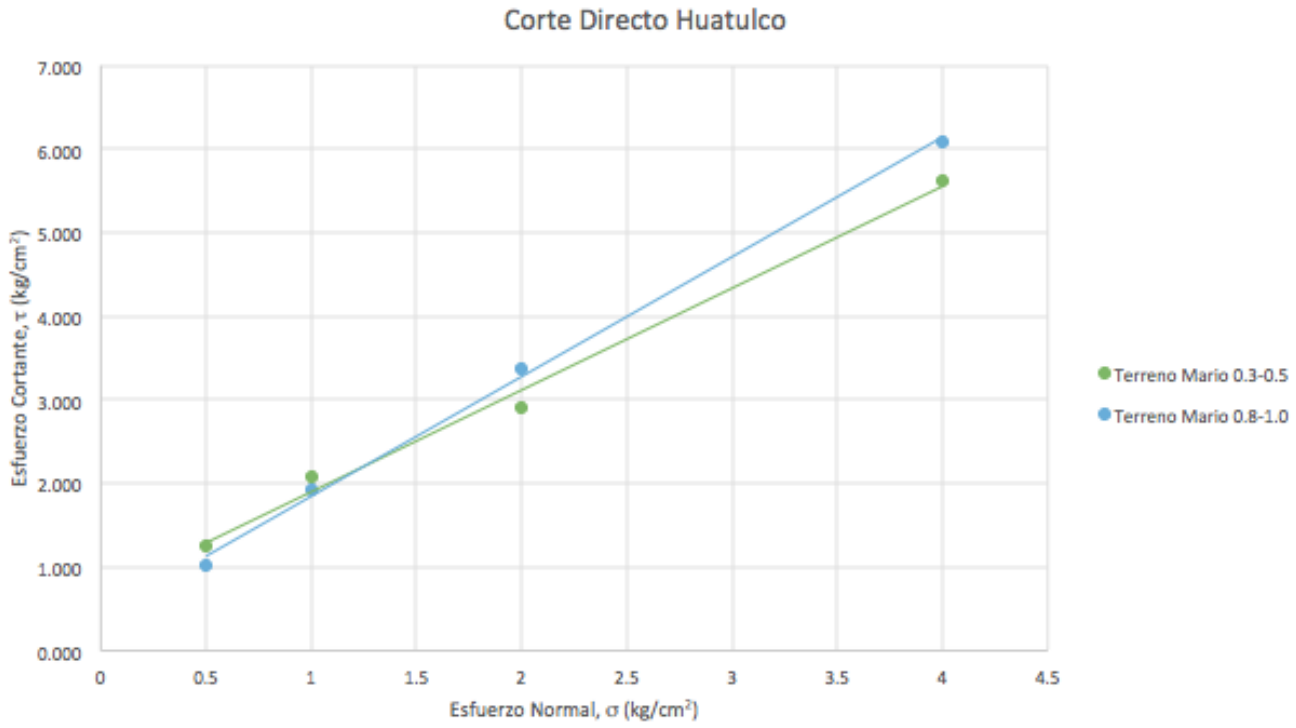
Gráfica 28 – Gráfica deformación horizontal - deformación vertical carretera a Tala Prof (0.5 m – 0.8 m)

Terreno Huatulco
SUCS: SM Arena Limosa
Laboratorio:

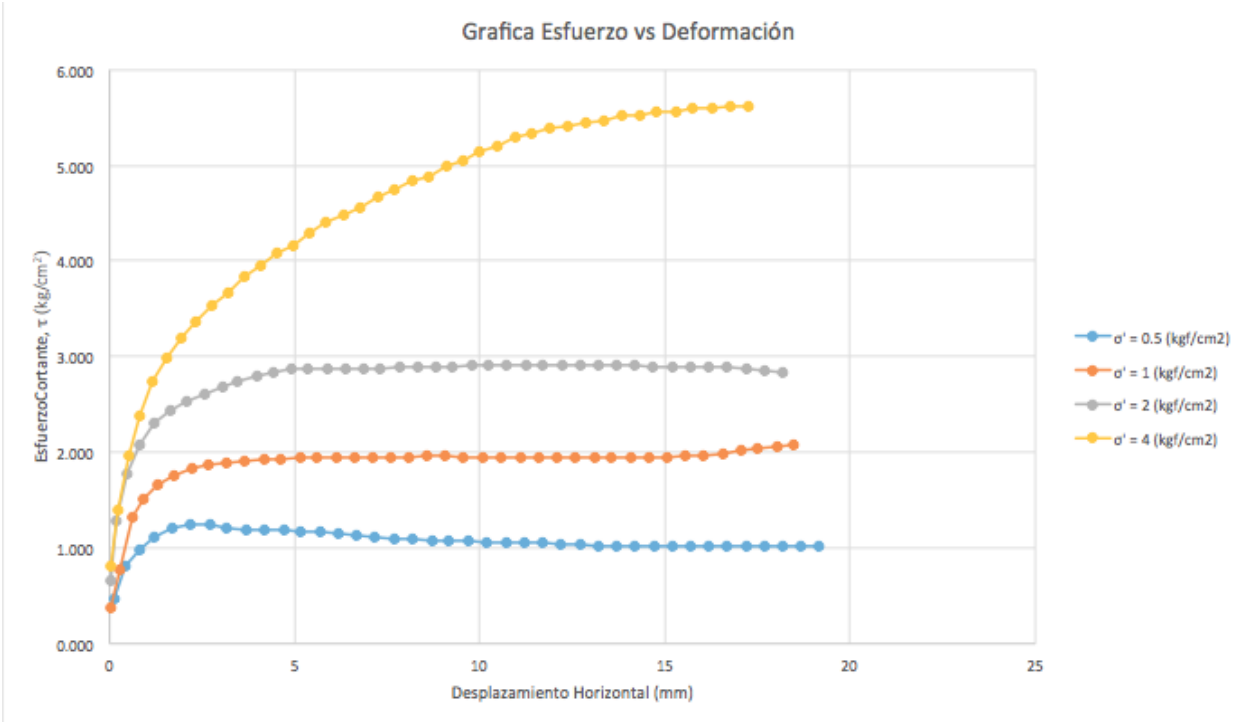
•0.30m-0.50m •0.80m-1.00m

$c = 0.6813$ $c = 0.8999$

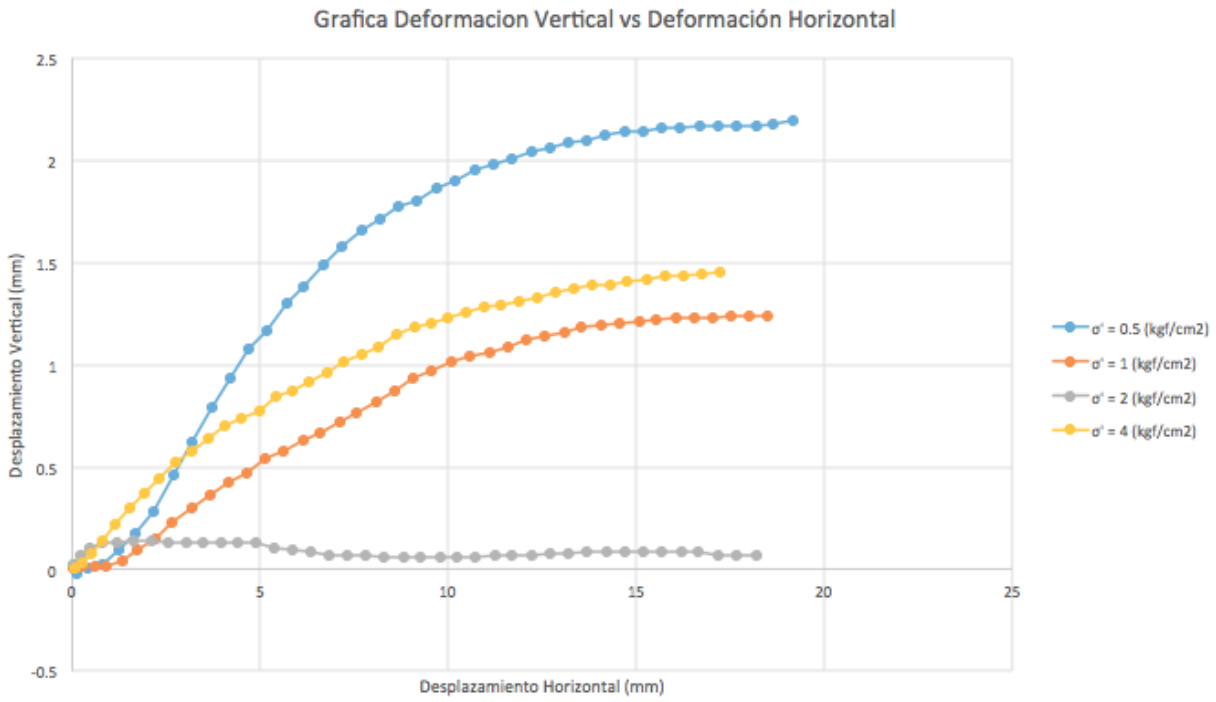
$\phi = 50.64^o$ $\phi\ 53.86^o$



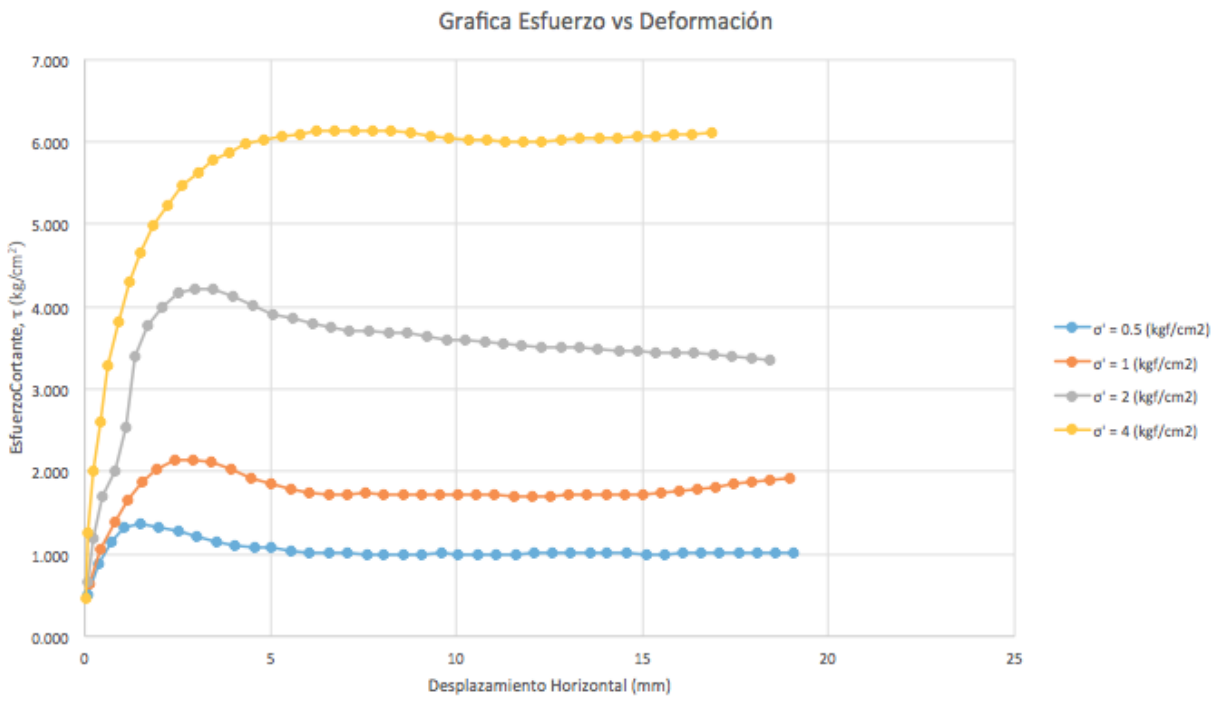
Gráfica 29 – Estado de esfuerzos San Sebastian



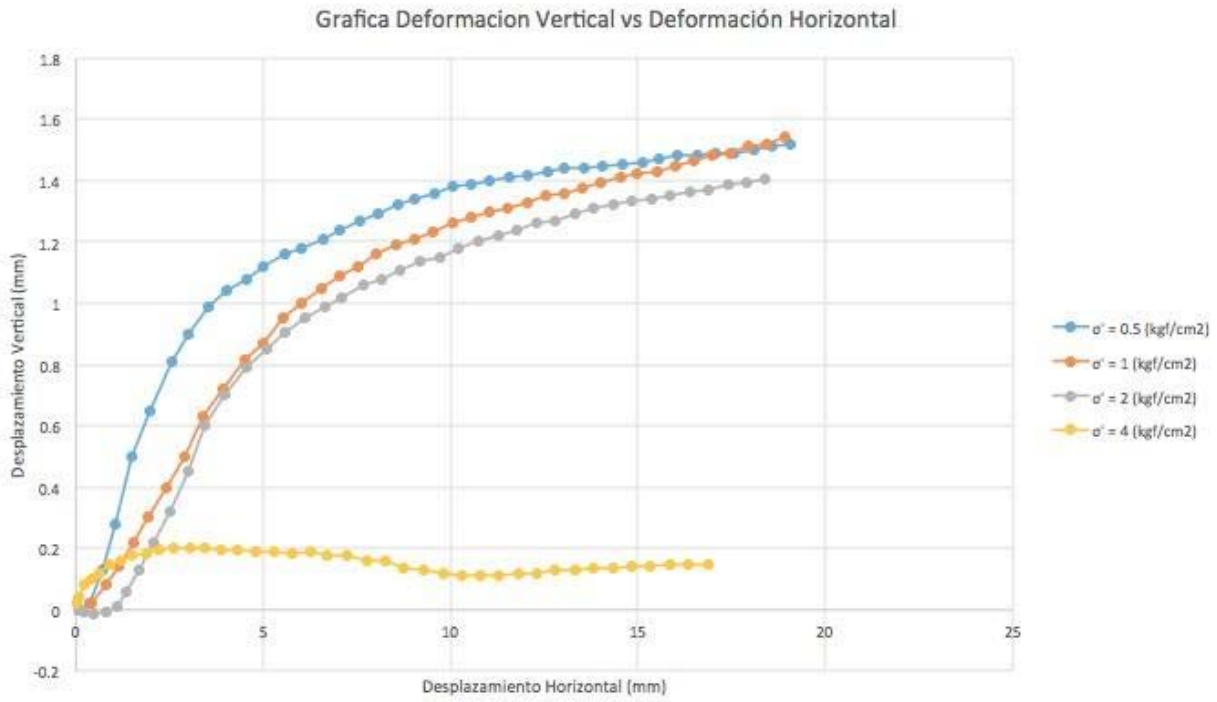
Gráfica 30– Gráfica esfuerzo - deformación Huatulco Prof (0.3 m – 0.5 m)



Gráfica 31 – Gráfica deformación horizontal - deformación vertical Huatulco Prof (0.3 m – 0.5 m)

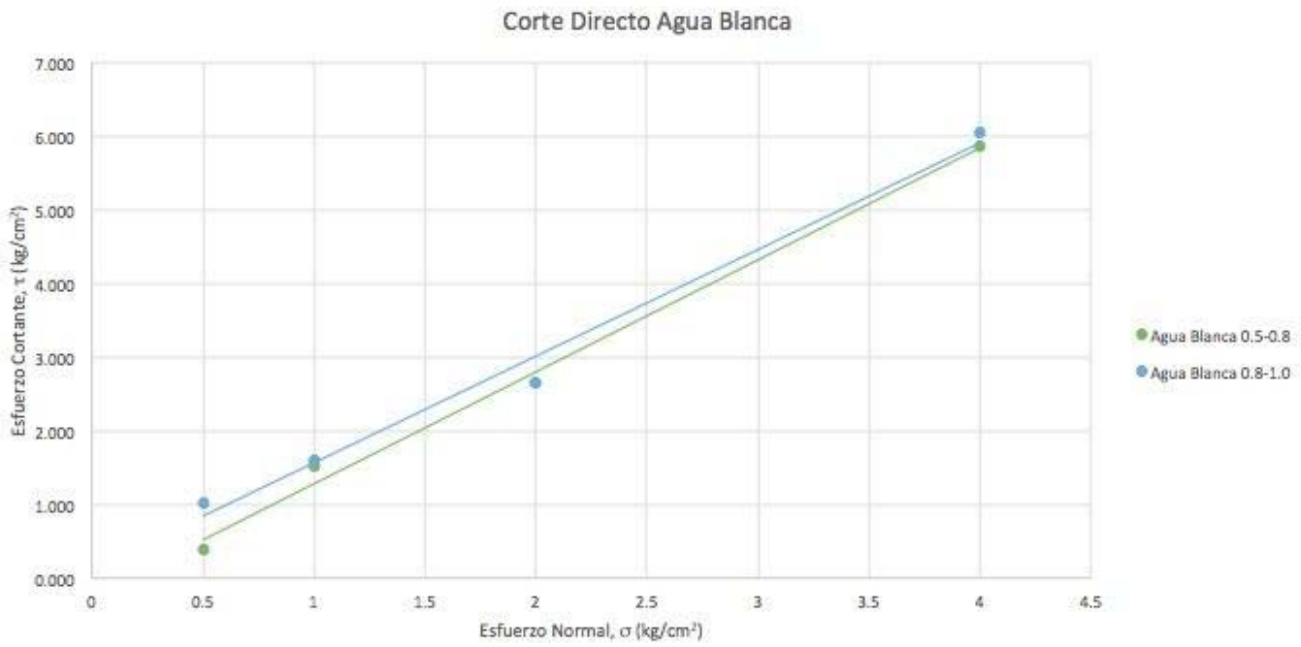


Gráfica 32– Gráfica esfuerzo - deformación Huatulco Prof (0.8 m – 1.0 m)

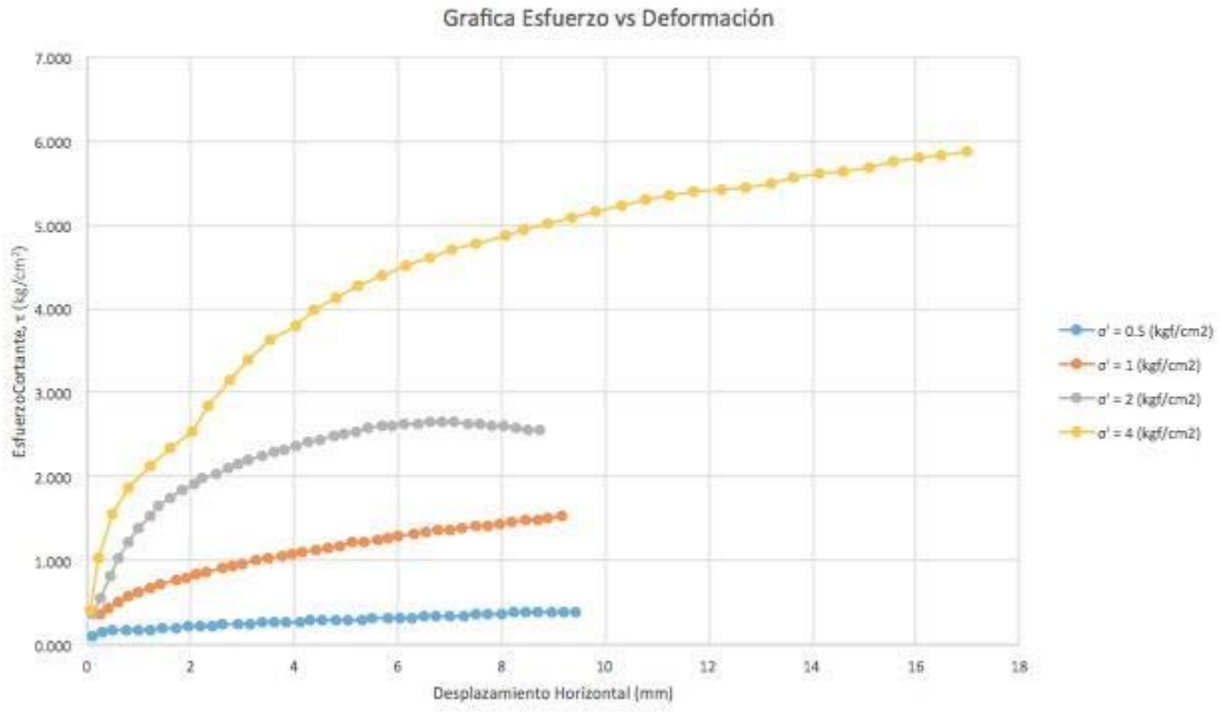


Gráfica 33 – Gráfica deformación horizontal - deformación vertical Huatulco Prof (0.8 m – 1.0 m)

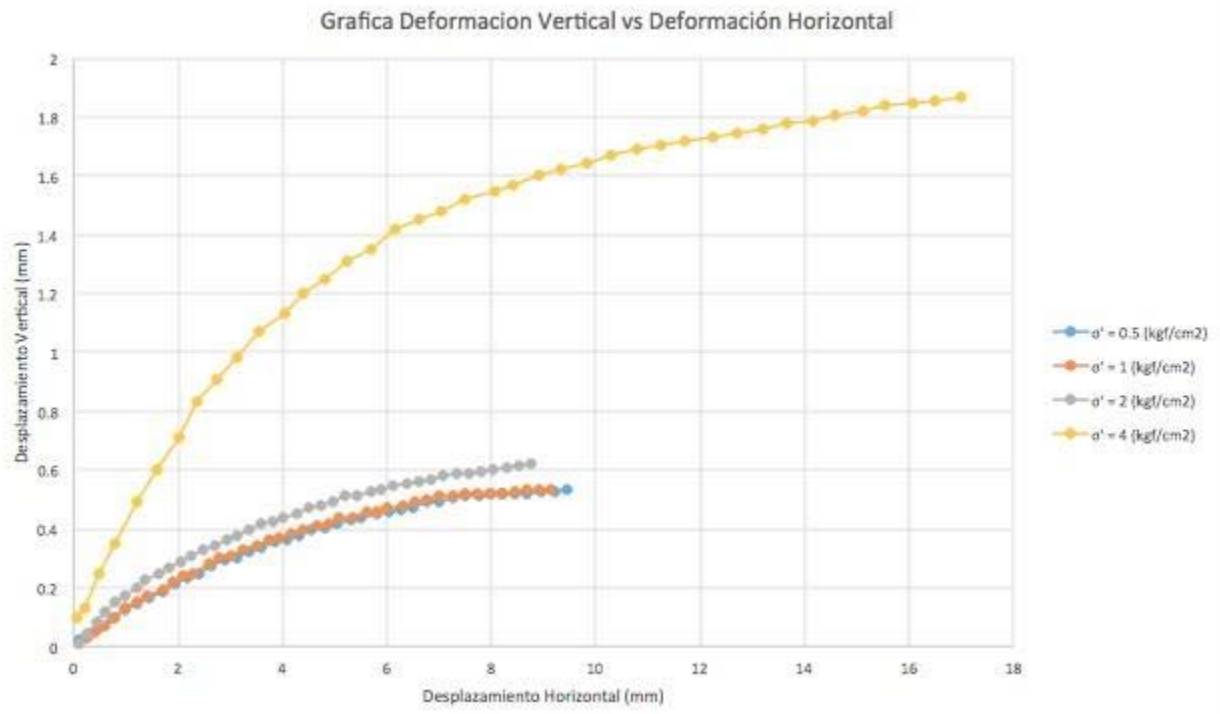
Agua Blanca
SUCS: ML Limo Arenoso
Laboratorio:
•0.50m-0.80m •0.80m-1.00m
$c = 0.000$ $c = 0.1172$
$\phi = 56.66^o$ $\phi = 55.35^o$



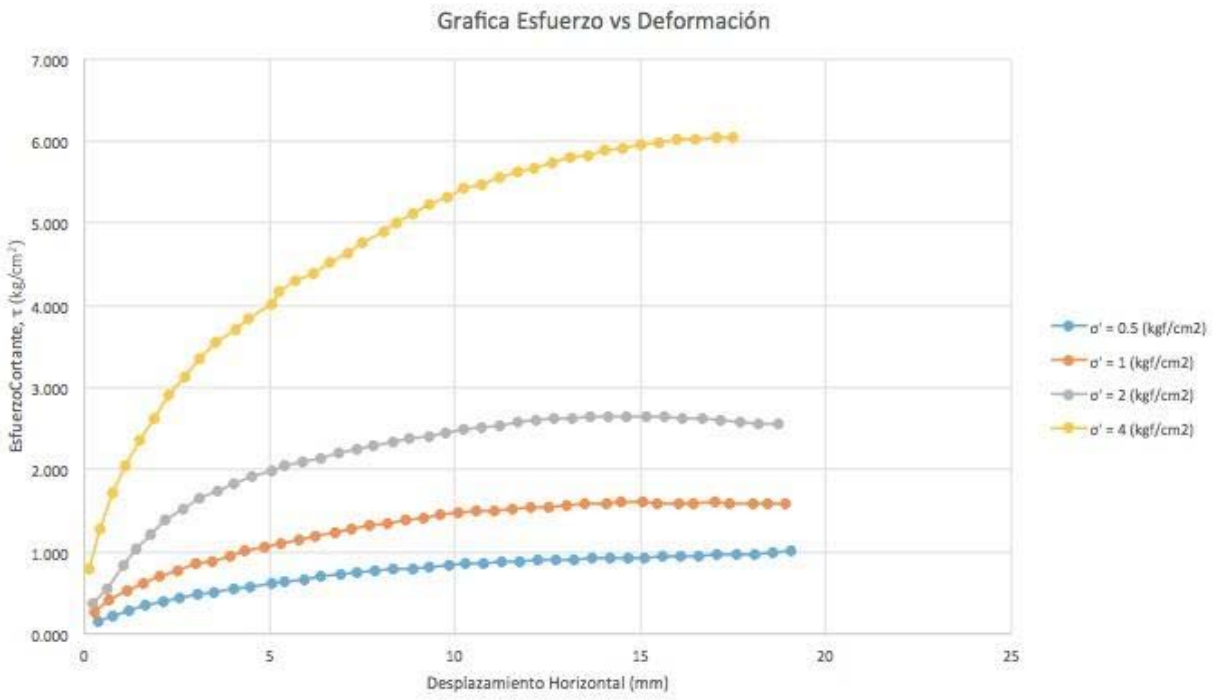
Gráfica 34 – Estado de esfuerzos Agua Blanca



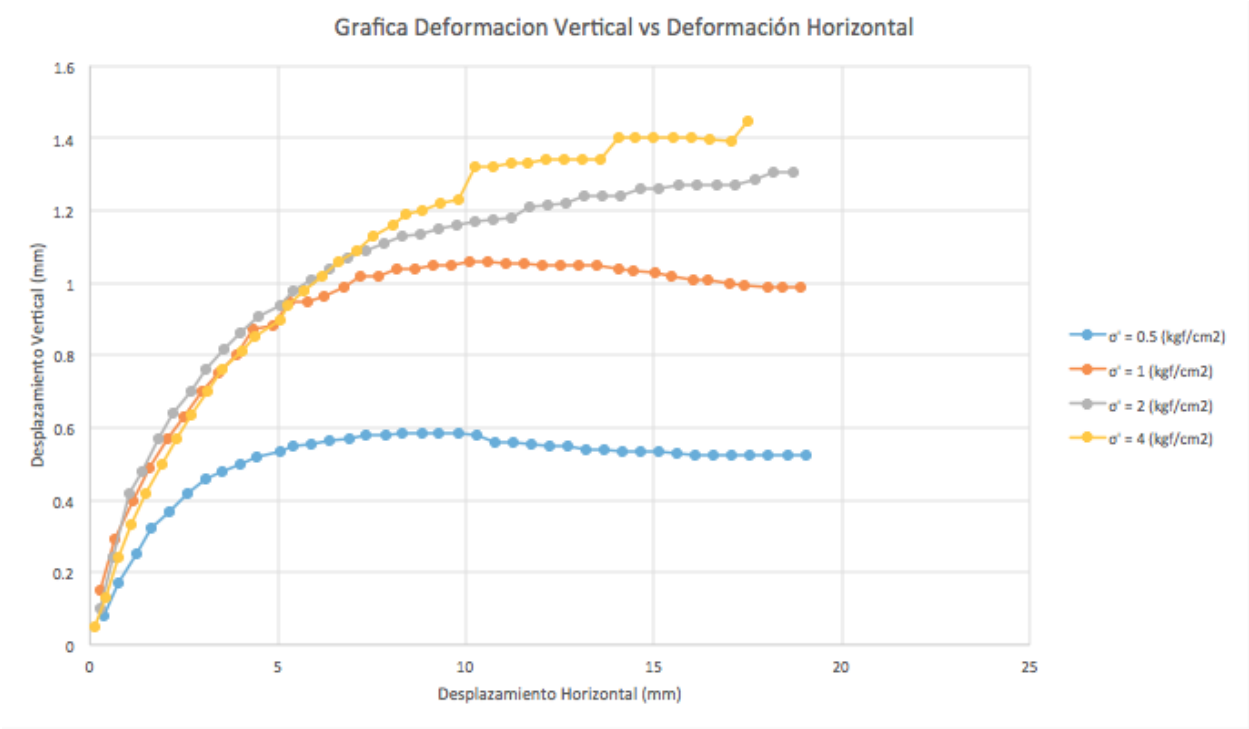
Gráfica 35– Gráfica esfuerzo - deformación Agua Blanca Prof (0.5 m – 0.8 m)



Gráfica 36 – Gráfica deformación horizontal - deformación vertical Agua Blanca Prof (0.5 m – 0.8 m)



Gráfica 37– Gráfica esfuerzo - deformación Agua Blanca Prof (0.8 m – 1.0 m)



Gráfica 38 – Gráfica deformación horizontal - deformación vertical Agua Blanca Prof (0.8 m – 1.0 m)

5.3 Impacto(s) generado(s).

5.3.1 Comparación de los resultados de laboratorio contra los valores obtenidos empleando las ecuaciones propuestas

Ya con las ecuaciones obtenidas gracias al software y a las correlaciones entre las propiedades mecánicas y las propiedades índice de los suelos analizados en semestres anteriores nos dispusimos a ver si estas ecuaciones propuestas se ajustaban a los datos obtenidos durante este semestre mediante pruebas de laboratorio como la prueba de corte directo y las pruebas triaxiales mencionadas anteriormente. Obtuvimos los siguientes resultados:

Terreno	Profundidad	Laboratorio		Ecuaciones	
		c	ϕ	c	ϕ
Carretera Tala	0.30 a 0.50	0.36	53.74	0.13	33.68
	0.50 a 0.80	0.85	52.71	0.25	33.60
San Sebastian	0.30 a 0.50	0.00	56.46	0.32	49.57
	0.50 a 0.80	0.38	55.48	0.32	49.57
Huatulco	0.30 a 0.50	0.68	50.64	0.09	55.54
	0.80 a 1.00	0.90	53.86	0.09	55.54
Agua Blanca	0.50 a 0.80	-0.24	56.66	-0.42	43.41
	0.80 a 1.00	0.12	55.35	0.29	59.55

Como podemos ver, comparando nuestros resultados obtenidos en el laboratorio con nuestros resultados arrojados por las ecuaciones propuestas, las ecuaciones parecen estar acertadas en algunos casos más que otros. Pero este error suponemos que es porque nuestra muestra es muy pequeña en comparación de todas las muestras que se podrían obtener dentro de toda la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) y creemos que si ampliamos más nuestra base de datos podríamos obtener ecuaciones con mayor precisión, pero el trabajo que realizamos durante este semestre nos puso en buen camino para seguir mejorando.

Capítulo VI. APRENDIZAJES INDIVIDUALES Y GRUPALES

6.1 Aprendizajes profesionales: competencias reforzadas y conocimientos adquiridos

Aaron Zoe Mendoza Galan

A lo largo de este proyecto pude desarrollar distintos tipos de competencias en mi profesión, puesto que es mi primer trabajo de investigación en el que colaboro, por lo tanto, se aprenden nuevas metodologías de aprendizaje y de desarrollo como persona; se desarrolla una habilidad para buscar nueva información y fundamentar tus nuevas teorías para que estas mismas sean tomadas en cuenta.

Al estar trabajando con suelos te das cuenta de su verdadero funcionamiento y de la verdadera importancia que se les debe de dar puesto que las cimentaciones de todas las estructuras están soportadas por el suelo y al conocer el suelo puedes comprender mejor cómo trabajan las estructuras en su cimentación.

Julio Enrique Díaz Leal

Este proyecto de aplicación profesional enfocado en la geotecnia me permitió aplicar los conocimientos y habilidades adquiridos en los cursos de mecánica de suelos, pero más que replicar los procedimientos de prueba aprendidos con anterioridad, me fue posible cambiar el enfoque de los mismos para dejar de verlos como ejercicios académicos y empezar a verlos desde el ámbito profesional propio de un mecanicista de suelos.

La constante realización de pruebas de mayor grado complejidad como lo es el ensaye de compresión triaxial, me demostró también que de la pericia del laboratorista dependen enormemente los resultados de los ensayes, debimos fallar en varias de las pruebas triaxiales hasta aprender las mejores técnicas para obtener resultados satisfactorios; y aunque este tipo de aprendizajes no pueden plasmarse en este reporte, son útiles siempre que se realicen estas pruebas en el futuro.

Jahasiel Miguel Atondo Martínez

En este proyecto desarrolle conocimientos nuevos los cuales sirven para caracterizar suelos. Ahora entiendo que el suelo le deben su comportamiento mecánico a sus propiedades granulométricas y la capacidad que estas tienen para retener el agua. Me llamó profundamente la atención la característica de los suelos que estábamos analizando, ya que en las pruebas de campo encontramos mantos freáticos y pude observar la César Eduardo Zárate Rosales.

A lo largo de este proyecto de aplicación profesional reforcé mis conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, principalmente mis conocimientos sobre los suelos, tuve la

oportunidad de ver más a fondo procedimientos que vi dentro de mis cursos de mecánica de suelos y mecánica de suelos aplicada. Creo que pude ver de manera superficial un ámbito más especializado de la ingeniería civil, un ramo que a mí me llama mucho la atención y que me veo a futuro desempeñándome dentro del mismo. Me vi retado constantemente por mis conocimientos y las exigencias del PAP pero creo que a final de cuentas las cosas salieron bien, no como esperábamos, pero se hicieron bien.

Carlos Topete Martín

Pude desarrollar la habilidad de poder trabajar en equipo, ya que teníamos que estar todos relacionados y saber lo mismo para poder realizar un buen trabajo y adecuado al proyecto.

Creo que se necesitó mucha paciencia para acostumbrarnos y entendernos entre todos, dado a que cada quien estaba desarrollando cosas distintas y todos necesitábamos de todos para poder seguir adelante. Aprendí a que es muy importante saber trabajar en equipo, dado a que si uno falla el trabajo no se podía continuar, es necesario contar con mucha paciencia y entender a todos los integrantes del equipo para llegar a una solución coherente.

Diego González Castellanos

Este PAP sirvió para reforzar lo ya antes aprendido en clases de suelos y complementar los conocimientos, así como a poner en practica dichos conocimientos adquiridos a un campo de acción real, dando soluciones a problemas que algún día podrían presentarse en el día a día.

Ya tenía algunos años desde mi última clase de suelos, así que al inicio me costó un poco el recordar varios conceptos y términos, así como la realización de diferentes métodos en laboratorio o en campo, como el APT, PCA, corte directo, triaxial, entre otros.

En general este proyecto de aplicación es de mucha importancia para mi carrera, ya que se puso a prueba mis conocimientos, así como mi capacidad de aprendizaje, además, esta rama de la ingeniería civil debe ser tomada con mucho cuidado y seriedad ya que es importante para el desarrollo de proyectos, aprendí bastante en esta clase y ayudo a tener una idea general de lo que trata la mecánica de suelos.

Germán Cárdenas Artigas

Desarrollé y reforcé conocimientos y habilidades necesarios para la práctica profesional, de igual forma pude aclarar y comprender mejor los conceptos de la mecánica de suelos. Trabaje rodeado de compañeros que serán mis futuros colegas, lo cual me permitió a organizarme para en conjunto poder lograr el objetivo del PAP, por lo que es el trabajo en equipo una de las competencias más importantes desarrolladas durante este semestre.

Por otra parte, fueron bastantes los saberes puestos a prueba, tuve que repasar mis notas de semestres anteriores. Aprendí a realizar pruebas de laboratorio que no había ejecutado en mecánica de suelos aplicada. Tuve que familiarizarme con las normas y equipo necesario para la realización de las pruebas

6.2 Aprendizajes sociales

Aaron Zoe Mendoza Galan

El proyecto no está directamente dirigido a la ayuda de las demás personas, sino que es de una manera indirecta como se ayuda puesto que al momento de realizar la zonificación geotécnica no quedará disponible a todas las personas, si no que el punto es que los constructores puedan acceder a ella y evitar riesgos en todas las construcciones, sin embargo, este proyecto puede beneficiar a las zonas más exteriores de la zona metropolitana de Guadalajara ya que pocas veces se realizan estudios de mecánica de suelos, a lo que este proyecto ayudará para evitar que estas nuevas construcciones produzcan riesgos a la población en general.

El proyecto comenzó en pequeño, pero se pretende que toda la zona metropolitana de Guadalajara quede en un mapa de zonas geotécnicas para el provecho de la población, por lo que se recomienda que se recolecten datos de varias instituciones para poder empezar a realizar este mapa que es el objetivo principal del proyecto.

Julio Enrique Díaz Leal

Es difícil hablar de aprendizajes sociales especialmente en este proyecto, ya que el contacto con la gente es prácticamente nulo; no obstante, este es un proyecto bastante ambicioso con beneficios sociales y económicos enormes para la ciudad, los cuales no serán apreciables hasta el mediano plazo.

Los beneficios de este proyecto serán recibidos inicialmente por los constructores, quienes con nuevas formas de diseñar podrán aprovechar de mejor forma las propiedades de los suelos característicos de la región, reduciendo los tiempos de investigación; posteriormente los beneficiarios serán finalmente los usuarios y habitantes de la ciudad, puesto que se podrían reducir los costes de construcción en su etapa de movimiento de tierras y cimentación, además de que se podrán desplantar con mayores condiciones de seguridad.

Emmanuel Josué García Leal

Este proyecto es un proyecto ambicioso, que necesita de una gran cantidad de trabajo para poder finalmente crear un impacto en la sociedad. Es un proyecto ambicioso porque busca modificar leyes y reglamentos de construcción en la Zona Metropolitana de Guadalajara, de forma que pueda construirse con datos reales de las propiedades de los suelos en el área, y no

con supuestos de otras regiones que afectan la forma en que construimos y nuestra capacidad de análisis de la situación regional en la construcción.

Este PAP es una gran introducción al mundo de la investigación académica. Se necesitan de una gran de conocimientos ingenieriles para su desarrollo, y el resultado final esperado puede cambiar la forma en que se construye en la ZMG y, seguramente, hará más económicas las cimentaciones de todo tipo de edificaciones, ayudando así a la economía de la región.

César Eduardo Zarate Rosales

Este PAP se dividió en dos partes desde prácticamente el inicio del semestre, el equipo que iba al campo a realizar pruebas de penetración estándar, y el equipo que se quedaba en el laboratorio para realizar pruebas a las muestras de suelo que el equipo de campo le llevaba, yo estuve dentro del equipo que se iba a campo y principalmente como aprendizaje social que tuve dentro del PAP fue en trabajar en equipo y confiar en ellos, creo que este PAP no beneficia a ningún grupo social aún. Está en su etapa de desarrollar una solución para poder beneficiar a muchos grupos sociales, pero aún está en proceso y me da gusto formar parte de este proyecto de aplicación profesional.

Carlos Topete Martín

Creo que este proyecto no está muy enfocado a lo social, pero viéndolo de un aspecto diferente, mediante la investigación y conclusión del proyecto, ayudará a todas aquellas personas que se dedican a la construcción, mediante el mapeo que se realice, poder ver que tipo de suelo existe en cierta zona para la hora que realizamos un estudio de mecánica de suelos no menospreciar ni subestimar el tipo de suelo y poder realizar un promedio para el cálculo de nuestras cimentaciones o en dado caso, utilizar el suelo para lo que se requiera.

Es un proyecto que beneficia generalmente a la población de Jalisco ya que brindará información muy interesante y necesaria, porque no existe un estudio de este tipo. Me gustaría que se le diera seguimiento a este proyecto, dado a que es muy interesante y nos puede servir mucho en un futuro a todas las personas que construyamos.

Diego González Castellanos

El aporte de este proyecto a la sociedad es muy específico, ya que intentamos obtener una ecuación que se adecue a cierto comportamiento específico del suelo a nivel Jalisco, por lo pronto en la ZMG, el proyecto tiene un alcance sin precedentes tal vez socialmente no se aprecie tanto como otros PAPs que ayudan directamente a zonas necesitadas etc. Este tiene u carácter más específico y puntual a la mecánica de suelos.

En cuanto a mi desempeño a lo largo del semestre lo considero bueno, ya que me toco estar en el equipo que se encargó de las pruebas de campo, muy importante ya que de ahí se obtuvieron muestras para poder caracterizarlas y aplicar las ecuaciones antes dadas.

El aporte de todos los compañeros fue excelente, ya que a partir del próximo semestre este proyecto estará alcanzando un nivel “macro” nivel ZMG y podrán llevarse a cabo un análisis y comprobación certeras de las ecuaciones realizadas, por ahora no se puede decir que ya hay resultados concretos sobre nada, sin embargo, vamos paso a paso.

Además, este PAP ayudo a entender de mejor manera el contorno que rodea ámbitos relacionados con la mecánica de suelos, el campo de acción que tiene y la importancia de este para las obras civiles.

Germán Cárdenas Artigas

Durante este semestre el impacto social de este Proyecto se puede considerar inexistente, las implicaciones del producto final si tendrían un gran impacto para todos los habitantes de la zona metropolitana de Guadalajara.

Por el momento no se cuenta con un beneficiario identificado con certeza. Sabemos lo ambiciosa que es la apuesta de nuestro proyecto lo que resulta en una cantidad de trabajo enorme aún por delante. Este es un PAP al que le faltan varios componentes y áreas por desarrollar, sin embargo, una vez terminado si podría afirmar que contribuí a mejorar la sociedad y la calidad de vida de la ciudad que habito.

6.3 Aprendizajes éticos

Aaron Zoe Mendoza Galan

El principal motivo por el que decidí unirme a este proyecto es para una mayor comprensión de los suelos y para ser partícipe de un proyecto de investigación que se que me ayudara en un futuro para mis propios proyectos de investigación; ahora que conozco el motivo del proyecto, es más fácil saber cómo ayudar en los trabajos que realice después de egresar, ya que la mayoría de las estructuras no se fundamentan como deben de ser, es por eso que este proyecto me ayudó a comprender qué es lo que debo de hacer yo para ayudar a mi profesión.

Julio Enrique Díaz Leal

La integridad ética es importante en este proyecto, ya que de repente se vuelve fácil alterar los números cuando éstos no son los esperados para evitar repetir las pruebas y reducir el tiempo en laboratorio; para evitar esto hay que ser conscientes de que este tipo de decisiones van más allá de los resultados de este PAP, y que pueden perjudicar el trabajo de las personas que se dediquen en el futuro al desarrollo del proyecto.

Carlos Topete Martín

Creo que lo ético en este proyecto fue más sobre cómo nos desarrollamos los integrantes en él y como necesitábamos todos de todos, esto creo actitudes de respeto y paciencia para poder generar los datos necesarios para la obtención de resultados.

Este proyecto se relaciona mucho con la vida profesional, dado a que fue necesario trabajar en equipo, realizar trabajos muy elaborados basados en investigaciones. Esto genera ganas de aprender por nuestra cuenta y no solo esperar a que alguien nos diga que es lo que tenemos que hacer.

César Eduardo Zárate Rosales

Mis aprendizajes éticos dentro de este proyecto de aplicación profesional fueron principalmente en cumplir en tiempo y forma con lo que se me pedía hacer, en desempeñarse éticamente dentro de un equipo de trabajo, en no cambiar resultados que me desfavorecían, etc. Creo que a lo que me veía constantemente retado era que en la parte del trabajo que a mi tocó hacer, crear un modelo matemático, me encontraba seguido con resultados que estaban ligeramente erróneos y sabía que ese error era “aceptable” pero también sabía que ese error se podía corregir, y constantemente tuve oportunidades de hacer las cosas a medias, pero siempre opte por hacerlas bien, porque sabía que de mi trabajo dependían muchas cosas.

Diego González Castellanos

La experiencia que me deja el PAP es importante, ya que no tenía.

una concepción completa sobre el campo de trabajo de la mecánica de suelos, ahora se por completo que no me quiero dedicar a esta rama de la ingeniería civil, sin embargo, aprendí ciertos aspectos técnicos que serán de utilidad para mi desarrollo profesional.

También sirvió para poner a prueba mis conocimientos adquiridos en clases de suelos, para reforzar el nivel de conocimientos y llevándolos a la práctica profesional.

Germán Cárdenas Artigas

Al igual que mis compañeros considero de suma importancia la fiabilidad de los datos y como el alterarlos o hacer coincidencias puede poner en peligro el trabajo de todos los implicados en el proyecto, antes, durante y después de su realización. Tuvimos que repetir en más de una ocasión alguna prueba que por detalles o insuficiencia de datos no servían para el objetivo buscado. La decisión más difícil si fue la de repetir las pruebas para no alterar datos, pero lo haces para sentirte conforme, cuidar tu integridad y la de todos tus compañeros, así como para cuidar la imagen de la universidad que representas.

6.4 Aprendizajes en lo personal [Reflexión de lo que la experiencia ha aportado en y para tu vida.

Aaron Zoe Mendoza Galan

Este proyecto me ayudó a conocerme mejor respecto a mis gustos por la profesión ya que adquirí un gusto por esta materia y puede ser que me ayude a elegir el tema de mi posgrado; me ayudó a conocer que en la misma materia se puede tener conocimientos diferentes y formas de pensar distintas, es por eso que me voy con una buena experiencia y siento que es un paso importante en mi proyecto de vida puesto que marca un inicio en mi vida como egresado y mi búsqueda de un nuevo posgrado al que pueda aplicar en el extranjero y esos conocimientos traerlos de vuelta al país para poder ayudar a la sociedad participando en un proyecto mayor.

Julio Enrique Díaz Leal

De este proyecto me llevó principalmente la satisfacción de ser parte de un gran equipo de trabajo, me encontré un grupo de personas con compromiso y pasión por lo que hacen como nuestros asesores el Ingeniero Pablo Zamudio y la Maestra Blanca Maravel, quienes supieron guiar a un grupo de estudiantes con ganas de aprender y con la convicción de aportar sus conocimientos para cumplir con los objetivos de esta etapa del proyecto.

Hasta el momento habían sido pocas las experiencias en las que disfrutara tanto el trabajo en equipo, porque a pesar de que cada quien tenía actividades propias por realizar, el objetivo era el mismo y todos nos apoyábamos cuando era necesario; hasta antes de este proyecto prefería evitar el trabajo en equipo si no era estrictamente necesario, pero a partir de esta experiencia puedo decir que buscaré la conformación de equipos de trabajo con el mismo nivel y calidad que éste en cualquier proyecto que emprenda en mi vida.

César Eduardo Zárate Rosales

Como ya lo mencioné en mis aprendizajes profesionales, sociales y éticos este proyecto me ha ayudado mucho para darme cuenta de lo que soy capaz de hacer con mis conocimientos y creo que este tipo de aprendizaje es muy importante para un estudiante, el darse cuenta que no solo sabe la teoría sino que puede desempeñarse de manera correcta dentro del ámbito laboral. Creo que este PAP fue un parteaguas para mi persona ya que logró hacer un cambio en mi forma de ser y forma de ver las cosas, a pasar de ser un estudiante de ingeniería civil a un próximo ingeniero civil.

Carlos Topete Martín

Con este proyecto me di cuenta que me gusta mucho estar en campo en vez de estar encerrado en una oficina, también que es necesario trabajar en conjunto y delegar actividades a las personas que cuenten con más habilidad para hacer ciertas cosas.

Te das cuenta de cómo funciona la estructura de nuestra carrera, porque en base a los conocimientos dados en clase, aquí los tenemos que aplicar en la vida real para llegar a un objetivo. Como proyecto de vida me llevo que es necesario trabajar mucho y dedicádamente para poder llegar a un fin, si o a la hora de realizar las actividades se va a hacer un desorden.

Diego González Castellanos

Me ayudó a valorar mis propias actitudes, mi manera de trabajar muy distinta a la de compañeros, soy alguien practico no me gusta complicarme, posiblemente no soy ningún matemático experto en números y ecuaciones, mis habilidades con más que nada operacionales.

Para entender que antes de realizar un proyecto, cualquiera que este sea se necesita tomar en cuenta un factor muy importante como lo son las mismas personas, tanto los que actúan directa o indirectamente con el proyecto.

Tuvimos mucho trabajo en equipo, con personas que tienen métodos de trabajo muy distintos, además de diferentes maneras de ver las cosas, personas exageradamente matemáticas, precisas y “cuadradas” así como personas más prácticas, sencillas y analíticas, de todos aprendí un poco, además la manera de trabajar en equipo es parecida a la realidad laboral que se vive, ya que no siempre todos van a estar de acuerdo, o siempre puedes confiar en los resultados de otras personas, aprender a valorar tus propios conocimientos y maneras de trabajar entre otros.

A entender cómo se trabaja en este sector, esta rama de la ingeniería civil es muy importante, y ahora conozco bien de que se trata y se completamente que no quiero dedicarme directamente al campo de la mecánica de suelos.

Germán Cárdenas Artigas

De este proyecto aprendí a manejar un lenguaje técnico e indispensable para la práctica como ingeniero civil. Yo fui parte del equipo que trabajó la mayoría del tiempo en campo por lo que me quedo con todas las correcciones y comentarios de la asesora de mi PAP, siempre me corrigió la manera de referirme a los suelos. Emplee mis conocimientos en un escenario real y me considero capaz de darles un buen uso al egresar de la carrera.

Por otra parte, siento que yo al PAP le aporté siempre mi mejor actitud, llegué a ser conocido por nunca faltar, ayudar en lo posible en todo lo que pudiera, desde cargar el equipo, lavar los tubos muestreadores, hasta acondicionar las muestras para su manipulación durante las pruebas. Fue un gran proyecto y una experiencia muy enriquecedora el hecho de poder trabajar con personas con intereses similares.

Capítulo VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Como ingenieros civiles mayormente un ingeniero de suelos debe tener un buen conocimiento de la mecánica de suelos, tener buen juicio y conocimiento profundo de las propiedades y métodos de exploración, muestreo y ensayos de suelos. Por lo que nos sirvió este proyecto (PAP) de aprendizaje profundo en el conocimiento general de la mecánica de suelos y nos acercamos a la realidad de lo que se hace en la vida real, tanto en campo como en laboratorio. Como estudiantes de Ingeniería Civil pudimos investigar y aplicar nuestros conocimientos al desarrollo de una nueva teoría para los suelos de Jalisco, comparando otras teorías ya existentes como son la de Coulomb o Terzaghi.

Este trabajo de investigación que se está elaborando en este PAP necesita de un gran reconocimiento, los posibles resultados que se generen a partir de este proyecto pueden facilitar muchos trabajos de mecánica de suelos en Guadalajara, ecuaciones que faciliten en gran medida el trabajo de muchos profesionistas y una investigación que puede publicarse en muchos medios académicos para mejorar el diseño de las cimentación y en su último semestre mitigar riesgos asociados a algunos fenómenos perturbadores.

Sin embargo, me parece que hay un problema con el PAP: La corta duración del período escolar por parte de los alumnos. Este es un gran problema porque se necesita de tiempo para entender la gran cantidad de procesos que se llevan a cabo simultáneamente en el PAP, y una vez que se entienden en buena medida, el período escolar está por terminar, teniendo así que volver a capacitar a nuevos alumnos de forma acelerada, lo cual puede provocar problemas en la investigación y que los datos recopilados por los alumnos en las pruebas de laboratorio tengan errores o defectos comunes en gente que no está acostumbrada a realizar las pruebas o tareas necesarias.

En cuanto a la asesoría de los profesores Pablo y Blanca, nos parece que ambos ponen empeño para lograr realizar el proyecto, quizá con diferentes métodos que pueden llegar a confundir a los alumnos, pero siempre al pendiente de los procesos y cualquier duda que pueda surgir.

7.2 Recomendaciones

Como recomendación general del PAP creemos que es muy necesario contar con todo el material para el desarrollo de las pruebas, tanto en laboratorio como en campo, ya que hubo veces que nos fue imposible completar algunas pruebas por falta de material y respecto a las pruebas de campo lo que más nos faltó fue conseguir algún medio de transporte en donde pudiéramos asistir con el material adecuado al campo para realizar las pruebas.

7.3 Conclusiones Personales

Jahasiel Miguel Atondo Martínez

Durante el periodo primavera 2016 iniciamos los estudios de campo necesarios para correlacionar con el marco teórico del PAP Geotécnica Aplicada a la Mitigación de Riesgos Urbanos y comprobar el mismo. Este propone caracterizar los suelos de la ZMG (Zona Metropolitana de Guadalajara) para así poder calcular un ángulo de fricción y la resistencia del suelo más real. Con el fin de dejar de construir con cimentaciones sobradas o insuficientes para demanda real del suelo de Guadalajara.

Se desarrollaron estudios de campo en cinco locaciones diferentes del sur de la ciudad donde ejecutamos estudios de SPT (Penetración Estándar) y calas los cuales llegaron los ocho metros y a un metro respectivamente. Con este desarrollo de actividades prácticas comprendí que el suelo se desempeña mecánicamente de acuerdo a factores como la granulometría, el espacio y/o aire entre partículas, y su contenido de agua. Gracias a estos saberes seguro estoy que mi sensibilidad estructural será mayor gracias a estos alcances.

Antes de este PAP conocía poco de la mecánica de un suelo, de ahora en adelante seré más eficiente en la concepción de un proyecto arquitectónico, reafirmo mi postura debido a que, aunque el objetivo de este PAP no se ha conseguido aún, me voy ampliamente satisfecho con los conocimientos que he obtenido. Además de aprender el trabajo práctico técnico en campo, indague en el laboratorio y realice estudios al mismo suelo que recuperamos como lo fue la prueba *Triaxial*; la cual gracias a su complejidad de preparación me ayudó a confirmar los conocimientos que supuse en campo, granulometría del suelo y la capacidad del suelo para contener agua caracterizan a un suelo.

Ahora después de esta experiencia y consciente del sistema de trabajo en laboratorio y en campo creo que tengo un bagaje importante para ejecutar mis nuevos conocimientos en mi hacer profesional.

Emmanuel Josué García Leal

Todos los integrantes del PAP contribuimos de alguna forma al análisis de las muestras de suelo. Para analizarlo, se realizaron distintas pruebas de laboratorio para determinar las características físicas y mecánicas del suelo, dividiéndolo en estratos de distinto espesor para su muestreo.

Entre las propiedades que se determinaron en el laboratorio se encuentran: granulometría, contenido de humedad, densidad relativa de los sólidos y la masa volumétrica seca suelta. Una vez que contamos con estos datos, y con la densidad que se obtuvo en campo, pudimos generar una base de datos de una gran cantidad de propiedades del suelo, las cuales pueden determinarse a partir de fórmulas basadas en los resultados obtenidos en el laboratorio, conocidas como relaciones volumétricas y gravimétricas.

Gracias a estas relaciones, se determinaron varias propiedades del suelo, como son el grado de saturación (*S*), pesos específicos en general, masa y peso específico seco (r_d, g_d), compacidad relativa (Cr), porosidad (*n*) y diámetro 10 (D_{10}). También pudo obtenerse los pesos máximos que marca AASHTO según una ecuación establecida previamente.

A partir de estos datos se elaboraron y compararon ecuaciones para determinar propiedades del suelo a partir de un simple ensayo SPT.

Se creó también una gráfica de comparación de todas las curvas granulométricas de las muestras de suelo, de forma que pueda apreciarse fácilmente una descripción básica simultánea de las muestras, además de agregar curvas granulométricas de los rangos en los que normalmente se encuentran suelos como Jal, Jal-Tepe, Tepe-Jal y Tepetate, comparándolos así con las muestras obtenidas durante el semestre.

Diego González Castellanos

Durante todo el semestre estuvimos realizando sondeos en diferentes predios alrededor de la ZMG, dichas pruebas fueron la de SPT, a profundidades de entre 5 y 8 metros aproximadamente. Además, obtuvimos muestras de calas que van desde los 30 cm a los 100 cm de profundidad con el fin de obtener el peso volumétrico de los estratos de suelo a dicha profundidad. Las primeras idas a campo fueron algo complicadas debido a la poca experiencia en el manejo de los aparatos, tardamos mucho tiempo instalando el equipo y aún más durante el proceso de ejecución. Sin embargo, transcurridas las sesiones, fuimos ganando experiencia en la realización de las pruebas, acelerando procesos y obteniendo resultados más confiables.

Algunos terrenos donde realizamos estas pruebas se encuentran en agua blanca, San Sebastián, carretera tala y la tijera, todos estos terrenos mostraban propiedades diferentes en cuanto a la composición del suelo, en unos fue bastante complicado hacer las pruebas a gran profundidad, (9m), solo pudimos llegar a los 5m de profundidad. Con las calas también se tuvieron problemas, más que nada por la dureza del terreno, haciendo muy complicada la excavación, ó al contrario, terrenos demasiado flojos en los cuales no permitía que se obtuvieran muestras con volúmenes inexactos.

Este trabajo en campo fue de mucha ayuda para nosotros ya que nos ayudó a conocer a fondo el proceso completo de ciertas pruebas de campo, desde la toma de muestras por medio de SPT o por medio de calas, hasta las pruebas realizadas en el laboratorio para determinar las propiedades del terreno y poder entender su comportamiento.

César Eduardo Zárate Rosales

A lo largo del semestre estuvimos realizando tanto pruebas en campo como en el laboratorio y todo era sencillo, estas últimas semanas al estar recopilando la información obtenida y plasmarlas en estas ecuaciones que aquí se presentan fue un proceso un poco complicado ya que requirió aprender a usar el programa StatGraphics que me ayudó a sacar las correlaciones de nuestras variables independientes y las dependientes, y finalmente fue necesario saber relacionar los trabajos hechos en campo y en el laboratorio, para poder entender el porqué de las ecuaciones y así poder empezar a comprobarlas con los resultados obtenidos en campo.

Carlos Topete Martin

En este proyecto realizamos varias pruebas, tanto de laboratorio como de campo, en las que el propósito es desarrollar una fórmula general para poder calcular los suelos de Jalisco. Aprendí a realizar el ensayo de penetración estándar, aunque ya sabía cómo se hacía, pero reafirme mis conocimientos y aprendí varias técnicas para hacer la prueba mucho más fácil y rápido. En laboratorio estuve trabajando en varias cosas, realizando principalmente la prueba de corte directo y de vez en cuando hacia granulometrías y prueba de contenido de agua.

Fue un proyecto muy interesante, dado a que fue mucha investigación de para poder llegar a una solución coherente y saber integrar los valores arrojados para ver cómo se calcula, al igual que, mucho trabajo de laboratorio y campo para obtener parámetros para el cálculo de los resultados dados.

Julio Enrique Díaz Leal

El desarrollo de este proyecto de aplicación profesional permitió que perfeccionara los procedimientos de aplicación de las pruebas de estudios mecánicos del suelo, no solo desde el punto de vista técnico sino también desde su parte práctica, ya que existe una gran diferencia entre realizar las pruebas para cumplir un objetivo académico y el realizar las pruebas con objetivos ambiciosos como comprender las características de los suelos típicos de Guadalajara y proponer nuevas teorías y métodos para el estudio de los mismos.

Personalmente nunca había estado tan cerca del aprendizaje empírico como hasta ahora, ya que el trabajo constante en laboratorio, el cual no fue carente de errores y resultados negativos, me ayudó a formar un criterio entre las variables que afectan o no los resultados de las pruebas realizadas, comprendiendo la metodología con la que se ha obtenido todo el conocimiento geotécnico a lo largo de la historia.

Me parece que uno de los principales factores que impiden el crecimiento de nuestro país es la falta de identidad, tenemos una tendencia a imitar lo que se ha realizado en otras partes del mundo, sin

considerar las características y peculiaridades propias de nuestra región, y las teorías de mecánica de suelos son un claro ejemplo de ello; A la fecha se siguen diseñando cimentaciones con teorías que pueden o no ser aplicables a nuestro entorno, como los suelos pumíticos de características difíciles de encontrar en otros sitios, poniendo en riesgo toda la infraestructura y obra civil de una ciudad; Esto automáticamente justifica nuestro proyecto y permite afirmar que los alcances de este PAP buscan sentar un precedente para cambiar esa tendencia y empezar a proponer métodos para que la mecánica de suelos en Guadalajara realmente satisfaga las necesidades de la región, cumpliendo con los debidos estándares de calidad, economía y seguridad.

Aron Zoe Mendoza Galán

Al momento de analizar los resultados obtenidos por medio de las pruebas de corte directo del semestre otoño 2015, fue sencillo concluir las teorías de falla para cada diferente tipo de suelo con un contenido de humedad diferente, esto para poder comprender mejor el comportamiento del suelo y proponer ecuaciones con base en la ecuación de Coulomb que satisfagan esta ecuación y concuerden con los datos obtenidos.

Se obtuvo el ángulo de fricción interna de cada uno de los tipos de suelo y se propusieron varios tipos de ecuaciones (ya sean linear, bilineal o cuadrática y lineal) para tratar de tener la menor diferencia en el rango de error y que a su vez, estas ecuaciones concordaron también con los datos obtenidos por las pruebas de carga triaxial realizadas en laboratorio.

En este documento se pueden observar las gráficas esfuerzo normal - cortante máximo con las cuales se obtuvieron las ecuaciones y los círculos creados por las cargas triaxiales, para así comprender cómo funciona el suelo y cómo se debe de tomar en cuenta para las cargas que se le aplicarán en la construcción.

Se recomienda que en próximos semestres se siga con la investigación, realizando varias pruebas triaxiales, más cortes directos, y se pueda analizar también con el cortante residual de los suelos para poder soportar más los datos que obtuvimos este semestre.

Germán Cárdenas Artigas

Durante este proyecto reforcé los conocimientos adquiridos en materias como mecánica de suelos general y aplicada, sin embargo, el hecho de perseguir un objetivo en concreto me permitió aterrizar estos conocimientos y comprender el sentido de los mismos. Sabía realizar las pruebas, conocía el equipo y materiales necesarios sin embargo no sabía cómo integrar los datos obtenidos de las pruebas.

En mi caso el objetivo del Proyecto de aplicación profesional si fue cumplido, tuve la oportunidad de aplicar mis conocimientos de manera profesional, similar a la práctica de la profesión y de manera empírica. Aprendí en campo como se ve un suelo, cuáles son sus propiedades y cómo comenzar una adecuada caracterización para conocer sus propiedades mecánicas.

Por otra parte, inscribí este PAP porque me pareció bastante interesante y a mi gusto era el único que no solicitaba tanto una labor social y fue hasta la presentación académica que comprendí las implicaciones que tendría el zonificar los suelos tan distintivos de Guadalajara y cómo a partir de los resultados no solo demandaría reestructurar los reglamentos de construcción actuales, también tendría una intervención directa en la mitigación de riesgos. Reconozco que aún existe una inmensa cantidad de trabajo e investigación por delante no obstante es un PAP que desde lo científico puede tener un gran impacto en lo social.

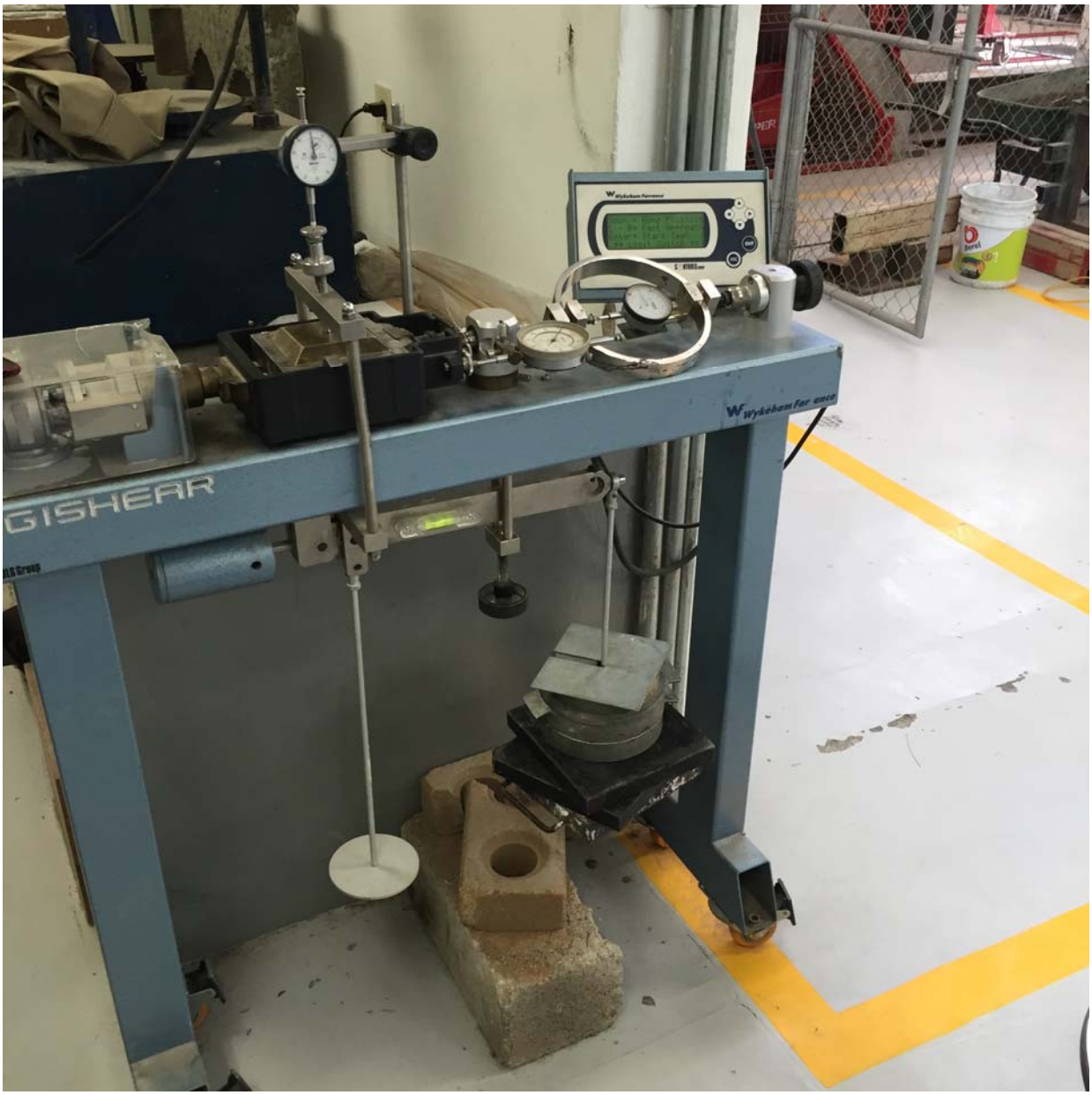
Referencias bibliográficas.

- Skempton A. W. (1960), “Significance of terzaghi’s Concept of Effective Stress”, from Theory to Practice in Soil Mechanics. Selections from the Writings of Karl Terzaghi, pp 42-53, John Wiley, New York.
- Terzaghi K. (1936), “A Fundamental Fallacy in Earth Pressure Computations”, Journal of the Boston Society of Civil Engineers, Vol 23, pp71-88.
- Terzaghi K (1943), “Theorical Soil Mechanics”, John Wiley, New York.
- Peck R.B. (1975), “Karl Terzaghi and the Chicago Subway”, American Society of Civil Engineers, EI4, Vol101, pp 477-484.
- Cassagrande A. (1964), “Role of the Calculated Risk in Earthwork and Foundation Engineering”, Terzaghi Lectures, 1963-1972, ASCE, New York, 1974, pp 72-138.
- American Society for Testing and Materials (1998), “Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions” ASTM-D 3080-98
- StatGraphics Centurion (Version XVII). Warrenton, Virginia.
- Saborio J. (1998) “Some properties of the subsoil of the city of Guadalajara, Jalisco”, U. de G., Guadalajara.
- NMX-C-432-ONNCCE-2002 Industria de la Construcción - Geotecnia - Cimentaciones - Ensaye de Compresión Triaxial - Método de Prueba.
- NMX-C-468-ONNCCE-2013 Industria de la Construcción – Geotecnia – Materiales para Terracerías – Método de Preparación de Muestras
- NMX-C-475-ONNCCE-2013 Industria de la Construcción – Geotecnia – Materiales Terreos – Determinación del contenido de agua mediante horno – Método de Ensayo
- NMX-C-496-ONNCCE-2014 Industria de la Construcción – Geotecnia – Materiales para terracerías - Determinación de la composición granular.
- ASTM D 2487 Práctica Estándar para la Clasificación de Suelos para Propósitos de Ingeniería (SUCS)

- NMX-C-416-ONNCCE-2003 Industria de la construcción - Muestreo de estructuras térreas y métodos de prueba. Capítulo 8. Método de prueba para determinar la masa específica de los suelos.

Anexos

Equipo Utilizado para pruebas de Corte Directo



Ensayo de Penetración Estándar (SPT)