



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS
GEOMECÁNICOS DE SUELOS GRANULARES
DETERMINADOS POR ENSAYOS CONVENCIONALES
APLICANDO ENERGÍA CON PRÓCTOR ESTÁNDAR Y
MODIFICADO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR: JENNIFER SULEY CÁRDENAS ERAS

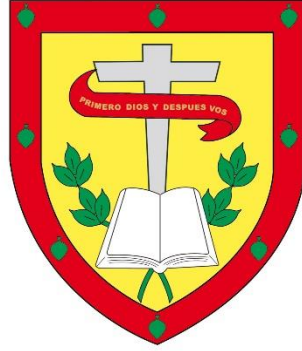
KENNY ALEXIS ARIAS DUY

DIRECTOR: ING. LUIS MARIO ALMACHE MSC.

CUENCA - ECUADOR

2022

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DE
SUELOS GRANULARES DETERMINADOS POR ENSAYOS
CONVENCIONALES APLICANDO ENERGIA CON PRÓCTOR ESTÁNDAR
Y MODIFICADO

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR: JENNIFER SULEY CÁRDENAS ERAS

KENNY ALEXIS ARIAS DUY

DIRECTOR: ING. LUIS MARIO ALMACHE MSC.

CUENCA - ECUADOR

2022

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Jennifer Suley Cárdenas Eras y Kenny Alexis Arias Duy portadores de las cédulas de ciudadanía N° 1401095789 y N° 0150154649. Declaramos ser los autores de la obra: “Determinación y análisis de parámetros geomecánicos de suelos granulares determinados por ensayos convencionales aplicando energía con Proctor estándar y modificado”, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 26 de enero de 2022



F:
Jennifer Suley Cárdenas Eras
1401095789



F:
Kenny Alexis Arias Duy
0150154649

CERTIFICACIÓN

Yo, Ing. M.Sc Luis Mario Almache Sánchez certifico la presente investigación DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DE SUELOS GRANULARES DETERMINADOS POR ENSAYOS CONVENCIONALES APLICANDO ENERGÍA CON PROCTOR ESTÁNDAR Y MODIFICADO realizado por la señorita Jennifer Suley Cárdenas Eras y Kenny Alexis Arias Duy Egresados de la Facultad de Ingeniería Civil pertenecientes a la Unidad Académica De Ingeniería, Industria y Construcción, se desarrolló bajo mi supervisión y tutoría, siendo un trabajo elaborado de manera personal e inédita.



Ing. M.Sc.Luis Mario Almache Sánchez

TUTOR

DEDICATORIA

SULEY

Este proyecto de investigación dedico de manera especial a mi padre Milton Cárdenas, quien me supo brindar su apoyo incondicional en cada una de las etapas de mi vida, jamás dejándome sola, enseñándome a valorar cada uno de los sacrificios que hemos tenido y sobre todo a enseñarme a ser una persona humilde y educada con cada una de las personas que me rodean, a mis hermanos Diego y Adrián que han sido y lo serán por siempre mi motor principal para superarme en la vida y de esa manera apoyarlos toda mi vida y jamás dejarlos caer, siendo las personas fundamentales en mi vida.

KENNY

Este proyecto investigativo se lo dedico primeramente a Dios, por todos los días buenos y malos, que me han ayudado estar en el lugar en donde estoy.

Se lo dedico a mi papá, Jorge Arias, por enseñarme a nunca rendirme en la vida y siempre luchar por lo que uno quiere, por enseñarme que nada en la vida es fácil y que todo sacrificio tiene su recompensa, por ser el hombre que siempre me ha ayudado incluso en algunos trabajos universitarios, gracias papa.

Se lo dedico a mi mamá, Carmen Duy, por todo el apoyo que me ha dado durante esta etapa de mi vida, por enseñarme a valorar todo lo que tengo, por enseñarme el significado del respeto y como con ello puedo llegar muy lejos en mi vida, por siempre tener listo un plato de comida antes de salir a la universidad o por las llamadas hechas cada que me amanecía en alguna casa de un compañero haciendo trabajos.

A mis tres hermanos Fernanda, Jorge Luis y Xavier, por todos los consejos que me daban y por ser los mejores hermanos que uno puede pedir, gracias por siempre confiar en mí y por todo el apoyo moral, anímico y económico que me han dado en esta etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTO

SULEY

Agradezco a Dios por haberme brindado la vida que tengo con cada una de las dificultades y alegrías que he vivido, siempre agradeciéndole por todo lo maravilloso que él me ha dado, a mi padre por estar en los buenos y sobre todo en los malos momentos a mi lado y nunca dejarme caer, su apoyo fue fundamental en mi vida porque gracias a él estoy donde quiero estar, agradeciendo su sacrificio enorme como padre trabajador, honrado y humilde, siempre pendiente de lo más importante en su vida que son sus hijos, agradezco a mis familiares quienes siempre han estado pendiente de mí apoyándome en cada una de mis etapas de estudio y en la vida, a mi institución querida la Universidad Católica de Cuenca y a cada uno de mis maestros que fueron forjando mi vida profesional con sus conocimientos fundamentales para poder llegar a mi etapa final, siempre recordaré los momentos vividos en esta institución.

KENNY

Estoy inmensamente agradecido con Dios por la gran familia que me supo dar. Le doy las gracias a mis padres por siempre apoyarme al pesar de tantos obstáculos que han tenido en la vida, por siempre ver por el bien de mí, y por todos sus sacrificios realizados por ver a sus hijos bien y felices, a mis hermanos por su apoyo incondicional y por enseñarme a nunca rendirme en la vida.

Gracias a la Universidad Católica de Cuenca, mis compañeros de estudio y a todos los ingenieros que me han ayudado a llegar a esta gran etapa final de mi vida universitaria, con sus conocimientos y experiencias impartidas en cada clase, fundamentales para mi formación profesional.

Un especial agradecimiento a mi director de tesis, el Ing. M.Sc Luis Almache por los conocimientos compartidos y su dirección para el desarrollo de esta investigación

RESUMEN

La ingeniería civil ha jugado un rol importante en la sociedad brindando la seguridad de contar con obras que garanticen su supervivencia, una de las ramas fundamentales que presenta es el estudio y análisis de las características físico mecánicas del suelo, indispensable para los proyectos civiles como cimentaciones, diseño de muros, diseños viales entre otras obras que se proyecten, para lo cual es importante el conocimiento de cada una de las características y propiedades de los materiales que comúnmente se emplean en estos tipos de proyectos con la finalidad de garantizar una obra segura y a su vez la elaboración de presupuestos adecuados sin caer en el sobredimensionamiento y mayores rangos económicos.

Los parámetros geomecánicos de los suelos comúnmente empleados en obras civiles son fundamentales, existen los medios que facilitan aquella información como los ensayos de laboratorio convencionales, corte directo y triaxial los cuales simulan las condiciones que el suelo puede llegar a presentar en la vida real, determinando parámetros mecánicos importantes como el ángulo de fricción y la cohesión que posee cada material.

La presente investigación se encuentra orientada hacia la determinación de las características geomecánicas de materiales granulares provenientes de canteras de la ciudad de Cuenca a través de la realización de ensayos de laboratorio, investigación bibliográfica de los ensayos de compactación, métodos convencionales para la determinación de parámetros como el ángulo de fricción y la cohesión y posteriormente tras los resultados obtenidos brindar información en base a datos reales para un correcto diseño de una obra civil.

Palabras clave: parámetros geomecánicos, ensayos convencionales, ensayos Proctor, materiales granulares

ABSTRACT

Civil engineering has played an important role in society providing the security of having civil works that guarantee their survival, one of the fundamental branches that it presents is the study and analysis of the physical-mechanical characteristics of the soil, essential for civil projects such as foundations, wall design, road designs, among other projected works. For this purpose, it is important to know each of the characteristics and properties of the materials that are commonly used in these types of projects in order to guarantee a safe work and, at the same time, the elaboration of adequate budgets without falling into over dimensioning and higher economic ranges. The geo-mechanical parameters of soils commonly used in civil works are fundamental, and there are means that facilitate that information such as conventional laboratory tests, direct and triaxial shear which simulate the conditions that the soil can present in real life, determining important mechanical parameters such as the angle of friction and cohesion that each material has. This research is oriented towards the determination of the geomechanical characteristics of granular materials from quarries in the city of Cuenca through laboratory tests, literature review of compaction tests, conventional methods for the determination of parameters such as the angle of friction and cohesion, and then, after the results obtained, provide information based on real data for a correct design of a civil work.

Keywords: geomechanical parameters, conventional tests, Proctor tests, granular materials

INDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	I
<i>DEDICATORIA</i>	II
<i>AGRADECIMIENTO</i>	IV
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
INDICE DE TABLAS	XI
INDICE DE ILUSTRACIONES	XII
Capítulo 1 : GENERALIDADES	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. OBEJTIVOS DEL PROYECTO	2
1.2.1. Objetivo General	2
1.2.2. Específicos	2
1.3. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.4. JUSTIFICACIÓN	4
1.5. METODOLOGÍA	5
1.6. ESTADO DEL ARTE	6
1.7. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS	10
1.7.1. Sistema de Clasificación AASHTO	10
1.7.2. Sistema Unificado de Clasificación de un Suelo (SUCS).....	11
Capítulo 2 : COMPACTACIÓN DE SUELOS.....	18

2.1. INTRODUCCIÓN	18
2.2. PROCTOR ESTÁNDAR.....	20
2.3. PROCTOR MODIFICADO	22
2.4. TEORÍAS DE LA COMPACTACIÓN	24
2.5. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COMPACTACIÓN	26
2.5.1. Efecto del Contenido de Humedad.....	26
2.5.2. Efecto del Tipo de Suelo	27
2.5.3. Efecto de la Energía de Compactación	28
2.5.4. Efecto del Método de Compactación	29
2.6. PROPIEDADES DE LOS SUELOS COMPACTADOS	30
2.6.1 Permeabilidad.....	30
2.6.2. Compresibilidad	30
2.6.3. Resistencia al corte.....	31
Capítulo 3 MÉTODOS CONVENCIONALES GEOTÉCNICOS.....	32
3.1. INTRODUCCIÓN	32
3.2. RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE DEL SUELO	33
3.3. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DEL SUELO	35
3.3.1. Angulo de fricción interno	35
3.3.2. Cohesión.....	39
3.4. CORTE DIRECTO	40
3.4.1. MODALIDADES DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO.....	41
3.4.2. METODOLOGÍA DEL ENSAYO	42

3.4.2.1. Equipo Necesario	42
3.4.2.2. Procedimiento.....	42
3.5. TRIAXIAL.....	43
3.5.1. MODALIDADES DEL ENSAYO TRIAXIAL.....	44
3.5.2. METODOLOGÍA DEL ENSAYO	46
Capítulo 4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	47
4.1. ENSAYOS DE LABORATORIO	47
4.1.1. Análisis Granulométrico	47
4.1.2. Límites de Atterberg.....	49
4.1.3. Clasificación del suelo	50
4.1.4. Ensayo Proctor Estándar y Modificado.....	51
4.1.5. Corte Directo	52
4.1.6. Triaxial	53
4.2. INTERPRETACION DE RESULTADOS	54
4.3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
4.3.1. CONCLUSIONES	56
4.3.2. RECOMENDACIONES	61
REFERENCIAS.....	63
ANEXOS	65
ANEXOS FOTOGRÁFICOS	65
ANEXOS DE LABORATORIO.....	76

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Equipo de compactación para distintos tipos de suelos	19
Tabla 2: Ángulos de fricción interna del suelo	37
Tabla 3: Análisis Granulométrico por cribado – Mejoramiento	48
Tabla 4: Análisis Granulométrico por cribado – Subbase	48
Tabla 5: Resultados ensayo límites de Atterberg	49
Tabla 6: Clasificación por los sistemas AASHTO y SUCS	50
Tabla 7: Resultados ensayos de Compactación	51
Tabla 8: Resultados ensayo de corte directo U.U.	53
Tabla 9: Resultados ensayo Triaxial U.U.	54
Tabla 10 Recomendación de parámetros geomecánicos para obras de menor relevancia	55
Tabla 11 Recomendación de parámetros geomecánicos para obras de mayor relevancia	55

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Tabla de clasificación AASHTO.....	14
Ilustración 2: Rangos de clasificación según el límite líquido e índice de plasticidad de acuerdo a la AASHTO.....	15
Ilustración 3 Índice de Grupo	15
Ilustración 4: Sistema Unificado de Clasificación	16
Ilustración 5: Plasticidad utilizado para la clasificación	17
Ilustración 6: Equipo de Compactación Estándar	21
Ilustración 7: Curva típica de compactación	23
Ilustración 8: Curva de compactación Estándar y Modificado	24
Ilustración 9: Menisco formado entre granos de suelo.....	25
Ilustración 10: Diferentes curvas de compactación para distintos tipos de suelo	27
Ilustración 11: Curvas de compactación estándar y modificado	29
Ilustración 12: Relación de la resistencia a compresión sin confinar ni drenar	31
Ilustración 13: Gráfica esfuerzo – deformación y presión cortante – presión normal ...	35
Ilustración 14: Ángulo de Fricción interno.....	36
Ilustración 15: Cohesión debida a fuerzas capilares.....	40
Ilustración 16: Cohesión y ángulo de fricción.....	41

CAPÍTULO 1 : GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo y crecimiento de las ciudades hoy en día es bastante notorio y sobre todo el crecimiento poblacional es aquel que intensifica este desarrollo comunitario, la evolución de las ciudades se encuentra directamente relacionada con la ingeniería civil; principalmente debido a que dicho arte y ciencia satisface y soluciona cada una de las necesidades que presenta la humanidad, de esta manera juega un papel fundamental en el progreso para una mejor calidad de vida de las personas.

La ingeniería civil desde la antigüedad ha venido contribuyendo a las personas con gran importancia, mejorando su estilo de vida y sobre todo brindando el derecho a una vida digna que se merece cada ciudadano, encargándose de obras civiles fundamentales como la construcción de hospitales, sistemas de agua potable, alcantarillado, redes viales, escuelas, etc.

Desde la antigüedad, el ser humano ha tenido que ser capaz y hábil para presentar soluciones a los problemas que se les generaba, directamente ocasionados por la naturaleza como son los deslizamientos, movimientos de masas, suelos colapsables geológicos entre otros problemas que tienen una relación directa con el suelo. De esta manera la ingeniería civil es fundamental para el desarrollo de cualquier proyecto, y al tratarse de obras que se necesite conocer las características físicas y mecánicas del suelo, los estudios geotécnicos tienen un rol importante en esta área; por lo cual, dichos estudios servirán de base para el desarrollo de cualquier obra civil, evitando consecuencias a futuro y evitando pérdidas humanas.

De esta manera, se presenta este proyecto de investigación con la finalidad de realizar un análisis minucioso a materiales granulares que comúnmente son empleados en

obras viales, diseño de muros, cimentaciones, etc., con el propósito de determinar sus parámetros geomecánicos como su ángulo de fricción y la cohesión por medio de ensayos geotécnicos convencionales añadiendo energía de Proctor estándar y modificado a las muestras de suelo con la finalidad de realizar un análisis comparativo entre las muestras con las distintas energías aplicadas entre los dos ensayos Proctor. Dicha información es de suma importancia para el desarrollo de obras civiles con datos reales de los materiales granulares con el fin de obtener un proyecto que garantice seguridad, confiabilidad y economía debido a que se requiere determinar datos e información real que son de suma importancia y de utilidad en distintos procesos de consultorías, principalmente por la falta de datos reales de estos parámetros para el desarrollo de proyectos civiles.

1.2. OBEJTIVOS DEL PROYECTO

1.2.1. Objetivo General

Determinar los parámetros geomecánicos de material de mejoramiento y subbase mediante ensayos geotécnicos convencionales aplicando energía con ensayos de Proctor estándar y Proctor modificado.

1.2.2. Específicos

- Determinar los parámetros físicos de las muestras.
- Realizar los ensayos de compactación de Proctor estándar y Proctor modificado a los materiales granulares.
- Determinar los pesos volumétricos del material de mejoramiento y subbase.
- Realizar los ensayos de corte directo y triaxial a las muestras aplicadas energía.
- Generar una recopilación de los ensayos realizados a cada muestra de suelo.

- Analizar la información y resultados de los parámetros geomecánicos determinados por los ensayos de corte directo y triaxial que se aplicará energía de compactación.
- Definir los parámetros geomecánicos del material de mejoramiento y subbase.
- Realizar un análisis comparativo de los resultados finales de las dos muestras de suelo.

1.3. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

En todo proyecto de ingeniería civil es necesario e indispensable cumplir con los requisitos, normas, leyes que guarden un correcto diseño para evitar las consecuencias que se pueden generar por evitar un mayor costo económico y ahorrar un poco de tiempo. Un proyecto debe contar de manera fundamental con cada uno de sus diseños y estudios que garanticen las características previas de la obra, un correcto diseño ya sea de una cimentación profunda, construcción de un muro, un diseño vial o cualquier otra obra civil.

Para el desarrollo de un proyecto ingenieril como los antes mencionados, es necesario contar con cierta información indispensable del suelo o el material con el cual se está realizando el proyecto. Información que se obtiene por medio de estudios geotécnicos, los parámetros geomecánicos de los de los materiales de reposición comúnmente empleados como lo son material de mejoramiento y subbase, además de la realización de un ensayo del material subrasante son esenciales para que el ingeniero proyectista pueda realizar el diseño correcto y adecuado, el ángulo de fricción y la cohesión son dos de las características mecánicas de los suelos que más importancia y relevancia tienen en un diseño para una obra civil.

Sin embargo, en el diseño de un muro u otra obra civil gran parte de los ingenieros que realizan estos diseños asumen valores típicos para los parámetros geomecánicos de los materiales granulares lo cual hace que el proyecto no sea viable económicamente debido al aumento de costos, porque se encuentran del lado conservador del diseño a realizar y a su vez puede generar un proyecto sobredimensionado pero con cierta confiabilidad para su funcionamiento.

De esta manera, la falta de información directa de características físicas y mecánicas de suelos granulares comúnmente empleados en la construcción civil como su ángulo de fricción y cohesión no se encuentran directamente establecidos en algún estudio realizado en la ciudad de Cuenca, por lo que nace la necesidad de realizar la investigación y obtener datos de estos materiales que puedan servir de utilidad para la vida profesional, lo cual permita generar proyectos civiles seguros, confiables y económicos.

1.4. JUSTIFICACIÓN

La realización de esta investigación se da debido a que, dentro del diseño de cualquier obra civil, es indispensable que el ingeniero a cargo de la obra cuente con la información correcta de las características físicas y mecánicas del suelo como son la granulometría, peso específico, límites de Atterberg, además de los ensayos de corte directo y ensayos triaxiales, tanto del lugar donde se pretende construir como de los suelos granulares que se usaran en la obra. Los ensayos antes mencionados ayudan con la obtención de la curva granulométrica, límites de plasticidad, peso volumétrico, cohesión y ángulo de fricción. Esto con el fin de garantizar la seguridad y garantizar que la construcción sea apta para el uso que se le pretende dar.

Dicho esto, por el momento no se tienen datos claros de las características físicas y mecánicas de los suelos granulares como de material de mejoramiento y subbase. Con los parámetros geomecánicos que se determinarán en la investigación y los ensayos de

corte directo y triaxiales se pretende realizar un documento base con el cual otros ingenieros de la ciudad de Cuenca puedan hacer uso de ello y así proceder con un diseño óptimo y seguro de su obra, ya que por lo general el ingeniero asume valores típicos de los suelos granulares compactados de sus propiedades mecánicas sin tener un fundamento o un estudio técnico mediante ensayos de laboratorio que verifique cierto valor asumido.

1.5. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de esta investigación se requiere de ensayos preliminares de laboratorio para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos granulares a ser tratados; subbase y mejoramiento, serán realizados en el laboratorio de suelos, cumpliendo con las normativas expuestas en el MTOP vol 3, la NEVI y la NEC; estableciendo estos dos únicos materiales principalmente debido a la falta de tiempo que se requiere para el análisis y desarrollo.

El primer ensayo a realizar será el análisis granulométrico por cribado, determinando y agrupando por rangos las proporciones relativas de los diferentes tamaños de grano presentes en una masa de suelos dado, a su vez mediante este ensayo de laboratorio se verificará si los materiales cumplen con su granulometría con base a lo expuesto en la normativa del MTOP vol 3.

Los ensayos de límites de Atterberg para determinar el límite plástico (LP), límite líquido (LL) y el índice de plasticidad se hicieron de acuerdo al procedimiento establecido en la norma ASTM designación D-4318 (Das, 2015), estos límites sirven para cuantificar la plasticidad de un suelo y se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos o capas granulares, de tal manera que se pueda realizar la respectiva clasificación de los suelos con la información obtenida de los ensayos de límites de Atterberg.

Otro ensayo a realizarse para el desarrollo y obtención de la información de los materiales a ser analizados fue el ensayo de Proctor modificado y estándar, mismos que se encuentran normadas por la ASTM. Estos ensayos consisten en determinar las masas volumétricas secas de un material compactado con diferentes contenidos de agua, mediante la aplicación de dos tipos de energía de compactación en una prueba dinámica (Chamba Diaz, 2018).

El ensayo triaxial es uno de los métodos más confiables que permite determinar el ángulo de fricción y la cohesión, mismos que nos ayudaran a establecer la resistencia al corte que presenta el suelo estudiado (Valerio Salas, 2011).

Para determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo, que ha sido sometida anteriormente a un proceso de consolidación se deberán determinar los parámetros de cohesión y ángulo de fricción que son obtenidos mediante la realización de los ensayos de corte directo, triaxial y compresión simple.

1.6. ESTADO DEL ARTE

La ingeniería civil comprende una amplia rama de disciplinas orientadas a distintas especialidades entre ellas la Geotecnia, ciencia que estudia y desarrolla técnicas para el diseño, construcción de obras o sistemas de soporte de obras civiles. A su vez, la determinación de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos es fundamental en la estabilidad de los suelos, para lo cual resulta imprescindible determinar los parámetros geomecánicos de los materiales que se utilicen en la obra a construir para ello por medio de varios métodos: ensayo de corte directo, triaxial, entre otros (Peña Rojas & Perez Ballen , 2012).

(Armesto Duarte & Pinto de Luquez , 2018), realiza la investigación para determinar el ángulo de fricción entre la base de un muro de contención en concreto

reforzado y suelo de fundación arenoso proveniente de la quebrada Palmichal, en el cual por medio de los ensayos de laboratorio: granulometría, compactación y corte directo para obtener las propiedades físicas necesarias para dimensionar un muro a escala.

De tal manera que, (Armesto Duarte & Pinto de Luquez , 2018), concluye que, para dimensionar el muro de contención a escala, requiere determinar en primera instancia la humedad optima y el peso específico seco máximo del suelo, obteniendo una humedad promedio de 10,93% y un peso específico de 1.967 g/cm³. A su vez por medio de pruebas de corte directo el ángulo de fricción interna promedio fue de 38.26°. De tal manera que con estos valores se dimensionó y diseñó el muro de contención a escala.

Por otra parte de acuerdo a otra investigación realizada por (Peña Rojas & Perez Ballen , 2012), se basa principalmente en la obtención de apiques en campo hasta obtener una arena arcillosa por medio de la clasificación de los suelos presente en la Universidad Pontificia Bolivariana, para luego proceder con los ensayos de laboratorio de suelos para determinar la humedad optima y peso específico seco máximo por medio del ensayo de Proctor modificado y continuar con los ensayos para la determinación de los parámetros geomecánicos por medio del ensayo de corte directo y triaxial, para lo cual se realizaron 30 pruebas de corte directo y 30 pruebas de triaxial para el tipo de suelo arena arcillosa.

(Peña Rojas & Perez Ballen , 2012), al finalizar la investigación y los ensayos pertinentes de laboratorio concluye que para el ensayo triaxial de la muestra de suelo arena arcillosa el ángulo de fricción de 47,2 resulta muy alto y una cohesión promedio de 1,124 kg/cm² con un porcentaje de error de 22,20%, considerando en este caso los resultados del equipo de corte directo digital los que más se aproximan a los valores propios de una arena arcillosa obteniendo un ángulo de fricción interna promedio de 23.58° y una cohesión promedio de 0,21 kg/cm².

A nivel nacional también se puede mencionar la investigación referente a la importancia de la estabilidad de presas de tierra de (Rodas Jaramillo & Torres Lazo , 2015) en el cual se realiza la investigación principalmente basada en los resultados de los ensayos de laboratorio con el equipo de corte directo sobre muestras compactadas y saturadas de suelos que constituyen la cortina de la presa de tierra Chojampe 2, perteneciente al proyecto Pacalori, cuyas muestras de suelo se compactan con energía de compactación similar al ensayo de Proctor estándar. Siendo los ensayos de laboratorio los siguientes: humedad natural del suelo, granulometría, peso específico, límites de Atterberg, Proctor estándar, corte directo lento y triaxial, con la finalidad de obtener los parámetros de resistencia al corte lento como el ángulo de fricción interna y la cohesión intentando producir las condiciones a las que estaría sometida la presa en el periodo de operación.

(Rodas Jaramillo & Torres Lazo , 2015), concluye de acuerdo a los resultados obtenidos de los ensayos triaxiales consolidado – no drenado y los resultados del ensayo de corte directo lento, los parámetros de resistencia a cortante son muy similares, aun cuando se trata de muestras compactadas e inalteradas, la razón de esta similitud se debe a que pertenece a suelos finos MH en condiciones de saturación.

Por último, cabe mencionar la investigación de (Rosales Bermudez, 2007), fue realizada en base a tres materiales diferentes: limo orgánico, arena pómez y limo amarillento “Talpetate”, tomados de zonas localizadas estratégicamente con la finalidad de realizar un análisis comparativo de los resultados que se obtienen mediante los ensayos de laboratorio de corte directo y triaxial. Las muestras de suelo fueron remoldeadas en laboratorio para evitar la presencia de defectos de las muestras en estado natural.

(Rosales Bermudez, 2007), luego de realizar los ensayos de laboratorio pertinentes se analizó inicialmente las propiedades físicas de los materiales para continuar con el análisis de los resultados obtenidos referentes a las propiedades mecánicas. Concluye que, en el ensayo de corte directo, el ángulo de fricción interna (Φ), siempre es mayor que el que se obtiene en el ensayo triaxial. Para el limo orgánico la diferencia es de 12.8 grados, para la arena pómez la diferencia es de 11.3 grados y para el limo amarillento es de 12.6, lo cual se obtiene una diferencia promedio de 12.2 grados. A su vez se define que La diferencia entre el ángulo de fricción interna (Φ), obtenida por estos dos procedimientos, es menor en los materiales granulares, que, en los cohesivos, con una diferencia de 11.3 grados en los materiales granulares y de 12.7 grados en los materiales cohesivos.

(Rosales Bermudez, 2007), determina que en base a los resultados obtenidos y los ensayos realizados La principal diferencia, entre el ensayo de corte directo y el triaxial es que en el primero se lleva a cabo deformando una muestra a velocidad controlada, generando un plano de cizalladura determinado por la configuración del aparato de corte, a cambio que en el segundo hay una combinación de esfuerzos donde la falla se manifiesta en cualquier punto dependiendo de las propiedades del suelo.

1.7. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

Un suelo es posible clasificar por sus propiedades semejantes en distintos grupos de acuerdo a sus características y comportamientos en el área de la ingeniería civil. En nuestro medio existe dos métodos comúnmente empleados para la clasificación de los suelos en base a los resultados de su granulometría y su plasticidad, se trata del método de clasificación AASHTO (American Association of State Highway Officials) y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) (Das, 2015).

Por lo general, para la clasificación de un suelo en base a sus propiedades o características físicas los métodos más empleados en el área civil son el sistema SUCS y el método AASHTO. Sin embargo, el sistema de clasificación AASHTO está especialmente dirigido para la construcción de carreteras, mientras que el método SUCS no se encuentra limitado para ningún proyecto en particular y se lo emplea para una variedad de proyectos civiles, siendo esta su principal diferencia entre los sistemas de clasificación de suelos.

1.7.1. Sistema de Clasificación AASHTO

Este método de clasificación que se puede observar en la ilustración 1, fue desarrollado en 1929, misma que sigue con la norma ASTM D-3282. La ilustración 2, hace uso del límite líquido y el índice plástico para obtener la clasificación entre los grupos A-4 y A-7 y sus correspondientes subgrupos (Bowles, 1990). Cabe recalcar que se usan únicamente los tamices N. 10, N. 40 y N. 200 para la clasificación de suelos mediante la tabla AASHTO (Moncayo Theurer, y otros, 2017).

Este sistema compara los suelos dentro de un mismo grupo mediante el uso de un índice de grupo. Un índice de grupo es calculado mediante la ecuación 1 o también se puede utilizar la ilustración 3, en dicho caso el índice de ser positivo deberá ser

redondeado =, entero, o inmediato inferior, este número se lo coloca entre paréntesis después de su número de clasificación (Bowles, 1990), como, por ejemplo, A-2-6 (3).

La ecuación (1) que se detalla a continuación, ayuda a determinar el índice de grupo:

$$GI = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd \quad (1)$$

En donde:

a= porcentaje de material más fino que el tamiz No. 200 mayor que el 35% pero menor que el 75%, expresado como un número entero positivo ($1 \leq a \leq 40$).

b= porcentaje de material que pasa el tamiz No. 200 mayor que 15 % pero menor que 55%, expresado como un número positivo entero ($1 \leq b \leq 40$).

c= porción del límite líquido mayor que 40 pero no mayor que 60, expresada con un número positivo entero ($1 \leq c \leq 20$).

d = porción del índice de plasticidad mayor que 10 pero no excedente a 30, expresado como un número positivo entero ($1 \leq d \leq 20$)

1.7.2. Sistema Unificado de Clasificación de un Suelo (SUCS)

Este sistema como se puede observar en la ilustración 3, fue presentado por el Dr. Arthur Casa grande en el año 1942, y adoptado después por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos para la construcción de aeropuertos. “Dicha clasificación divide a los materiales en grupos según su composición a los cuales les asigna un símbolo que consiste en un prefijo y un sufijo. El prefijo determina la composición del suelo y el sufijo determina las propiedades y la característica del material” (Moncayo Theurer, et al., 2017). Estos grupos son los siguientes:

1. Suelos gruesos, entran los suelos que pasan menos del 50% por el tamiz número 200, que son suelo de grava o grava (G) y arena o suelo arenosos (S).
2. Finos, se encuentran los suelos que pasa más del 50% por el tamiz número 200, que son, limo inorgánico (M), arcilla inorgánica (C), limos orgánicos y arcillas (O) y lodo, turba y suelos altamente orgánicos (PT).

Las siguientes subdivisiones son consideradas en más detalle a las clasificaciones:

1. Gravas o arenas: GW, GP, SM O SP

Si menos del 5% del material pasa a través del tamiz No 200; G = grava; S=arena; W= bien graduada; P= pobremente graduada. La designación de bien graduadas o pobremente graduadas dependen de los valores Cu y Cc. En este trabajo se consideró los límites de plasticidad de la subbase y mejoramiento para su clasificación y para la determinación de su distribución granulométrica (Bowles, 1990).

2. Gravas y Arenas: GM, GC, SM O SC

Si más del 12% del material pasa a través del tamiz N° 200; M=limo; C = Arcilla. La designación de limo o arcilla se determina después de obtener el límite líquido y el índice plástico, por fracciones de partículas menores al tamiz N° 40, utilizando la carta de plasticidad expuesta en la ilustración 4 (Bowles, 1990).

3. Las gravas y las arenas: GW-GC, GW-GM, SW-SC, SW-SM, GP-GC, GP-GM, SP-SC, SP-SM, si entre 5 y 12 % del material pasa a través del tamiz N° 200 (Bowles, 1990).

4. Los suelos de grano fino (más del 50% pasa el tamiz N°200): ML, OL o CL

Si los límites líquidos son menores que 50%; M = limo; O = suelos orgánicos; C = arcilla (Bowles, 1990).

5. Los suelos de grano fino son: MH, OH, ó CH

Si los límites líquidos son superiores a 50%; H = mayor que 50% (Bowles, 1990).

Clasificación General	Materiales Granulares (35 % o menos del total pasa el tamiz No. 200)						Materiales limo-arcillosos (más del 35 % del total pasa el tamiz No. 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Clasificación de Grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 ^a A-7-6
Porcentaje de material que pasa el tamiz No. 10	50 max										
No. 40	30 max	50 max	51 min								
No. 200	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Características de la fracción que pasa el tamiz No. 40											
Límite líquido, w_L				40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
Índice Plástico, I_p	6 max		NP	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min
Índice de Grupo ^b	0		0	0		4 max		8 max	12 max	16 max	20 max

Ilustración 1: Tabla de clasificación AASHTO

Fuente: (Bowles, 1990)

Gráfico 1-1

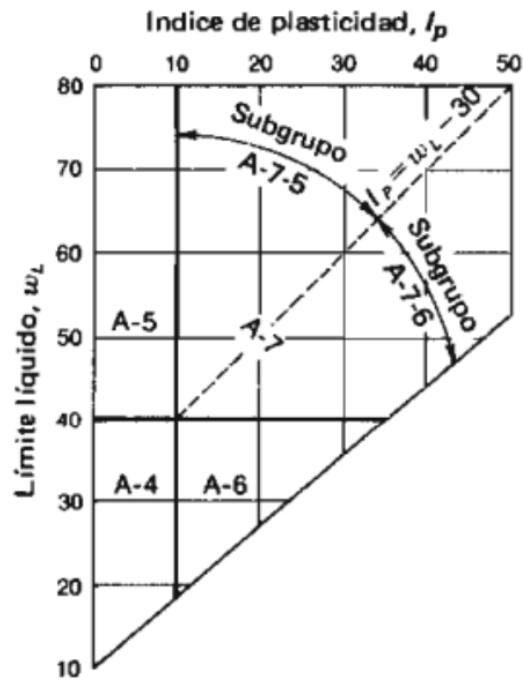


Ilustración 2: Rangos de clasificación según el límite líquido e índice de plasticidad de acuerdo a la AASHTO.

Fte: Rangos de limite liquido e índice de plasticidad para los grupos de suelos A-4, A-5, A-6 Y A-7 (Bowles, 1990).

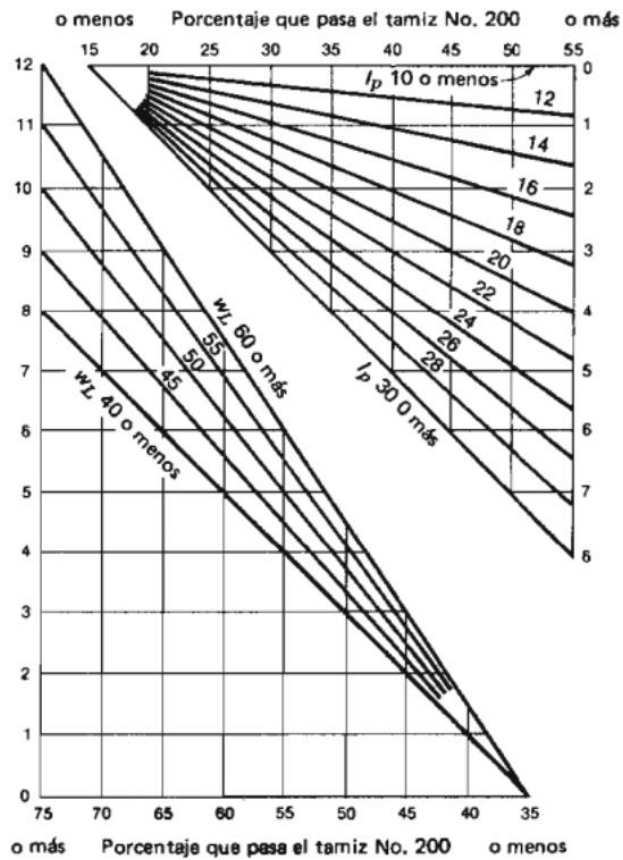


Ilustración 3 Índice de Grupo

Fte: (Bowles, 1990).

Divisiones mayores		Símbolo de grupo	Nombres típicos	Criterios de clasificación para suelos granulares		
Suelos de grano grueso (más del 50% del material es mayor en tamaño que el tamiz No. 200)	Gravas (Más de la mitad de la fracción gruesa es mayor que el tamiz No. 4)	GW	Gravas bien gradadas, mezclas gravosas, pocos o ningún fino	$C_u = D_{60}/D_{10} > 4$ $C_c = 1 < D_{30}^3/D_{10} \times D_{60} < 3$		
		GP	Gravas pobremente gradadas, mezclas grava-arena, pocos o ningún fino	No cumplir todos los requisitos de gradación para GW		
		GM	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo	Límites de Atterberg por debajo de la línea A ó $I_p < 4$	A los materiales sobre la línea A con $4 < I_p < 7$ se considera de frontera y se les asigna doble símbolo	
		GC				Límites de Atterberg por encima de la línea A ó $I_p > 7$
	Arenas (Más del 50% de la fracción gruesa es menor que el tamiz No. 4)	Arenas limpias (pocos o ningún fino)	SW	Arenas bien gradadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino	$C_u = D_{60}/D_{10} > 5$ $C_c = 1 < D_{30}^3/D_{10} \times D_{60} < 3$	
			SP	Arenas pobremente gradadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino	No cumplir todos los requisitos de gradación para SW	
		SM	Arenas limosas, mezclas arena-limo	Límites de Atterberg por debajo de la línea A ó $I_p < 4$	Si el material está en la zona sombreada con $4 < I_p < 7$ se considera de frontera y se le asigna doble símbolo	
		SC				Límites de Atterberg por encima de la línea A ó $I_p > 7$
Suelos de grano fino (más del 50% del material pasa el tamiz No. 200)	Limos y arcillas (límite líquido $U_L < 50$)	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas, o limos arcillosos con poca plasticidad.	<ol style="list-style-type: none"> Determinar el porcentaje de arenas y gravas de la curva de granulometría. Dependiendo del porcentaje de fino (fracción menor que el tamiz No. 200) los suelos gruesos se clasifican como sigue: Menos del 5% — GW, GP, SW, SP Más del 12% — GM, GC, SM, SC de 5 a 12% — Casos de frontera que requieren doble símbolo 		
		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras.			
		OL	Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad			
	Limo y arcillas (límite líquido > 50)	MH	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos, suelos elásticos			
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas			
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos			
	Suelos altamente orgánicos	Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos			

Ilustración 4: Sistema Unificado de Clasificación

Fuente: (Bowles, 1990).

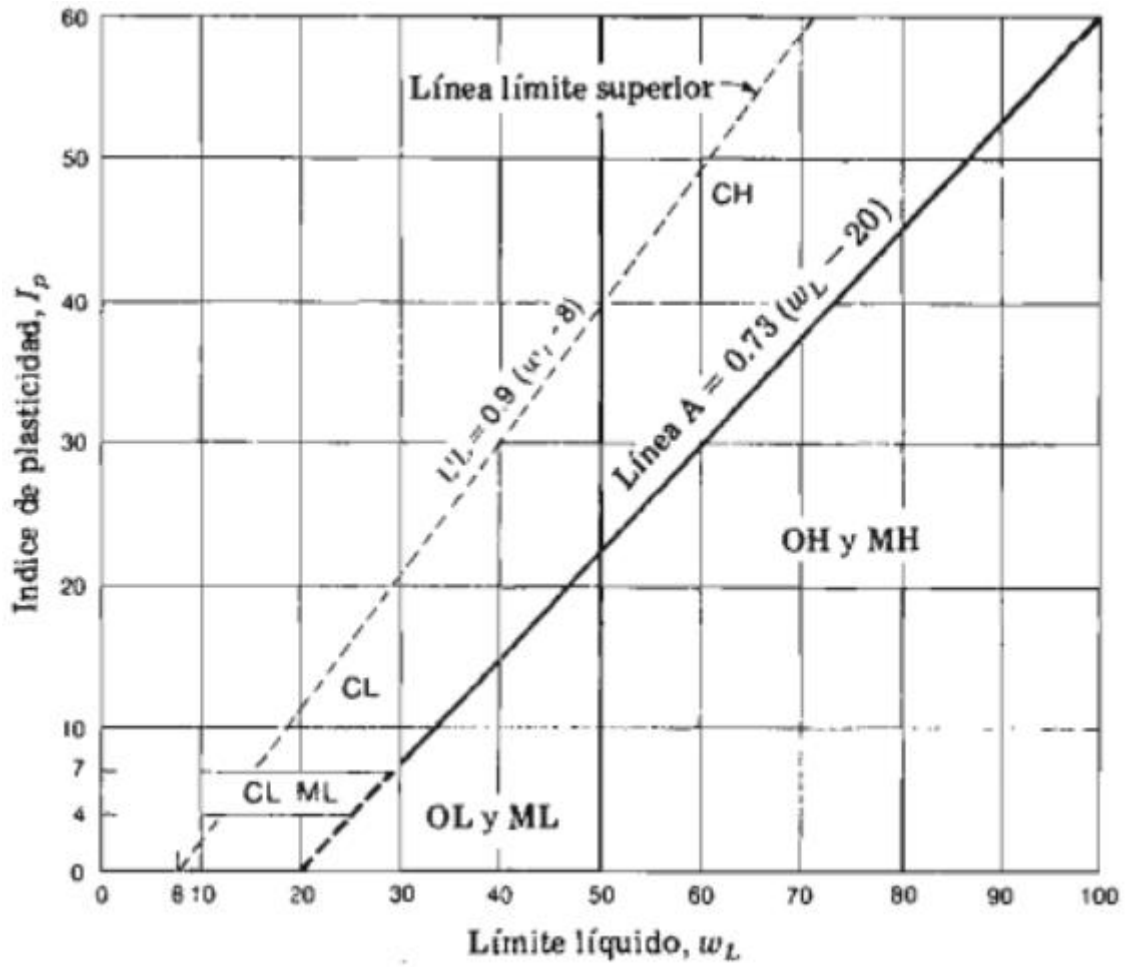


Ilustración 5: Plasticidad utilizado para la clasificación

Fuente: (Bowles, 1990).

CAPÍTULO 2 : COMPACTACIÓN DE SUELOS

2.1. INTRODUCCIÓN

En cada uno de los proyectos de ingeniería civil como construcciones de terraplenes, presas de tierra u otras obras, el material suelto debe cumplir ciertas características y propiedades para asegurar el proyecto y su correcto funcionamiento. La compactación de los suelos sueltos es fundamental para el desarrollo de la obra, principalmente por el aumento de la resistencia y la reducción de deformaciones.

En la antigüedad, ya se mencionaba el término compactación como un método para mejorar las propiedades del suelo lo cual han demostrado aquellas ciudades prehistóricas que son principalmente hechas por muros de tierra, se puede mencionar también otras antigüedades que emplearon la compactación como los bordos en China a.C y los que fueron obra directa de los Mayas en América en el siglo XV d.C., de tal manera que se puede considerar aquellos conocimientos de la compactación tenían ya una base fundada del tema (Revolorio Gonzáles, 2013).

Los suelos al estar sometidos a la compactación incrementan la capacidad de carga, lo cual beneficia directamente a la estructura que se pretende implantar. La compactación de los suelos es un proceso artificial, esto debido a la utilización de aparatos mecánicos con la finalidad de reducir el índice de poros y de esta manera incrementar el peso específico seco de cualquier material, mejorar las propiedades físico-mecánicas del suelo como la resistencia a la compresión y al corte, permeabilidad y flexibilidad (Londa Cañar & Maisincho Yunga, 2016).

La compactación de los suelos como se mencionó anteriormente es un proceso artificial, el mismo que se lo realiza con equipos mecánicos que aplican esta energía de compactación al material. Existen varios métodos para compactar el suelo los cuales se clasifican en las siguientes categorías: por impacto, presión, vibración y amasado.

Generalmente, el tipo de maquinaria que se va a utilizar está directamente relacionado con el método de compactación definido para el proyecto. Como, por ejemplo, el tipo de compactador pata de cabra, pisones, rodillo liso y neumático son empleados para compactar el suelo basados en el método de compactación por presión y a su vez relacionados con el tipo de material que se pretende compactar (Rico Rodriguez & del Castillo Mejía , 1992).

En la siguiente tabla 1 se puede observar el equipo de compactación relacionado al tipo de material que se desea compactar, de igual manera al método de compactación que corresponde:

Tabla 1: Equipo de compactación para distintos tipos de suelos

Tipo de Compactador	Tipo de suelo	Método de Compactación
Rodillos Lisos	Gravas y arenas estables	Presión
Rodillos Neumáticos	Arenas uniformes y suelos cohesivos, humedad cercana al límite plástico	Presión, Amasado
Rodillos Pata de Cabra	Suelos finos, humedad 7-20% debajo del límite plástico	Presión
Rodillos Vibratorios	Suelos granulares	Impacto, Vibración

Fuente: (Rico Rodriguez & del Castillo Mejía , 1992)

La compactación de los suelos con el pasar del tiempo se realizaban mayores experiencias e investigaciones acerca del tema, varias fueron las teorías que pretenden explicar lo que realmente sucede en este proceso. En el año de 1993, Ralph Proctor en los Estados Unidos de América realizó varias experiencias con respecto a la compactación de los suelos de tal manera que estableció métodos con la finalidad de obtener trabajos campo de calidad por medio de patrones de compactación en laboratorio, estableciendo de esta manera el ensayo Proctor el mismo que se clasifica en dos variantes: Proctor

estándar y Proctor modificado (Revolorio Gonzáles, 2013). Los dos ensayos de compactación consisten en dejar caer el pisón con un número establecido de golpes sobre varias capas de material que se encuentran dentro de un molde cilíndrico (Gordillo Granda & Navas Muñoz, 2018).

2.2. PROCTOR ESTÁNDAR

El nombre del ensayo Proctor estándar se debe principalmente al ingeniero Ralph. R. Proctor (1933), el cual tiene como propósito fundamental la representación de los resultados en un laboratorio que se obtienen del proceso de compactación en campo especialmente con la utilización de los equipos de compactación que existían en aquella época. El objetivo del ensayo Proctor está orientado en la determinación de aquellos parámetros óptimos de compactación, con los cuales es posible realizar un análisis de aquellas propiedades fundamentales para cualquier obra que requiere este proceso mecánico, se usará este método en las ocasiones en las cuales se requiera menor trabajo lo cual simula la utilización de equipo liviano en la construcción del proyecto (Cerdas, 2007).

El ensayo Proctor tiene como objetivo principal determinar la humedad óptima con una energía de compactación transmitida para conseguir la densidad seca máxima que se logra alcanzar de un material; la prueba de Proctor estándar fue normada de acuerdo a la ASTM (American Society for Testing and Materials) (Gordillo Granda & Navas Muñoz, 2018).

El proceso para realizar esta prueba de compactación es por medio de la aplicación de un pisón cuyo masa es de 2,5 kg a una altura de caída de 304.8 mm como se observa en la figura #, el suelo es compactado directamente en un molde con un volumen de 943.3 cm³ cuyo diámetro es de 101.6 mm, este molde está unido a una placa de base inferior y

exterior como se observa en la ilustración 6, el material es mezclado con varias cantidades de agua y posterior a esto es compactado en tres capas iguales por el pisón aplicando 25 golpes a cada una de las capas; la norma establecida para el correcto procedimiento del ensayo de Proctor estándar es la norma ASTM -D698 y la norma AASHTO T-99 (Das, 2015)

La energía de compactación se puede calcular de acuerdo a la ecuación (2), detallada a continuación:

$$E_c = \frac{N' * n * w * h}{V} \quad (2)$$

En donde:

E_c: Energía de compactación

N: Número de golpes por capa

n: número de capas

w: Peso del pisón

h: altura de caída

V: volúmen del suelo compactado

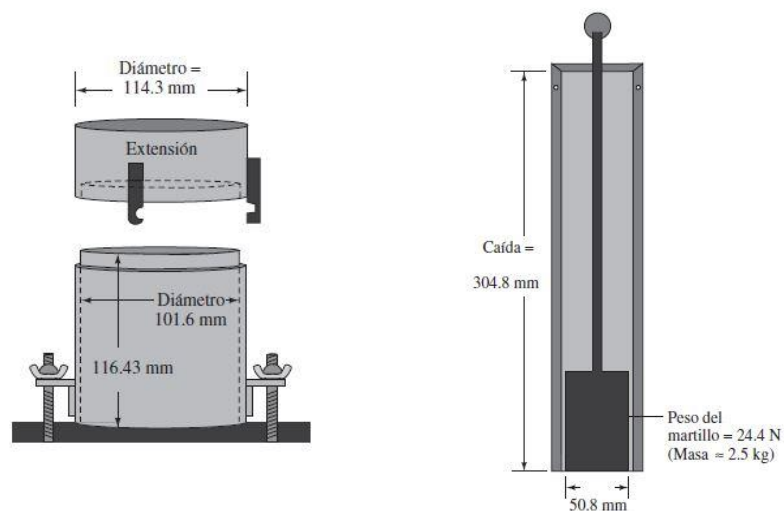


Ilustración 6: Equipo de Compactación Estándar

Fuente: (Das, 2015)

2.3. PROCTOR MODIFICADO

El ensayo de Proctor modificado resulta como consecuencia de que la energía de compactación del ensayo Proctor estándar dejó de brindar los resultados y condiciones de compactación en campo, lo cual fue resultado del avance que se venía desarrollando con la tecnología las maquinarias de esta manera los niveles de energía de compactación resultan mayores (Revolorio González, 2013).

Este ensayo se desarrolló principalmente en los tiempos de la segunda guerra mundial, como resultado de los requerimientos de subrasantes más densas en aéreo-pistas debido a la demanda de equipos pesados de aviación militar existente de la época. La modificación del ensayo estándar al ensayo modificado se verifica en el número de capas de 3 capas a 5 capas compactadas, aumentando el número de golpes de 25 a 55 golpes por capa, el peso del pisón aumenta a 4,5 kg y una altura de caída de 45,7 cm, las dimensiones del molde pueden ser de 101.6 ó 151.4 mm (4" ó 6") dando como resultado una energía de compactación de 2700 kNm/m³. Con la modificación del ensayo Proctor se evitó el incremento directo de las compactaciones relativas que superen el 100% del ensayo normal y sobre todo el problema que se presenta algunos suelos al ser compactados en campo generalmente cuando su humedad óptima tiene valores que se acercan al límite plástico (Rosseti & Begliardo , 2005).

El ensayo de compactación Proctor modificado recrea con mayor nivel de confianza los procesos de compactación en campo, ya que al incrementar la energía de compactación simula con mayor fidelidad las condiciones que se ejecutan con la maquinaria en las obras; sin embargo, se recomienda emplear el ensayo de Proctor normal cuando se requiera la ejecución de la compactación de obras menores como por ejemplo en el relleno de zanjas o caminos (Lopez Maldonado , 2020).

En los ensayos de Proctor tanto normal como modificado los resultados llevan a obtener puntos de la curva humedad – densidad, con la cual se obtiene la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad de un determinado suelo, en la ilustración 7 se observa una curva típica de la compactación (Salazar Vaca , 2016):

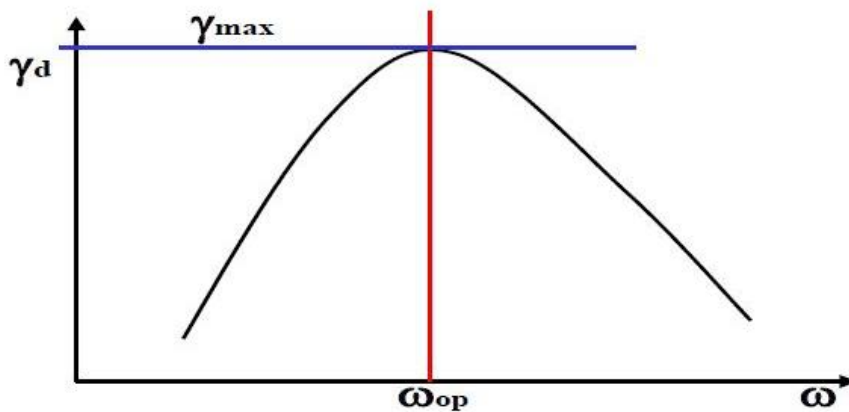


Ilustración 7: Curva típica de compactación

Fuente: (Salazar Vaca , 2016)

En la ilustración 8 se puede observar las curvas de computación correspondientes a los ensayos de Proctor modificado y Proctor estándar, los cuales como se mencionó anteriormente se diferencian por su energía de compactación y a su vez como se visualiza en la imagen se puede determinar que, en el ensayo de Proctor estándar, debido a que su energía de compactación es menor se requiera un mayor contenido de humedad para alcanzar su densidad seca máxima. Sin embargo, el ensayo de Proctor modificado al utilizar mayor energía de compactación que el estándar su contenido de humedad necesario para lograr obtener su densidad seca máxima resulta ser menor.

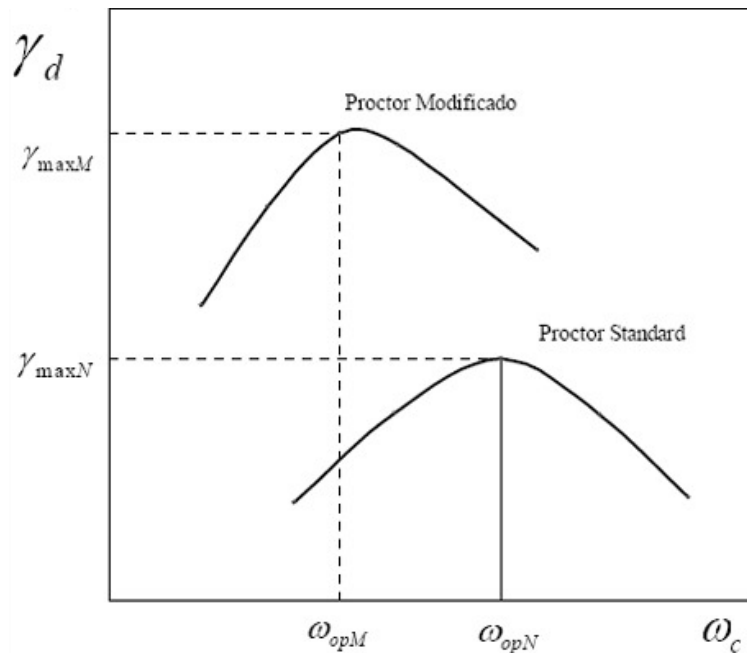


Ilustración 8: Curva de compactación Estándar y Modificado

Fuente: (Revolorio González, 2013)

2.4. TEORÍAS DE LA COMPACTACIÓN

La compactación de los suelos ha generado diversos estudios para establecer el comportamiento de estos y sus efectos, por lo cual existen varias teorías que pretenden de hallar una explicación lógica y técnica que establezca lo que realmente sucede en este proceso; una distribución de partículas que cambia de la misma forma en la que cambian sus propiedades y su comportamiento (Revolorio González, 2013).

Proctor (1933): el ingeniero Ralph Roscoe Proctor en el año de 1929 inició varios de sus trabajos lo cuales no fueron publicados sino hasta el año de 1933; el cual pensaba que en un suelo seco la falta de humedad ocasionaba efectos de capilaridad que unen sus partículas, lo cual originaba una mayor fricción que se resiste a las fuerzas de compactación. Proctor en su teoría establece que, al realizar la compactación en un suelo con una cantidad de agua mayor, se genera una mayor lubricación entre sus partículas lo que ocasiona un ordenamiento más fácil y que el suelo sea más denso (Revolorio González, 2013).

Hogentogler (1936) planteó la teoría de que en el proceso de humectación de una muestra de suelo en el desarrollo de la compactación intervienen 4 fases: hidratación, lubricación, expulsión y saturación. La hidratación inicia cuando el agua entra en contacto con el suelo y se adhiere de tal manera que se crea una película de agua a su alrededor, lo cual facilita el reacomodo de cada partícula del suelo y esto se da en la fase de lubricación, luego al finalizar esta fase se da la expulsión en la cual se desarrolla la reducción de los espacios vacíos en la muestra de suelo hasta que el agua ocupa su lugar entre las partículas hasta lograr llegar a la fase de saturación, obteniendo de esta manera la densidad máxima del suelo y la humedad óptima (Harloff Argote , 2020).

Hilf (1956) planteó que los suelos secos tienen gran dificultad de ser compactados por la presencia de la fuerza de fricción ocasionada por la gran curvatura de los meniscos que se forman debido al agua el mismo que cubre los granos en la parte que se encuentran en contacto. De esta manera, al realizar la compactación de los suelos con un mayor contenido de agua estos meniscos entre las partículas del suelo se aplanan o se eliminan, resistiendo menos a la fuerza de compactación por lo cual se incrementa la densidad del suelo hasta llegar a su máximo punto (Revolorio Gonzáles, 2013).

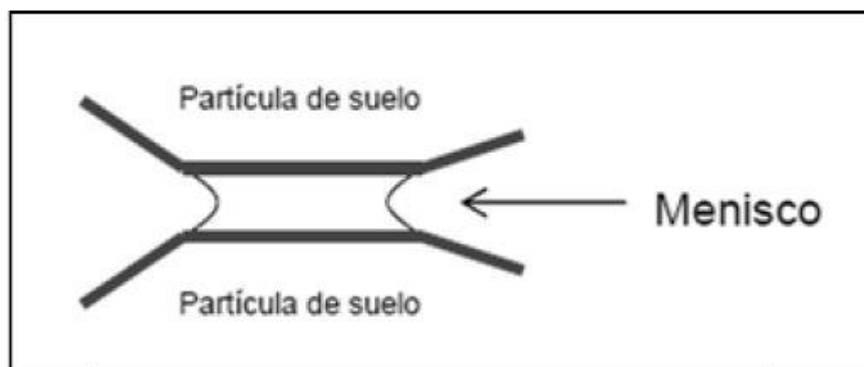


Ilustración 9: Menisco formado entre granos de suelo

Fuente: (Revolorio Gonzáles, 2013)

2.5. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COMPACTACIÓN

El proceso de compactación de los suelos es dependiente de varias características fundamentales y condiciones de acuerdo al método de compactación que se utilice, el suelo es una de las características que tiene incidencia en los resultados a obtener; su naturaleza es altamente influyente en el proceso al igual que el contenido de humedad y la energía de compactación aplicada, existen a su vez otros factores que influyen en el proceso de compactación; la importancia de los mismos se detalla a continuación (Rico Rodriguez & del Castillo Mejía , 1992).

2.5.1. Efecto del Contenido de Humedad

La compactación de los suelos en su proceso requiere del aporte de cantidades de agua, de tal manera que la humedad del suelo va cambiando y tiene una influencia directa tanto en los procesos de compactación que se realizan en campo y en el laboratorio. Durante este proceso a medida que se incrementa el contenido de humedad del suelo, incrementa su peso específico seco hasta llegar a su punto pico; en donde se obtiene el máximo valor del peso específico o la densidad máxima del suelo con la humedad óptima del material, al encontrar este punto pico y continuar con el proceso los pesos específicos comienzan a disminuir lo que indica y conduce a generar grumos muy difícilmente desintegrables o un reacomodo muy complicado de sus partículas (Revolorio Gonzáles, 2013) (Rico Rodriguez & del Castillo Mejía , 1992).

El contenido de humedad de los suelos se representa como la relación que existe entre el peso del agua y el peso de los sólidos, se lo representa con la letra w mediante la siguiente ecuación (3):

$$w = \frac{W_w}{W_s} \quad (3)$$

Donde:

w = contenido de humedad en porcentaje

W_w = peso del agua

W_s = peso de sólidos

2.5.2. Efecto del Tipo de Suelo

El tipo de suelo constituye otro de los factores importantes que tiene influencia en los resultados que se espera al realizar la compactación del mismo, la granulometría, forma de sus partículas, tipo de finos y su cantidad influyen directamente en el peso específico seco máximo y el contenido de humedad óptimo del suelo a ser compactado. Lee y Suedkamp (1972) realizaron estudios en donde determinaron las curvas de compactación pertenecientes a 35 muestras de suelo variadas, en donde diferenciaron 4 tipos de curvas de compactación de acuerdo al tipo de suelo y sus características, se puede observar las distintas curvas en la siguiente ilustración # (Das, 2015).

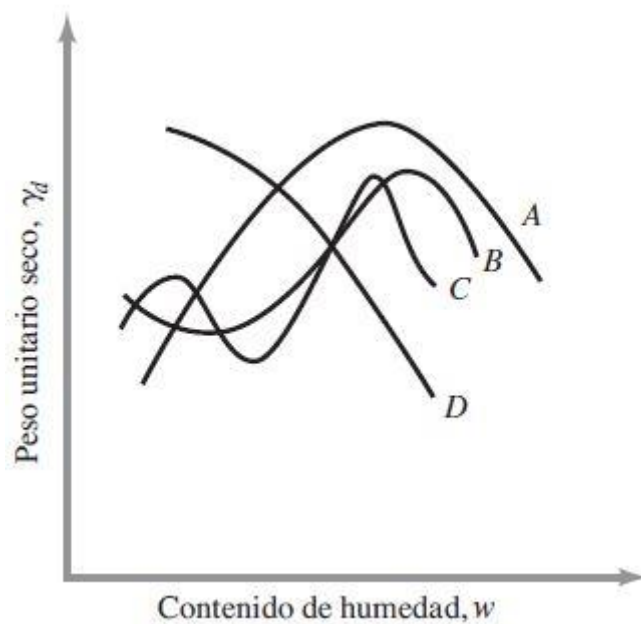


Ilustración 10: Diferentes curvas de compactación para distintos tipos de suelo

Fuente: (Das, 2015)

De acuerdo a la ilustración 10, se diferencian 4 tipos de curvas de compactación, en la cual se puede observar que la curva tipo A presenta un solo pico en comparación con las demás y a su vez este tipo de curva representa a los tipos de suelos que poseen un límite líquido entre 30 y 70. La curva tipo B posee un pico y medio y la curva tipo C presenta una curva de doble pico, las mismas que se pueden identificar en suelos con presencia de límite líquido inferior aproximadamente a 30. Por último, la curva tipo D no presentan un pico definido de tal manera que se definen de forma extraña, se puede definir también que las curvas tipo C o D representan a suelos con límite líquido mayor que 70 además que, los suelos correspondientes a estas curvas por lo general no son muy comunes.

2.5.3. Efecto de la Energía de Compactación

El proceso de compactación de los suelos al requerir la incidencia de métodos mecánicos para aplicar la energía necesaria que se requiere y de esta manera lograr un valor más alto que la resistencia al corte del suelo y poder deformarlo de manera irreversible hace que se tome en cuenta directamente la energía que se aplica a cada ensayo o trabajo en campo que se desarrolle como un efecto para la compactación de los suelos.

La energía que se aplica al material tiene un efecto directo en la compactación, específicamente en la densidad máxima seca y su contenido de humedad óptimo, en la figura 11 se observa claramente cuando se aplica una energía de compactación alta, la curva de compactación se dirige hacia arriba incrementando su densidad máxima seca pero con una menor cantidad de humedad óptima, sin embargo, cuando se aplica una energía de compactación menor el efecto que se produce es una disminución de su densidad máxima seca pero aumentando su contenido de humedad óptimo (Chirinos Quishpe, 2016).

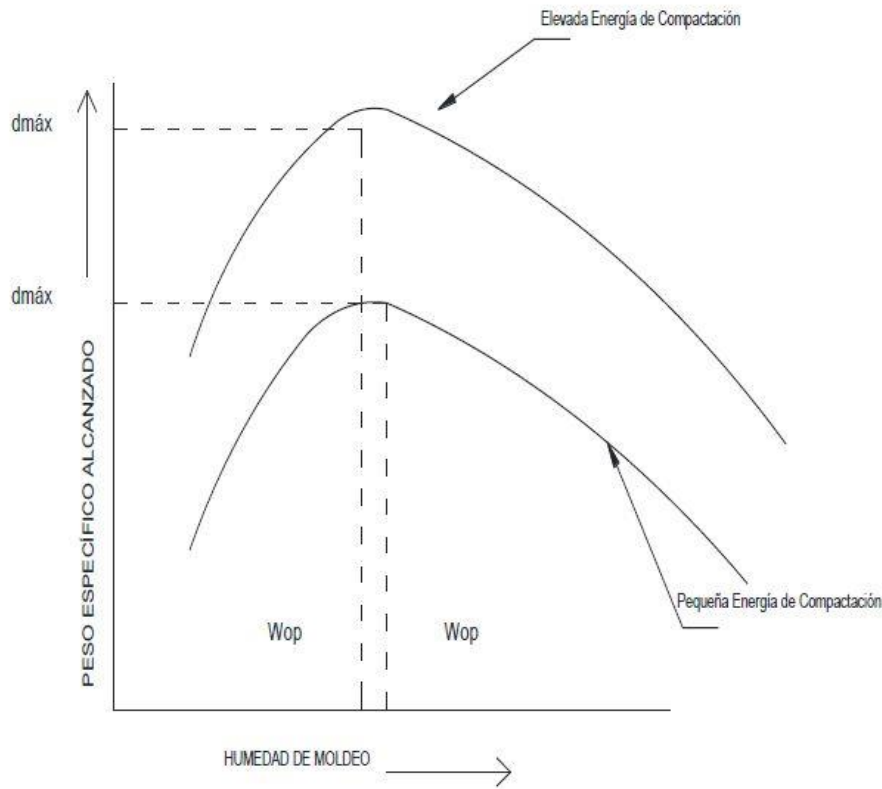


Ilustración 11: Curvas de compactación estándar y modificado

Fuente: (Chirinos Quishpe, 2016)

2.5.4. Efecto del Método de Compactación

Varios son los métodos por los cuales se realiza el proceso de compactación de los suelos, lo cual depende principalmente del suelo con el que se encuentre dependiendo de su composición; la densidad seca máxima y su contenido de humedad óptimo también dependen del método que se vaya a utilizar directamente para su compactación lo que se puede evidenciar que el efecto del tipo de suelo también se encuentra relacionado de acuerdo al método de compactación que se utilice.

Existen 4 métodos de compactación principales: estática o por presión, impacto, vibratorios y amasados. La principal diferencia entre estos métodos de compactación radica en la magnitud de deformaciones angulares que resulten de la aplicación de cualquier método; indistintamente del método que se aplique en campo a un tipo de suelo debe estar relacionado con el sistema de compactación que se desarrolle en el laboratorio

con la finalidad de poder verificar valores fiables de la densidad máxima seca y el contenido de humedad óptima (Salazar Vaca , 2016) (Revolorio Gonzáles, 2013).

2.6. PROPIEDADES DE LOS SUELOS COMPACTADOS

Por lo general, la compactación de los suelos tiene como objetivo principal cambiar las propiedades físico – mecánicas del material de tal manera que resulte beneficioso para el proyecto ingenieril a construir; que cumpla con ciertas características específicas requeridas para la obra.

2.6.1 Permeabilidad

Esta propiedad de los suelos se la representa comúnmente con la letra k el cual resulta un coeficiente del material obtenido de manera experimental, cabe mencionar que esta propiedad está relacionada directamente y que depende de la relación de vacíos del suelo, grado de saturación y la estructura del material. El valor de este coeficiente aumenta generalmente cuando se realiza la compactación con humedades por debajo de la óptima, sin embargo, al incrementar el contenido de agua el coeficiente de permeabilidad disminuye. Por otra parte, la estructura del suelo que se obtiene luego del proceso de compactación es el factor que ocasiona mayores efectos al coeficiente de permeabilidad; mayores distorsiones en el proceso ocasionan un mayor grado de orientación de las partículas del suelo, es decir una mejor estructuración del suelo provoca una mejor permeabilidad del suelo o material que ha sido previamente compactado (Sagüés, 2008).

2.6.2. Compresibilidad

Se puede definir la compresibilidad de los suelos como la relación existente entre la aplicación de una carga de compresión y la deformación que se ocasiona en la muestra de suelo, la cual depende además de la carga, de la relación de vacíos y de su contenido de humedad. Esta compresibilidad puede continuar por una serie de años bajo la

aplicación de una carga constante, al momento en el que un suelo es compactado con cantidades de humedad bajas muy lejanas de la óptima al aplicarle una carga, este colapsa y se originan cambios considerables de volumen y su compresibilidad aumenta (Revolorio Gonzáles, 2013).

2.6.3. Resistencia al corte

Morh (1990) establece su teoría sobre la ruptura de materiales, en donde mantiene que la falla de un suelo está sujeta a una combinación única crítica de esfuerzos existentes como son del esfuerzo normal y del esfuerzo cortante. Esta resistencia al corte de un suelo depende de la densidad y su contenido de humedad al instante del corte, además, se encuentra relacionado con la presión de poros en ese momento. Se podría decir que, mientras el contenido de humedad del suelo disminuya, mayor es la presión de poros y de esta manera una resistencia mayor del suelo al corte (Sagüés, 2008)

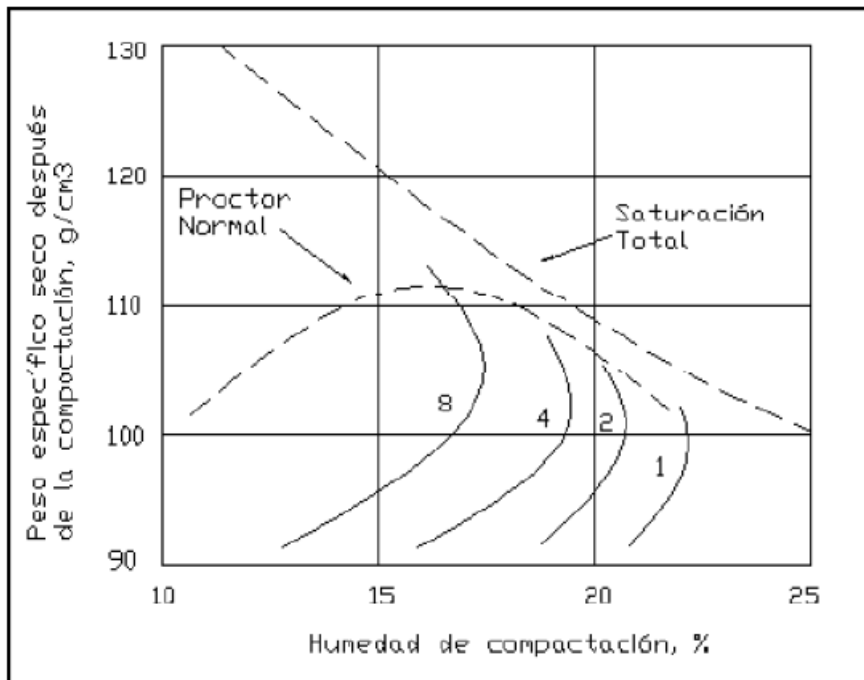


Ilustración 12: Relación de la resistencia a compresión sin confinar ni drenar

Fuente: (Revolorio Gonzáles, 2013)

CAPÍTULO 3 MÉTODOS CONVENCIONALES GEOTÉCNICOS

3.1. INTRODUCCIÓN

Desde ya hace mucho tiempo es conocido que los estudios geotécnicos son la parte fundamental y elemental para la obtención de los parámetros geomecánicos del suelo definiéndose como una herramienta eficaz y efectiva con un alto grado de seguridad al momento de obtener los resultados, en este caso se destacará una serie de ensayos de laboratorio comúnmente empleados para el tipo de información que se requiere los cuales deberán realizar con equipos y metodologías de reconocida aceptación técnica, de tal manera que los resultados obtenidos e interpretaciones estén asegurada por medio de correlaciones inequívocas y aceptadas con los ensayos convencionales.

De acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción el capítulo “Geotecnia y Cimentaciones”, el estudio de campo requiere normalmente obtener muestras representativas del suelo para de esta manera ser analizada correctamente por medio de ensayos de laboratorio con la finalidad de determinar sus parámetros respectivos para el diseño de excavaciones y cimentaciones. Generalmente el tipo y numero de ensayos se encuentran en función de las características específicas del material a investigar, alcance del proyecto y el criterio del ingeniero geotécnico (NEC-SE-GC, 2015).

Características básicas de los suelos:

- Peso unitario
- Humedad natural
- Límites de Atterberg
- Clasificación completa para cada uno de los estratos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) (NEC-SE-GC, 2015).

Del mismo modo, se debe determinar las características de resistencia al esfuerzo cortante en las muestras de suelo según la norma:

- Ensayo de compresión simple o triaxial UU (no consolidado no drenado)
- Veleta de laboratorio
- Resistencia índice o corte directo
- Estimaciones de la resistencia por medio de correlaciones con los ensayos de penetración estándar SPT o de cono estático CPT (NEC-SE-GC, 2015).

3.2. RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE DEL SUELO

Bajo ciertas sollicitaciones, los suelos, como cualquier otro material, se comportan como materiales elásticos, aunque en algunos casos se podrían producir deformaciones mayores a los normales, debido a esto se tendrá que recurrir entonces a cálculos que tengan en cuenta la plasticidad del suelo (López Beteta & López Sevilla, 2016). Se debe tomar en cuenta que los suelos pueden presentar diversos tipos de fallas tales como: deslizamiento en líneas de rotura, fluencia plástica o disgregamiento.

Los suelos al fallar al corte se comportan de acuerdo a las teorías tradicionales de fricción y cohesión, por ende, la resistencia al esfuerzo cortante está representada por la ecuación de Coulomb, que se muestra a continuación:

$$\tau = c + \sigma_0 + \tan \phi \quad (4)$$

En la que:

τ = Resistencia al corte del suelo.

c = Cohesión del suelo.

σ_0 = Esfuerzo normal intergranular.

ϕ = Ángulo de fricción interna del suelo, el cual se supone que es constante.

Cabe recalcar, para el análisis de la ecuación de Coloumb se deberá predefinir los parámetros de ángulo de fricción y cohesión del suelo estudiado, mismos que son considerados como parámetros geomecánicos del suelo.

Existen dos tipos de resistencia cuando tomamos en cuenta la relación de esfuerzo-deformación:

3.2.1 Resistencia máximo o resistencia pico

Es la resistencia a la corte máxima que posee el material que no ha sido fallado previamente, la cual corresponde al punto más alto de la curva esfuerzo-deformación. La utilización de la resistencia pico en el análisis de estabilidad asume que la resistencia pico se obtiene simultáneamente a lo largo de toda la superficie de falla. Sin embargo, algunos puntos en la superficie de falla han alcanzado deformaciones mayores que en otros, en un fenómeno de falla progresiva y asumir que la resistencia pico actúa simultáneamente en toda la superficie de falla puede producir errores en el análisis (Aburto & Rodriguez, 2012).

3.2.2 Resistencia residual

Es la resistencia al corte que posee el material después de haber ocurrido la falla. Skempton (1964) observó que en las arcillas sobreconsolidadas, la resistencia calculada del análisis de deslizamientos después de ocurridos, correspondía al valor de resistencia residual (ilustración 13) y recomendó utilizar para el cálculo de factores de seguridad, los valores de los parámetros obtenidos para la resistencia residual ϕ_r y c_r . Sin embargo, en

los suelos residuales la resistencia pico tiende a ser generalmente, muy similar a la resistencia residual (Aburto & Rodriguez, 2012).

Otro factor que determinan las diferencias entre la resistencia pico y la residual es la sensibilidad, la cual está relacionada con la pérdida de resistencia por remoldeo o la reorientación de las partículas de arcilla.

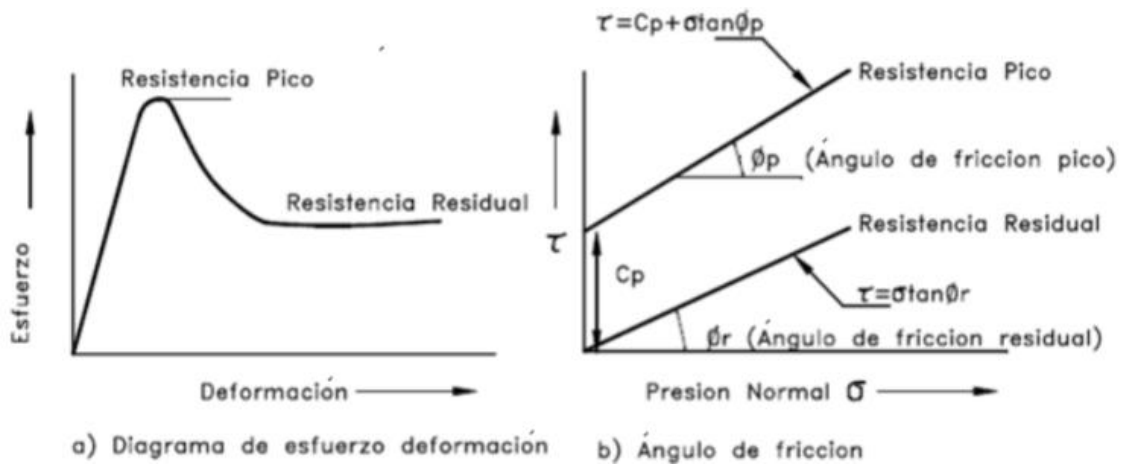


Ilustración 13: Gráfica esfuerzo – deformación y presión cortante – presión normal

Fuente: (Aburto & Rodriguez, 2012)

De esta manera, se puede decir que la resistencia al cortante de un suelo que comúnmente se emplea para las obras civiles ya sea como el diseño de cimentaciones, muros, pavimentos entre otros, es fundamental para garantizar seguridad ante un colapso de la estructura, además de estar directamente relacionado con los parámetros geomecánicos de los suelos como son el ángulo de fricción y la cohesión.

3.3. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DEL SUELO

3.3.1. Ángulo de fricción interno

El ángulo de fricción interno como se observa en la ilustración 14, es un valor de convenio introducido para simplificar, y se le considera como un constante, aunque no lo es. Se utiliza para describir la resistencia a cortante por fricción de los suelos junto con la

tensión efectiva normal. Es la presentación matemática del coeficiente de rozamiento en el plano de falla:

$$\text{Coeficiente de rozamiento} = \tan \phi$$

El ángulo de fricción depende de varios factores, siendo los más importantes los siguientes (Suarez Diaz, 1998):

- a. Tamaño de los granos
- b. Forma de los granos
- c. Distribución de los tamaños de granos
- d. Densidad

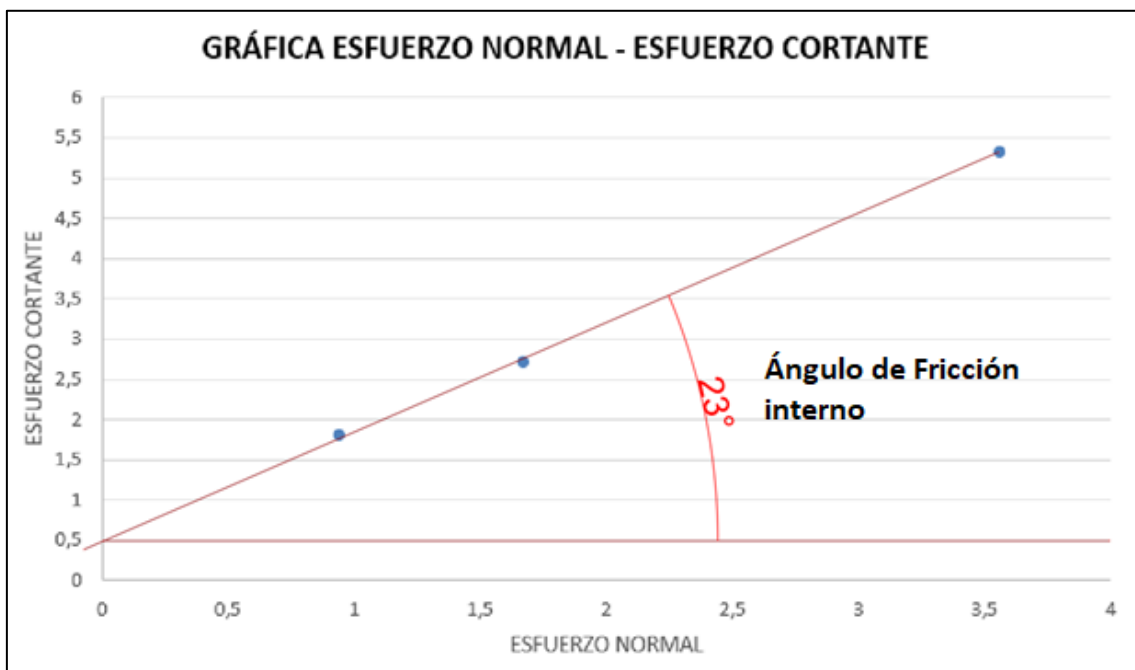


Ilustración 14: Ángulo de Fricción interno

Fuente: Propia

A continuación, se detallan algunos valores de ángulos de fricción según la USCS (United Soil Classification System):

Tabla 2: Ángulos de fricción interna del suelo

Descripción	USCS	Ángulo de fricción del suelo [°]		
		min	max	Valor Especifico
Grava bien graduada, grava arenosa, con poca o ninguna finura	GW	33	40	
Grava mal graduada, grava arenosa, con poca o ninguna finura	GP	32	44	
Gravas arenosas - Seltas	(GW, GP)			35
Gravas arenosas - Densa	(GW, GP)			50
Gravas limosas, gravas arenosas limosas	GM	30	40	
Gravas arcillosas, gravas arenosas arcillosas	GC	28	35	
Arenas bien graduadas, arenas de grava, con poca o ninguna finura	SW	33	43	
Arena limpia bien graduada, arenas de grava - Compactado	SW	-	-	38
Arena bien graduada, granos angulares - sueltos	(SW)			33
Arena bien graduada, granos angulares - Densa	(SW)			45
Arenas mal graduadas, arenas con grava, con poca o ninguna finura	SP	30	39	
Arena limpia - mal graduada - Compactada	SP	-	-	37
Arena uniforme, granos redondos – sueltos	(SP)			27
Arena uniforme, granos redondos – Densa	(SP)			34
Arena	SW, SP	37	38	
Arena suelta	(SW, SP)	29	30	
Arena media	(SW, SP)	30	36	
Arena densa	(SW, SP)	36	41	
Arenas limosas	SM	32	35	
Arcillas limosas, mezcla arena-limo - Compactado	SM	-	-	34

Arena limosa - suelta	SM	27	33	
Arena limosa - Densa	SM	30	34	
Arenas arcillosas	SC	30	40	
Arenas calyey, mezcla arena-arcilla - compactado	SC			31
Arena franca, franco arcillosa arenosa	SM, SC	31	34	
Limos inorgánicos, arenas finas limosas o arcillosas, con ligera plasticidad	ML	27	41	
Limo inorgánico - suelto	ML	27	30	
Limo inorgánico - Denso	ML	30	35	
Arcillas inorgánicas, arcillas limosas, arcillas arenosas de baja plasticidad	CL	27	35	
Arcillas de baja plasticidad - compactadas	CL			28
Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad	OL	22	32	
Limos inorgánicos de alta plasticidad	MH	23	33	
Limos arcillosos - compactados	MH			25
Limos y limos arcillosos - compactados	ML			32
Arcillas inorgánicas de alta plasticidad	CH	17	31	
Arcillas de alta plasticidad - compactadas	CH			19
Arcillas orgánicas de alta plasticidad	OH	17	35	
Marga	ML, OL, MH, OH	28	32	
Franco limoso	ML, OL, MH, OH	25	32	
Franco arcilloso, Franco arcilloso limoso	ML, OL, CL, MH, OH, CH	18	32	
Arcilla limosa	OL, CL, OH, CH	18	32	
Arcilla	CL, CH, OH, OL	18	28	

Turba y otros suelos altamente orgánicos	Pt	0	10	
--	----	---	----	--

Fuente: United Soil Classification System

3.3.2. Cohesión

La cohesión es la atracción que existe entre las partículas, misma que se origina por las fuerzas moleculares y las películas de agua. La cohesión en mecánica de suelos es utilizada para representar la resistencia al cortante producida por la cementación, mientras que en la física este término se utiliza para representar la tensión (Suarez Diaz, 1998).

En suelos eminentemente granulares en los cuales no existe ningún tipo de cementante o material que pueda producir adherencia, la cohesión se supone igual a 0 y a estos suelos se les denomina Suelos no Cohesivos.

3.3.2.1 Cohesión Aparente

En el año 1995 Bilz presento una serie de tablas de cohesión aparente relacionada con las características de los granos. La altura del agua capilar en los suelos depende primordialmente del tamaño de los granos en los suelos granulares. Entre menor sea el tamaño de las partículas de suelo, mayor es la cabeza de saturación por capilaridad. Teóricamente entre mayor sea la altura capilar, la estabilidad aparente del talud es mayor, pero debe tenerse en cuenta que la infiltración del agua lluvia reduce rápidamente el valor de la presión negativa y esta componente que favorecía la estabilidad puede desaparecer totalmente en un período de tiempo muy corto (Suarez Diaz, 1998).

Las arenas finas y limos pueden poseer cohesiones aparentes de varias veces la cohesión de una arena media y una grava como se indica en la ilustración 15:

Densidad	Epoca	Cohesión aparente KN/m ²		
		Arena fina	Arena media	Arena gruesa
Suelta	Seca	6.5	3.0	1.0
	Húmeda	8.5	5.5	4.5
Densa	Seca	8.5	4.0	2.0
	Húmeda	10.5	6.5	5.5

Ilustración 15: Cohesión debida a fuerzas capilares

Fuente: (Suarez Diaz, 1998)

3.4. CORTE DIRECTO

El objetivo del ensayo de corte directo es la obtención de parámetros de resistencia de un material mediante la obtención de la envolvente de falla, cuando una muestra de suelo ha sido sometida a deformaciones o fatigas, las mismas que simulan las que existen o existirán en un terreno producto de la aplicación de una carga.

Mediante el ensayo de corte directo se determinan los parámetros geomecánicos de los suelos: cohesión (c) y el ángulo de fricción (ϕ).

El ensayo de corte directo consiste en colocar una muestra en una caja de forma cuadrada llamada “caja de cizalladura”, la misma que es de acero inoxidable, dicha caja está dividida en dos mitades, y al momento de colocar la muestra del material se le procede a ajustarle por medio de dos tornillos de seguridad, posteriormente se le coloca en la caja de corte, dicho mecanismo simula cargas horizontales y normales al plano de movimiento, causando que se deslice una porción de suelo respecto a otra.

El ensayo de corte directo permite determinar una gráfica en la misma que con la tensión de corte en el eje de las ordenadas y el esfuerzo normal en el eje de las abscisas, el intercepto de dicha línea con el eje de las ordenadas es la cohesión, y el ángulo que la recta forma con las abscisas es el ángulo de fricción del suelo. A continuación, en la ilustración 16 se puede apreciar lo expuesto.

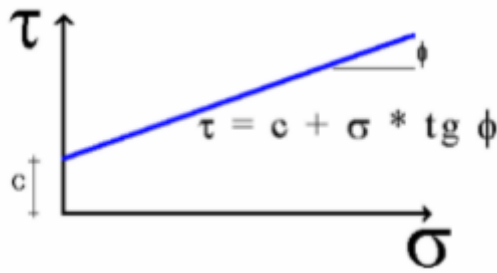


Ilustración 16: Cohesión y ángulo de fricción

Fuente: (Revolorio Gonzáles, 2013)

3.4.1. MODALIDADES DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Existen tres modalidades de ensayo de corte directo, las mismas que se detallan a continuación:

3.4.1.1. Ensayo No consolidado no drenado (UU)

En esta prueba no se permite el drenaje de la muestra en todo el desarrollo del ensayo, el corte se inicia antes de consolidar la muestra bajo la carga normal (P_v); si la muestra es un suelo cohesivo y saturado se desarrollará exceso de presión de poros, en donde τ contra σ es una recta horizontal, por lo tanto, $\tau = c$. (Peña Rojas & Perez Ballen , 2012).

3.4.1.2. Ensayo Consolidado No drenado (CU)

En este ensayo la tensión de corte es rápida para que la presión de poros del material no pueda disiparse en el lapso del estudio, en dicho ensayo se permite que la muestra drene o se consolide durante la aplicación de la carga vertical, de tal modo que en el momento de emplear el esfuerzo de corte las presiones intersticiales sean nulas, pero no durante la aplicación del esfuerzo cortante. (Peña Rojas & Perez Ballen , 2012)

3.4.1.3. Ensayo Consolidado Drenado (CD)

En este ensayo la velocidad de corte es lenta, en el mismo se permite el drenaje de la muestra durante todo el ensayo, siendo las presiones intersticiales nulas durante la aplicación del esfuerzo cortante (Peña Rojas & Perez Ballen , 2012)

3.4.2. METODOLOGÍA DEL ENSAYO

3.4.2.1. Equipo Necesario

- **Herramientas menores:** Dentro de las herramientas menores consta el equipo para compactar el material en las cajas de cizalladura, espátulas, balanzas, recipientes para determinar humedades, etc.
- **Cajas de cizalladura:** Las cajas de cizalladura normalmente son cuadradas de aproximadamente 10 o 6 cm de lado o estas pueden ser cilíndricas de 6, 10 ó 16 cm de diámetro.
- **Máquina de corte directo:** Esta máquina es capaz de detener las cajas de cizalladura, medir las cargas normales, medir desplazamientos de las muestras, medir cambios de espesor, como también permitir el drenaje a través de las piedras porosas.
- **Horno de secado:** El horno de secado sirve para encontrar el contenido de humedad de las muestras después del ensayo de corte realizado.

3.4.2.2. Procedimiento

Las muestras que se utilicen para el ensayo de corte directo pueden ser alteradas o inalteradas, esto depende significativamente del material sobre el cual se vaya a realizar el ensayo, ya que para una muestra inalterada el espécimen es obtenido in-situ directamente en las cajas de cizalladura, caso contrario si es una muestra inalterada se debe primeramente encontrar la humedad óptima y por consiguiente su densidad, esto con la ayuda del ensayo de compactación.

Posteriormente se pesan las cajas de cizalladura vacías y se coloca la muestra compactada, pesando nuevamente estas con el material ya compactado, se ajustan las muestras con la ayuda de tornillos y se coloca en la máquina de corte directo ajustando correctamente los sensores de carga y desplazamiento horizontal.

Se colocan las pesas sobre el soporte del brazo en la máquina de corte directo, el tornillo del brazo evitará que se cargue la muestra en dicho momento y se comienza el ensayo para posteriormente luego de ingresar los datos del ensayo en la computadora ir obteniendo las gráficas que servirán luego para encontrar la cohesión y el ángulo de fricción. Se repite este procedimiento con tres muestras en las cajas de cizalladura.

3.5. TRIAXIAL

El diseño de los pavimentos, esta influenciado de una forma indirecta por la resistencia al cortante de los suelos, ya sea en el diseño de los muros de retención, en el análisis de estabilidad de taludes, o a través de una forma directa en el diseño de las capas que conforman el pavimento.

El ensayo triaxial es uno de los procedimientos más satisfactorios para encontrar la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo que bien se ha definido como la máxima o la última resistencia que el suelo puede soportar, ya que en este ensayo se puede controlar los esfuerzos que se aplican en las tres direcciones al espécimen, lo cual conduce al comportamiento del suelo y de las características que se utilizarán en el diseño de cualquier estructura.

El ensayo triaxial consta en preparar una muestra cilíndrica del material a ser analizado revestido con una membrana de látex con una relación altura-diámetro de dos y que se encuentra confinada por medio de una presión hidráulica constante, a la parte superior e inferior del espécimen se le colocan discos porosos, los mismos que se conectan

al sistema de drenaje del equipo, ya sea para saturar o drenar la muestra, el agua que se utiliza en la cámara puede alcanzar cualquier presión deseada, gracias a la acción de un compresor comunicado con esta y la carga axial aplicada a la muestra se trasfiere por medio de un vástago que atraviesa la parte superior de la cámara.

En la cámara donde está colocada la muestra se producen presiones hidrostáticas a causa del agua causando esfuerzos principales sobre el espécimen, iguales en todas las direcciones, axialmente como lateralmente, y también en las bases de la muestra además de la presión del agua actuará el efecto transmitido por el vástago desde la cámara exterior.

Posteriormente luego de realizar este proceso se pueden obtener los datos necesarios para dibujar la relación tensiones – deformaciones, repitiendo el ensayo con tres probetas iguales, cambiando únicamente en cada ensayo la presión de confinamiento.

Luego de la obtención de resultados se realiza la construcción gráfica de los círculos de Mohr, estableciendo la mejor envolvente de dichos círculos, la misma que nos permitirá determinar los valores de la cohesión y el ángulo de rozamiento interno.

3.5.1. MODALIDADES DEL ENSAYO TRIAXIAL

Existen tres modalidades de ensayo triaxial, las mismas que se detallan a continuación:

3.5.1.1. Sin consolidación y sin drenaje (UU)

El ensayo UU es usualmente realizado a materiales arcillosos, en este tipo de ensayo en ninguna etapa se permite la consolidación de la muestra, es decir la válvula de comunicación entre la muestra y la bureta permanece cerrada imposibilitando el drenaje.

En este ensayo primeramente se le aplica a la muestra una presión hidrostática y de inmediato el suelo falla con la aplicación de la carga axial, y la envolvente de falla para los criterios de Mohr del esfuerzo son una línea horizontal. (Salas, 2011)

3.5.1.2. Con consolidación y sin drenaje (CU)

El ensayo con consolidación y sin drenaje se realiza con medición de la presión de poros, con el objetivo de encontrar los parámetros de cohesión y el ángulo de fricción en términos de esfuerzos efectivos y esfuerzos totales.

En este ensayo primeramente la muestra se consolida bajo la presión hidrostática para que el esfuerzo que se produce sea efectivo, dicho esfuerzo actúa sobre la fase sólida del suelo, y por consiguiente la muestra se lleva a la falla por el incremento rápido de la carga axial, sin permitir el cambio de volumen.

El objetivo de este tipo de prueba es no permitir ninguna consolidación adicional durante el periodo de falla en la aplicación de la carga axial. (Salas, 2011)

3.5.1.3. Con consolidación y con drenaje (CD)

El ensayo con consolidación y con drenaje se utilizan principalmente en suelos granulares, pero también se pueden aplicar a suelos finos. En este tipo de ensayo los esfuerzos que se aplican a la muestra son efectivos, es decir en primer lugar al suelo se le aplica una presión hidrostática, gracias a la válvula de comunicación con la bureta, y esperando el tiempo necesario para que exista consolidación completa bajo la presión actuante, luego cuando el equilibrio estático de la muestra se haya establecido, las fuerzas externas estarán actuando sobre la fase sólida, y posteriormente al espécimen se le lleva a la falla aplicando la carga axial en pequeños incrementos. (Salas, 2011)

3.5.2. METODOLOGÍA DEL ENSAYO

3.5.2.1. Equipo necesario

- **Herramientas menores:** Dentro de las herramientas menores consta los materiales necesarios para labrar la muestra, membrana de látex para el ensayo, utensilios para determinar humedades, espátulas, etc.
- **Panel triaxial:** El panel triaxial es un sistema conformado por válvulas y reguladores, los mismos que sirven para administrar el flujo de aire y agua en la realización del ensayo triaxial.
- **Equipo automático de cambio de volumen:** La función de este equipo es comprimir un pistón sellado contra un dispositivo de precisión ubicado en la cámara de calibración.
- **Prensa triaxial:** La prensa triaxial está conformada por un marco de dos columnas con una viga transversal móvil y una base, la misma que contiene el empuje mecánico, motor eléctrico, controles y componentes electrónicos.
- **Blader:** Este mecanismo es el encargado de transportar la presión del aire al agua de forma inmediata, evitando que el aire empiece a disolverse.
- **Cámara triaxial:** La cámara triaxial es el lugar en donde se somete a la muestra a las condiciones específicas de cada ensayo.
- **Transductores:** Los transductores en el ensayo triaxial tienen la función de medir los desplazamientos.
- **Dataloger:** El dataloger es el encargado de registrar los datos en tiempo real, de almacenarlos y transferir los registros a la computadora.

CAPÍTULO 4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se detallará la información obtenida mediante los ensayos de laboratorio que se realizaron a las muestras de suelo, las mismas que fueron material de mejoramiento y subbase, principalmente debido a que son materiales empleados en la zona de la construcción y correspondientes a la zona de la ciudad de Cuenca provenientes de la cantera A, con la finalidad de obtener resultados positivos que orienten a los profesionales de la ciudad para elaborar diseños y obras civiles en base a datos reales que generen un alto grado de confiabilidad al momento de asumir valores típicos de las propiedades geomecánicas de los materiales granulares.

4.1. ENSAYOS DE LABORATORIO

4.1.1. Análisis Granulométrico

El suelo está constituido por infinidad de partículas y la variedad en su tamaño es ilimitado. Es muy difícil deducir con certeza las propiedades mecánicas de los suelos a partir de su distribución granulométrica, sin embargo, este ensayo tiene como principal función brindar información directa del material a ser analizado brinda información para tener una idea de permeabilidad y de manera general entender su comportamiento ingenieril para los proyectos que se requieran posteriormente.

Los ensayos de laboratorio programados para el desarrollo y obtención de resultados referente a nuestro tema de estudio como lo es la determinación de parámetros geomecánicos de suelos granulares aplicando energía se iniciaron con uno de los ensayos fundamentales en cualquier estudio de suelo como lo es el ensayo granulométrico.

El ensayo granulométrico se realizó tanto al material de mejoramiento como a la subbase obtenidos de zonas de la ciudad de Cuenca, en donde de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 696:2011 “Áridos. Análisis granulométrico en los Áridos,

Fino y Grueso.” Se define el alcance de este método para la determinación de la graduación de materiales con la finalidad de utilizarlos como áridos, en donde sus resultados se emplean para la verificación de cumplimiento de la distribución granulométrica de las partículas y de esta manera se pueda llevar a cabo controles de los materiales.

A continuación, se presentan los resultados del ensayo granulométrico por cribado de las muestras de estudio en la tabla 3 y 4:

Tabla 3: Análisis Granulométrico por cribado – Mejoramiento

MATERIAL DE MEJORAMIENTO	
TAMICES	% PASA
1 1/2"	97,39%
1"	83,87%
3/4"	73,68%
1/2"	62,54%
3/8"	56,07%
Nº4	42,75%
10	31,19%
40	13,40%
200	6,32%

Fuente: Propia

Tabla 4: Análisis Granulométrico por cribado – Subbase

MATERIAL DE SUBBASE	
TAMICES	%PASA
1 1/2"	98,21%
1"	94,80%
3/4"	87,96%
1/2"	74,97%
3/8"	68,85%
Nº4	50,83%
10	32,81%
40	13,04%
200	7,12%

Fuente: Propia

De acuerdo a los valores de las tablas anteriores, referentes al ensayo de granulometría por cribado realizado en el laboratorio se puede evidenciar una uniformidad presente tanto en el material de mejoramiento como la subbase en los porcentajes que pasa en el ensayo de análisis granulométrico. Además, de acuerdo a los porcentajes de material pasante según lo especificado en la norma vigente se determina que el material de mejoramiento tiene un 57,25% correspondiente a grava, 36,43% de arena y un 6,32% de material fino. Por otra parte, el material de subbase contiene un 49,17% de grava, 43,71% de arena y un 7,12% de finos. Ver anexo 1 y 2.

4.1.2. Límites de Atterberg

Posteriormente, se procedió a la determinación de los límites de Atterberg en base a la norma ASTM D4318, con la finalidad de caracterizar el comportamiento del material de mejoramiento y subbase. En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos en base al ensayo de laboratorio ejecutado:

Tabla 5: Resultados ensayo límites de Atterberg

	MEJORAMIENTO	SUBBASE
LÍMITE LÍQUIDO	21,70%	21,68%
LÍMITE PLÁSTICO	18,18%	18,09%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	3,52%	3,59%

Fuente: Propia

Tras haber obtenido los valores de acuerdo al ensayo de laboratorio Límites de Atterberg, se puede observar que estos parámetros son similares en los dos materiales analizados y a través de esta información se procede a clasificar los suelos de estudio y verificar si estos cumplen con las características de materiales de mejoramiento y subbase respectivamente. Ver anexo 3 y 4.

4.1.3. Clasificación del suelo

Posteriormente se procedió a la clasificación de los materiales en estudio de acuerdo a los métodos AASHTO y SUCS, los cuales se encuentran directamente relacionados con los resultados de los ensayos de granulometría por cribado y los límites de Atterberg. En la siguiente tabla 6 se puede encontrar la clasificación de los materiales provenientes de la cantera A por los dos métodos mencionados anteriormente. Ver anexo 1, 2, 3 y 4.

Tabla 6: Clasificación por los sistemas AASHTO y SUCS

MATERIAL	AASHTO	SUCS
MEJORAMIENTO	MATERIAL GRANULAR EXCELENTE A BUENO A-1-a FRAGMENTOS DE ROCA, GRAVA Y ARENA	SUELO DE PARTICULAS GRUESAS (nomenclatura con símbolo doble) GRAVA BIEN GRADUADA CON LIMO CON ARENA GW GM
SUBBASE	MATERIAL GRANULAR EXCELENTE A BUENO A-1-a FRAGMENTOS DE ROCA, GRAVA Y ARENA	SUELO DE PARTICULAS GRUESAS (nomenclatura con símbolo doble) ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO CON ARENA SW SM

Fuente: Propia

De acuerdo a la clasificación determinada por los dos métodos que aseguran información confiable, se puede evidenciar que tanto el material de mejoramiento como el material de subbase presentan características similares resultando ser parte del mismo grupo de clasificación de acuerdo al sistema AASHTO, mientras que en base al sistema de clasificación SUCS el material de subbase resulta diferente, siendo un suelo de partículas gruesas de nomenclatura con símbolo doble como una arena bien graduada con limo con arena debido a los resultados obtenidos mediante la granulometría por cribado.

A su vez, los materiales de estudio resultan tener partículas con características excelentes y bien graduadas los cuales ofrecen impactos positivos en el área de la construcción por su estabilidad.

4.1.4. Ensayo Proctor Estándar y Modificado

De acuerdo a la norma americana ASTM D-698 y ASTM D-1557 se procedió a la realización de los ensayos de Proctor estándar y modificado en el laboratorio, de la misma manera se realizó para el material de mejoramiento y subbase. Se realizaron 5 muestras por material con respecto a cada ensayo Proctor, es decir un total de 20 muestras ensayadas. Se pueden apreciar los resultados obtenidos en la siguiente tabla 7:

Tabla 7: Resultados ensayos de Compactación

MATERIAL	PROCTOR ESTÁNDAR		PROCTOR MODIFICADO	
	DENSIDAD SECA MÁXIMA kg/m ³	HUMEDAD ÓPTIMA %	DENSIDAD SECA MÁXIMA kg/m ³	HUMEDAD ÓPTIMA %
MEJORAMIENTO	1828	16	2090	10,3
SUBBASE	1982	13,2	2210	10

Fuente: Propia

De acuerdo a los resultados obtenidos de laboratorio, se determinan las densidades secas máximas de los dos materiales aplicando energía estándar que simula la compactación de los suelos con equipo liviano y aplicando energía modificada la cual simula la compactación de equipos pesados.

A su vez, se puede definir que el porcentaje de humedad óptima del material de mejoramiento disminuye con el ensayo de Proctor modificado de manera considerable y

aumenta su densidad seca máxima en comparación con el ensayo de Proctor estándar, principalmente debido a que en el ensayo de Proctor modificado se requiere mayor cantidad de energía por lo cual se logra obtener su densidad seca máxima con menor cantidad de agua, lo cual sucede lo contrario en el ensayo de Proctor estándar.

Sin embargo, con el material de subbase no sucede lo mismo, ya que no existe una diferencia grande entre su contenido de humedad con el ensayo de Proctor estándar y modificado.

También se determina que el material de subbase resulta más beneficioso por el hecho de presentar valores de densidad seca máxima mayores con contenidos de humedad menores que el material de mejoramiento, tanto en el ensayo de Proctor estándar como el modificado. Ver anexo 5, 6, 7 y 8.

4.1.5. Corte Directo

Entre los ensayos convencionales para determinar los parámetros geomecánicos de los suelos de la presente investigación, se desarrolló el ensayo de corte directo en el laboratorio de suelos, mediante la aplicación del procedimiento respectivo en base a la norma ASTM D3080-72. Con la finalidad de determinar un plano de falla localizado por medio de la aplicación de dos fuerzas y de esta manera transformar un esfuerzo normal y un esfuerzo cortante. De esta manera el ensayo fue realizado para un total de 12 muestras, 6 muestras correspondientes al material de mejoramiento y 6 muestras de material de subbase, aplicando energía de Proctor estándar y modificado a estos materiales granulares.

Los resultados del ensayo para las dos muestras de suelo se pueden observar en la tabla 8:

Tabla 8: Resultados ensayo de corte directo U.U.

ENSAYO DE CORTE DIRECTO U.U.			
MATERIAL	PARÁMETROS GEOMECÁNICOS	PROCTOR ESTÁNDAR	PROCTOR MODIFICADO
MEJORAMIENTO	COHESIÓN kg/cm ²	0,18	0,28
	ANGULO DE FRICCIÓN	19	21
SUBBASE	COHESIÓN kg/cm ²	0,38	0,2
	ANGULO DE FRICCIÓN	21	27

Fuente: Propia

En base a la información determinada en los distintos ensayos de corte directo, se puede observar que existe un aumento de cohesión considerable con el material de mejoramiento al aplicar una mayor energía de compactación, mientras que sus ángulos de fricción interna son similares.

En el caso del material de subbase los parámetros de cohesión disminuyen de 0,38 a 0,2 kg/cm², cuando se aplica mayor energía de compactación, a la vez que se obtienen ángulos de fricción interna similares. Ver anexo 12, 16, 20 y 24.

4.1.6. Triaxial

Finalmente se culminó la realización de los ensayos de laboratorio con las pruebas triaxiales no consolidadas no drenadas desarrolladas de acuerdo a la norma ASTM D2850 para las muestras de mejoramiento y subbase aplicadas energía estándar y modificada. Resultando un total de 12 muestras ensayadas, 6 muestras por cada uno de los materiales granulares determinados. A continuación, en la tabla 9 se determinan los resultados de estas pruebas de laboratorio.

Tabla 9: Resultados ensayo Triaxial U.U.

TRIAxIAL U.U.			
MATERIAL	PARÁMETROS GEOMECÁNICOS	PROCTOR ESTÁNDAR	PROCTOR MODIFICADO
MEJORAMIENTO	COHESIÓN kg/cm ²	0	0
	ANGULO DE FRICCIÓN	45	57
SUBBASE	COHESIÓN kg/cm ²	0,1	0
	ANGULO DE FRICCIÓN	46	48

Fuente: Propia

De acuerdo al análisis de los ensayos triaxiales no consolidados no drenados que fueron realizados en el laboratorio de suelos se puede observar que los valores de cohesión para los dos materiales de estudio tienen valores nulos o que tienden a cero dando como resultado valores de cohesión de los materiales como no existentes, es decir que no presentan una cohesión estos materiales granulares principalmente debido a que no poseen características cohesivas en grandes cantidades considerables, sin embargo, sus ángulos de fricción interna son favorables tanto con energía de compactación estándar como con energía de compactación modificada de acuerdo al material que se analizó, principalmente debido a las características que poseen. Ver anexo 28, 32, 36 y 40.

4.2. INTERPRETACION DE RESULTADOS

De acuerdo a la relevancia de la obra a construir y a los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio referentes a la resistencia al corte del material mediante energía de compactación estándar y modificada, se propone hacer el uso de los valores de cohesión y ángulo de fricción interna del ensayo triaxial debido a que las muestras están sometidas a mayor cantidad de esfuerzos y proporcionan resultados bastante confiables.

Tabla 10 Recomendación de parámetros geomecánicos para obras de menor relevancia

MATERIAL	Cohesión	Ángulo de fricción interna
Mejoramiento	0	45
Subbase	0	46

Fuente: Propia

Tabla 11 Recomendación de parámetros geomecánicos para obras de mayor relevancia

Material	Cohesión	Ángulo de fricción interna
Mejoramiento	0	57
Subbase	0	48

Fuente: Propia

4.3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.3.1. CONCLUSIONES

- a) A través de los ensayos de análisis granulométricos y límites de plasticidad, se puede decir que los materiales utilizados en la presente investigación corresponden a fragmentos de piedra, gravas y arenas obtenidos por medio de la clasificación AASHTO y que son materiales característicos producidos en canteras, los cuales son utilizados para el mejoramiento de las subrasantes en la mayoría de los proyectos de construcción civil.
- b) De acuerdo a lo establecido en un principio de la investigación se adquirió material proveniente de canteras de la ciudad de Cuenca, tanto material de mejoramiento y subbase. Sin embargo, el resultado del ensayo de granulometría por cribado del material de mejoramiento presentó características diferentes, de tal manera que se pudo determinar que no corresponde al mismo en base a la Norma Ecuatoriana Vial del Ministerio de Transporte y Obras Públicas del volumen 3 en donde indica de acuerdo a la tabla 404-1.2 que el material corresponde a una Base Clase 1 Tipo A. Ver anexo 41.
- c) Según la normativa NEVI, se puede observar que los parámetros de los índices de plasticidad y límites líquidos de los materiales de base y subbase que resultaron al final de los ensayos de laboratorio cumplen porque tienen valores del 3.5%, los cuales son inferiores al 6% máximo permitido y límites líquidos de 21,7% siendo menor que 25% como máximo permitido, lo cual brinda una excelente calidad de los materiales, haciendo que éstos funcionen como un filtro ante la presencia de agua y de esta manera evitar que existan expansibilidades y deformaciones en sus estructuras.

- d) Los ensayos de compactación estándar presentan densidades secas máximas muy similares para las muestras de base y subbase obteniendo el resultado de 1828 kg/m³ para la base y 1982 kg/m³ para el material de subbase , aquí se destaca que el contenido de humedad óptima de la subbase es superior debido a que el ejemplar tiene una mayor cantidad de material granular como son las gravas, lo cual permite que las partículas al momento de mezclarse con agua no absorben esta sustancia y crean una película que simula la saturación superficial del agregado.
- e) Para el ensayo de compactación modificado, las densidades secas máximas se incrementan y las humedades óptimas disminuyen respecto al ensayo estándar, dando valores típicos de densidades para materiales granulares resultando 2090 kg/m³ para la muestra de base y 2210 kg/m³ para la muestra de subbase siendo este material el que posee mejor densidad seca máxima, en esta prueba de laboratorio se destaca que los contenidos de humedad óptima varían para los dos materiales y se concluye que esto sucede debido a que la ejecución del ensayo es tardío y durante el proceso de compactación se produce fricción del martillo con las partículas del suelo, por lo cual el material puede sufrir una evaporación de este líquido.
- f) Respecto a los resultados obtenidos mediante el ensayo de Corte directo U.U., se ha determinado que ciertos valores no sean utilizados como información base debido a que principalmente el ensayo de corte directo no simula directamente los esfuerzos a los cuales el suelo se encuentra sometido a cualquier profundidad debido a que la muestra está sometida a una carga normal y una carga cortante, siendo la carga normal aquella que no permite un mejor confinamiento de la muestra para tener una mayor resistencia al corte, a su vez se puede evidenciar

que los valores de los ángulos de fricción determinados no corresponden al material de base y subbase que se ha analizado ya que en estos materiales predominan valores mayores debido a la cantidad de material grueso por el cual está conformado.

- g) Por otra parte, mediante la realización del ensayo Triaxial U.U. se han determinado resultados mucho más consistentes de acuerdo a los materiales que se han analizado, debido a las condiciones en las que se realizan estas pruebas son más completas porque permiten el confinamiento total alrededor de la muestra mediante la aplicación constante de esfuerzos laterales (presiones de cámara), dominando en este caso los valores del ángulo de fricción correspondientes a los materiales granulares establecidos que son de base y subbase.
- h) En el ensayo triaxial para la determinación de las envolventes de los círculos de Mohr, en los cálculos no se toman en cuenta los ensayos para presiones de cámara de 40 kPa porque los esfuerzos menores efectivos no incrementan su valor, razón por la cual la envolvente no queda bien definida con respecto a los ensayos que tienen presiones de cámara de 20 y 80 kPa respectivamente, haciendo referencia que esto sucede porque las muestras no fueron remoldeadas con la energía de compactación modificada sino más bien se confeccionaron en un molde más pequeño en el cual el número de golpes por capa no estuvo definida, de manera que se concluye que la muestra presentó planos de falla entre capas antes de la ejecución del ensayo.
- i) De tal manera que, en base a la investigación bibliográfica y los ensayos de laboratorio realizados a las muestras de suelo correspondientes a canteras de la ciudad de Cuenca se determina que los parámetros geomecánicos del ensayo de

Triaxial U.U. aplicando energía de compactación Proctor estándar y Proctor modificado, se utilicen como información base y confiable para cualquier tipo de diseño en el cual se requiera estas propiedades mecánicas de materiales granulares como la base y subbase, determinando que para el material de base y subbase se utilice el valor de cero para su cohesión, por otra parte, un ángulo de fricción de 45 para el material de base con energía de compactación estándar y un ángulo de fricción de 57 con energía de compactación modificada, para el material de subbase un ángulo de fricción de 46 con la aplicación de energía estándar y un ángulo de fricción de 48 con energía de compactación modificada.

- j) Se puede definir en base a los resultados obtenidos entre el ensayo de corte directo U.U. y el ensayo triaxial U.U. de las muestras analizadas que no existe una correlación directa entre sus datos finales, principalmente debido a que el ensayo de corte directo nos indica que existe una cohesión en los materiales mientras que en el ensayo triaxial esto resulta contradictorio y a su vez el ensayo de corte directo determina valores de los ángulos de fricción menores a 30 y por otra parte el ensayo de triaxial resultan valores mayores a 40 lo cual resulta más coherente de acuerdo a las características de los materiales granulares.
- k) De acuerdo a los resultados obtenidos por medio de los ensayos de laboratorio realizados a las muestras de suelo, se concluye que el ensayo Triaxial es el más idóneo para la determinación de los parámetros geomecánicos de un suelo, principalmente debido a que ejerce presiones actuantes en tres direcciones ortogonales sobre la muestra de suelo simulando lo que los materiales sufren a una cierta profundidad. Sin embargo, los ensayos triaxiales realizados tuvieron inconvenientes al momento del labrado de las muestras a partir del material ya compactado debido a que existía una disgregación del suelo principalmente

debido a que los materiales presentan características granulares, de tal manera que se realizó una relación entre el volumen del cilindro del ensayo de compactación y otro de menor tamaño para el ensayo triaxial en el cual se introdujo material del molde ya compactado en el nuevo cilindro para poder realizar el ensayo Triaxial, a su vez se puede recalcar que las densidades secas máximas fueron alcanzadas en el cilindro del ensayo Triaxial.

4.3.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda inicialmente verificar el tipo de material el cual está siendo adquirido en cualquier empresa privada, debido a que por temas de falta de conocimiento u otros inconvenientes exista una equivocación al momento de la compra y resulte un problema en la ejecución del proyecto posteriormente.
- Se recomienda realizar la clasificación de los suelos por los métodos AASHTO y SUCS con la finalidad de verificar a que tipo de suelo pertenece para poder tener una idea más clara con respecto a los resultados que se determinen en ensayos de laboratorio posteriores y de esta manera comparar si existe una relación coherente con lo que se logre determinar de los suelos.
- Se recomienda tener en cuenta principalmente la Norma Ecuatoriana Vial vol 3. del Ministerio de Transporte de Obras Públicas en donde especifica los requerimientos que deben cumplir ciertos materiales granulares como base y subbase referentes a su granulometría, límites líquidos, índices de plasticidad, entre otras propiedades físicas de los suelos.
- Se recomienda tener cuidado y precauciones al momento de la realización de los ensayos de laboratorio y los cálculos adicionales principalmente ya que podría afectar en los resultados finales y acorde a lo mismo se determine que los ensayos no sean confiables y se tenga que realizar nuevamente para corroborar la información.
- En base a los resultados obtenidos por medio del ensayo de corte directo no consolidado no drenado aplicando energía estándar y modificada se recomienda no utilizar la información obtenida para cualquier diseño de proyecto civil debido a que los datos obtenidos no reflejan directamente o no se asemejan a la realidad

que sufre el suelo a cualquier profundidad ya que únicamente aplica una carga normal y axial siendo estos valores erróneos.

- De esta manera, en función de los ensayos de laboratorio se recomienda utilizar la información proporcionada por el ensayo Triaxial U.U. tomando como información base los valores de los ángulos de fricción tanto para una energía estándar como modificada para los materiales de base y subbase, mientras que para los valores determinados de su cohesión en este ensayo sean despreciados y asumidos por un valor de 0 kg/cm^2 .
- Se recomienda para tener valores correctos y obtener información cien por ciento confiable en los ensayos de corte directo y triaxial, que el labrado de las muestras a ser ensayadas, sean tomadas directamente de la muestra final de los ensayos de Proctor estándar y Proctor modificado.
- Se recomienda para el remoldeo de muestras utilizadas en ensayos triaxiales o compresiones simples, utilizar el dispositivo Harvard Miniatura, dado que posee un mango ranurado que encierra un resorte precomprimido en su interior, mismo que puede ajustarse para producir la energía de compactación deseada.

REFERENCIAS

- Aburto, M., & Rodriguez, D. (2012). *Caracterización de la resistencia de un material de banco para su uso como relleno compactado*. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Armesto Duarte , D., & Pinto de Luquez , Y. N. (2018). *Determinación del ángulo de fricción suelo - muro para el dimensionamiento de muros de contención sobre suelos arenosos de la quebrada Palmichal*. Bucaramanga .
- Bowles, J. E. (1990). *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil, Segunda ed.* Mexico D.F., Mexico: McGraw-Hill Book.
- Cerdas, S. F. (2007). *Diseño de procedimientos técnicos como parte de un sistema de gestión de calidad en ensayos de laboratorio* . Cartago.
- Chamba Diaz, F. A. (2018). Estudio de la tipología del suelo aplicando la metodología AASHTO, donde se construye el distribuidor de tráfico Bella India. *Universidad Técnica de Machala*.
- Chirinos Quishpe, J. C. (2016). *Efecto de la energía de compactación en la densidad seca máxima y contenido óptimo de humedad del suelo granular en la cantera el Gavilán, 2015* . Cajamarca .
- Das, B. M. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* . Mexico D.F.: Cengage.
- Gordillo Granda , P. A., & Navas Muñoz , S. F. (2018). *Ánisis de la aplicación de la Norma ASTM D 6951-03 para estimar el índice del CBR en un suelo de la ciudad de Cuenca* . Cuenca .
- Harloff Argote , J. P. (2020). *Seguimiento y control de calidad a la construcción de terraplenes con suelos marginales* . Medellín .
- Londa Cañar , B. F., & Maisincho Yunga, L. M. (2016). *Estudio comparativo del método colombiano y la Nevi-12, para vías de bajo volumen de tránsito, con subrasante de la mina Chocarsi*. Cuenca.
- López Beteta, Y. J., & López Sevilla, J. E. (2016). *Determinación de la resistencia de corte de los suelos de las comarcas: Buena vista, El Castillo N°1, Garnacha y Calle Campo Deportivo, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya*. Nicaragua: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua.
- Lopez Maldonado , G. (2020). *Ensayos de compactación en carreteras: Proctor Normal y Modificado*. Valencia.
- Moncayo Theurer, M., Vargas Jimenez, J., Santos Baquerizo, E., Gonzales, E., Barzola Zambrano, I., Velasco Cevallos, G., . . . Lucio, S. (2017). Parámetros para la construcción de un modelo matemático para simular el comportamiento dinámico

- del suelo debajo de la universidad de Guayaquil - Ecuador. *Ingeniería*, 21(1), 31-40.
- NEC-SE-GC. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Quito.
- Olivos Velásquez , M. A. (2015). *Estimación del Ángulo de Fricción Interna y Cohesión no drenada a partir de correlaciones basadas en ensayos in situ para suelos del Piedemonte de los Cerros Orientales de Bogotá DC*. Bogotá.
- Peña Rojas, K. J., & Perez Ballen , I. K. (2012). *Comparación de los Parámetros de Resistencia al corte obtenidos en los ensayos de corte directo y triaxial de una arena arcillosa* . Bucaramanga.
- Ravines Aliaga, J. A. (2017). Capacidad portante de los suelos de fundación mediante los métodos DPL y corte directo para la ciudad de José Gálvez - Celendín - Cajamarca. *Universidad Nacional de Cajamarca*.
- Revolorio Gonzáles, F. J. (2013). *Incidencia de resultados del ensayo Próctor por la influencia del clima, humedad, equipo y superficie de base de compactación durante su desarrollo*. Guatemala.
- Rico Rodriguez , A., & del Castillo Mejía , H. (1992). *Consideraciones sobre compactación de suelos en obras de infraestructura de transporte* . Sanfandila.
- Rodas Jaramillo , R. P., & Torres Lazo , M. A. (2015). *Estudio de las envolventes concolidada - drenada mediante ensayo de corte directo para el análisis de estabilidad de presas de tierra del Proyecto Pacalori*. Cuenca .
- Rosales Bermudez, R. (2007). *Variación de la cohesión y el ángulo de fricción interna obtenidos por los ensayos de corte directo y triaxial con materiales granulares y arcillosos*. Guatemala.
- Rosseti, R. C., & Begliardo , H. F. (2005). *Generalidades sobre compactación de suelos* . Santa Fe.
- Sagüés, P. (2008). *Propiedades de los Suelos Compactados*. Buenos Aires : LMS - FIUBA.
- Salas, I. O. (2011). *Ensayos Triaxiales para suelos* . San Pedro Montes de Oca.
- Salazar Vaca , M. (2016). *CORRELACIÓN ENTRE EL ENSAYO DE CBR Y EL ENSAYO DEL PRÓCTOR PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DEL SUELO DE LA PARROQUIA AMBATILLO ALTO EN EL SECTOR DE SAN PEDRO*. Ambato.
- Suarez Diaz, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga, Colombia: Ingeniería de Suelos Ltda.
- Valerio Salas, O. (2011). Ensayos triaxiales para suelos. *Métodos Y Materiales*, 1(1), 14-24.

ANEXOS

ANEXOS FOTOGRÁFICOS



Material de Mejoramiento y Subbase



Secado de los Materiales



Pesado de Material – Granulometría



Ensayo de Granulometría por cribado



Material retenido del ensayo granulométrico



Material para la granulometría fina



Material sumergido en agua para granulometría fina



Ensayo de Granulometría fina



Material para ensayo de Límites de Atterberg



Límite líquido – Equipo de Casa grande



Ensayo de límite plástico



Muestras finales límite líquido



Equipo para ensayos de compactación modificado y estándar



Preparación de material para ensayos de compactación



Aplicación de contenido de agua para compactación



Ensayo de Proctor Modificado



Ensayo de Proctor Estándar



Pesado del material compactado



Retiro de material compactado



Muestras finales de ensayos de compactación



Equipo para ensayo de corte directo



Labrado de material compactado



Muestra del ensayo de corte directo



Muestras secas finales del ensayo de corte directo



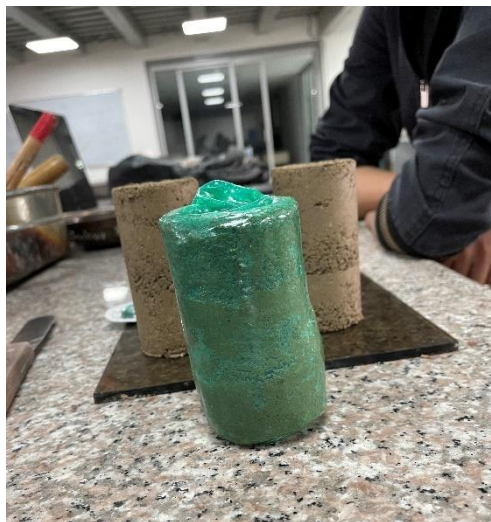
Equipo para ensayo Triaxial



Falla inicial del material en el cilindro del ensayo Triaxial



Preparación de material para ensayo triaxial



Colocación de material de látex a muestra



Armado de equipo Triaxial



Ejecución ensayo Triaxial



Muestras finales del ensayo triaxial

ANEXOS DE LABORATORIO

Anexo 1.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL SUELO

PROYECTO "Determinación y análisis de parámetros geomecánicos de suelos granulares determinados por ensayos convencionales aplicando energía con proctor estándar y modificado"

MUESTRA Mejoramiento

SOLICITADO POR : _____

FECHA 8 de junio de 2021



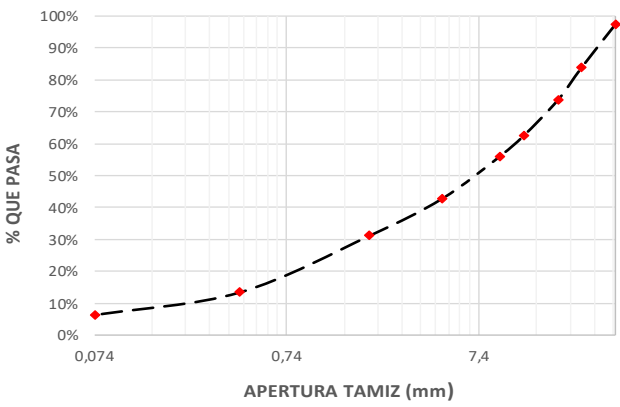
	ABERTURA	PESO RET.	RET. ACUM.	%	%	%
TAMIZ Nº	MM.	GM.	GM.	RETENIDO	PASA	ESPECIF.
3"	76,2	--	--	--	--	
2 1/2"	63,5	--	--	--	--	
2"	50,8	--	--	--	--	
1 1/2"	38,1	442,5	442,5	2,61%	97,39%	
1"	25,4	2291	2733,5	16,13%	83,87%	
3/4"	19,1	1727	4460,5	26,32%	73,68%	
1/2"	12,7	1886,5	6347	37,46%	62,54%	
3/8"	9,52	1096,5	7443,5	43,93%	56,07%	
Nº4	4,76	2257,5	9701	57,25%	42,75%	
PASA No4	---	7244,5	16945,5	--	--	
10	2	132,7	132,7	68,81%	31,19%	
40	0,42	204,3	337	86,60%	13,40%	
200	0,074	81,3	418,3	93,68%	6,32%	
FONDO	---	2,4	--	--	--	
TOTAL		418,3	418,3	93,68%	6,32%	

PESO ANTES DEL ENSAYO 16952,5 PESO HUMEDO ANTES DEL LAVADO = 500


PESO DESPUES DEL ENSAYO 16945,5 PESO SECO ANTES DEL LAVADO = 490,87

% DE HUMEDD 1,86 PESO SECO DESPUES DEL LAVADO = 420,7

CURVA GRANULOMÉTRICA



Ing. Luis Mario Almache
Jefe de Laboratorio



Ing. Marcos González
Laboratorista

Anexo 2

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL SUELO

PROYECTO "Determinación y análisis de parámetros geomecánicos de suelos granulares determinados por ensayos convencionales aplicando energía con proctor estándar y modificado"

MUESTRA Subbase

OLICITADO POR :

FECHA 7 de junio de 2021



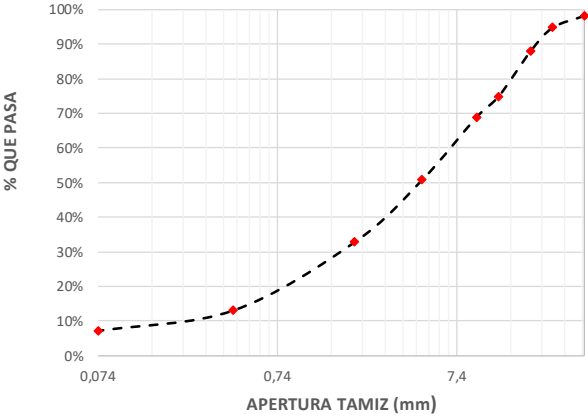
	ABERTURA	PESO RET.	RET. ACUM.	%	%	%
TAMIZ Nº	MM.	GM.	GM.	RETENIDO	PASA	ESPECIF.
3"	76,2	--	--	--	--	
2 1/2"	63,5	--	--	--	--	
2"	50,8	--	--	--	--	
1 1/2"	38,1	406	406	1,79%	98,21%	
1"	25,4	773	1179	5,20%	94,80%	
3/4"	19,1	1554	2733	12,04%	87,96%	
1/2"	12,7	2947,5	5680,5	25,03%	74,97%	
3/8"	9,52	1387	7067,5	31,15%	68,85%	
Nº4	4,76	4091	11158,5	49,17%	50,83%	
PASA Nº4	---	11533	22691,5	--	--	
10	2	169,2	169,2	67,19%	32,81%	
40	0,42	185,7	354,9	86,96%	13,04%	
200	0,074	55,6	410,5	92,88%	7,12%	
FONDO	---	3,8	--	--	--	
TOTAL						

PESO ANTES DEL ENSAYO 22757 PESO HUMEDO ANTES DEL LAVADO = 500


PESO DESPUES DEL ENSAYO 22691,5 PESO SECO ANTES DEL LAVADO = 477,327

% DE HUMEDD 4,78 PESO SECO DESPUES DEL LAVADO = 414,3

CURVA GRANULOMÉTRICA



Ing. Luis Mario Almache
Jefe de Laboratorio



Ing. Marcos González
Laboratorista

Anexo 3

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



LIMITES DE ATTERBERG

PROYECTO: Determinación y análisis de parámetros geomecánicos de suelos granulares determinados por ensayos convencionales aplicando energía con proctor estándar y modificado

MUESTRA: MEJORAMIENTO

SOLICITADO POR:

FECHA: 11 DE JUNIO DE 2021

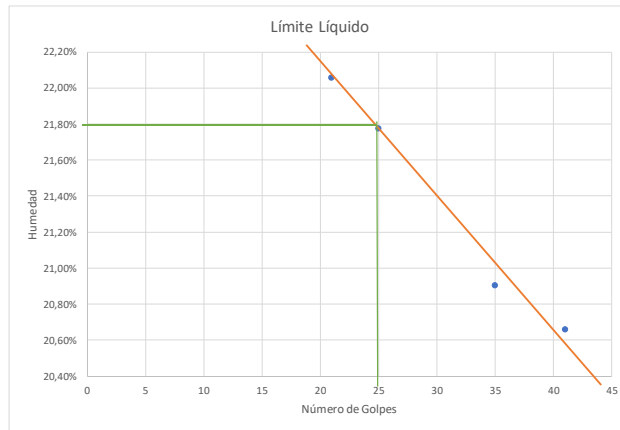
Numero de Tacho	Numero de Golpes	Tacho	Peso (gramos)		%W
			Tacho + Material Humedo	Tacho + Material Seco	
1A	41	22,05	45,47	41,46	20,66%
50	35	21,14	35,83	33,29	20,91%
C	25	21,88	34,35	32,12	21,78%
B	21	21,06	27,70	26,50	22,06%
6	12	21,93	39,86	36,13	26,27%

diferencia de 2%

Limite Liquido
21,70%

Numero de Tacho	Tacho	Peso (gramos)		%W
		Tacho + Material Humedo	Tacho + Material Seco	
25	21,63	28,62	27,53	18,47%
11	20,87	25,99	25,20	18,24%
14	21,11	25,56	24,88	18,04%
4	20,71	24,45	23,88	17,98%

Limite Plastico
18,18%



Indice de Plasticidad
3,52%

Ing. Luis Mario Almache
Jefe de Laboratorio

Ing. Marcos González
Laboratista

Anexo 4

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



LIMITES DE ATTERBERG

PROYECTO: Determinación y análisis de parámetros geomecánicos de suelos granulares determinados por ensayos convencionales aplicando energía con proctor estándar y modificado

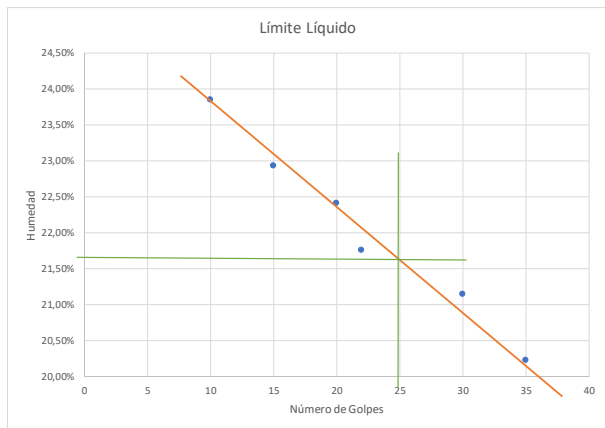
MUESTRA: SUBBASE
 SOLICITADO POR:
 FECHA: 11 DE JUNIO DE 2021

Numero de Tacho	Numero de Golpes	Tacho	Peso (gramos)		%W
			Tacho + Material Humedo	Tacho + Material Seco	
IC	35	21,54	53,70	48,29	20,22%
5	30	22,03	57,73	51,50	21,14%
15	22	21,73	43,95	39,98	21,75%
-1	20	20,96	52,32	46,58	22,40%
32	15	21,09	56,48	49,88	22,92%
2	10	21,27	55,70	49,07	23,85%

Limite Liquido
21,68%

Numero de Tacho	Tacho	Peso (gramos)		%W
		Tacho + Material Humedo	Tacho + Material Seco	
20	22,00	26,42	25,74	18,18%
11	20,67	25,48	24,75	17,89%
26	21,54	26,38	25,65	17,76%
3	21,70	29,89	28,61	18,52%

Limite Plastico
18,09%




Indice de Plasticidad
3,59%

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio

Ing. Marcos González
 Laboratista

Anexo 5

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



PRÓCTOR ESTÁNDAR

PROYECTO: "Determinación y análisis de parámetros geomecánicos de suelos granulares determinados por ensayos"

MUESTRA: Mejoramiento

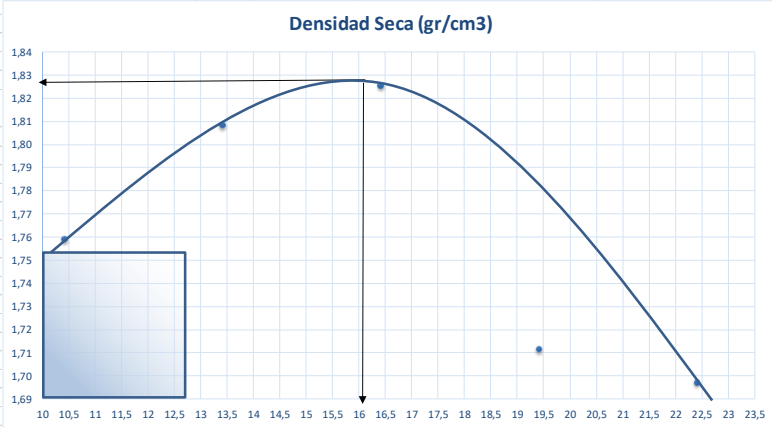
SOLICITADO POR: _____

FECHA: 14 de junio de 2021

Molde #:	25243					
Peso del Molde sin collarin:	4261,5	gr				
Diametro del Molde:	10	cm				
Altura del Molde:	10	cm				
Volumen del molde:	1000,0	cm3				

Peso (gramos)						
Numero de Tacho	Agua agregada	Tacho	Tacho + Material Humedo	Tacho + Material Seco	%W	Promedio %W
2	210	43,34	109,16	102,38	11,48%	11,50%
17	210	53,69	133,59	125,34	11,51%	
13	140	52,95	124,64	118,76	8,93%	8,92%
S3	140	53,04	111,26	106,50	8,90%	
K1	280	52,27	151,69	139,27	14,28%	14,29%
18	280	53,05	155,29	142,49	14,31%	
20	420	64,56	186,98	166,84	19,69%	19,76%
10	420	52,85	154,95	138,06	19,82%	
18	350	65,90	158,93	145,69	16,59%	16,53%
S7	350	43,41	138,64	125,18	16,46%	

Cantidad de agua agregada						
cc	%	%W Promedio	Peso Muestra + Molde Sin Collarin	Peso de Muestra Humeda (gr)	Densidad Humeda (gr/cm3)	Densidad Seca (gr/cm3)
140	10,42	8,92%	6177,5	1916	1,92	1,76
210	13,42	11,50%	6277,5	2016	2,02	1,81
280	16,42	14,29%	6347,5	2086	2,09	1,83
420	22,42	19,76%	6294	2032,5	2,03	1,70
350	19,42	16,53%	6256	1994,5	1,99	1,71



Densidad Seca (gr/cm3)

DENSIDAD SECA MÁXIMA kg/m3	HÚMEDAD ÓPTIMA %
1828	16

Ing. Luis Mario Almache


Jefe de Laboratorio

Ing. Marcos González

Laboratorista

Anexo 6

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



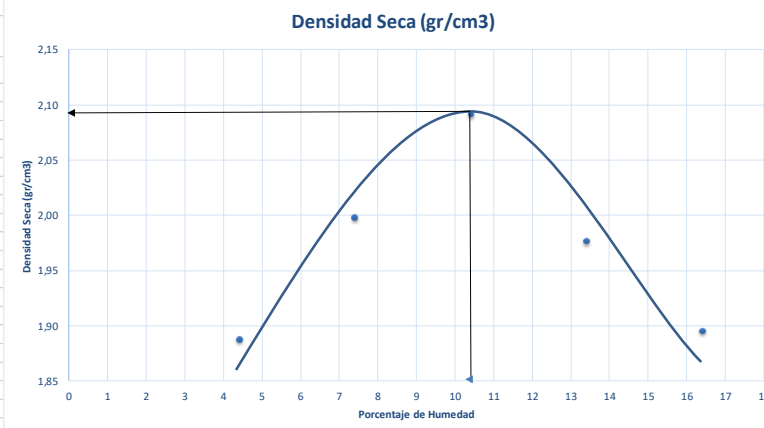
PRÓCTOR MODIFICADO
 "Determinación y análisis de parámetros geomecánicos de suelos granulares determinados por ensayos convencionales aplicando energía con proctor estándar y modificado"

PROYECTO: _____
 MUESTRA: _____
 SOLICITADO POR: _____
 FECHA: 25 de junio de 2021

Peso del Molde sin collarin:	6571 gr
Diametro del Molde:	15,22 cm
Altura del Molde:	11,632 cm
Volumen del molde:	2116,28 cm ³


HUMEDADES						
Numero de Tacho	Agua agr	Peso (gramos)			%W	Promedio %W
		Tacho	Tacho + Material Humedo	Tacho + Material Seco		
D6	640	52,68	143,97	131,86	15,29%	15,13%
30	640	52,81	139,20	127,96	14,96%	
114	480	43,94	137,86	127,60	12,26%	
9AS4	480	52,21	135,37	126,26	12,30%	12,28%
14	320	43,84	103,77	98,67	9,30%	
S9	320	44,37	95,87	91,52	9,23%	
11	160	65,79	164,78	158,15	7,18%	7,14%
8	160	52,65	133,66	128,29	7,10%	
A9	0	67,68	139,44	136,95	3,59%	
P1	0	69,67	156,48	153,40	3,68%	3,64%

Cantidad de agua agregada		%W Promedio	Peso Muestra + Molde Sin Collarin	Peso de Muestra Humeda (gr)	Densidad Humeda (gr/cm ³)	Densidad Seca (gr/cm ³)
cc	%					
0	4,42	3,64%	10711	4140	1,96	1,89
160	7,42	7,14%	11099,5	4528,5	2,14	2,00
320	10,42	9,26%	11406	4835	2,28	2,09
480	13,42	12,28%	11267,5	4696,5	2,22	1,98
640	16,42	15,13%	11188,5	4617,5	2,18	1,90



Densidad Seca (gr/cm³)

DENSIDAD SECA MÁXIMA kg/m ³	HUMEDAD ÓPTIMA %
2090	10,3




Ing. Luis Mario Almache
Jefe de Laboratorio

Ing. Marcos González
Laboratorista

Anexo 7

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



PRÓCTOR ESTÁNDAR

"Determinación y análisis de parámetros geomecánicos de suelos granulares determinados por ensayos convencionales aplicando energía con proctor estándar y modificado"

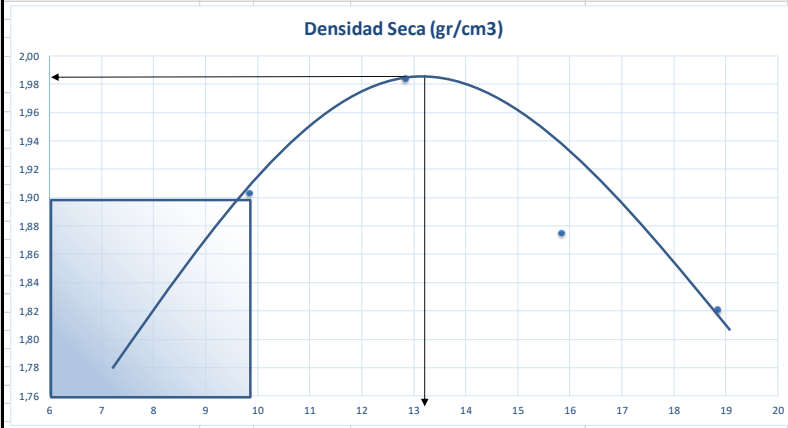
PROYECTO: _____
 MUESTRA: _____
 SOLICITADO POR: _____
 FECHA: _____

Subbase
 06 de Agosto de 2021

Molde #:	25243
Peso del Molde sin collarin:	4261,5 gr
Diametro del Molde:	10 cm
Altura del Molde:	10 cm
Volumen del molde:	1000,0 cm ³

Peso (gramos)						
Numero de Tacho	Agua agr	Tacho	Tacho + Material Humedo	Tacho + Material Seco	%W	Promedio %W
D6	210	52,67	134,32	126,51	10,58%	10,38%
30	210	52,81	109,74	104,48	10,18%	
114	280	43,94	124,73	115,04	13,63%	
9AS4	280	52,21	152,49	140,36	13,76%	13,69%
14	140	43,84	118,84	113,29	7,99%	
S9	140	44,36	108,20	103,47	8,00%	
11	70	65,80	163,31	158,26	5,46%	5,42%
8	70	52,66	126,36	122,60	5,38%	
D3	350	66,80	178,70	164,30	14,77%	
S6	350	66,06	236,94	214,37	15,22%	14,99%

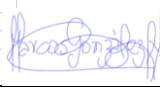
Cantidad de agua agregada						
cc	%	%W Promedio	Peso Muestra + Molde Sin Collarin	Peso de Muestra Humeda (gr)	Densidad Humeda (gr/cm ³)	Densidad Seca (gr/cm ³)
70	6,85	5,42%	6131	1869,5	1,87	1,77
140	9,85	8,00%	6317	2055,5	2,06	1,90
210	12,85	10,38%	6451,5	2190	2,19	1,98
280	15,85	13,69%	6393	2131,5	2,13	1,87
350	18,85	14,99%	6355	2093,5	2,09	1,82



Densidad Seca (gr/cm³)

DENSIDAD SECA MÁXIMA kg/m ³	HÚMEDAD ÓPTIMA %
1982	13,2


Ing. Luis Mario Almache
Jefe de Laboratorio



Ing. Marcos González
Laboratorista

Anexo 8

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



PRÓCTOR MODIFICADO

PROYECTO "Determinación y análisis de parámetros geomecánicos de suelos granulares determinados por ensayos convencionales aplicando energía con proctor estándar y modificado"

MUESTRA Subbase

SOLICITADO POR :

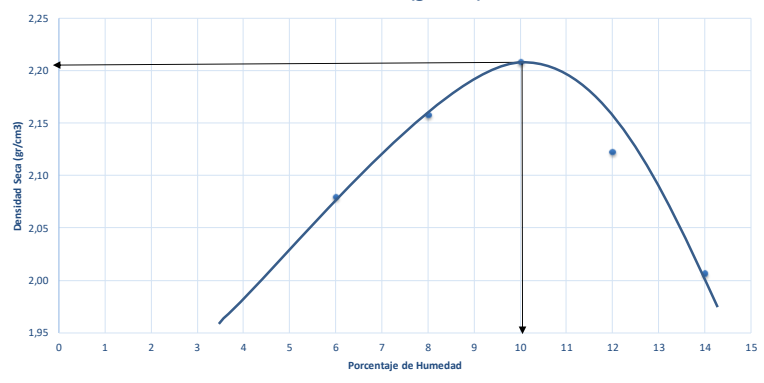
FECHA 03 de Agosto de 2021

Molde #:	1					
Peso del Molde sin collarin:	6571	gr				
Diametro del Molde:	15,22	cm				
Altura del Molde:	11,632	cm				
Volumen del molde:	2116,28	cm ³				

Peso (gramos)						
Numero de Tacho	Agua agr	Tacho	Tacho + Material Humedo	Tacho + Material Seco	%W	Promedio %W
D6	210	52,68	112,82	107,94	8,83%	8,79%
30	210	52,81	110,06	105,45	8,76%	
114	315	43,94	123,90	116,33	10,46%	
9A54	315	52,21	119,77	113,50	10,23%	10,34%
14	105	43,83	134,53	128,55	7,06%	
S9	105	44,37	118,55	113,77	6,89%	6,97%
11	420	65,78	156,84	146,53	12,77%	
8	420	52,65	118,08	110,95	12,23%	12,50%
Pj	0	52,72	110,72	107,88	5,15%	
S1	0	43,97	105,66	102,74	4,97%	5,06%


Cantidad de agua agregada						
cc	%	%W Promedio	Peso Muestra + Molde Sin Collarin	Peso de Muestra Humeda (gr)	Densidad Humeda (gr/cm ³)	Densidad Seca (gr/cm ³)
210	10,02	8,79%	11654	5083	2,40	2,21
315	12,02	10,34%	11526	4955	2,34	2,12
105	8,02	6,97%	11454	4883	2,31	2,16
420	14,02	12,50%	11347	4776	2,26	2,01
0	6,02	5,06%	11194,5	4623,5	2,18	2,08

Densidad Seca (gr/cm³)




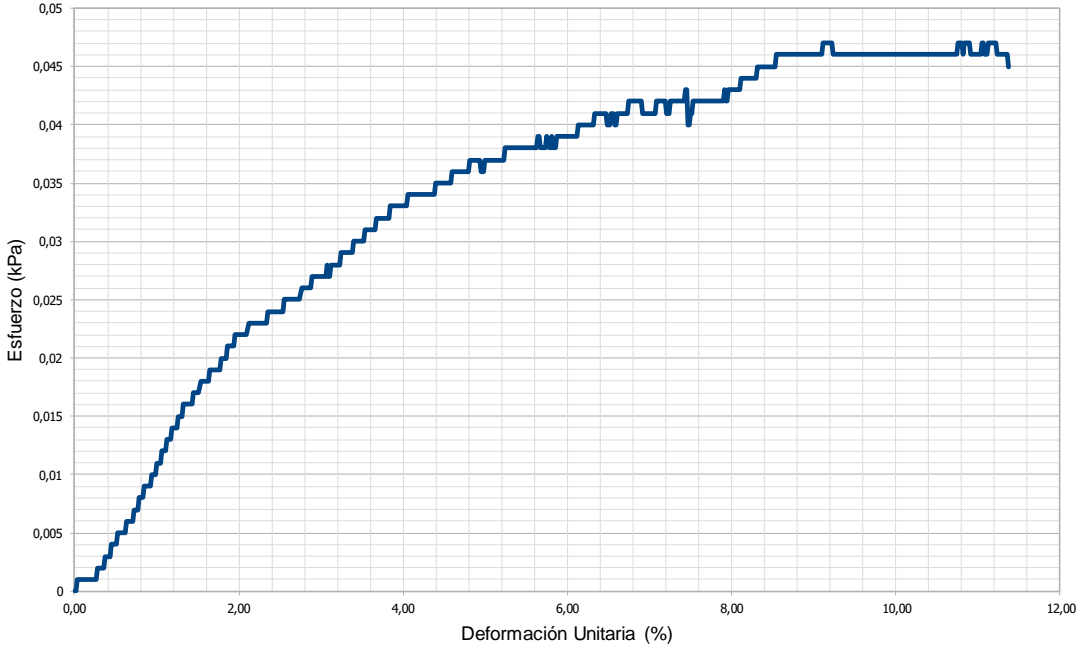

DENSIDAD SECA MÁXIMA	HÚMEDAD ÓPTIMA %
2210 kg/m ³	10

Ing. Luis Mario Almache
Jefe de Laboratorio


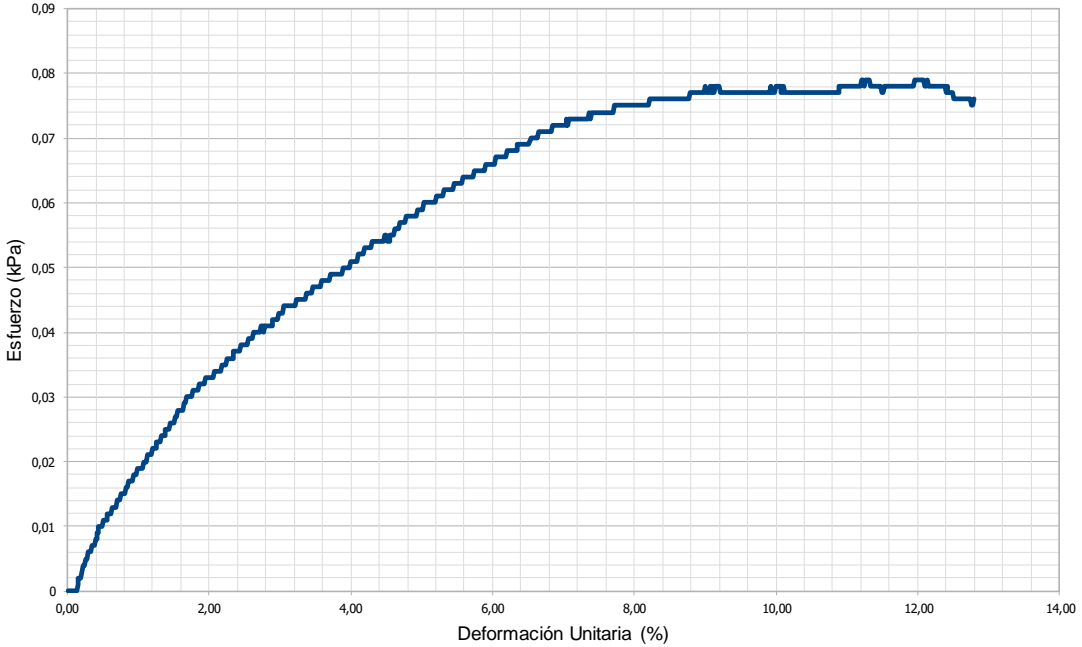



Ing. Marcos González
Laboratorista


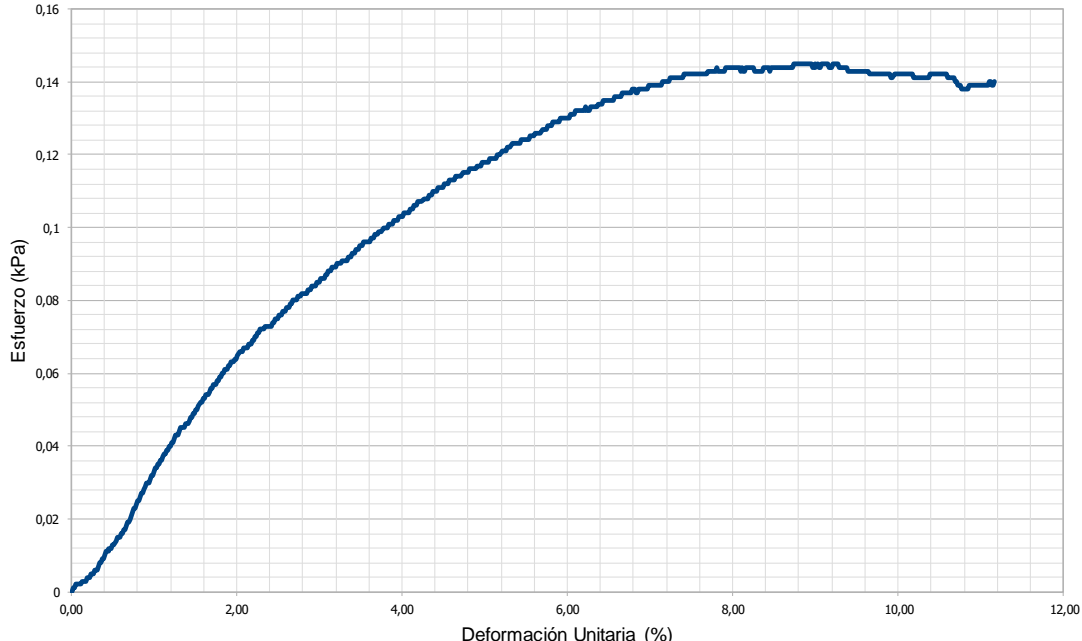

Anexo 9

	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES		
	CÓDIGO		REVISIÓN No. FECHA REVISIÓN
ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR			
FECHA DE IMPRESIÓN	2021-11-07	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2021-06-17	331	Indeterminado
INFORMACIÓN GENERAL			
ID. MUESTRA	N.A.		
CLIENTE	Indeterminado		
PROYECTO	Indeterminado		
ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO			
Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63,4	7,21	11,372	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
4019,56	189,4	0,047	
GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)			
			
OBSERVACIONES:			
			
LABORATORISTA	Administrador del sistema	DIRECTOR LABORATORIO	

Anexo 10

	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES		
	CÓDIGO		REVISIÓN No.
			FECHA REVISIÓN
ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR			
FECHA DE IMPRESIÓN	2021-11-07	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2021-06-17	332	Indeterminado
INFORMACIÓN GENERAL			
ID. MUESTRA	N.A.		
CLIENTE	Indeterminado		
PROYECTO	Indeterminado		
ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO			
Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63,4	8,12	12,808	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
4019,56	316,8	0,079	
GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)			
			
OBSERVACIONES:			
			
LABORATORISTA	Administrador del sistema	DIRECTOR LABORATORIO	

Anexo 11

	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES		
	CÓDIGO		REVISIÓN No. FECHA REVISIÓN
ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR			
FECHA DE IMPRESIÓN	2021-11-07	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2021-06-17	333	Indeterminado
INFORMACIÓN GENERAL			
ID. MUESTRA	N.A.		
CLIENTE	Indeterminado		
PROYECTO	Indeterminado		
ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO			
Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63,4	7,09	11,183	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
4019,56	582,8	0,145	
GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)			
			
OBSERVACIONES:			
			
LABORATORISTA	Administrador del sistema	DIRECTOR LABORATORIO	

Anexo 12

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



RESULTADOS CORTE DIRECTO

PROYECTO "Determinación y análisis de parámetros geomecánicos de suelos granulares determinados por ensayos convencionales aplicando energía con proctor estándar y modificado"

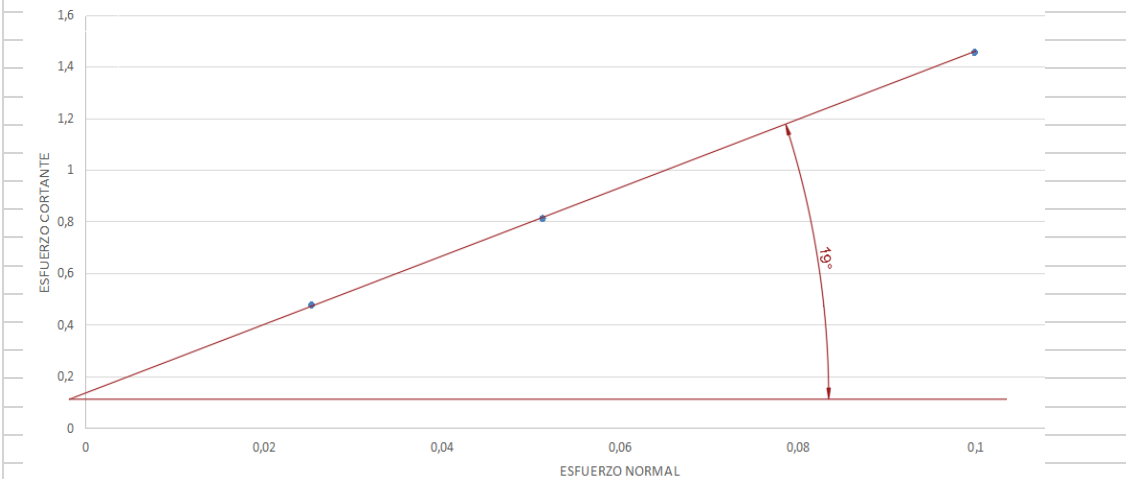
MUESTRA Mejoramiento - Energía Próctor Estándar

SOLICITADO POR : _____

FECHA 11 de julio de 2021

Esfuerzo Normal	Esfuerzo cortante
0,0254	0,48
0,0514	0,813
0,0999	1,455
Cohesión	0,18
Ángulo de fricción	19


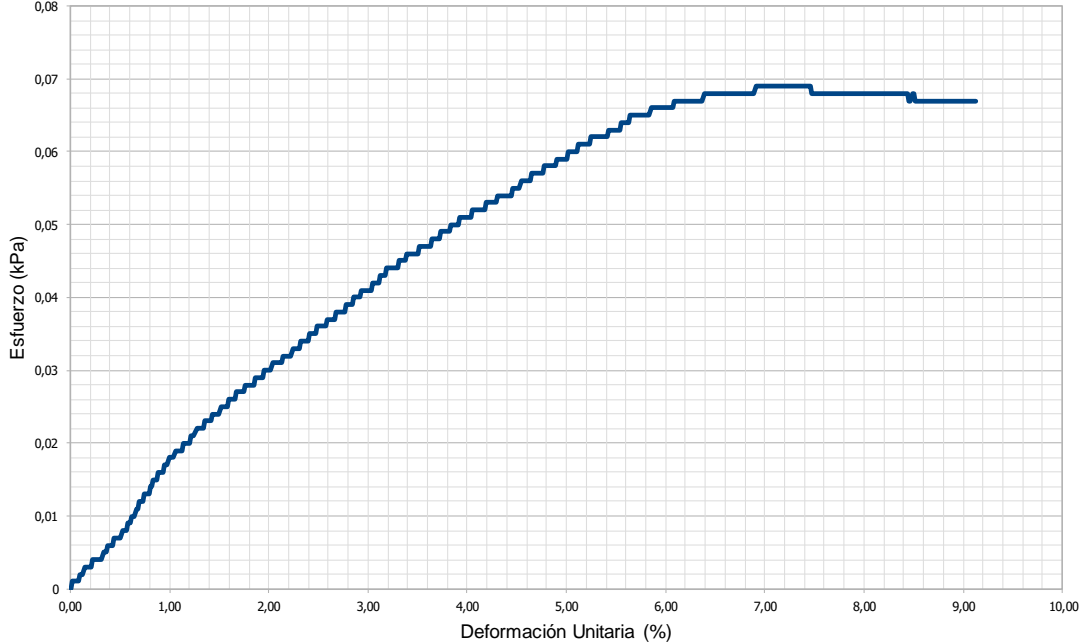

GRÁFICA ESFUERZO NORMAL - ESFUERZO CORTANTE




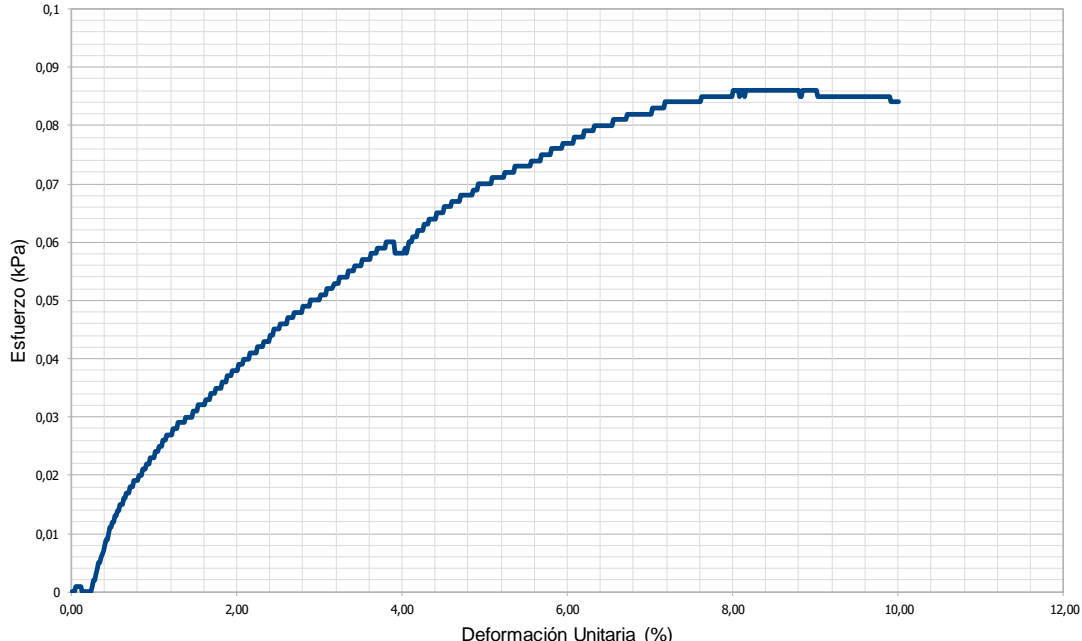

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio

Ing. Marcos González
 Laboratorista


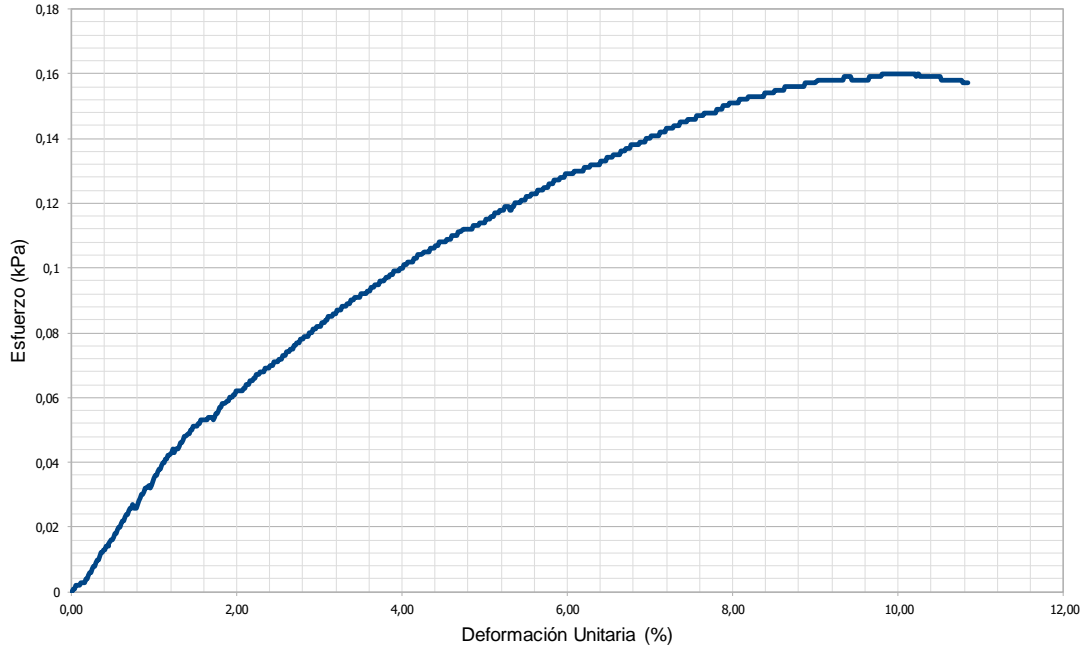

Anexo 13

	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES		
	CÓDIGO		REVISIÓN No. FECHA REVISIÓN
ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR			
FECHA DE IMPRESIÓN	2021-11-07	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2021-06-23	338	Indeterminado
INFORMACIÓN GENERAL			
ID. MUESTRA	N.A.		
CLIENTE	Indeterminado		
PROYECTO	Indeterminado		
ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO			
Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63,4	5,79	9,132	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
4019,56	276,2	0,069	
GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)			
			
OBSERVACIONES:			
			
LABORATORISTA	Administrador del sistema	DIRECTOR LABORATORIO	

Anexo 14


	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES		
	CÓDIGO		REVISIÓN No. FECHA REVISIÓN
ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR			
FECHA DE IMPRESIÓN	2021-11-07	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2021-06-23	339	Indeterminado
INFORMACIÓN GENERAL			
ID. MUESTRA	N.A.		
CLIENTE	Indeterminado		
PROYECTO	Indeterminado		
ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO			
Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63	6,3	10	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
3969	341,8	0,086	
GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)			
			
OBSERVACIONES:			
			
LABORATORISTA	Administrador del sistema	DIRECTOR LABORATORIO	

Anexo 15

	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES		
	CÓDIGO		REVISIÓN No. FECHA REVISIÓN
ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR			
FECHA DE IMPRESIÓN	2021-11-07	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2021-06-23	340	Mejoramiento
INFORMACIÓN GENERAL			
ID. MUESTRA	N.A.		
CLIENTE	Indeterminado		
PROYECTO	Indeterminado		
ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO			
Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63,4	6,88	10,852	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
4019,56	642,8	0,16	
GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)			
			
OBSERVACIONES:			
			
LABORATORISTA	Administrador del sistema	DIRECTOR LABORATORIO	

Anexo 16

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



RESULTADOS CORTE DIRECTO

"Determinación y análisis de parámetros geomecánicos de suelos granulares determinados por ensayos convencionales aplicando energía con proctor estándar y modificado"

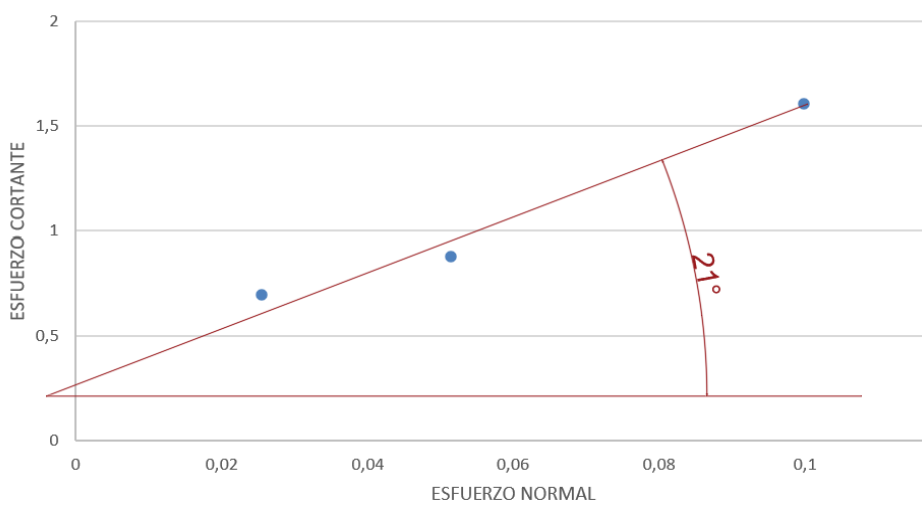
Mejoramiento - Energía Próctor Modificado

11 de julio de 2021


PROYECTO	
MUESTRA	
SOLICITADO POR :	
FECHA	

Esfuerzo Normal kg/cm2	Esfuerzo cortante kg/cm2
0,0254	0,7
0,0514	0,88
0,0999	1,605
Cohesion	0,28
Angulo de friccion	21

GRÁFICA ESFUERZO NORMAL - ESFUERZO CORTANTE


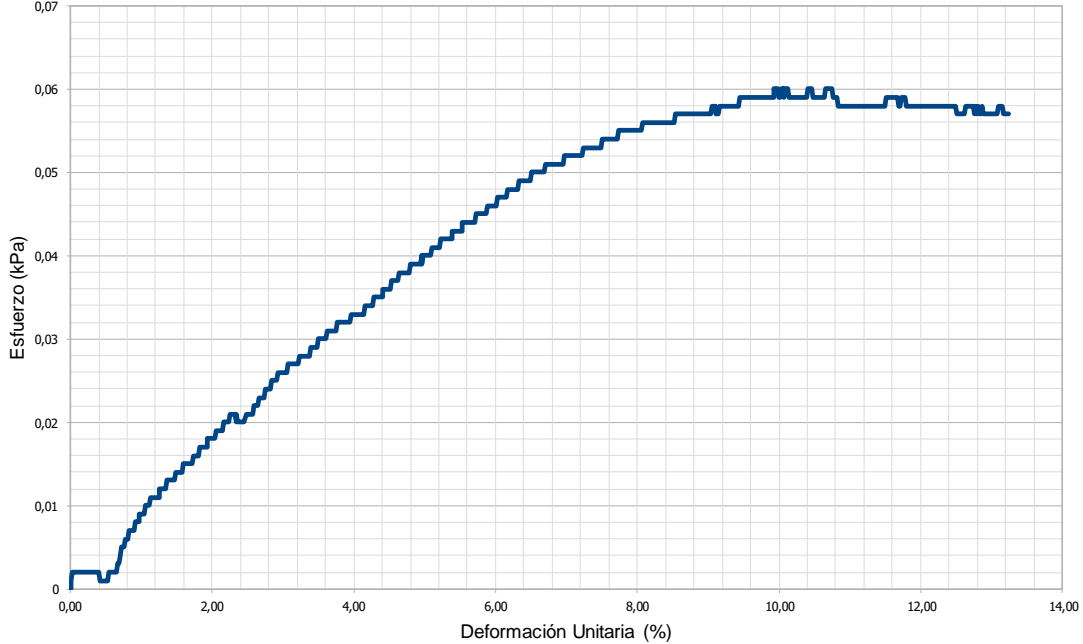



Ing. Luis Mario Almache
Jefe de Laboratorio


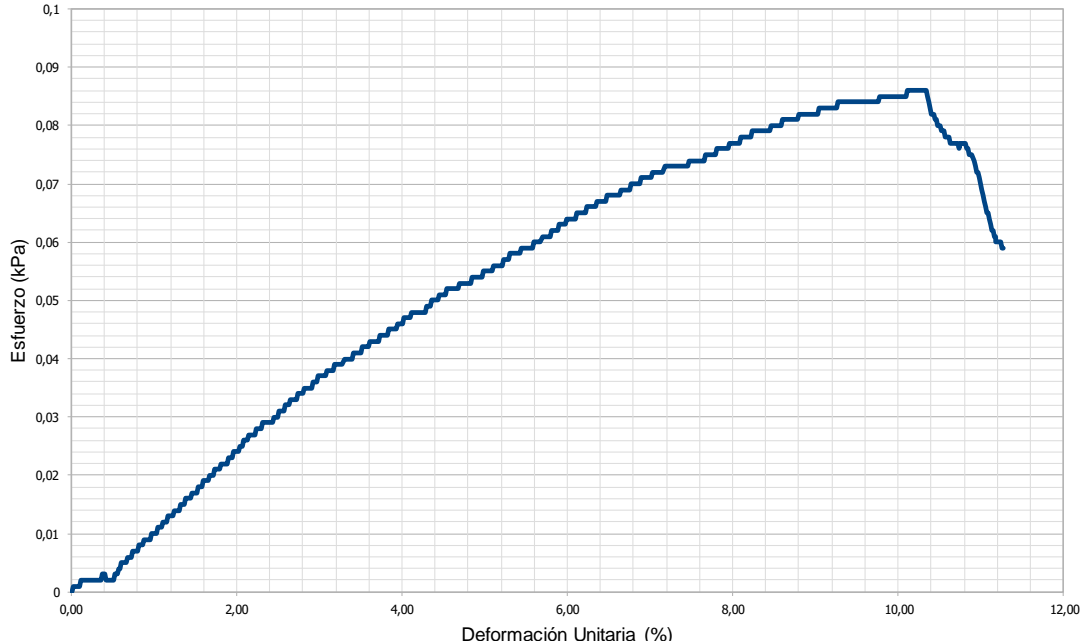



Ing. Marcos González
Laboratorista


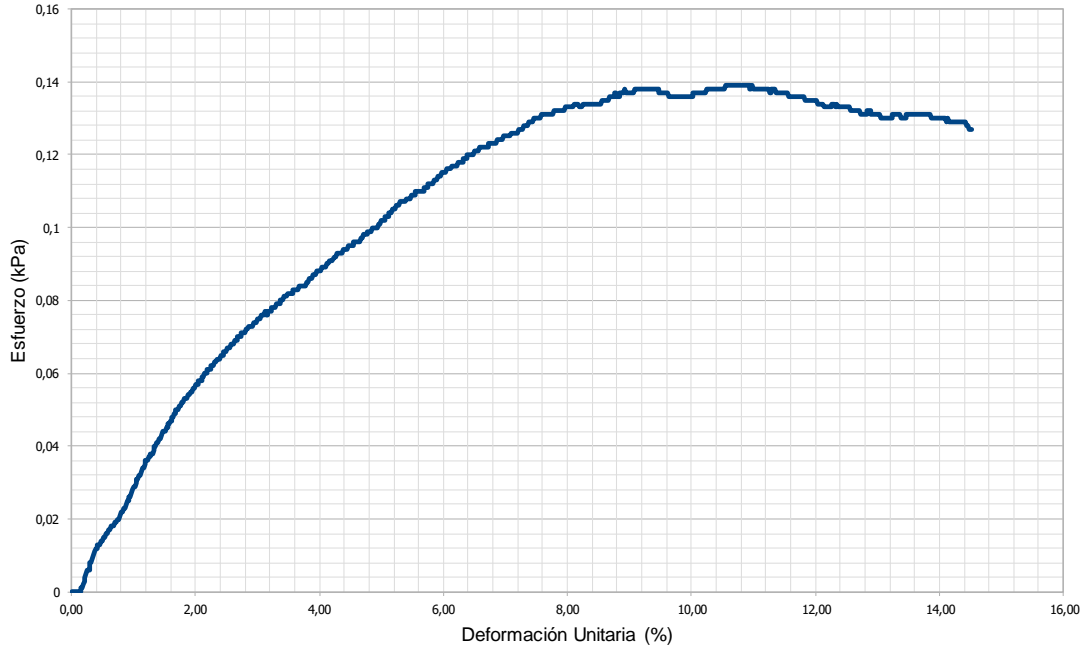

Anexo 17

	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES		
	CÓDIGO		REVISIÓN No. FECHA REVISIÓN
ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR			
FECHA DE IMPRESIÓN	2021-11-07	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2021-06-17	328	Indeterminado
INFORMACIÓN GENERAL			
ID. MUESTRA	N.A.		
CLIENTE	Indeterminado		
PROYECTO	Indeterminado		
ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO			
Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63,4	8,39	13,233	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
4019,56	239,8	0,06	
GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)			
			
OBSERVACIONES:			
			
LABORATORISTA	Administrador del sistema	DIRECTOR LABORATORIO	

Anexo 18

	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES		
	CÓDIGO		REVISIÓN No. FECHA REVISIÓN
ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR			
FECHA DE IMPRESIÓN	2021-11-07	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2021-06-17	329	Indeterminado
INFORMACIÓN GENERAL			
ID. MUESTRA	N.A.		
CLIENTE	Indeterminado		
PROYECTO	Indeterminado		
ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO			
Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63,4	7,16	11,293	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
4019,56	346,8	0,086	
GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)			
			
OBSERVACIONES:			
			
LABORATORISTA	Administrador del sistema	DIRECTOR LABORATORIO	

Anexo 19

	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES		
	CÓDIGO		REVISIÓN No. FECHA REVISIÓN
ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR			
FECHA DE IMPRESIÓN	2021-11-07	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2021-06-17	330	Indeterminado
INFORMACIÓN GENERAL			
ID. MUESTRA	N.A.		
CLIENTE	Indeterminado		
PROYECTO	Indeterminado		
ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO			
Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63,4	9,22	14,543	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
4019,56	559,8	0,139	
GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)			
			
OBSERVACIONES:			
			
LABORATORISTA	Administrador del sistema	DIRECTOR LABORATORIO	

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



RESULTADOS CORTE DIRECTO

PROYECTO: suelos granulares determinados por ensayos convencionales aplicando energía con proctor estándar y modificado"

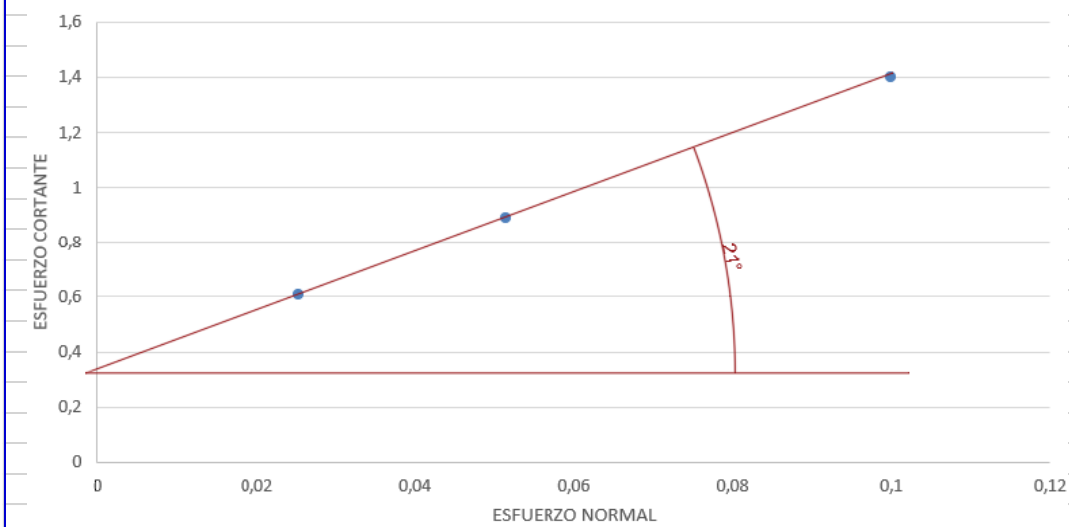
MUESTRA: Subbase - Energía Próctor Estándar

SOLICITADO POR :

FECHA: 11 de julio de 2021

Esfuerzo Normal	Esfuerzo cortante
0,0254	0,608
0,0514	0,89
0,0999	1,4
Cohesion	0,38
Angulo de friccion	21


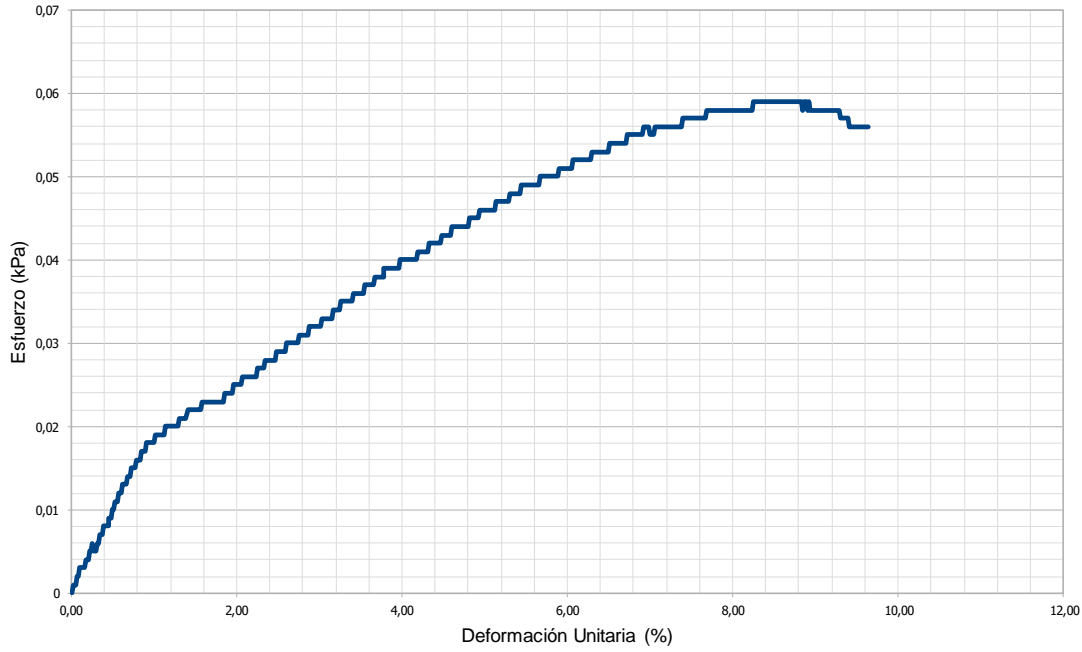

GRÁFICA ESFUERZO NORMAL - ESFUERZO CORTANTE




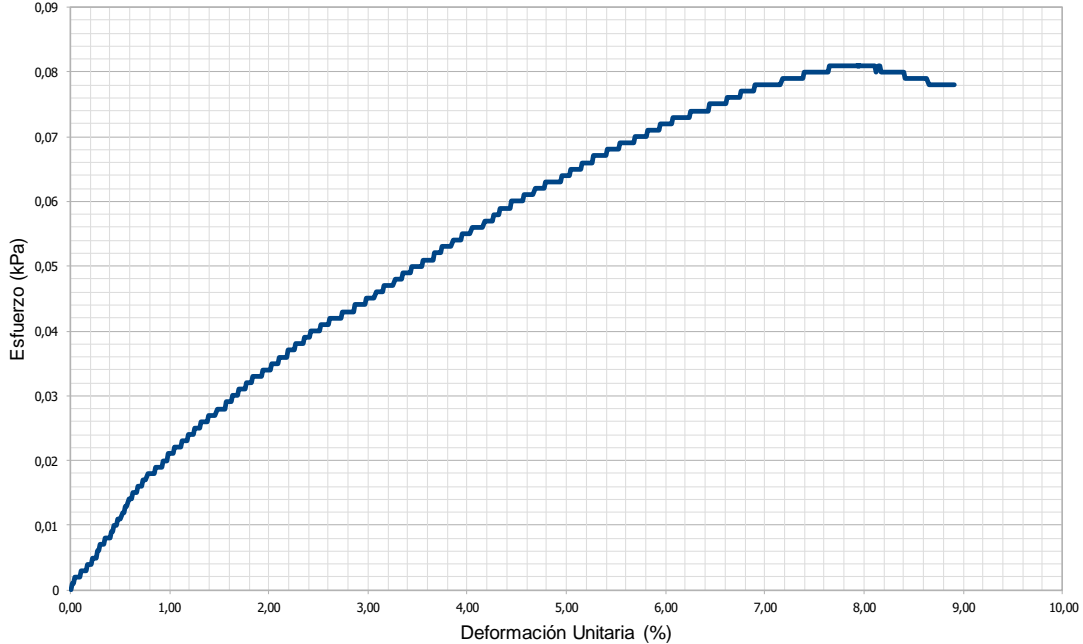

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio

Ing. Marcos González
 Laboratorista


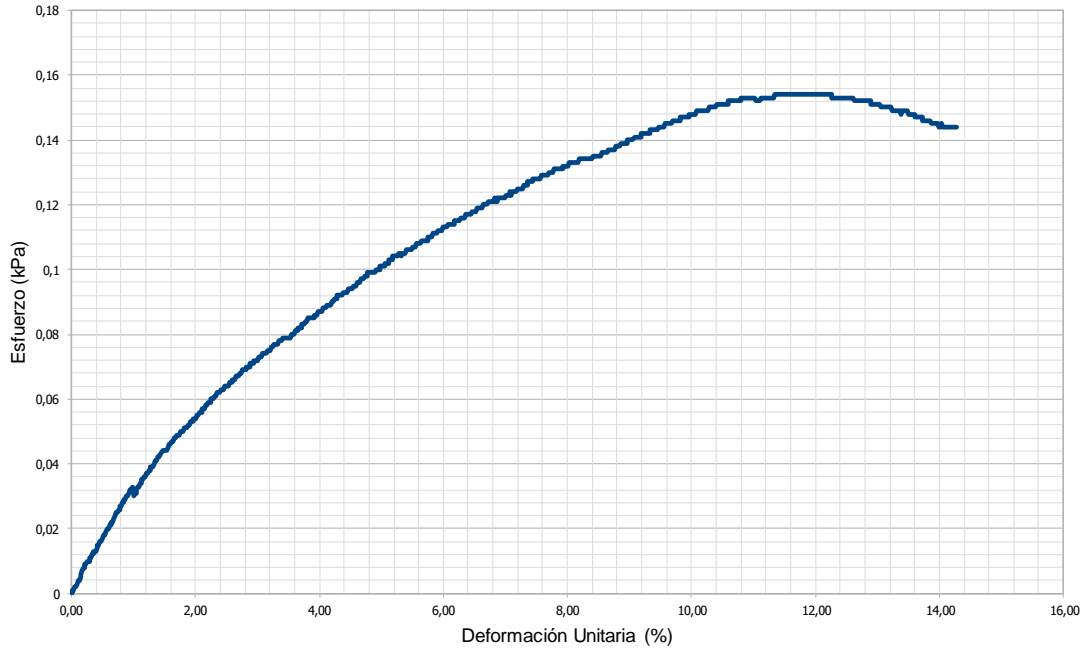

Anexo 21

	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES		
	CÓDIGO		REVISIÓN No. FECHA REVISIÓN
ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR			
FECHA DE IMPRESIÓN	2021-12-07	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2021-06-23	334	Indeterminado
INFORMACIÓN GENERAL			
ID. MUESTRA	N.A.		
CLIENTE	Indeterminado		
PROYECTO	Indeterminado		
ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO			
Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63,4	6,12	9,653	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
4019,56	237	0,059	
GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)			
			
OBSERVACIONES:			
			
LABORATORISTA	Administrador del sistema	DIRECTOR LABORATORIO	

Anexo 22

	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES		
	CÓDIGO		REVISIÓN No. FECHA REVISIÓN
ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR			
FECHA DE IMPRESIÓN	2021-12-07	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2021-06-23	335	Indeterminado
INFORMACIÓN GENERAL			
ID. MUESTRA	N.A.		
CLIENTE	Indeterminado		
PROYECTO	Indeterminado		
ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO			
Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63	5,62	8,921	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
3969	323	0,081	
GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)			
			
OBSERVACIONES:			
			
LABORATORISTA	Administrador del sistema	DIRECTOR LABORATORIO	

Anexo 23

	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES		
	CÓDIGO		REVISIÓN No. FECHA REVISIÓN
ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR			
FECHA DE IMPRESIÓN	2021-12-07	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2021-06-23	336	Indeterminado
INFORMACIÓN GENERAL			
ID. MUESTRA	N.A.		
CLIENTE	Indeterminado		
PROYECTO	Indeterminado		
ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO			
Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63,4	9,05	14,274	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
4019,56	620,6	0,154	
GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)			
			
OBSERVACIONES:			
			
LABORATORISTA	Administrador del sistema	DIRECTOR LABORATORIO	

Anexo 24

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

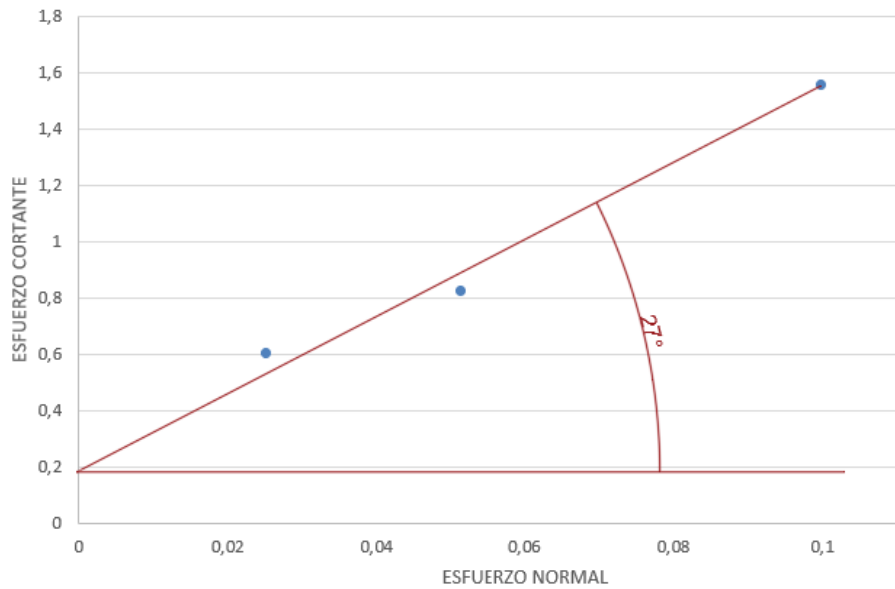


RESULTADOS CORTE DIRECTO

PROYECTO "Determinación y análisis de parámetros geomecánicos"
MUESTRA Subbase - Energía Próctor Modificado
SOLICITADO POR :
FECHA 11 de julio de 2021

Esfuerzo Normal	Esfuerzo cortante
0,0254	0,601
0,0514	0,822
0,0999	1,55
Cohesion	0,2
Angulo de friccion	27


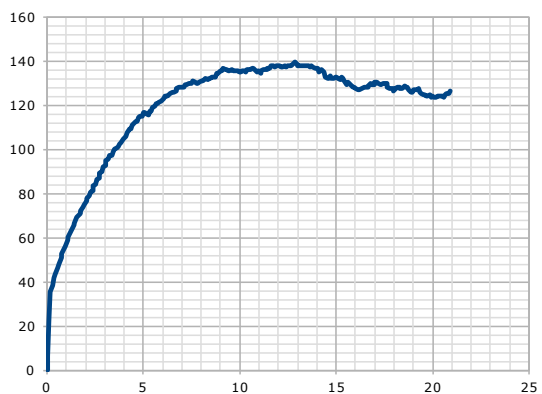
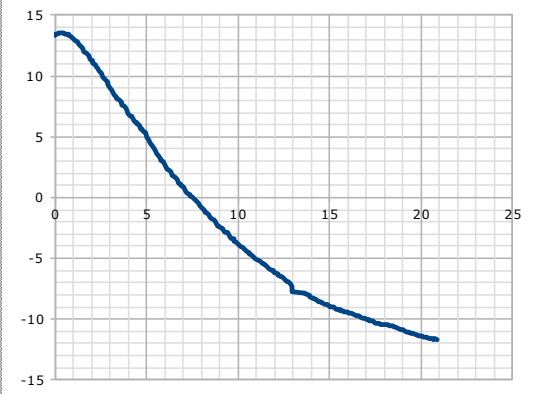
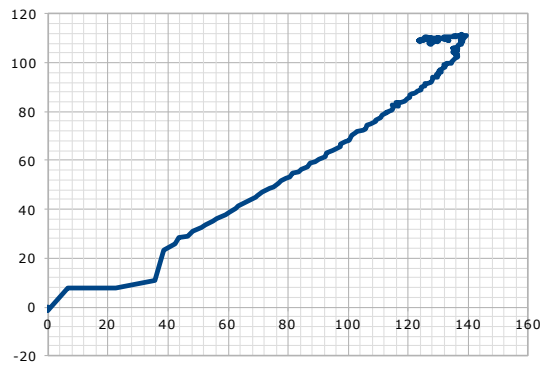

GRÁFICA ESFUERZO NORMAL - ESFUERZO CORTANTE




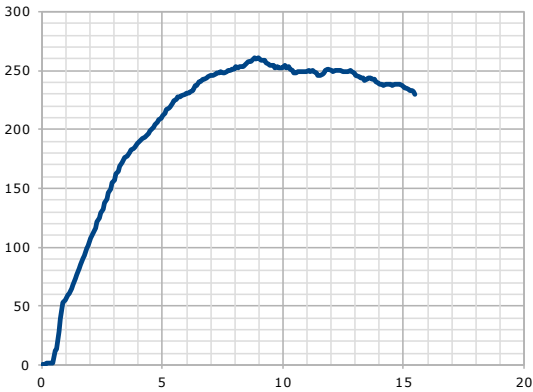
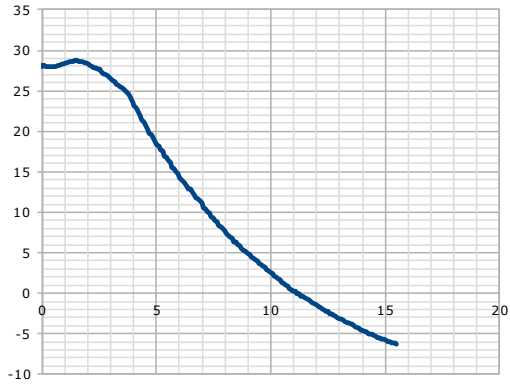
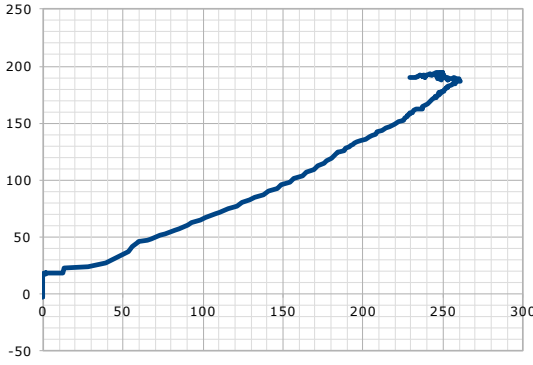

Ing. Luis Mario Almache
Jefe de Laboratorio

Ing. Marcos González
Laboratorista


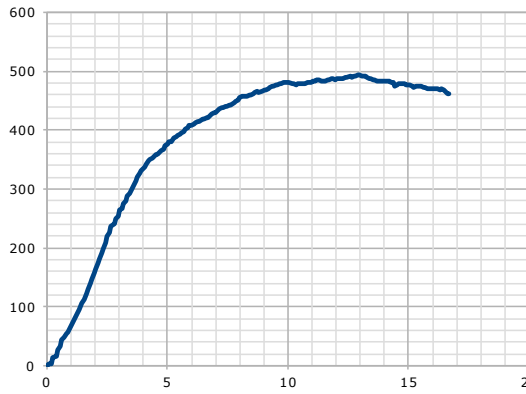
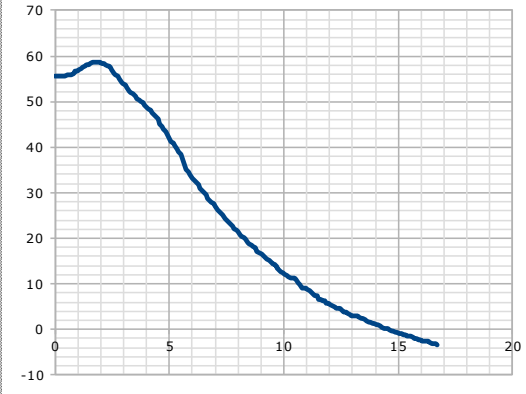
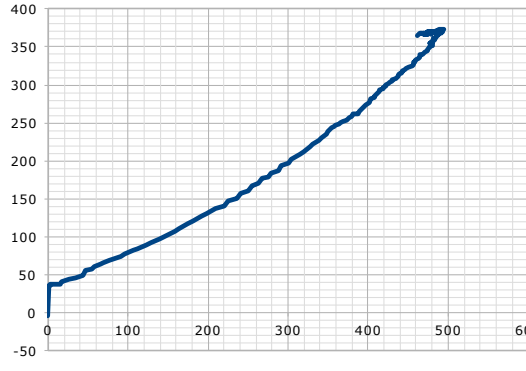

Anexo 25

		LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES																	
Código		Revisión No.		Fecha Revisión															
Ensayo Base																			
FECHA IMPRESIÓN	2021-11-07	No. ENSAYO	MATERIAL																
FECHA ENSAYO	2021-06-30	309	Indeterminado																
INFORMACIÓN GENERAL																			
ID. MUESTRA	N.A.		INFORME No.	62															
CLIENTE	Indeterminado		SONDEO																
PROYECTO	Indeterminado		PROFUNDIDAD																
GRÁFICA ESFUERZO DESVIADOR (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)			GRÁFICA PRESIÓN DE POROS (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)																
																			
GRÁFICA p' vs q			VARIABLES DEL ENSAYO																
			<table border="1"> <tr> <td>Diámetro (mm)</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Altura (mm)</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Área (mm²)</td> <td>1963,494</td> </tr> <tr> <td>Área corregida (mm²)</td> <td>2484,019</td> </tr> <tr> <td>Carga Axial</td> <td>0,315</td> </tr> <tr> <td>Esfuerzo principal menor efectivo</td> <td>31,5</td> </tr> <tr> <td>Esfuerzo principal mayor efectivo</td> <td>167,124</td> </tr> </table>			Diámetro (mm)	50	Altura (mm)	100	Área (mm ²)	1963,494	Área corregida (mm ²)	2484,019	Carga Axial	0,315	Esfuerzo principal menor efectivo	31,5	Esfuerzo principal mayor efectivo	167,124
Diámetro (mm)	50																		
Altura (mm)	100																		
Área (mm ²)	1963,494																		
Área corregida (mm ²)	2484,019																		
Carga Axial	0,315																		
Esfuerzo principal menor efectivo	31,5																		
Esfuerzo principal mayor efectivo	167,124																		
OBSERVACIONES:																			
																			
LABORATORISTA	Administrador del sistema	DIRECTOR LABORATORIO																	

Anexo 26


		LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES																	
Código		Revisión No.		Fecha Revisión															
Ensayo Base																			
FECHA IMPRESIÓN		2021-11-07	No. ENSAYO		MATERIAL														
FECHA ENSAYO		2021-06-30	310		Indeterminado														
INFORMACIÓN GENERAL																			
ID. MUESTRA		N.A.		INFORME No.	62														
CLIENTE		Indeterminado		SONDEO															
PROYECTO		Indeterminado		PROFUNDIDAD															
GRÁFICA ESFUERZO DESVIADOR (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)			GRÁFICA PRESIÓN DE POROS (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)																
																			
GRÁFICA p' vs q			VARIABLES DEL ENSAYO																
			<table border="1"> <tr> <td>Diámetro (mm)</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Altura (mm)</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Área (mm²)</td> <td>1963,494</td> </tr> <tr> <td>Área corregida (mm²)</td> <td>2323,636</td> </tr> <tr> <td>Carga Axial</td> <td>0,562</td> </tr> <tr> <td>Esfuerzo principal menor efectivo</td> <td>49</td> </tr> <tr> <td>Esfuerzo principal mayor efectivo</td> <td>299,958</td> </tr> </table>			Diámetro (mm)	50	Altura (mm)	100	Área (mm ²)	1963,494	Área corregida (mm ²)	2323,636	Carga Axial	0,562	Esfuerzo principal menor efectivo	49	Esfuerzo principal mayor efectivo	299,958
Diámetro (mm)	50																		
Altura (mm)	100																		
Área (mm ²)	1963,494																		
Área corregida (mm ²)	2323,636																		
Carga Axial	0,562																		
Esfuerzo principal menor efectivo	49																		
Esfuerzo principal mayor efectivo	299,958																		
OBSERVACIONES:																			
																			
LABORATORISTA		Administrador del sistema		DIRECTOR LABORATORIO															

Anexo 27

		LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES															
Código		Revisión No.	Fecha Revisión														
Ensayo Base																	
FECHA IMPRESIÓN	2021-11-07	No. ENSAYO	MATERIAL														
FECHA ENSAYO	2021-06-30	311	Indeterminado														
INFORMACIÓN GENERAL																	
ID. MUESTRA	N.A.	INFORME No.	62														
CLIENTE	Indeterminado	SONDEO															
PROYECTO	Indeterminado	PROFUNDIDAD															
GRÁFICA ESFUERZO DESVIADOR (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)		GRÁFICA PRESIÓN DE POROS (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)															
																	
GRÁFICA p' vs q		VARIABLES DEL ENSAYO															
		<table border="1"> <tr> <td>Diámetro (mm)</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Altura (mm)</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Área (mm²)</td> <td>1963,494</td> </tr> <tr> <td>Área corregida (mm²)</td> <td>2356,479</td> </tr> <tr> <td>Carga Axial</td> <td>1,114</td> </tr> <tr> <td>Esfuerzo principal menor efectivo</td> <td>88,7</td> </tr> <tr> <td>Esfuerzo principal mayor efectivo</td> <td>578,374</td> </tr> </table>		Diámetro (mm)	50	Altura (mm)	100	Área (mm ²)	1963,494	Área corregida (mm ²)	2356,479	Carga Axial	1,114	Esfuerzo principal menor efectivo	88,7	Esfuerzo principal mayor efectivo	578,374
Diámetro (mm)	50																
Altura (mm)	100																
Área (mm ²)	1963,494																
Área corregida (mm ²)	2356,479																
Carga Axial	1,114																
Esfuerzo principal menor efectivo	88,7																
Esfuerzo principal mayor efectivo	578,374																
OBSERVACIONES:																	
																	
LABORATORISTA	Administrador del sistema	DIRECTOR LABORATORIO															

Anexo 28

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



RESULTADOS TRIAXIAL

PROYECTO: "Determinación y análisis de parámetros geomecánicos de suelos granulares determinados por ensayos convencionales aplicando energía con proctor estándar y modificado"

MUESTRA: Mejoramiento
 SOLICITADO POR :
 FECHA: 11 de julio de 2021

TIPO DE SUELO	MEJORAMIENTO
PROCTOR	ESTANDAR

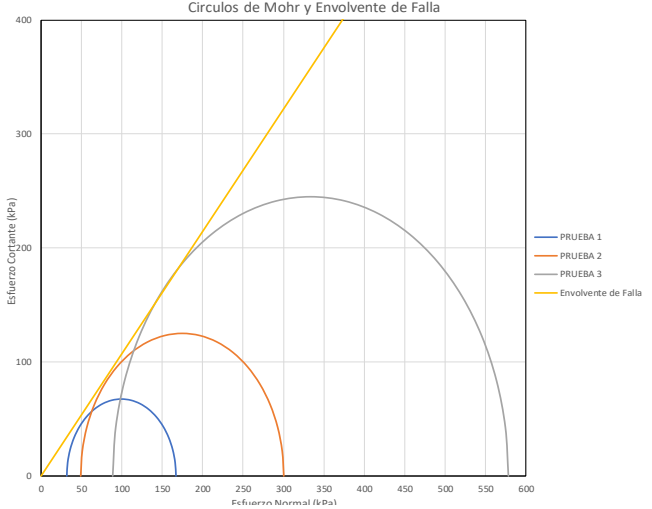
DATOS

	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
Diámetro (mm)	50	50	50
Altura (mm)	100	100	100
Área (mm ²)	1963,494	1963,494	1963,494
Área corregida (mm ²)	2484,019	2323,636	2356,479
Carga Axial	0,315	0,562	1,114
Esfuerzo principal menor efectivo	31,5	49	88,7
Esfuerzo principal mayor efectivo	167,124	299,958	578,374

	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
RADIO	67,81	125,48	244,84
CENTRO	99,31	174,48	333,54

Grados	Radianes	PRUEBA 1		PRUEBA 2		PRUEBA 3	
		Esfuerzo Normal (kPa)	Esfuerzo Cortante (kPa)	Esfuerzo Normal (kPa)	Esfuerzo Cortante (kPa)	Esfuerzo Normal (kPa)	Esfuerzo Cortante (kPa)
0	0,00	31,50	0,00	49,00	0,00	88,70	0,00
10	0,17	32,53	11,78	50,91	21,79	92,42	42,52
20	0,35	35,59	23,19	56,57	42,92	103,47	83,74
30	0,52	40,59	33,91	65,81	62,74	121,50	122,42
40	0,70	47,36	43,59	78,36	80,66	145,98	157,38
50	0,87	55,72	51,95	93,82	96,12	176,16	187,56
60	1,05	65,41	58,73	111,74	108,67	211,12	212,04
70	1,22	76,12	63,72	131,56	117,91	249,80	230,07
80	1,40	87,54	66,78	152,69	123,57	291,02	241,12
90	1,57	99,31	67,81	174,48	125,48	333,54	244,84
100	1,75	111,09	66,78	196,27	123,57	376,05	241,12
110	1,92	122,51	63,72	217,40	117,91	417,28	230,07
120	2,09	133,22	58,73	237,22	108,67	455,96	212,04
130	2,27	142,90	51,95	255,14	96,12	490,92	187,56
140	2,44	151,26	43,59	270,60	80,66	521,09	157,38
150	2,62	158,04	33,91	283,15	62,74	545,57	122,42
160	2,79	163,03	23,19	292,39	42,92	563,61	83,74
170	2,97	166,09	11,78	298,05	21,79	574,65	42,52
180	3,14	167,12	0,00	299,96	0,00	578,37	0,00

COHESIÓN	ÁNGULO DE FRICCIÓN
0	45


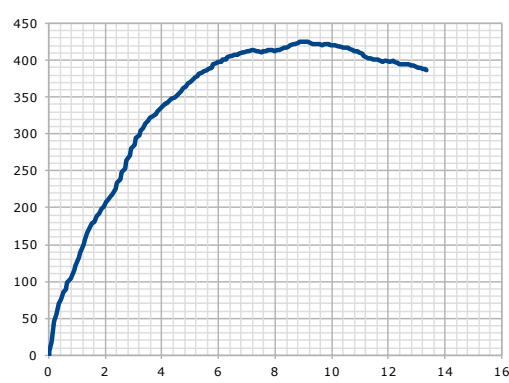
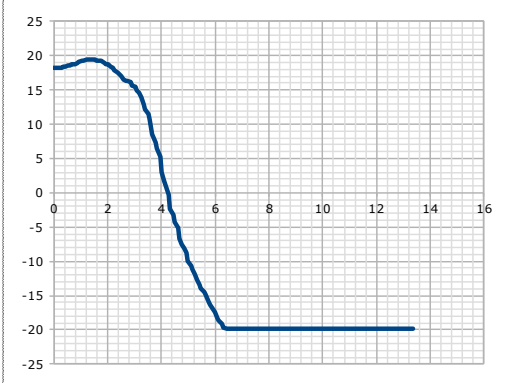
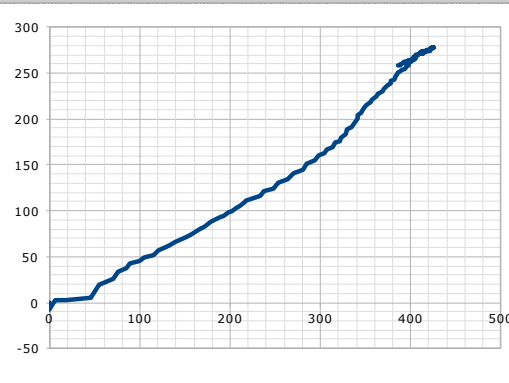



Círculos de Mohr y Envolvente de Falla


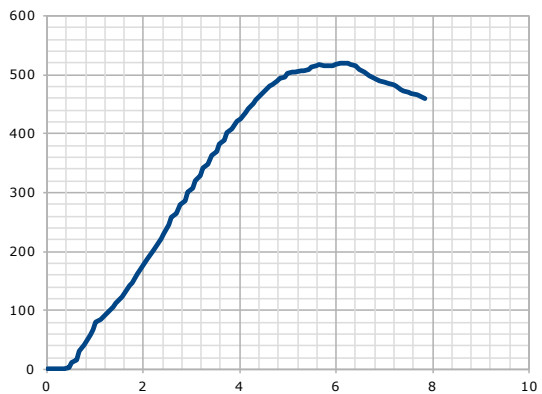
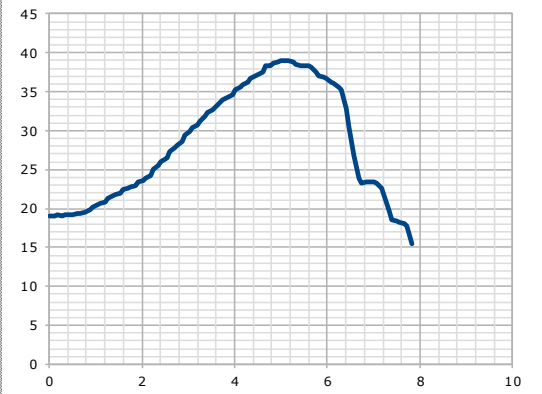
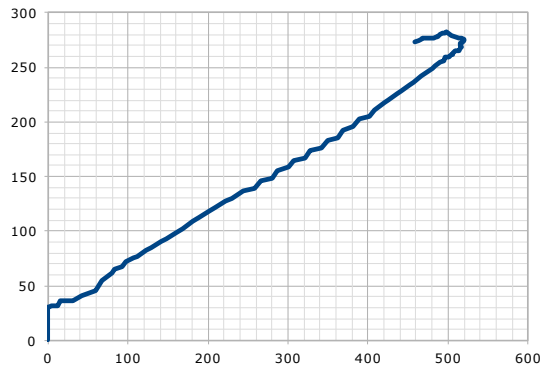

Ing. Luis Mario Almache
Jefe de Laboratorio

Ing. Marcos González
Laboratorista


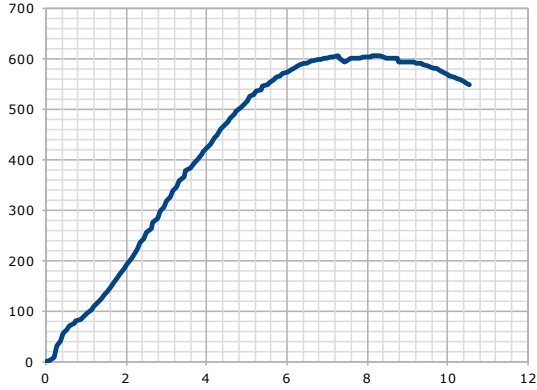
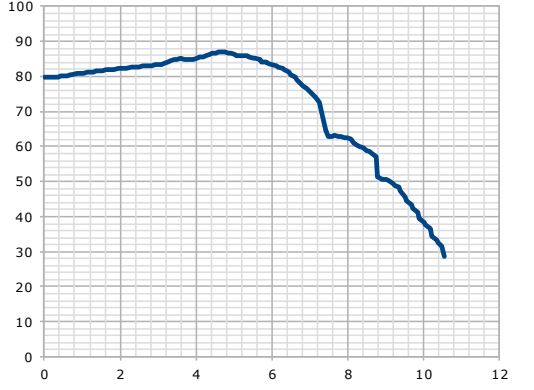
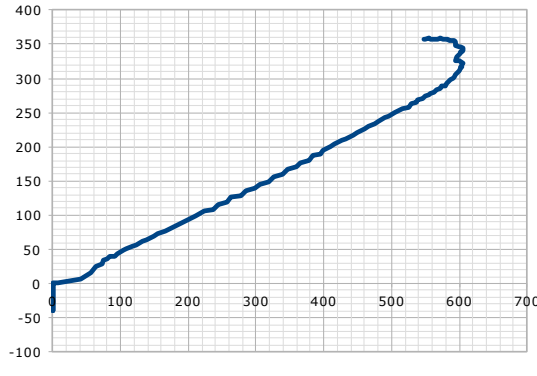

Anexo 29

 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES																	
Código	Revisión No.	Fecha Revisión															
Ensayo Base																	
FECHA IMPRESIÓN	2021-11-07	No. ENSAYO	MATERIAL														
FECHA ENSAYO	2021-06-29	305	Indeterminado														
INFORMACIÓN GENERAL																	
ID. MUESTRA	N.A.	INFORME No.	62														
CLIENTE	Indeterminado	SONDEO															
PROYECTO	Indeterminado	PROFUNDIDAD															
GRÁFICA ESFUERZO DESVIADOR (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)		GRÁFICA PRESIÓN DE POROS (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)															
																	
GRÁFICA p' vs q		VARIABLES DEL ENSAYO															
		<table border="1"> <tr> <td>Diámetro (mm)</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Altura (mm)</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Área (mm²)</td> <td>1963,494</td> </tr> <tr> <td>Área corregida (mm²)</td> <td>2266,325</td> </tr> <tr> <td>Carga Axial</td> <td>0,917</td> </tr> <tr> <td>Esfuerzo principal menor efectivo</td> <td>44,7</td> </tr> <tr> <td>Esfuerzo principal mayor efectivo</td> <td>469,008</td> </tr> </table>		Diámetro (mm)	50	Altura (mm)	100	Área (mm ²)	1963,494	Área corregida (mm ²)	2266,325	Carga Axial	0,917	Esfuerzo principal menor efectivo	44,7	Esfuerzo principal mayor efectivo	469,008
Diámetro (mm)	50																
Altura (mm)	100																
Área (mm ²)	1963,494																
Área corregida (mm ²)	2266,325																
Carga Axial	0,917																
Esfuerzo principal menor efectivo	44,7																
Esfuerzo principal mayor efectivo	469,008																
OBSERVACIONES:																	
																	
LABORATORISTA	Administrador del sistema	DIRECTOR LABORATORIO															

Anexo 30


		LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES																	
Código		Revisión No.		Fecha Revisión															
Ensayo Base																			
FECHA IMPRESIÓN	2021-11-07	No. ENSAYO	MATERIAL																
FECHA ENSAYO	2021-06-29	306	Indeterminado																
INFORMACIÓN GENERAL																			
ID. MUESTRA	N.A.		INFORME No.	62															
CLIENTE	Indeterminado		SONDEO																
PROYECTO	Indeterminado		PROFUNDIDAD																
GRÁFICA ESFUERZO DESVIADOR (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)			GRÁFICA PRESIÓN DE POROS (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)																
																			
GRÁFICA p' vs q			VARIABLES DEL ENSAYO																
			<table border="1"> <tr> <td>Diámetro (mm)</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Altura (mm)</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Área (mm²)</td> <td>1963,494</td> </tr> <tr> <td>Área corregida (mm²)</td> <td>2130,454</td> </tr> <tr> <td>Carga Axial</td> <td>1,088</td> </tr> <tr> <td>Esfuerzo principal menor efectivo</td> <td>27,9</td> </tr> <tr> <td>Esfuerzo principal mayor efectivo</td> <td>531,687</td> </tr> </table>			Diámetro (mm)	50	Altura (mm)	100	Área (mm ²)	1963,494	Área corregida (mm ²)	2130,454	Carga Axial	1,088	Esfuerzo principal menor efectivo	27,9	Esfuerzo principal mayor efectivo	531,687
Diámetro (mm)	50																		
Altura (mm)	100																		
Área (mm ²)	1963,494																		
Área corregida (mm ²)	2130,454																		
Carga Axial	1,088																		
Esfuerzo principal menor efectivo	27,9																		
Esfuerzo principal mayor efectivo	531,687																		
OBSERVACIONES:																			
																			
LABORATORISTA	Administrador del sistema	DIRECTOR LABORATORIO																	

Anexo 31

		LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES			
Código		Revisión No.		Fecha Revisión	
Ensayo Base					
FECHA IMPRESIÓN	2021-11-07	No. ENSAYO	MATERIAL		
FECHA ENSAYO	2021-06-29	308	Indeterminado		
INFORMACIÓN GENERAL					
ID. MUESTRA	N.A.	INFORME No.	62		
CLIENTE	Indeterminado	SONDEO			
PROYECTO	Indeterminado	PROFUNDIDAD			
GRÁFICA ESFUERZO DESVIADOR (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)			GRÁFICA PRESIÓN DE POROS (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)		
					
GRÁFICA p' vs q			VARIABLES DEL ENSAYO		
			Diámetro (mm)	50	
			Altura (mm)	100	
			Área (mm ²)	1963,494	
			Área corregida (mm ²)	2194,895	
			Carga Axial	1,295	
			Esfuerzo principal menor efectivo	55,5	
			Esfuerzo principal mayor efectivo	635,875	
OBSERVACIONES:					
					
LABORATORISTA	Administrador del sistema	DIRECTOR LABORATORIO			

Anexo 32

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



RESULTADOS TRIAXIAL

PROYECTO: "Determinación y análisis de parámetros geomecánicos de suelos granulares determinados por ensayos convencionales aplicando energía con proctor estándar y modificado"

MUESTRA: Mejoramiento
 SOLICITADO POR:
 FECHA: 11 de julio de 2021

TIPO DE SUELO	MEJORAMIENTO
PROCTOR	MODIFICADO

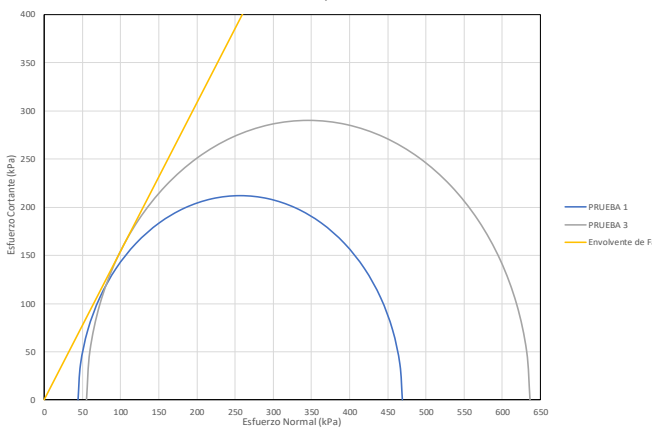
DATOS			
	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
Diámetro (mm)	50	50	50
Altura (mm)	100	100	100
Área (mm ²)	1963,494	1963,494	1963,494
Área corregida (mm ²)	2266,325	2130,454	2194,895
Carga Axial	0,917	1,088	1,295
Esfuerzo principal menor efectivo	44,7	27,9	55,5
Esfuerzo principal mayor efectivo	469,008	531,687	635,875

	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
RADIO	212,15	251,89	290,19
CENTRO	256,85	279,79	345,69

Grados	Radianes	PRUEBA 1		PRUEBA 2		PRUEBA 3	
		Esfuerzo Normal (kPa)	Esfuerzo Cortante (kPa)	Esfuerzo Normal (kPa)	Esfuerzo Cortante (kPa)	Esfuerzo Normal (kPa)	Esfuerzo Cortante (kPa)
0	0,00	44,70	0,00	27,90	0,00	55,50	0,00
10	0,17	47,92	36,84	31,73	43,74	59,91	50,39
20	0,35	57,49	72,56	43,09	86,15	73,00	99,25
30	0,52	73,12	106,08	61,65	125,95	94,38	145,09
40	0,70	94,33	136,37	86,83	161,91	123,39	186,53
50	0,87	120,48	162,52	117,88	192,96	159,16	222,30
60	1,05	150,78	183,73	153,85	218,15	200,59	251,31
70	1,22	184,29	199,36	193,64	236,70	246,44	272,69
80	1,40	220,01	208,93	236,05	248,07	295,30	285,78
90	1,57	256,85	212,15	279,79	251,89	345,69	290,19
100	1,75	293,69	208,93	323,53	248,07	396,08	285,78
110	1,92	329,41	199,36	365,95	236,70	444,94	272,69
120	2,09	362,93	183,73	405,74	218,15	490,78	251,31
130	2,27	393,22	162,52	441,71	192,96	532,22	222,30
140	2,44	419,37	136,37	472,76	161,91	567,98	186,53
150	2,62	440,58	106,08	497,94	125,95	597,00	145,09
160	2,79	456,21	72,56	516,50	86,15	618,37	99,25
170	2,97	465,78	36,84	527,86	43,74	631,47	50,39
180	3,14	469,01	0,00	531,69	0,00	635,88	0,00

COHESIÓN	ÁNGULO DE FRICCIÓN
0	57


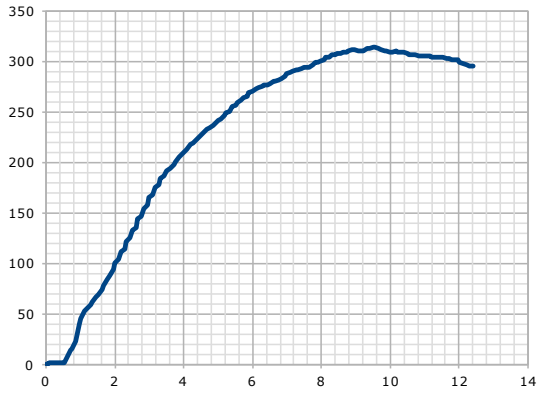
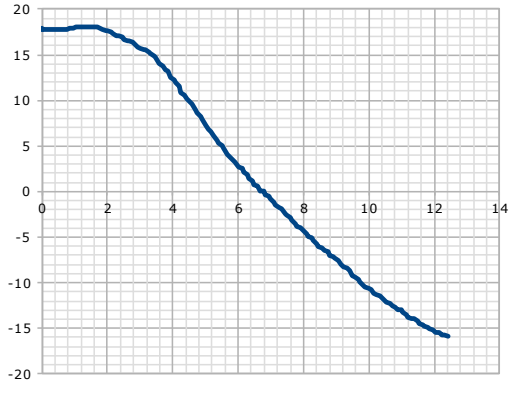
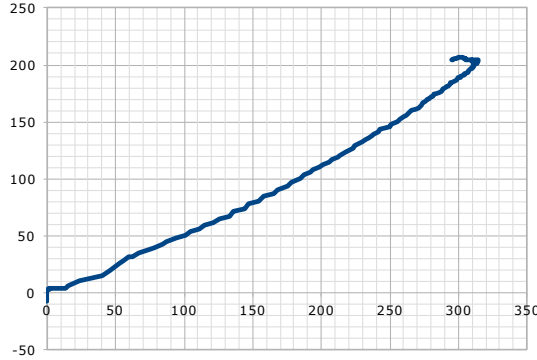

Círculos de Mohr y Envolvente de Falla




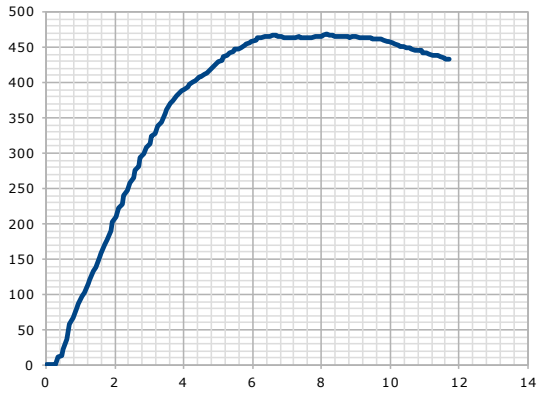
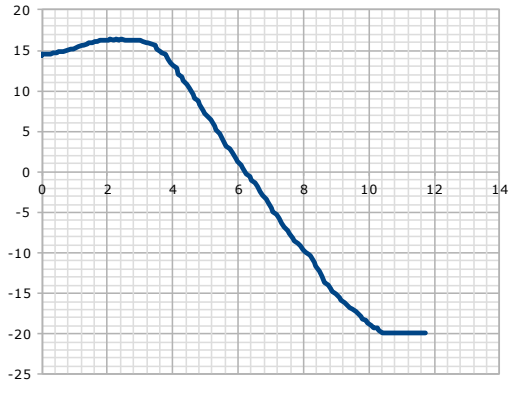
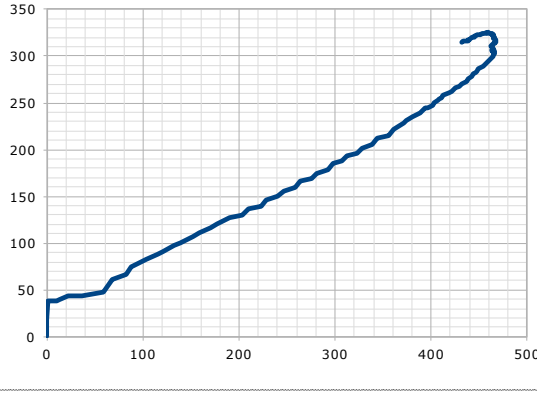

Ing. Luis Mario Almache
Jefe de Laboratorio

Ing. Marcos González
Laboratorista

Anexo 33

 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES																	
Código		Revisión No.	Fecha Revisión														
Ensayo Base																	
FECHA IMPRESIÓN	2021-11-07	No. ENSAYO	MATERIAL														
FECHA ENSAYO	2021-07-01	312	Indeterminado														
INFORMACIÓN GENERAL																	
ID. MUESTRA	N.A.	INFORME No.	62														
CLIENTE	Indeterminado	SONDEO															
PROYECTO	Indeterminado	PROFUNDIDAD															
GRÁFICA ESFUERZO DESVIADOR (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)		GRÁFICA PRESIÓN DE POROS (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)															
																	
GRÁFICA p' vs q		VARIABLES DEL ENSAYO															
		<table border="1"> <tr> <td>Diámetro (mm)</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Altura (mm)</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Área (mm²)</td> <td>1963,494</td> </tr> <tr> <td>Área corregida (mm²)</td> <td>2241,603</td> </tr> <tr> <td>Carga Axial</td> <td>0,682</td> </tr> <tr> <td>Esfuerzo principal menor efectivo</td> <td>37,6</td> </tr> <tr> <td>Esfuerzo principal mayor efectivo</td> <td>345,905</td> </tr> </table>		Diámetro (mm)	50	Altura (mm)	100	Área (mm ²)	1963,494	Área corregida (mm ²)	2241,603	Carga Axial	0,682	Esfuerzo principal menor efectivo	37,6	Esfuerzo principal mayor efectivo	345,905
Diámetro (mm)	50																
Altura (mm)	100																
Área (mm ²)	1963,494																
Área corregida (mm ²)	2241,603																
Carga Axial	0,682																
Esfuerzo principal menor efectivo	37,6																
Esfuerzo principal mayor efectivo	345,905																
OBSERVACIONES:																	
																	
LABORATORISTA	Administrador del sistema	DIRECTOR LABORATORIO															

Anexo 34

		LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES																	
Código		Revisión No.		Fecha Revisión															
Ensayo Base																			
FECHA IMPRESIÓN		2021-11-07		No. ENSAYO															
FECHA ENSAYO		2021-07-01		313															
				MATERIAL															
				Indeterminado															
INFORMACIÓN GENERAL																			
ID. MUESTRA	N.A.			INFORME No.	62														
CLIENTE	Indeterminado			SONDEO															
PROYECTO	Indeterminado			PROFUNDIDAD															
GRÁFICA ESFUERZO DESVIADOR (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)			GRÁFICA PRESIÓN DE POROS (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)																
																			
GRÁFICA p' vs q			VARIABLES DEL ENSAYO																
			<table border="1"> <tr> <td>Diámetro (mm)</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Altura (mm)</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Área (mm²)</td> <td>1963,494</td> </tr> <tr> <td>Área corregida (mm²)</td> <td>2224,183</td> </tr> <tr> <td>Carga Axial</td> <td>1,003</td> </tr> <tr> <td>Esfuerzo principal menor efectivo</td> <td>65</td> </tr> <tr> <td>Esfuerzo principal mayor efectivo</td> <td>525,894</td> </tr> </table>			Diámetro (mm)	50	Altura (mm)	100	Área (mm ²)	1963,494	Área corregida (mm ²)	2224,183	Carga Axial	1,003	Esfuerzo principal menor efectivo	65	Esfuerzo principal mayor efectivo	525,894
Diámetro (mm)	50																		
Altura (mm)	100																		
Área (mm ²)	1963,494																		
Área corregida (mm ²)	2224,183																		
Carga Axial	1,003																		
Esfuerzo principal menor efectivo	65																		
Esfuerzo principal mayor efectivo	525,894																		
OBSERVACIONES:																			
																			
LABORATORISTA	Administrador del sistema		DIRECTOR LABORATORIO																

Anexo 35




LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

Código	Revisión No.	Fecha Revisión															
Ensayo Base																	
FECHA IMPRESIÓN	2021-11-07	No. ENSAYO	MATERIAL														
FECHA ENSAYO	2021-07-01	314	Indeterminado														
INFORMACIÓN GENERAL																	
ID. MUESTRA	N.A.	INFORME No.	62														
CLIENTE	Indeterminado	SONDEO															
PROYECTO	Indeterminado	PROFUNDIDAD															
GRÁFICA ESFUERZO DESVIADOR (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)		GRÁFICA PRESIÓN DE POROS (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)															
GRÁFICA p' vs q		VARIABLES DEL ENSAYO															
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Diámetro (mm)</td> <td style="text-align: center;">50</td> </tr> <tr> <td>Altura (mm)</td> <td style="text-align: center;">100</td> </tr> <tr> <td>Área (mm²)</td> <td style="text-align: center;">1963,494</td> </tr> <tr> <td>Área corregida (mm²)</td> <td style="text-align: center;">2207,71</td> </tr> <tr> <td>Carga Axial</td> <td style="text-align: center;">1,291</td> </tr> <tr> <td>Esfuerzo principal menor efectivo</td> <td style="text-align: center;">97,8</td> </tr> <tr> <td>Esfuerzo principal mayor efectivo</td> <td style="text-align: center;">694,102</td> </tr> </table>		Diámetro (mm)	50	Altura (mm)	100	Área (mm ²)	1963,494	Área corregida (mm ²)	2207,71	Carga Axial	1,291	Esfuerzo principal menor efectivo	97,8	Esfuerzo principal mayor efectivo	694,102
Diámetro (mm)	50																
Altura (mm)	100																
Área (mm ²)	1963,494																
Área corregida (mm ²)	2207,71																
Carga Axial	1,291																
Esfuerzo principal menor efectivo	97,8																
Esfuerzo principal mayor efectivo	694,102																
OBSERVACIONES:																	
LABORATORISTA	Administrador del sistema	DIRECTOR LABORATORIO															

Anexo 36

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



RESULTADOS TRIAXIAL

PROYECTO: "Determinación y análisis de parámetros geomecánicos de suelos granulares determinados por ensayos convencionales aplicando energía con proctor estándar y modificado"

MUESTRA: Subbase
 SOLICITADO POR:
 FECHA: 11 de julio de 2021

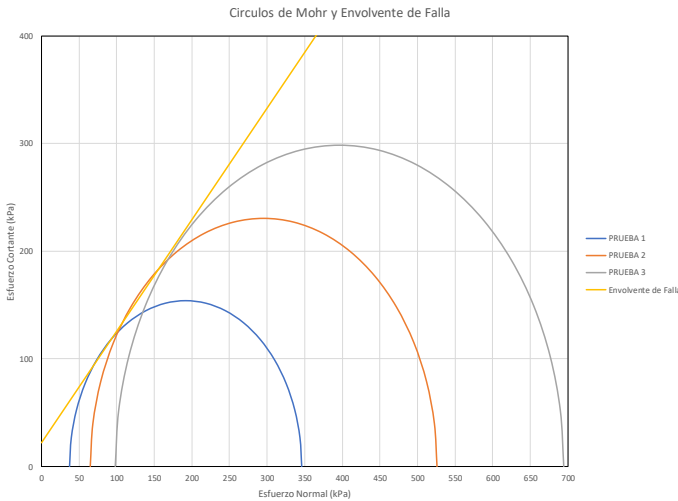
TIPO DE SUELO	SUBBASE
PROCTOR	ESTANDAR

DATOS			
	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
Díámetro (mm)	50	50	50
Altura (mm)	100	100	100
Área (mm ²)	1963,494	1963,494	1963,494
Área corregida (mm ²)	2241,603	2224,183	2207,71
Carga Axial	0,682	1,003	1,291
Esfuerzo principal menor efectivo	37,6	65	97,8
Esfuerzo principal mayor efectivo	345,905	525,894	694,102
	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
RADIO	154,2	230,45	298,15
CENTRO	191,75	295,45	395,95

Grados	Radianes	PRUEBA 1		PRUEBA 2		PRUEBA 3	
		Esfuerzo Normal (kPa)	Esfuerzo Cortante (kPa)	Esfuerzo Normal (kPa)	Esfuerzo Cortante (kPa)	Esfuerzo Normal (kPa)	Esfuerzo Cortante (kPa)
0	0,00	37,60	0,00	65,00	0,00	97,80	0,00
10	0,17	39,94	26,77	68,50	40,02	102,33	51,77
20	0,35	46,90	52,72	78,90	78,82	115,78	101,97
30	0,52	58,25	77,08	95,87	115,22	137,74	149,08
40	0,70	73,66	99,09	118,91	148,13	167,55	191,65
50	0,87	92,67	118,09	147,32	176,53	204,30	228,40
60	1,05	114,68	133,50	180,22	199,57	246,88	258,21
70	1,22	139,03	144,86	216,63	216,55	293,98	280,17
80	1,40	164,98	151,81	255,43	226,95	344,18	293,62
90	1,57	191,75	154,15	295,45	230,45	395,95	298,15
100	1,75	218,52	151,81	335,46	226,95	447,72	293,62
110	1,92	244,48	144,86	374,26	216,55	497,92	280,17
120	2,09	268,83	133,50	410,67	199,57	545,03	258,21
130	2,27	290,84	118,09	443,58	176,53	587,60	228,40
140	2,44	309,84	99,09	471,98	148,13	624,35	191,65
150	2,62	325,25	77,08	495,02	115,22	654,16	149,08
160	2,79	336,61	52,72	512,00	78,82	676,12	101,97
170	2,97	343,56	26,77	522,39	40,02	689,57	51,77
180	3,14	345,91	0,00	525,89	0,00	694,10	0,00

COHESIÓN	ÁNGULO DE FRICCIÓN
0,1	46


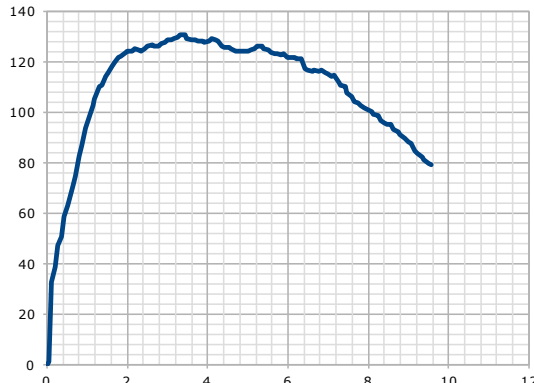
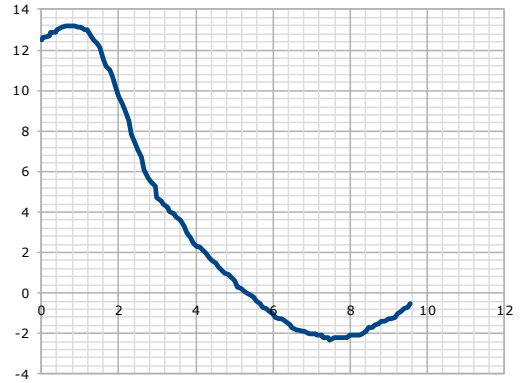
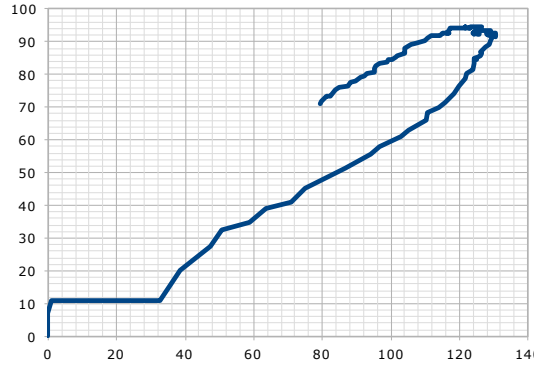

Círculos de Mohr y Envolvente de Falla




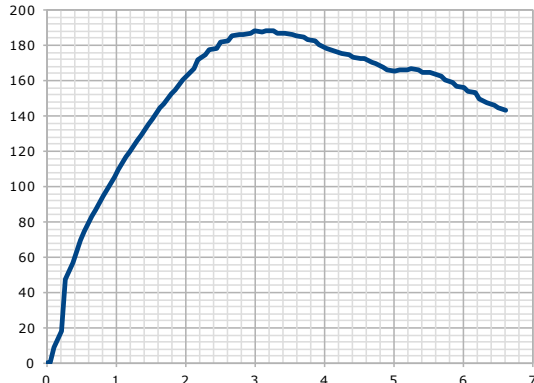
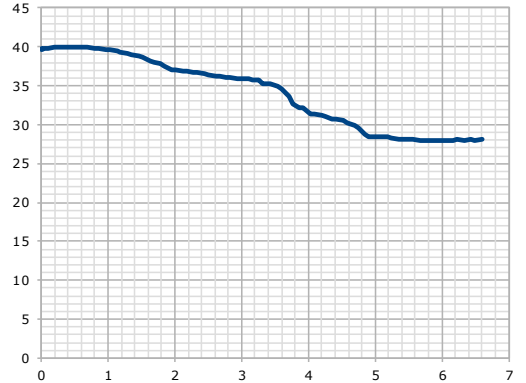
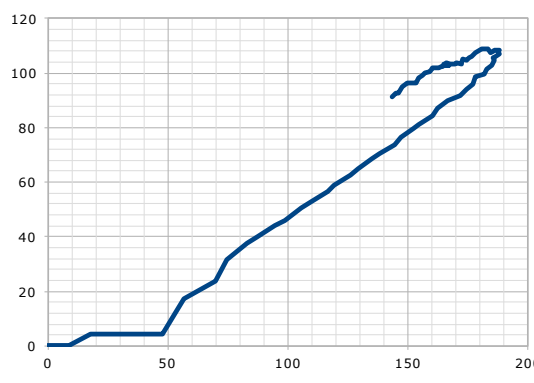

Ing. Luis Mario Almache
Jefe de Laboratorio

Ing. Marcos González
Laboratorista



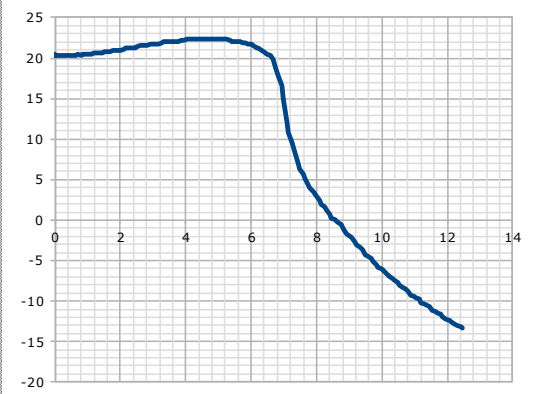
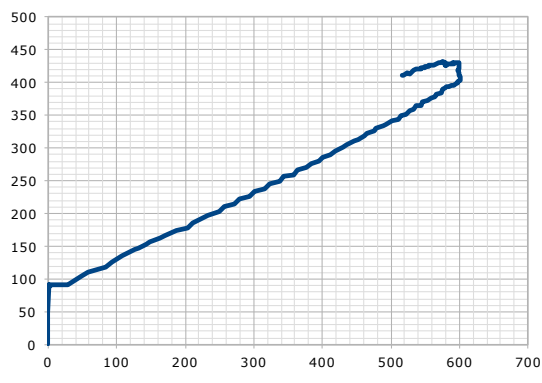

Anexo 37

		LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES																	
Código		Revisión No.		Fecha Revisión															
Ensayo Base																			
FECHA IMPRESIÓN		2021-11-07		No. ENSAYO															
FECHA ENSAYO		2021-06-28		302															
				MATERIAL															
				Indeterminado															
INFORMACIÓN GENERAL																			
ID. MUESTRA	N.A.			INFORME No.	62														
CLIENTE	Indeterminado			SONDEO															
PROYECTO	Indeterminado			PROFUNDIDAD															
GRÁFICA ESFUERZO DESVIADOR (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)			GRÁFICA PRESIÓN DE POROS (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)																
																			
GRÁFICA p' vs q			VARIABLES DEL ENSAYO																
			<table border="1"> <tr> <td>Diámetro (mm)</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Altura (mm)</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Área (mm²)</td> <td>1963,494</td> </tr> <tr> <td>Área corregida (mm²)</td> <td>2170,964</td> </tr> <tr> <td>Carga Axial</td> <td>0,265</td> </tr> <tr> <td>Esfuerzo principal menor efectivo</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td>Esfuerzo principal mayor efectivo</td> <td>148,655</td> </tr> </table>			Diámetro (mm)	50	Altura (mm)	100	Área (mm ²)	1963,494	Área corregida (mm ²)	2170,964	Carga Axial	0,265	Esfuerzo principal menor efectivo	23	Esfuerzo principal mayor efectivo	148,655
Diámetro (mm)	50																		
Altura (mm)	100																		
Área (mm ²)	1963,494																		
Área corregida (mm ²)	2170,964																		
Carga Axial	0,265																		
Esfuerzo principal menor efectivo	23																		
Esfuerzo principal mayor efectivo	148,655																		
OBSERVACIONES:																			
																			
LABORATORISTA	Administrador del sistema		DIRECTOR LABORATORIO																

Anexo 38


		LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES																	
Código		Revisión No.		Fecha Revisión															
Ensayo Base																			
FECHA IMPRESIÓN	2021-11-07	No. ENSAYO	MATERIAL																
FECHA ENSAYO	2021-06-29	303	Indeterminado																
INFORMACIÓN GENERAL																			
ID. MUESTRA	N.A.	INFORME No.	62																
CLIENTE	Indeterminado	SONDEO																	
PROYECTO	Indeterminado	PROFUNDIDAD																	
GRÁFICA ESFUERZO DESVIADOR (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)			GRÁFICA PRESIÓN DE POROS (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)																
																			
GRÁFICA p' vs q			VARIABLES DEL ENSAYO																
			<table border="1"> <tr> <td>Diámetro (mm)</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Altura (mm)</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Área (mm²)</td> <td>1963,494</td> </tr> <tr> <td>Área corregida (mm²)</td> <td>2102,325</td> </tr> <tr> <td>Carga Axial</td> <td>0,381</td> </tr> <tr> <td>Esfuerzo principal menor efectivo</td> <td>13,4</td> </tr> <tr> <td>Esfuerzo principal mayor efectivo</td> <td>198,015</td> </tr> </table>			Diámetro (mm)	50	Altura (mm)	100	Área (mm ²)	1963,494	Área corregida (mm ²)	2102,325	Carga Axial	0,381	Esfuerzo principal menor efectivo	13,4	Esfuerzo principal mayor efectivo	198,015
Diámetro (mm)	50																		
Altura (mm)	100																		
Área (mm ²)	1963,494																		
Área corregida (mm ²)	2102,325																		
Carga Axial	0,381																		
Esfuerzo principal menor efectivo	13,4																		
Esfuerzo principal mayor efectivo	198,015																		
OBSERVACIONES:																			
																			
LABORATORISTA	Administrador del sistema	DIRECTOR LABORATORIO																	

Anexo 39

		LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES																	
Código		Revisión No.		Fecha Revisión															
Ensayo Base																			
FECHA IMPRESIÓN	2021-11-07	No. ENSAYO	MATERIAL																
FECHA ENSAYO	2021-06-29	304	Indeterminado																
INFORMACIÓN GENERAL																			
ID. MUESTRA	N.A.		INFORME No.	62															
CLIENTE	Indeterminado		SONDEO																
PROYECTO	Indeterminado		PROFUNDIDAD																
GRÁFICA ESFUERZO DESVIADOR (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)			GRÁFICA PRESIÓN DE POROS (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)																
																			
GRÁFICA p' vs q			VARIABLES DEL ENSAYO																
			<table border="1"> <tr> <td>Diámetro (mm)</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Altura (mm)</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Área (mm²)</td> <td>1963,494</td> </tr> <tr> <td>Área corregida (mm²)</td> <td>2244,361</td> </tr> <tr> <td>Carga Axial</td> <td>1,281</td> </tr> <tr> <td>Esfuerzo principal menor efectivo</td> <td>100,8</td> </tr> <tr> <td>Esfuerzo principal mayor efectivo</td> <td>686,62</td> </tr> </table>			Diámetro (mm)	50	Altura (mm)	100	Área (mm ²)	1963,494	Área corregida (mm ²)	2244,361	Carga Axial	1,281	Esfuerzo principal menor efectivo	100,8	Esfuerzo principal mayor efectivo	686,62
Diámetro (mm)	50																		
Altura (mm)	100																		
Área (mm ²)	1963,494																		
Área corregida (mm ²)	2244,361																		
Carga Axial	1,281																		
Esfuerzo principal menor efectivo	100,8																		
Esfuerzo principal mayor efectivo	686,62																		
OBSERVACIONES:																			
																			
LABORATORISTA	Administrador del sistema	DIRECTOR LABORATORIO																	

Anexo 40

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



RESULTADOS TRIAXIAL

PROYECTO: "Determinación y análisis de parámetros geomecánicos de suelos granulares determinados por ensayos convencionales aplicando energía con proctor estándar y modificado"

MUESTRA: Subbase

SOLICITADO POR: FECHA: 11 de julio de 2021

TIPO DE SUELO	SUBBASE
PROCTOR	MODIFICADO

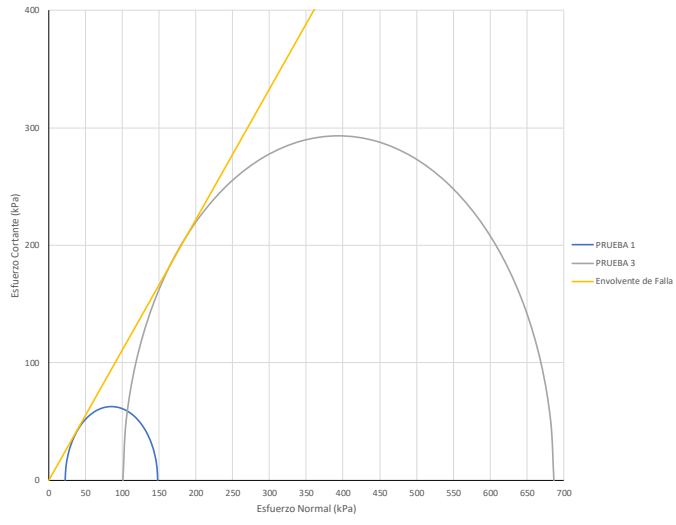
DATOS			
	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
Diámetro (mm)	50	50	50
Altura (mm)	100	100	100
Área (mm ²)	1963,494	1963,494	1963,494
Área corregida (mm ²)	2170,964	2102,325	2244,361
Carga Axial	0,265	0,381	1,281
Esfuerzo principal menor efectivo	23	13,4	100,8
Esfuerzo principal mayor efectivo	148,655	198,015	686,62

	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
RADIO	62,83	#IVALOR!	292,91
CENTRO	85,83	#IVALOR!	393,71

Grados	Radianes	PRUEBA 1		PRUEBA 2		PRUEBA 3	
		Esfuerzo Normal (kPa)	Esfuerzo Cortante (kPa)	Esfuerzo Normal (kPa)	Esfuerzo Cortante (kPa)	Esfuerzo Normal (kPa)	Esfuerzo Cortante (kPa)
0	0,00	23,00	0,00	#IVALOR!	#IVALOR!	100,80	0,00
10	0,17	23,95	10,91	#IVALOR!	#IVALOR!	105,25	50,86
20	0,35	26,79	21,49	#IVALOR!	#IVALOR!	118,46	100,18
30	0,52	31,42	31,41	#IVALOR!	#IVALOR!	140,04	146,46
40	0,70	37,70	40,38	#IVALOR!	#IVALOR!	169,33	188,28
50	0,87	45,44	48,13	#IVALOR!	#IVALOR!	205,43	224,38
60	1,05	54,41	54,41	#IVALOR!	#IVALOR!	247,26	253,67
70	1,22	64,34	59,04	#IVALOR!	#IVALOR!	293,53	275,25
80	1,40	74,92	61,87	#IVALOR!	#IVALOR!	342,85	288,46
90	1,57	85,83	62,83	#IVALOR!	#IVALOR!	393,71	292,91
100	1,75	96,74	61,87	#IVALOR!	#IVALOR!	444,57	288,46
110	1,92	107,32	59,04	#IVALOR!	#IVALOR!	493,89	275,25
120	2,09	117,24	54,41	#IVALOR!	#IVALOR!	540,17	253,67
130	2,27	126,21	48,13	#IVALOR!	#IVALOR!	581,99	224,38
140	2,44	133,96	40,38	#IVALOR!	#IVALOR!	618,09	188,28
150	2,62	140,24	31,41	#IVALOR!	#IVALOR!	647,38	146,46
160	2,79	144,87	21,49	#IVALOR!	#IVALOR!	668,96	100,18
170	2,97	147,70	10,91	#IVALOR!	#IVALOR!	682,17	50,86
180	3,14	148,66	0,00	#IVALOR!	#IVALOR!	686,62	0,00

COHESIÓN	ÁNGULO DE FRICCIÓN
0	48

Círculos de Mohr y Envolvente de Falla



Ing. Luis Mario Almache
Jefe de Laboratorio

Ing. Marcos González
Laboratorista

Anexo 41

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN


ANALISIS GRANULOMÉTRICO DEL SUELO SEGÚN MTOP

PROYECTO "Determinación y análisis de parámetros geomecánicos de suelos granulares determinados por ensayos convencionales aplicando energía con proctor estándar y modificado"

MUESTRA _____ MEJORAMIENTO

OLICITADO POR : _____

FECHA _____ 8 de noviembre de 2021




ABERTURA TAMIZ	LIMITES MTOP		%PASA MEJORAMIENTO
	%PASA MIN	%PASA MAX	
38,1	70,00%	100,00%	97,39%
25,4	55,00%	85,00%	83,87%
19,1	50,00%	80,00%	73,68%
12,7	50,00%	80,00%	62,54%
9,52	35,00%	60,00%	56,07%
4,76	25,00%	50,00%	42,75%
2	20,00%	40,00%	31,19%
0,42	10,00%	25,00%	13,40%
0,074	2,00%	12,00%	6,32%

BASE CLASE 1 TIPO A - MTOP



Ing. Luis Mario Almache
Jefe de Laboratorio



Ing. Marcos González
Laboratorista

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotros, Jennifer Suley Cárdenas Eras y Kenny Alexis Arias Duy portadores de las cédulas de ciudadanía N.º 1401095789 y N.º 0150154649. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “Determinación y análisis de parámetros geomecánicos de suelos granulares determinados por ensayos convencionales aplicando energía con Proctor estándar y modificado” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 26 de enero de 2022



F:
Jennifer Suley Cárdenas Eras
1401095789



F:
Kenny Alexis Arias Duy
0150154649