



**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
MÉRIDA - VENEZUELA**



Determinación del Parámetro de Resistencia, Ángulo de Fricción Interna (ϕ), y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (D_r), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares

Trabajo Especial de Grado presentado como requisito para optar al Título de Ingeniero Civil

Realizado por: T.S.U Yosmar E. Sulbarán García

Tutor: Profesor. Roberto Ucar Navarro

Cotutora: Profesora Esmeralda de Barcia

Mérida, Junio 2010



**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
MÉRIDA - VENEZUELA**



Determinación del Parámetro de Resistencia, Ángulo de Fricción Interna (ϕ), y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (D_r), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares

T.S.U Yosmar E. Sulbarán García

El trabajo de grado titulado “Determinación del Parámetro de Resistencia, Ángulo de Fricción Interna (ϕ) y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (D_r), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares” presentado por T.S.U Yosmar Enrique Sulbarán García, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Ingeniero Civil, fue aprobado en fecha 15 de Junio de 2010, por el siguiente jurado:

Profesor: Silvio Rojas

C.I. V.- 4.701.646

Profesor: Stefano Pozzobón

C.I. V.- 8.026.112

DEDICATORIA

No es fácil sentarse y lograr escribir en una página de dedicatoria, pues hay a muchas personas a quien quisiera dedicarle este nuevo logro de mi vida y, digo logro, porque el triunfo verdadero es llegar a recibir la corona eterna el premio por haber dejado un buen legado en la vida, aunque me falta espacio para poder dedicar quiero comenzar por:

El Ser Supremo quien me lo ha dado todo A Dios que en todo momento a pesar de mis debilidades ha estado a mi lado, gracias Señor por tu Santo Espíritu, por no abandonar a ninguno de tus hijos, a ti principalmente dedico este logro!, y ruego por mi vida profesional para que este llena de pulcritud, mucha rectitud y responsabilidad.

A la Reina mas grande del mundo, a ti Mi Virgencita bella, tu que has sido siempre mi tutela y cuidadora, Madre Celestial a ti mil e infinitas gracias por ser la guía de mi vida. ¡Te pido tu Bendición!

A mi Madre, ser especial que en su silencio de madre comprensiva y dedicada a sus hijos, ofrece a Dios todas sus oraciones por el éxito en la vida de todos sus hijos, a mi vieja bella a quien amo, sin tú presencia no hubiera sido posible nada en mi vida. ¡Pido tu Bendición!

A ese otro ser que no está en este espacio terrenal, pero, que permanece en mi como si nunca se hubiera ido, Padre mío, Tú. has sido mi inspiración nunca olvidare tus enseñanzas cristianas te amo ahora mas que nunca, y de mi corazón jamás te voy a sacar. ¡Pido tu Bendición!

A una mujer grandiosa que apareció en mi vida para quedarse, este éxito también quiero dedicártelo, a ti Erika de mi vida, en unos meses estaremos compartiendo nuestras vidas con la bendición de Dios y María Santísima. ¡Te Amo!

A esos dos chicos que me acompañaron en este transitar, a mis hermanitos Yohandry y Yhonathan, que soportaron todos mis malos ratos y mis achaques de hermano mayor. A mis 8 hermanos más, siempre los amaré, Uds. son y serán siempre mi inspiración para seguir adelante, siempre contarán con mi apoyo, los Amo ¡demasiado!.

También hay una persona que ha sido la madre de la paciencia y entendimiento, Profesora Esmeralda, Ud. ha sido gran pilar para el logro de esta meta, y siempre le voy a estar muy agradecido, que Dios le bendiga junto a su familia, yo se que sin su ayuda este transitar hubiera sido muy cuesta arriba, ¡Gracias muchísimas, Gracias!

Dos personitas muy especiales que desde hace doce años me brindaron mas que una amistad su comprensión, Raul y Milheny, no se como agradecerles su paciencia y su comprensión. You, Ud. es gran ejemplo de disciplina y constancia, de verdad le tengo una gran admiración por su corazón siempre dispuesto a ayudar. Mile, también gracias por ser la amiga en los momentos mas difíciles.

Hay un grupo maravilloso que han sido mi enlace espiritual, son el medio por el cual me he mantenido de la mano de Dios todo poderoso, al Movimiento de cursillo de Cristiandad, con sus oraciones han hecho que yo lograra esta meta... Que Dios nos siga regalando muchos frutos para lograr el fin último del movimiento fermentar de Evangelio los ambientes.

Este Triunfo no pudo ser sin ustedes!

AGRADECIMIENTO

Ser agradecidos es una virtud que debe acompañar a todos los seres humanos no para hacer más grande o a hacer alarde de las virtudes de quienes nos tendieron la mano, si no mas bien, para darle las gracias por haber sido apoyo incondicional para lograr nuestras metas y, hoy cuando ya falta poco por obtener el título de Ingeniero Civil, quiero agradecer con toda sinceridad a aquellos que me hicieron mas fácil el camino durante el desarrollo de esta carrera y de este trabajo de grado.

Estas palabras de agradecimiento van para aquellos, que para nombrar las innumerables ayudas que me prestaron seria escribir una más, a esos seres extraordinarios y a la Institución Universitaria donde cursé mis estudios.

A la Ilustre Universidad de los Andes, lugar donde recibí grandes conocimientos.

Al Dr. Roberto Ucar Navarro no sólo por haber aceptado ser mi tutor y aguantarme durante el desarrollo de este trabajo, sino por la amistad desde mi inicio en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Ud. siempre me ha brindado su apoyo para que yo continuara mis estudios, siempre con una palabra de aliento y de ayuda académica, muchas gracias profesor, por sus enseñanzas, por transferir ese espíritu y dedicación al servicio de la academia y al aprendizaje de la ingeniería; Ud. es un gran ejemplo a seguir.

A la Fundación para la Prevención de los Riesgos Sísmicos (FUNDAPRIS), por su contribución económica en la realización de esta investigación.

Al profesor Francisco León, de la Escuela de Ingeniería Mecánica, por contribuir con sus conocimientos en materia de vibraciones, para llevar a feliz término esta investigación.

Al Técnico Javier Cerrada, por su colaboración durante toda la carrera, a él también gracias por trasmitirme sus conocimientos y sobre todo por su paciencia. ¡Muchas gracias!

A Nora y Carmen compañeras de la oficina de OREFI, a quienes les tengo un profundo cariño y agradecimiento, porque con su paciencia y su trabajo de hormiguita contribuyeron con mucho cariño para que yo culminara esta meta.

A la Ingeniera Heidi Bencomo por su colaboración desinteresada en este trabajo de investigación.

Al Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos, que ha sido mi casa y mi refugio donde he laborado estos doce últimos años.

¡Dios les pague!

RESUMEN

“DETERMINACIÓN DEL PARÁMETRO DE RESISTENCIA, ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (ϕ) Y SU RELACIÓN CON LOS PARÁMETROS, DENSIDAD RELATIVA (DR.), Y RELACIÓN DE VACÍOS (E) EN SUELOS GRANULARES”

T.S.U Yosmar E. Sulbarán García

Tutor: Profesor. Roberto Ucar Navarro

Cotutora: Profesora Esmeralda de Barcia

El presente estudio, tiene como objetivo principal, establecer la relación que existe entre el ángulo de fricción interna ϕ , la densidad relativa D_r , conocido también como el índice de densidad I_d y la relación de vacíos (e) en suelos granulares. Los datos obtenidos de la investigación provienen de suelos de origen sedimentario aluvial y arcilloso correspondientes a la meseta de Mérida-Venezuela, donde se realizaron calicatas en diferentes puntos del área urbana. En la primera etapa se realiza el estudio experimental de cada una de las muestras, teniendo en cuenta la densidad natural del sitio, las propiedades índices del suelo, caracterización de suelo y ensayos como corte directo, densidad relativa y compactación. Se analizan los resultados obtenidos de estudio experimental, relacionándolos gráficamente entre los parámetros obtenidos para observar la similitud con expresiones obtenidas por otros autores como Meyerhof [39], Cauquot [13], y Giraudet [15] entre otros. A través de esta se encontró una gran similitud en las ecuaciones aquí obtenidas con los datos experimentales al aplicar el método de los mínimos cuadrados. Cabe destacar que los referidos investigadores realizaron su trabajo con arenas, mientras que en este estudio la mayoría de la espacio muestral son suelos granulares gravosos con un % de finos mayor del 5%. Adicionalmente utilizando las bien conocida expresiones de masa y volúmenes de la mecánica de suelos e interactuándolas con las obtenidas en este estudio se encontraron dos nuevas expresiones que relacionan los parámetros del objetivo principal. Las ecuaciones obtenidas en esta investigación se sometieron a un análisis estadístico a través del programa de simulación Crystal Ball, con la finalidad de obtener la media, desviación estándar, coeficiente de variación, su función de densidad de probabilidades, así como los parámetros mas sensibles. Se encontró además, llevar a cabo una comparación entre la densidad máxima seca obtenida con el ensayo de compactación y la densidad máxima seca obtenida en la mesa vibratoria, resultando que el máximo peso unitario seco al compactarlo por vibración es aproximadamente un 80 % respecto al Próctor modificado.

ABSTRAC

Determiration of strength parameter, angle of internal rubbing and its relation with relative density and empty relation parameters in granular soils.

T.S.U Yosmar E. Sulbarán García

Tuto: Profesor. Roberto Ucar Navarro

Cotutora: Profesora Esmeralda de Barcia

This study, has like a principal objective, establish the relation between internal rubbing, relative density knows like index density too, and empty relation in granular soils. The dates obtained in the investigation came to soils of origin alluvial sedimentary and argillaceous, corresponding to the plateau of Merida - Venezuela, where made **calicatas** in different points of urban area. In the first stage it does experimental study of each sample, taking accounting the natural density of site, properties of soil index, soil characteristics and test like direct cut, relative density and compactation. The results obtained with the experimental study are analyzed and relation graphics between the parameters obtained to observe the similitude with expressions obtained for others authors like Meyerhof [39], Cauquot [13], and Giraudet [15] and others. The analysis found a big similitude in the equations here obtained with the experimental dates with the method of squares minimis. Emphasizing that the investigators did their job with sands, while in this study there are more granular soils with a percentage of fines more than 5%. Additionally using the expressions knowing of mass and volume of soil mechanic and exchanging with the expressions obtain in this study found two new expressions that related the parameters of principal objective. The equations obtained in this investigation were in a statistics analysis across of simulation program called Cristal Ball{4}, with the finality to obtain the media, standard deviation, variation coefficient, their function of probabilities density, like the parameters more sensitive. There were a comparison between maximum dry density obtain with the compactation test and the maximum dry density obtain by vibration table, obtain like result that the maximum unitary weigh when it was compacted by vibration is approximately a 80 percent respect to modified Proctor.

INDICE DE GENERAL

APROBACIÓN.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
RESUMEN DEL TRABAJO.....	V
ABSTRACT.....	VI
INDICE DE TABLAS	XIII
INDICE DE FIGURAS.....	XV

INTRODUCCION.....	17
-------------------	----

CAPITULO I. EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema.....	19
1.2 Delimitación del Problema.....	20
1.3 Formulación de Objetivos.....	21
1.3.1 Objetivo General.....	21
1.3.2. Objetivos Específico.....	21
1.4. Justificación.....	22
1.5. Limitaciones.....	23

1.6. Hipótesis.....	24
---------------------	----

CAPITULO II. MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes Históricos.....	25
2.1.1 Aportes al ángulo de fricción según las características, estados y granulometría del suelo.....	27
2.1.2 Influencia del la relación de vacíos e y la porosidad n, en el ángulo de fricción interna.....	28
2.1.3 Relación entre el parámetro de resistencia y el contenido de humedad.....	32
2.1.4 Contribución de otros autores en relación al ángulo de fricción interna ϕ y la densidad relativa Dr.....	34
2.2. Fundamentación Teórica.....	35
2.2.1. Suelo.....	36
2.2.2. Consistencia y límites de Atterberg.....	36
2.2.3. Índice de Plasticidad, IP.....	37
2.2.4. Porosidad y relación de vacíos.....	38
2.2.5. Peso específico natural y densidad relativa.....	38
2.2.6. Valores típicos de las relaciones entre fases para suelos granulares.....	40
2.2.7. Influencia de la relación de vacíos inicial.....	41
2.2.8. Algunos Factores que afectan la resistencia al corte.....	42
2.2.9. Influencia de las diversas condiciones de carga.....	44
2.2.10. Influencia del agua y de la rugosidad superficial.....	45
2.2.11. Influencia de la granulometría en el ángulo de fricción interna.....	47
2.2.12. Compactación de suelo.....	50

2.2.13. La energía de compactación.....	51
2.2..14. Especificaciones de la compactación.....	52
2.2..15. Teoría de Barkan.....	53
2.2.15.1 Definición de la vibración.....	53
2.2.15.2 Relación fundamental.....	55
2.2.15.3. Variación del coeficiente de vibro-compactación con el contenido de humedad.	56
2.2.16. Estudios de densificación por vibración en el laboratorio.....	56

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de Investigación o Estudio.....	58
3.2. Población y Muestra.....	58
3.3. Materiales y Métodos.....	59
3.3.1. Materiales.....	59
3.3.2. Métodos.....	61
3.3.3. Fase 1. Trabajo de campo para la toma de muestras.....	61
3.3.4. Fase 2 Trabajo Experimental en el laboratorio de Mecánica de Suelos.....	63
3.3.4.1. Ensayos Estándar.....	63
3.3.4.2. Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos. (ASTM D 422).....	63
3.3.4.3. Peso específico relativo de los sólidos (ASTM D 558).....	64
3.3.4.4. Propiedades índices de plasticidad o de consistencia (ASTM D 4318)	65
3.3.5. Ensayos Especiales.....	67

3.3.5.1. Compactación [Próctor Modificado (ASTM D 1557- D)].....	67
3.3.5.2. Densidad relativa (ASTM D 4253).....	68
3.3.5.3. Corte Directo (ASTM D 3080).....	69
3.3.5.4. Determinación de la velocidad de las partículas de suelo en la mesa vibratoria.....	71

CAPÍTULO IV. ASPECTOS GEOLOGICOS DE LA ZONA DE ESTUDIO

4.1. GEOLOGIA LOCAL DE MERIDA.....	73
4.3 TERRAZA DE MERIDA.....	74
4.3. Localización del la terraza de Mérida.....	76
4.4. Relieve.....	78
4.5. Clima.....	80
4.3.1. Temperatura.....	80
4.5.2. Precipitación.....	81
4.6. Vegetación.....	81
4.6.1 Bosque Seco Pre – Montano.....	82
4.6.2 Bosque Húmedo Pre- Montano.....	82
4.7. Sismicidad.....	82
4.8. GEOLOGÍA REGIONAL.....	84
4.8.1. PRECAMBRICO.....	84
4.8.1.1. Grupo Iglesias.....	84
4.8.1.2. Asociación Sierra Nevada.....	84
4.8.2. PALEOZOICO.....	84

4.8.2.1. Asociación Tostosa.....	84
4.8.2.2. Asociación Mucuchachi	85
4.8.2.3. Formación Sabaneta	85
4.8.2.4. Formación Palmarito.....	85
4.8.3. MESOZOICO.....	86
4.8.3.1. Formación La Quinta.....	86
4.8.3.2. Formación Río Negro.....	86
4.8.3.3. Formación Apón.....	86
4.8.3.4. Formación Aguardiente.....	87
4.8.3.5. Formación Capacho.....	87
4.8.3.6. Formación La Luna.....	87
4.8.4. CENOZOICO.....	87
4.8.4.1. Formación San Javier.....	87
4.8.4.2. Formación Mucujún.....	88
4.8.5. CUATERNARIO.....	88

CAPITULO V. ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

5.1 Fronteras del los parámetros de investigación.....	89
5.2 Correlación entre ángulo de fricción interna y la densidad relativa obtenida experimentalmente.....	90
5.3 Comparación de la ecuación experimental 5.1 con la ecuaciones de Meyerhof (1986), Giuliani y Nicoll (1982).....	93
5.4 Comparación de la relación de vacíos, el ángulo de fricción interna de los suelos de la terraza de Mérida y la ecuación propuesta por Caquot y Kérisel	96

(1939).....	
5.5 Comparación de la relación de vacíos, el ángulo de fricción interna de los suelos de la terraza de Mérida y la ecuación propuesta por Giraudet.....	98
5.6 Correlaciones entre el ángulo de fricción ϕ interna y la porosidad n.....	101
5.7. Influencia de la humedad sobre el parámetro de resistencia.....	104
5.8 Análisis de la densidad de compactación con la densidad máxima de la mesa vibratoria.....	107
CONCLUSIONES.....	109
RECOMENDACIONES.....	112
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	114
ANEXO A. Ensayos del laboratorio.....	119
ANEXO B. Resultados del programa Crystall Ball y correlación múltiple con Excel.....	228
ANEXO D. Plano del área de estudio (Meseta de Mérida).....	239

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Valores del ángulo de fricción interno de los medios incoherentes (Costet y Sanglerat).....	28
Tabla N° 2. Valores de $\phi = f(e)$. (Cauquot y Kérisel).....	30
Tabla N° 3. Efecto del contenido de humedad sobre la cohesión y adherencia, resistencia máxima al corte suelo-suelo y suelo-metal, ángulo de fricción interna, esfuerzo máximo y modulo de deformación (Duran G).....	33
Tabla N° 4 Expresiones de Meyerhof (1956).....	35
Tabla N° 5 relación entre D_r y ϕ Burmiste(1948).....	35
Tabla N° 6 Densidades relativas y compactación asociada.....	39
Tabla N° 7. Compacidades máximas y mínimas de suelos granulares.....	41
Tabla N° 8. Intervalo típico de valores del ángulo verdadero de fricción interna ϕ para varios suelos.....	43
Tabla N° 9. Procedencia y ubicación de Coordenadas (UTM), del los diferentes puntos de muestreo en la ciudad de Mérida Venezuela.....	62
Tabla N° 10. Contenidos de humedad y densidad seca natural (ASTM: D 2216 y D 1556 respectivamente).....	62
Tabla N° 11. Granulometría, coeficiente de curvatura y de uniformidad de los suelos en estudio. (ASTM D 422).....	64
Tabla N° 12 Peso específico relativo de los sólidos (Gs) de los suelos en estudio. (ASTM D 854).....	65
Tabla N° 13. Valores de los límites de consistencia e índices de plasticidad y clasificación SUCS de los suelos en estudio. (ASTM: D 4318 y D 2487 respectivamente).....	66
Tabla N° 14 Valores de densidad máxima seca ensayados en Próctor modificado	67

de los suelos en estudio. (ASTM D 1557-D).....	
Tabla N° 15 Resultados obtenidos del ensayo de densidad relativa de los suelos en estudio. (ASTM D 4253).....	68
Tabla N° 16 Resultados obtenidos del ensayo de corte directo en cajuela de 10x10x4 cm, de los suelos en estudio. (ASTM D 3080).....	70
Tabla N° 17 Velocidad promedio de las partículas de suelo, ensayadas en la mesa vibratoria.....	72
Tabla N° 18 Intervalos recomendados en las correlaciones obtenidas en esta investigación.....	90
Tabla N° 19 Valores experimentales del ángulo de fricción interna y la densidad relativa de los suelos de la terraza de Mérida.....	90
Tabla N° 20. Valores mas importantes del análisis estadístico de los ensayos experimentales (coeficiente de fricción $\tan(\phi)$ y la densidad relativa).....	91
Tabla N° 21. Análisis estadístico de la ecuación 5.1.....	92
Tabla N° 22. Valores de densidad relativa y ángulo de fricción interna (según ecuación de Meyerhof 1956 Giuliani y Nicoll 1982), Ecuación N°5.1.....	94
Tabla N° 23. Valores del ángulo de fricción según datos experimentales y Caquot para correlación con la relación de vacíos para un valor de $K= 0,40$	96
Tabla N° 24. Valores del ángulo de fricción según datos experimentales y Girudet para correlación con la relación de vacíos.....	99
Tabla N° 25. Análisis estadístico de la ecuación 5.2.....	101
Tabla N° 26. Valores del ángulo de fricción y la porosidad de los suelos de la meseta de Mérida.....	101
Tabla N° 27. Análisis estadístico de la ecuación 5.3.....	103
Tabla N° 28. Comparación de la densidad máxima seca obtenidas a través de la mesa vibratoria y la compactación bajo la norma Próctor Modificado T180-D.....	108

INDICE DE FIGURAS

Figura N ° 1 <i>Variación del ángulo de fricción interno de una arena fina en función de la porosidad.</i> (Según Bjerrum).....	29
Fig. N° 2 Relación entre el ángulo de fricción interna efectivo y el peso específico seco para suelos granulares (NAVFAC, 1971).....	31
Fig. N° 3 Estimación de Meyerhof (1956) y Peck et al. (1974). Grafica de Tomaghi (1981).....	34
Figura N° 4 Consistencias del suelo en función del contenido de humedad.....	37
Figura N° 5. Agrupaciones de esferas iguales. a) Planta y alzado de una agrupación cúbica. b) Planta de duna agrupación, compacta. Primera capa: círculos de línea continua; segunda capa: círculo de trazos; señala la posición de los centros de las esferas de la tercera capa en una disposición cúbica de caras centradas y x, en una disposición hexagonal compacta. (Según Deresiewicz, 1958).	40
Figura N° 6. Relación entre el ángulo de fricción interna y la porosidad inicial en arena fina a media (Según Rowe, 1962).....	42
Figura N° 7. Resultado de pruebas triaxiales estándar y deformación plana (Según Cornforth, 1964).....	45
Figura N° 8. Fricción del cuarzo (Según Bomwell y Dickey, 1966).....	46
Figura N° 9. Relación entre el ángulo de fricción y la porosidad inicial para diversos suelos granulares.....	47
Figura N° 10. Influencia del tamaño de las partículas y de la granulometría sobre el ángulo de fricción. a) Suelos con partículas del mismo tamaño mínimo (0,5 mm). b) Suelos con el mismo coeficiente de uniformidad. (Datos de Leslie, 1963).....	49
Figura N° 11. Relación entre el ángulo de fricción y la presión de confinamiento. (Datos de Leslie, 1963).....	50

Figura N° 12. Relación entre densidad relativa, densidad y compactación o compacidad relativa. [Según Lee y Singh, (1971).....	53
Figura N° 13. Relación entre el coeficiente de vibro-compactación de una arena y su humedad. (Según Barkan).....	56
Figura N° 14 Mesa vibratoria.....	57
Figura N° 15. Resultados típicos obtenidos en el estudio del laboratorio de la compactación por vibración (Según D'Appolonia. 1967).....	58
Figura N° 16 Esquema de Ensayo Cono y Arena (ASTM D 1556).....	63
Figura N° 17 Carta de plasticidad de Casagrande.....	66
Figura N° 18 Cajuela de corte directo.....	69
Figura N° 19 Gráfico de la velocidad promedio de las partículas de suelo, ensayadas en la mesa vibratoria.....	72
Figura N° 20-A Localización de la terraza de Mérida.....	77
Figura N° 20-B Vista general del área de estudio.....	77
Figura N° 21. Correlación entre el coeficiente de fricción y la densidad relativa de los suelos de la terraza de Mérida.....	91
Figura N° 22 Relación del ángulo de fricción interna y la densidad relativa según Meyerhof (1956) y Ecuación 5.1.....	95
Figura N° 23 Correlación del ángulo de fricción interna y la relación de vacíos para valores de $K= 0,40 \pm 0,03$, (1939) para valores experimentales y los obtenidos por Caquot y Kérisel	97
Figura N° 24 Correlación de l ángulo de fricción interna y la relación de vacíos, según Giraudet (1939) y los obtenidos en esta investigación.....	99
Figura N° 25. Correlación entre el ángulo de fricción interna y la porosidad. Según: Cornforth, (1964) y los obtenidos en esta investigación.....	102
Figura N° 26. Sensibilidad del ángulo de fricción interna respecto a los	105

parámetros de dependencia en la ecuación 5.4.....	
Figura N° 27. Relación entre el ángulo de fricción interna (correlación múltiple y experimental) con humedad en los suelos de Mérida.....	106

www.bdigital.ula.ve

INTRODUCCION

El ejercicio profesional de la Ingeniería Civil se encuentra en un proceso dinámico de aprendizaje diario, a través de estudios teóricos y experimentales. En este sentido, es de vital importancia poder correlacionar parámetros que faciliten el desenvolvimiento más eficiente de la ingeniería, y que puedan ser utilizados en forma confiable en el diseño de obras civiles, y dentro de intervalos previamente establecidos, al aplicar los conocimientos matemáticos y de estadística.

El suelo está conformado por partículas sólidas, agua y aire contenidos en los espacios intersticiales, por lo tanto, su naturaleza no es continua, por el contrario está conformado por partículas discretas que varían en tamaño, desde gravas hasta arcillas. Además, debe tenerse en cuenta que esta composición puede variar de un sitio a otro y la distribución puede tener alguna dirección predominante.

La estabilidad de los suelos depende en gran proporción a sus propiedades intrínsecas como lo son; el ángulo de fricción interna, su cohesión, el índice de densidad o densidad relativa, y el índice de huecos que tiene la masa suelo. Es de gran aporte poder realizar un vínculo entre ellos que de certeza en la evaluación lógica de estos parámetros, que generarían un aporte de gran importancia para el control de capacidad de soporte en los suelos, en el diseño apropiado de muros de contención y en el de la seguridad al no deslizamiento de taludes.

La intención de esta investigación es dar una pequeña contribución que permita comparar los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorios, con las obtenidas a través de otros investigadores para así tener una correlación de los parámetros estudiados para anteproyectos realizados en la ciudad de Mérida.

El desarrollo del presente estudio tiene la finalidad de correlacionar experimental y analíticamente, algunos de los parámetros que están directamente

vinculados a la resistencia de suelos granulares, como lo son el ángulo de fricción interna (ϕ), densidad relativa (D_r), relación de vacíos (e), porosidad (n), entre otras propiedades volumétricas de la mecánica de suelos.

El presente trabajo de investigación se ha estructurado en cinco capítulos:

Capítulo I: El Problema, constituido por el planteamiento y su alcance, así como la formulación de los objetivos, justificación y limitaciones de la investigación.

Capítulo II: Marco Teórico, en el se presentan los antecedentes históricos tanto del problema como de la investigación, los fundamentos teóricos, el marco conceptual, que abarca la definición de términos básicos.

Capítulo III: Marco Metodológico, describe la metodología, se especifica el tipo de investigación, toma muestral, así como los materiales y métodos empleados en el laboratorio, el procedimiento seguido durante el desarrollo de la investigación, las variables seleccionadas y la formulación de la hipótesis.

Capítulo IV: Se describe un breve resumen de la geología local de la terraza de Mérida, como también algunos aspectos generales sobre la composición y origen de los suelos, su relieve, clima, vegetación, sismicidad.

Capítulo V: Se presentan los resultados obtenidos, análisis y discusión, así como el aporte realizado en la investigación, al relacionar el ángulo de fricción interna ϕ , con la densidad relativa, y la relación de vacíos en suelos granulares.

Finalmente se muestran las conclusiones y recomendaciones, al igual que las referencias y sus respectivos anexos.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema.

Como es conocido en la ejecución de obras civiles la conducta del suelo en todas sus dimensiones está vinculada al comportamiento exitoso de cualquier estructura que genere presión sobre él. Es por ello que es fundamental conocer la capacidad portante del suelo, siendo entonces imperativo analizar los diferentes parámetros que están vinculados a su resistencia.

Los espacios vacíos dentro de la masa del suelo son objeto de estudio de gran relevancia en el concepto de la resistencia del suelo. La determinación de propiedades índices de los suelos como lo son la relación de vacíos (e), y la porosidad (n) son claves en la conducta del ángulo de fricción interna (ϕ), parámetro asociado directamente con la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos y por ende su resistencia a los cambios de forma. La variabilidad de estos parámetros va a estar determinado por la forma como estos espacios están incorporados al suelo.

El estado de densificación de la masa de suelos también es otro de los conceptos a evaluar, en la conducta resistente del suelo. Este grado de densificación del suelo se puede medir con el parámetro de la densidad relativa o índice de densidad (D_r) medido en porcentaje. Este evalúa un valor de comparación entre los diferentes estados de densificación de un suelo, como son el estado mas suelto, más compacto y natural del suelo. Como se puede observar el referido índice de vacíos también esta vinculado a la forma como están distribuidos estos espacios vacíos dentro de la masa

de suelo. Intuitivamente se puede analizar que la densidad relativa es otro parámetro que está directamente relacionado con la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos, ya que, a mayor densidad relativa es mayor la resistencia en suelos granulares, porque existe mejor trabazón entre los granos generando más resistencia al un esfuerzo tangencial de corte, por tanto es importante considerar la relación que existe entre el ángulo de fricción interna y la densidad relativa.

Se plantea por tanto, en este estudio la búsqueda de ecuaciones que puedan estar vinculadas a estos parámetros, y que puedan dar soluciones prácticas en el cálculo de la resistencia del suelo, o que puedan servir de comparación con otros ensayos realizados y así evaluar con mayor certeza la confiabilidad de los parámetros encontrados.

En este estudio está limitado a la escogencia de suelos con ciertas características específicas, ya que, el suelo tiene una gran variabilidad en las mismas. Por tanto en esta investigación se ha escogido un espacio muestral de suelos granulares tomados de algunos puntos seleccionados en la meseta de Mérida, donde la composición del material de esta ciudad es en su mayoría granular y con poca cohesión.

1.2. Delimitación del Problema

Este estudio de investigación se desarrolló en la meseta de Mérida, llevando a cabo un muestreo en varios puntos de la zona, los mismos fueron referenciados por FUNDAPRIS en ubicaciones claves donde ellos realizan un estudio de microzonificación sísmica.

Esta investigación está basada en la utilización de materiales granulares, donde la zona de Mérida se convierte en la fuente del espacio muestral para el estudio, y esta circunscripción está constituida por depósitos aluvionales, el tamaño de sus granos varía desde grandes fragmentos de rocas, como los encontrados en los lechos de los ríos, a grava, arena, limo y algo de arcilla.

Cabe destacar que la muestra ensayada no han sido objeto de cambios en su composición de tamaños ni en el contenido de sus finos, se ensayaron tal como fueron extraídas del lugar, aunque esto generó la ampliación de las limitantes de las variables, y en consecuencia, la comparación con otros estudios donde las condiciones empleadas son un poco mas cerradas al ensayar, por ejemplo, únicamente arenas. Es importante acotar que el desarrollo de esta investigación fue restringida a suelos clasificados como suelos granulares.

1.3. Formulación de Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Determinar el parámetro de resistencia, ángulo de fricción interna (ϕ), y su relación con los parámetros, densidad relativa (Dr.), y relación de vacíos (e) en suelos granulares.

1.3.2. Objetivos Específicos

Evaluar la influencia de la relación de vacíos (e) y la densidad relativa (Dr.) en la determinación del ángulo de fricción interna (ϕ) en suelos granulares.

Determinar la relación existente entre el parámetro auxiliar porosidad (n) y el ángulo de fricción interna (ϕ).

Encontrar ecuaciones matemáticas que permitan correlacionar parámetros como: ángulo de fricción interna (ϕ), relación de vacíos (e), densidad relativa (Dr.) en los suelos de la meseta de la ciudad de Mérida, y que puedan ser utilizadas en otros estudios de comportamiento mecánico del suelo que tengan las características de los suelos investigados y dentro de intervalo de valores obtenidos en la investigación.

Establecer comparación entre las ecuaciones encontradas con otras propuestas por otros autores, así como la comparación con gráficos y o ábacos encontrados por otros investigadores.

Realizar un estudio estadístico de las ecuaciones encontradas con el programa Crystal Ball empleando la técnica de simulación de Monte Carlo, para encontrar parámetros como, la media, desviación estándar, percentiles, coeficiente de variación entre otros.

Encontrar ecuaciones matemáticas que correlacionen los parámetros (ϕ , c , ω , ρ_d), con ayuda de la correlación múltiple de la hoja de cálculo Excel, para determinar la influencia del contenido de humedad en el parámetro de resistencia ϕ

Calcular la proporción que existe al comparar la densidad máxima seca ($\rho_{d\text{máx}}$) obtenida bajo la norma (Próctor Modificado T180-D) y la ($\rho_{d\text{máx}}$) obtenida en la mesa vibratoria bajo condiciones del suelo seco. Y Determinar analíticamente la proporción entre la energía de compactación bajo la norma (Próctor Modificado T180-D) y la energía de compactación que genera la mesa vibratoria.

1.4. Justificación

Los suelos tienen una gran variabilidad entre un lugar y otro debido a muchas razones como el tipo de formación, el clima, la vegetación, la forma, como se fueron depositando y una serie de cambios físico químicos que va experimentando desde los inicios de su formación.

Teniendo en cuenta lo previamente indicado se observa que los suelos tienen una gran gama de tipos, que abordarlos todos sería una tarea muy laboriosa sin embargo se ha considerado investigar los suelos granulares de la meseta de Mérida

por la importancia que tiene para la región, por cuanto los parámetros obtenidos servirán de base a futuros estudios de suelo y por ende en la determinación de la capacidad portante del suelo.

De igual forma la Ingeniería Geotécnica cuando realiza estudios para la implantación de obras civiles tiene, en la mayoría de los casos se apoyan en estudios ya realizados o en estudios experimentales, con el propósito de vincular cualquier tipo de estructura a ejecutar, con la resistencia del suelo. Y es precisamente por ello que se investiga un tópico tan importante de la mecánica de suelos, como lo es el ángulo de fricción interna ϕ y su relación con otros parámetros como la densidad relativa (D_r) y de relaciones volumétricas (la relación de vacíos (e) y la porosidad (n)).

En tal sentido, muchos autores como (Meyerhof [39], Cauquot [13], y Giraudet [15] entre otros han hecho estudios entre las variables nombradas, los mismos han dado muy buenos resultados, es por ello que conviene indicar que el mismo no es novedoso pero es un aporte más y puede ser aplicado a la meseta de Mérida específicamente.

De igual forma, el presente estudio permite resaltar los propósitos generales de la carrera de Ingeniería Civil, cuyo objetivo es favorecer a los habitantes de una región, con miras de mejorar su calidad de vida. Tal meta es lograda a través de esta investigación, por cuanto, las correlaciones obtenidas podrán ser utilizadas en edificaciones, proyectos de vialidad, muros, estabilización de taludes y puentes entre muchas de las aplicaciones de esta rama de la ingeniería.

1.5 Limitaciones

En el desarrollo de la investigación se encontraron limitantes para la comparación de los resultados respecto a estudios anteriores debido que los materiales usados presentan un porcentaje de “finos” considerable entre 7% y 24%,

es decir, el medio no es totalmente incoherente y esto se refleja en el cálculo de la plasticidad. Los medios planteados por algunos autores que citaremos hacen su investigación con medios incoherentes, sólo Meyerhof [39] atiende un poco a esta condición encontrada en este estudio, su ecuación es para suelos con % de finos mayores del 5%, Por tanto esto genera una variabilidad en la comparación, sin embargo, la tendencia lógica de las curvas se mantiene.

Otra limitación es que la escogencia del material para realizar los ensayos de corte directo se hizo con material pasado por el tamiz N° 3/4" en forma general para todo el espacio muestral, por tanto no se hizo la representación de la granulometría homotética como condición para la realización de los experimentos, sin embargo, se tomó muy en cuenta que la selección de la muestra fuera representativa para que todos los tamaños presentes en los suelos ensayados estuvieran bien representados en cada uno de los ensayos que se realizaron.

1.6 Hipótesis

El Ángulo de fricción (ϕ) aumenta cuando la relación de vacíos (e) disminuye y aumentando la densidad relativa.

Al aumentar el porcentaje de finos el ángulo de fricción interna (ϕ) y la porosidad (n) disminuye.

La densidad máxima seca ($\rho d_{máx}$) obtenida bajo la norma (Próctor Modificado T180-D) y la ($\rho d_{máx}$) obtenida en la mesa vibratoria bajo condiciones del suelo seco están relacionadas a través de la ecuación $(\rho d)_{máx}^{vibrado} = 0,8 * (\rho d)_{máx}^{Próctor}$

El ángulo de fricción interna aumenta con el contenido de humedad pero hasta cierto punto ya que el exceso hace que este disminuya

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se presentan algunos antecedentes históricos sobre la determinación del ángulo de fricción interna, y su relación con los parámetros, la densidad relativa (D_r) y la relación de vacíos (e) en suelos granulares, a la vez se describen una serie de definiciones utilizadas en el desarrollo de la investigación.

2.1. Antecedentes Históricos

La abundante investigación desarrollada en los últimos años en el campo de la Mecánica de Suelos, ha sido de gran importancia para la evolución en esta materia, observándose que cada día se avanza en áreas relacionadas con el comportamiento de la masa de suelo, siendo uno de los temas más difíciles de abordar el de la resistencia al esfuerzo cortante. Los problemas que se plantean han sido enfocados por distintos investigadores en formas diversas, para entender de manera coherente los resultados, se precisa de un amplio y profundo conocimiento de las diferentes teorías.

Los tópicos que se siguen en este tipo de investigación tiene diversos factores que determinan la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo granular seco. Estos factores se pueden separar en dos grupos generales; un primer grupo se refiere a aquellos factores que influyen sobre la resistencia al corte de un suelo determinando la relación de vacíos, la presión de confinamiento, la velocidad de carga, etc.

Un segundo grupo incluye aquellos factores que hacen que la resistencia de un suelo difiera de otros factores como el tamaño, la compacidad y la granulometría de las partículas que constituyen el suelo, incluso para la misma presión de confinamiento y relación de vacíos. Sin embargo en esta investigación sólo se enfocará en función de la relación de vacíos y la compacidad relativa.

Han sido muchos los trabajos que se han realizado sobre el referido tema pero siempre limitados bajo condiciones específicas. Así Camacho et al. [12], de la Universidad Militar Nueva Granada de Bogotá Colombia, en la investigación científica titulada “Anisotropía de esfuerzos y resistencia al corte de arenas” desarrollaron ensayos de laboratorio para estudiar de que forma pueden relacionar las condiciones anisotropía inducida por esfuerzos, sobre los parámetros de resistencia en arenas. Para ello, utilizaron arena limpia y se controlaron la distribución granulométrica y la densidad relativa de cada espécimen.

En este trabajo, los ensayos se realizaron para una combinación preestablecida de esfuerzos bajo condiciones drenadas. Finalmente cada probeta fue llevada a la falla para obtener los parámetros de resistencia al corte, y los resultados obtenidos muestran variaciones de hasta un 10% en el ángulo de fricción interna, dependiendo de la densidad relativa del material, además, observaron efectos negativos, especialmente en arenas mal gradadas y de densidad relativa media.

Otra de las investigaciones que han estudiado la relación de las diferentes variables que afectan el ángulo de fricción interna es la efectuada por Rowe [43], en su investigación titulada “La relación entre la resistencia al esfuerzo cortante de las arenas en compresión triaxial, deformación plana y corte directo” Rowe [43] demostró una relación teórica que deriva entre los valores ϕ de Coulomb, para arenas drenadas saturadas medidas en pruebas de corte directo y prueba de compresión de deformación plana usando la ecuación de dilatación-esfuerzo, la hipótesis planteaba que las direcciones del incremento de deformación principal y esfuerzo principal coinciden.

Las medidas de dilatación limitante en compresión triaxial permiten una comparación plena de los valores ϕ que se esperan en estos tres tipos de prueba. Arrojando que los datos experimentales disponibles presentes indican un acercamiento al rango $\mu_{\phi}= 17^{\circ}$ - 39° para suelos sin adherencia.

Por otra parte, los resultados experimentales en los medios incoherentes que se han realizado en arenas en estado seco o con agua, se explicaron bastante bien en el estudio del contacto de sílice sobre sílice, mostrando que en efecto, el agua es un excelente lubricante para ese material y que solamente una pequeña cantidad es suficiente para asegurar esta lubricación.

Ahora bien, en dicha investigación se plantea que una arena no es jamás químicamente seca; se comprende que en estas condiciones, el ángulo de fricción interno sea igual para una arena húmeda que para una arena seca. Sin embargo, algunos autores como Terzaghi [48], indican que los valores obtenidos son inferiores en 1° a 2° en condiciones húmedas.

2.1.1 Aportes al ángulo de fricción según las características, estados y granulometría del suelo.

El ángulo de fricción interno ϕ depende esencialmente de factores como la compacidad del material, de la forma de los granos, de su grosor y de la granulometría. En la siguiente tabla, expuesta en el 2do Congreso Internacional de Rotterdam en 1948 por los autores Costet y Sanglerat [15], donde se precisa el orden de magnitud de la influencia de estos diferentes factores.

Tabla N° 1

Valores del ángulo de fricción interno de los medios incoherentes, Según Costet y Sanglerat) [15]

$\phi = 36^\circ + \phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4$			
Compacidad.....	ϕ_1	suelta	- 6 °
		media	0
		compacta	+ 6 °
		aguda	+ 1 °
Forma y rugosidad de los granos.	ϕ_2	media	0
		redondeada	- 3 °
		muy redondeada	- 5 °
		arena	0
Grosor de los Granos...	ϕ_3	grava fina	+ 1 °
		grava gruesa	+ 2 °
		uniforme	- 3 °
Granulometría.....	ϕ_4	media	0
		abierta	+ 3 °

A través de la tabla se observa que la compacidad tiene una influencia considerable en la resistencia al corte y por lo tanto, es uno de los aspectos fundamentales al estudiar la resistencia al esfuerzo cortante de las arenas.

2.1.2 Influencia del la relación de vacíos e y la porosidad n, en el ángulo de fricción interna.

Otro resultado que puede verse en la figura N° 1 y en las investigaciones obtenidos por Bjerrum, para una arena fina de granulometría bastante uniforme.

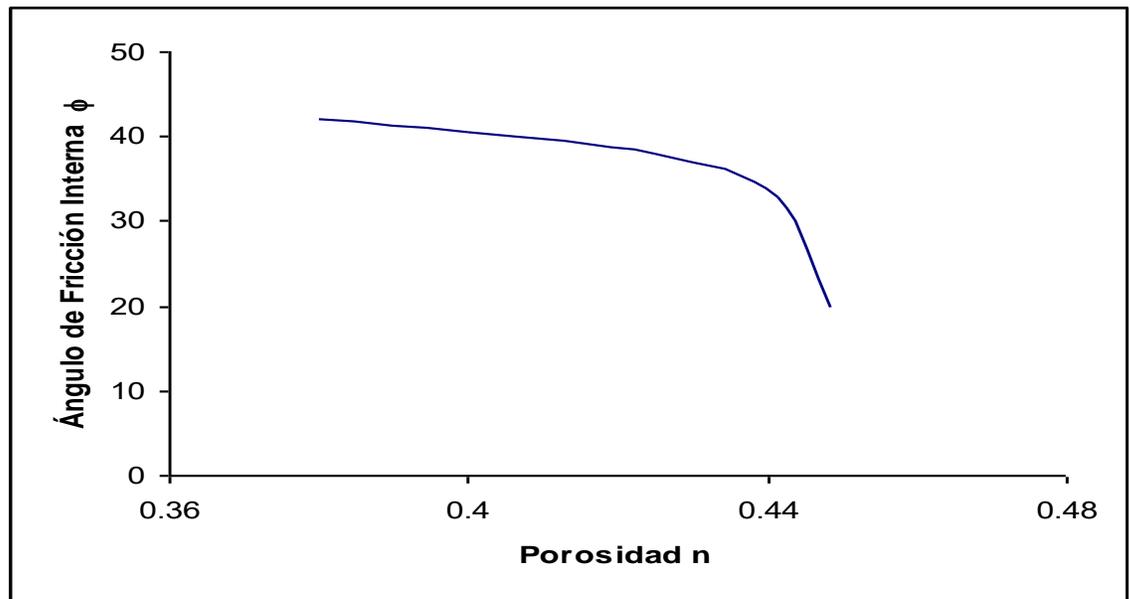


Figura N ° 1 Variación del ángulo de fricción interno de una arena fina en función de la porosidad. (Según Bjerrum). Tomado del Costet y Sanglerat [15]

Por otro lado, se han propuesto varias fórmulas empíricas a través de pruebas de laboratorio en los cuales se relaciona $\phi = f(e)$. En este sentido, cabe destacar a Chen [9], quien ha propuesto la siguiente ecuación

$$\phi = \phi_1 + \phi_2 * \lg e \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde ϕ_1 y ϕ_2 están indicados en la tabla N° 1.

ϕ_2 esta en el orden de 60°. Por otra parte citaremos también la de Giraudet [15]:

$$\text{tg } \phi = 0,25 + \frac{0,3}{e} \quad \text{Ec. 2.2}$$

En 1969 Caquot y Kérisel [13], propusieron una fórmula más sencilla:

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{K}{e}$$

Ec. 2.3

Dicha ecuación se aproxima bastante bien a los valores reportados en la tabla N° 1. El valor de K depende de la forma de los granos, de la rugosidad y de la uniformidad de la granulometría. Estos autores indicaron que K varía entre 0,40 y 0,60. y establecen que un valor de 0,55 se ajusta bastante bien en arenas de grano rugoso uniforme.

En la fórmula $\operatorname{tg} \phi = \frac{K}{e}$ empleando el valor de K= 0,55 se ha obtenido la tabla N° 2.

Tabla N ° 2 Valores de $\phi = f(e)$. Según Cauquot y Kérisel

e.....	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
n.....	0,50	0,47	0,44	0,41	0,38	0,33
ϕ	29°	32°	35°	38°	43°	48°

La influencia de la compacidad sobre el ángulo de fricción interna en una arena, origina incertidumbre sobre el interés en los ensayos de corte en el laboratorio, debido a que es muy difícil tomar arenas in situ sin alterar su compacidad y es además igualmente difícil reproducir la compacidad exacta de una capa relativamente profunda.

Los valores de ϕ pueden variar poco, más o menos entre 29° y 48°, comprobándose que los más habituales están comprendidos entre 30° y 40°. Parece prudente emplear las recomendaciones del Servicio de Ingeniería Americano que dicen textualmente:

“Generalmente es mejor estimar el valor del ángulo de rozamiento interno, en lo que respecta a las arenas, que ejecutar un número limitado de ensayos sobre gran número de muestras. Es recomendable utilizar en esta estimación el valor de 30° si la compacidad es débil y 35° si es fuerte”.

De igual modo, otra correlación de gran utilidad señalada por la NAVFAC [35], plantea que el ángulo de fricción interna para arenas oscila entre 26° y 45° , variando con la compacidad relativa, a través de la cual se puede estimar el valor de ϕ tomando en cuenta diferentes suelos gruesos, como se muestra en la figura N° 2.

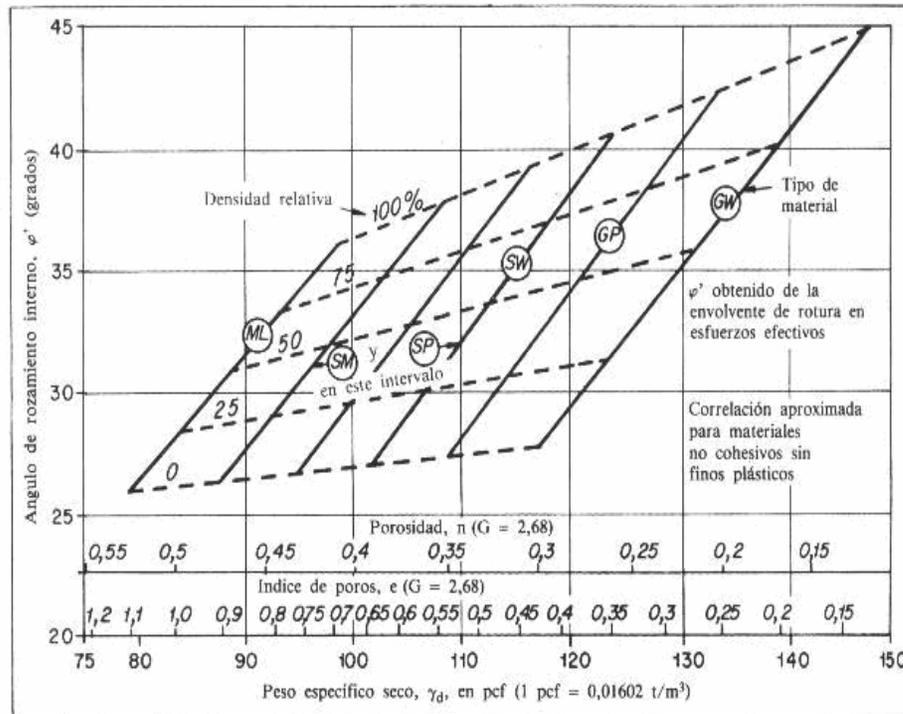


Fig. N° 2 Relación entre el ángulo de fricción interna efectivo y el peso unitario seco para suelos granulares. Según NAVFAC. Tomado del Lambe [35].

2.1.3 Relación entre el parámetro de resistencia y el contenido de humedad.

Teniendo en cuenta la relación que existe entre el parámetro de resistencia y el contenido de humedad, es otro punto importante que es necesario abordar en esta investigación, considerando que el agua sirve de lubricante entre partículas y por ende el desplazamiento entre las mismas. En la investigación realizada por: Hossne et al [28]. Los autores explican que la resistencia de los suelos agrícolas generalmente han sido evaluados en función de la compactación al medir la densidad sin hacer referencia de la humedad. Este estudio estuvo dirigido en evaluar el cizallamiento a los suelos con diferentes niveles de humedad edáfica (ω) para cada tensión normal (σ), las interrelaciones con la cohesión aparente (C) y el ángulo de fricción interna de un suelo agrícola. Estos autores usaron como medio experimental para sus muestras la prueba del triaxial encontrando la siguiente expresión: $\tau = -0,782\omega + 1,180C + 6,745\phi - 1,152$, observando que la resistencia (τ) aumenta al elevar la tensión normal, pero, decrece con la humedad y tiende a cero cuando el estado del suelo se acerca al límite líquido.

En suelos no saturados las tensiones capilares generan una adherencia entre las partículas denominada: cohesión aparente, y un ejemplo clásico es la arena de playa (medio incoherente) que permite ser moldeada con una cierta cantidad de humedad



La relación encontrada por los referidos investigadores es muy importante porque, aunque se inclina a la Ingeniería Agrícola esta fue obtenida bajo los principios fundamentales de la Mecánica de Suelos, por tanto, dan un aporte muy sustancial en estudios relacionados con la capacidad portante y resistente del suelo. Igualmente, la expresión antes descrita servirá como medio para comparar los resultados obtenidos en este estudio.

En otra investigación realizada por Durán G. [20]. Este autor analizó la deformación y la rotura de un suelo de textura media con 45% de arena, 40% de limo y 15% de arcilla. (Suelos francos aptos para cultivos), y con ayuda de la prueba de corte directo, ensayó muestras a diferentes contenidos de humedad. En su investigación determinó la cohesión y el ángulo de fricción interna suelo-suelo, en función de su humedad. Llegando a la conclusión que la humedad tuvo un efecto directo sobre la cohesión. El ángulo de fricción interna suelo-suelo también se ve afectado con el aumento del contenido de humedad observándose el aumento gradual con la humedad hasta el 12 % y luego tiende a disminuir, las variables medidas en esa investigación se pueden apreciar en la Tabla N° 3.

Tabla N ° 3 Efecto del contenido de humedad sobre la cohesión y, resistencia máxima al corte suelo-suelo y suelo-metal, ángulo de fricción interna, esfuerzo máximo y modulo de deformación. Según Duran G.

Variables medidas		Humedad (%w/w)						
		2	8	12	15	20	25	
Cohesión (kpa)	Cohesión	2,5	15	24	0,5	0	0	
Resistencia máxima al corte (kpa)	suelo	100	35	45	52	50	41	41
	metal	128	55	62	68	64	55	52
		156	67	75	83	74	62	66
Ángulo de fricción interna (grados)	suelo-suelo	23	25	27	26	22	25	
	suelo-metal	40	34	29	34	34	34	
Esfuerzo cortante máximo (kpa)	suelo-suelo	97	108	900	83	85	83	
	suelo-metal	52	60	65	63	54	56	

Módulo de	suelo-suelo	1,49	2,9	2,2	1,6	1,37	1,45
deformación k (mm)	suelo-metal	0,64	0,63	0,87	0,95	0,86	0,67

2.1.4 Contribución de otros autores en relación al ángulo de fricción interna ϕ la densidad relativa D_r .

En la figura N° 3 se presentan conjuntamente los ábacos empíricos propuestos por Meyerhof [39], y Peck [41], en los mismos el ensayo SPT también esta involucrado.

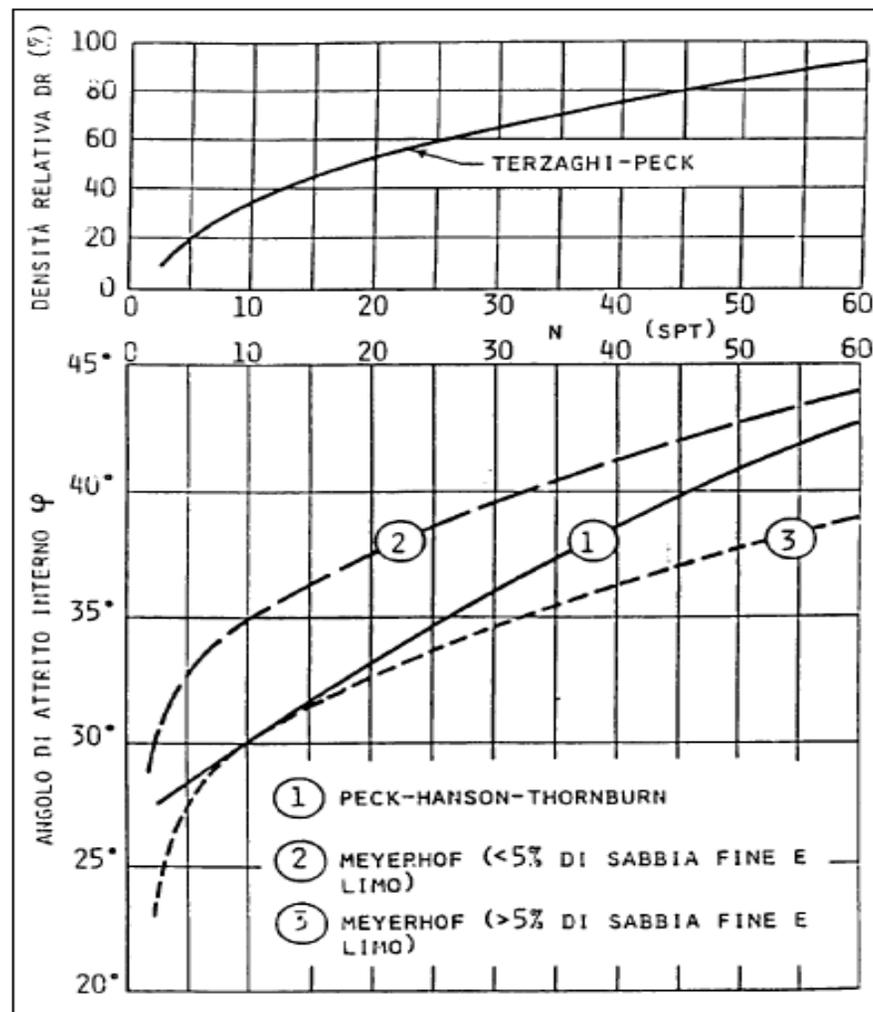


Fig. N° 3 Estimación del ángulos de fricción interna con la densidad relativa y el ensayo SPT, propuesta por Meyerhof y Peck et al. La Grafica según Tomaghi. Tomado de IGEOTEST [29].

Las expresiones de Meyerhof se indican en al siguiente tabla N° 4

Tabla N ° 4 Expresiones de Meyerhof [39]

> 5% arena fina y limo	< 5% arena fina y limo
$\phi = 25 + 0.15Dr\%$	$\phi = 30 + 0.15Dr\%$

Por otro lado Burmister [10], propuso correlaciones entre Dr . y ϕ en función de la granulometría del suelo. Las expresiones de este autor se presentan en la tabla N° 5.

Tabla N ° 5 Relación entre Dr y ϕ . Según Burmister [10].

Gravilla uniforme	Arena gruesa	Arena media	Arena fina
$\phi = 38 + 0.08Dr\%$	$\phi = 34.5 + 0.10Dr\%$	$\phi = 31.5 + 0.115Dr\%$	$\phi = 28 + 0.14Dr\%$

Y mediante métodos estadísticos Giuliani y Nicoll [24] propusieron en (1982):

$$Tg(\phi) = 0,575 + 0.361Dr^{0.866} \quad \text{Ec. 2.4}$$

2.2. Fundamentación Teórica

En líneas generales, el estudio realizado se apoyó en base a conocimientos básicos de la mecánica de suelos, como también, en los conceptos de las relaciones entre los parámetros relevantes de este estudio para darle mayor comprensión a los resultados. La finalidad de presentar detalladamente este apartado fue destacar la importancia que tiene el conocimiento de las bases teóricas de la mecánica de suelos y a si poder evaluar con mayor claridad los resultados obtenidos tanto en la forma experimental como los obtenidos al correlacionarlos analíticamente.

2.2.1. Suelo

Es común la creencia de que el suelo es un agregado de partículas orgánicas e inorgánicas, no sujetas a ninguna organización, pero en realidad se trata de un conjunto con organización definida y propiedades que varían “vectorialmente”. En la dirección vertical generalmente sus propiedades cambian mucho más rápidamente que en la horizontal.

El suelo es un término de que hacen uso diferentes profesionales, su interpretación varia de acuerdo con sus respectivos intereses; para el Agrónomo, por ejemplo, la palabra se aplica a la parte superficial de la corteza terrestre capaz de sustentar vida fértil, para el Geólogo, es todo material intemperizado en el lugar que ahora se encuentra y con contenido de materia orgánica cerca de la superficie.

Para los fines de la Ingeniería Civil la palabra suelo representa todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicio, hasta areniscas parcialmente cementadas o lutitas suaves. Quedan excluidas de la definición las rocas sanas, ígneas o metamórficas y los depósitos sedimentarios altamente cementados, que so se ablanden o desintegren rápidamente por acción del comportamiento mecánico del suelo, que deben considerarse como parte integral del mismo.

2.2.2. Consistencia y límites de Atterberg

Los límites de Atterberg y sus índices de consistencia han constituido unos valores muy útiles para caracterizar los conjuntos de partículas de suelos. Los límites se basan en el concepto de que un suelo de grano fino solamente puede existir en cuatro estados de consistencia según su humedad.

Un suelo se encuentra en estado sólido cuando está seco, pasando al añadir agua a los estados semisólido, plástico y finalmente líquido como se indica en la figura N° 4. Los contenidos de humedad se denominan como límite líquido, límite plástico y límite de retracción o contracción, mientras que la diferencia entre los puntos de transición antes mencionados se llaman estados de consistencia.

Un suelo como material puede presentar varios estados de consistencia, según su contenido de humedad. Cuanto mayor cantidad de esta posee el suelo, menor será la interacción entre las partículas adyacentes y más se aproximará su comportamiento a un líquido.

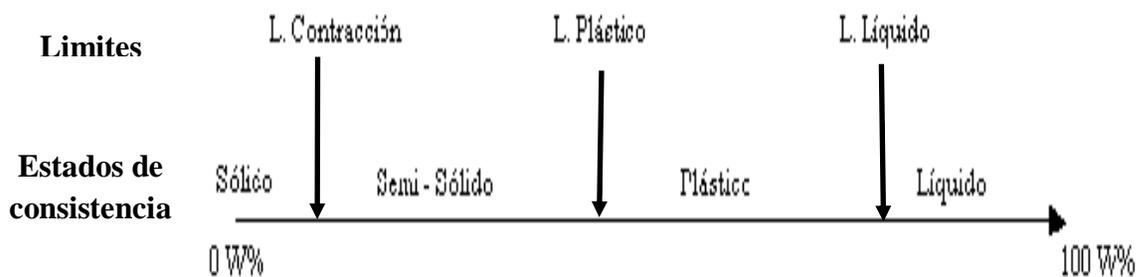


Figura N° 4 Consistencias del suelo en función del contenido de humedad.

2.2.3. Índice de Plasticidad, IP

Se define índice de plasticidad como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, es decir:

$$LP = LL - LP \quad \text{Ec. 2.5}$$

Donde LL y LP se expresan en %.

2.2.4. Porosidad y relación de vacíos.

La porosidad, n , es la relación entre el volumen de vacíos o poros (volumen de agua y volumen de aire en el suelo) respecto al volumen total de suelo:

$$n = \frac{V_v}{V} \quad \text{Ec. 2.6}$$

Es un parámetro adimensional y, toma valores que varían entre 0 y 1.

El índice de poros o relación de vacíos, e , es la relación entre el volumen de huecos o poros y el volumen de sólido, es decir:

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad \text{Ec. 2.7}$$

Donde V_v es el volumen de poros y V_s es el volumen de sólido. El índice de poros es un parámetro adimensional.

El índice de poros es un parámetro también adimensional que varía entre 0 y 13 en suelos de elevado contenido orgánico.

2.2.5. Peso específico natural y densidad relativa

El peso específico natural es la relación entre el peso total y el volumen total del suelo, es decir:

$$\rho = \frac{Wm}{Vm} \quad \text{Ec. 2.8}$$

A partir de la relación de vacíos, e , se define la densidad relativa Dr . como:

$$Dr \% = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} 100 \quad \text{Ec. 2.9}$$

Donde se puede observa que:

Cuando $\rightarrow e = e_{\max} \Rightarrow Dr = 0 \rightarrow \text{suelo .suelto}$

Cuando $\rightarrow e = e_{\min} \Rightarrow Dr = 100\% \rightarrow \text{suelo .muy.compacto}$

Donde e_{\max} , es el índice de poros máximo que corresponde al estado más suelto del suelo y e_{\min} y el índice de poros mínimo corresponde al estado más compacto del mismo. e , es el índice de poros determinado del suelo. Para determinar el índice de poros máximo se introduce el suelo, previamente secado al horno, se agrega en un recipiente de volumen conocido. Para determinar el índice de poros mínimo se introduce el suelo seco en el mismo recipiente pero por capas, vibrando energéticamente cada capa hasta observar que no adquiere mayor compactación. Una vez enrasado el recipiente se calcula su e .

Tabla N° 6 Densidades relativas y compactación asociada. Según Lambe [35]

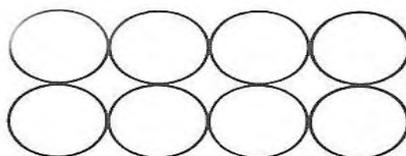
Compacidad Relativa (%)	Denominación
0 - 15	Muy suelta
15 - 35	Suelta

35 - 65	Media
65 - 85	Compacta
85 - 100	Muy Compacta

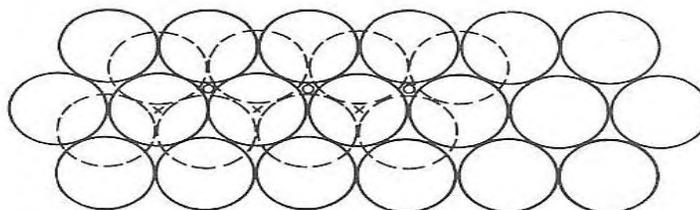
Este parámetro se utiliza para caracterizar materiales arenosos, de forma que una densidad relativa del 0 % equivaldría a una arena suelta y una del 100 % a una arena densa. La tabla N° 6 califica el estado de compactación del suelo en función de la densidad relativa, D_r

2.2.6. Valores típicos de las relaciones entre fases para suelos granulares

El ordenamiento de las partículas individuales en un suelo granular puede recibir el nombre de arreglo. Este arreglo de granos de suelo o cualquier otro medio particulado, está fuertemente influido por la distribución del tamaño de las partículas y su forma. La figura N° 5-a, ilustra el arreglo ideal de esferas en un volumen que tiene el espesor de una esfera. En la figura N° 5-b, se ha ordenado el mismo número de esferas en una condición más densa denominada arreglo rómbico. Las agrupaciones compactas representan el estado mas cerrado del sistema mientras que la agrupación cúbica simple es la menos compacta de todas las agrupaciones.



(a)



(b)

Figura N° 5. Agrupaciones de esferas iguales. a) Planta y alzado de una agrupación cúbica. b) Planta de duna agrupación, compacta. Primera capa: círculos de línea continua; segunda capa: círculo de trazos; señala la posición de los centros de las esferas de la tercera capa en una disposición cúbica de caras centradas y x, en una disposición hexagonal compacta. (Según Deresiewicz) [17]

Partiendo de estas agrupaciones simples se puede establecer la comparación de la relación de vacíos la porosidad, dándose algunos resultados en la tabla N° 7.

Tabla N° 7. Compacidades máximas y mínimas de suelos granulares (Según Lambe) [35]

Descripción	Relación de vacíos (e)		Porosidad (%)		Peso específico seco (Ton/m ³)	
	e _{máx}	e _{mín}	n _{máx}	n _{mín}	ρ _d máx	ρ _d mín
Esferas uniformes	0,92	0,35	47,6	26,0		
Arena de Ottawa normalizada	0,80	0,50	44	33	1,47	1,76
Arena limpia uniforme	1,0	0,40	50	29	1,33	1,89
Limo inorgánico	1,1	0,40	52	29	1,28	1,89
Arena limosa	0,90	0,30	47	23	1,39	2,03
Arena fina a gruesa	0,95	0,20	49	17	1,36	2,21
Arena micácea	1,2	0,40	55	29	1,22	1,92
Arena, limosa y grava	0,85	0,14	46	12	1,42	2,34

2.2.7. Influencia de la relación de vacíos inicial

El ángulo de fricción ϕ y la relación de vacíos e variara de una arena a otra, pero la tendencia es que ϕ es mas grande cuanto mas compacto es el suelo. Para observar este aspecto de la tendencia del suelo en cuanto a estos dos parámetros se muestra

la figura N° 6 que indica a relación entre el ángulo de fricción interna ϕ , la relación de vacíos e_o y la porosidad de una arena media a fina.

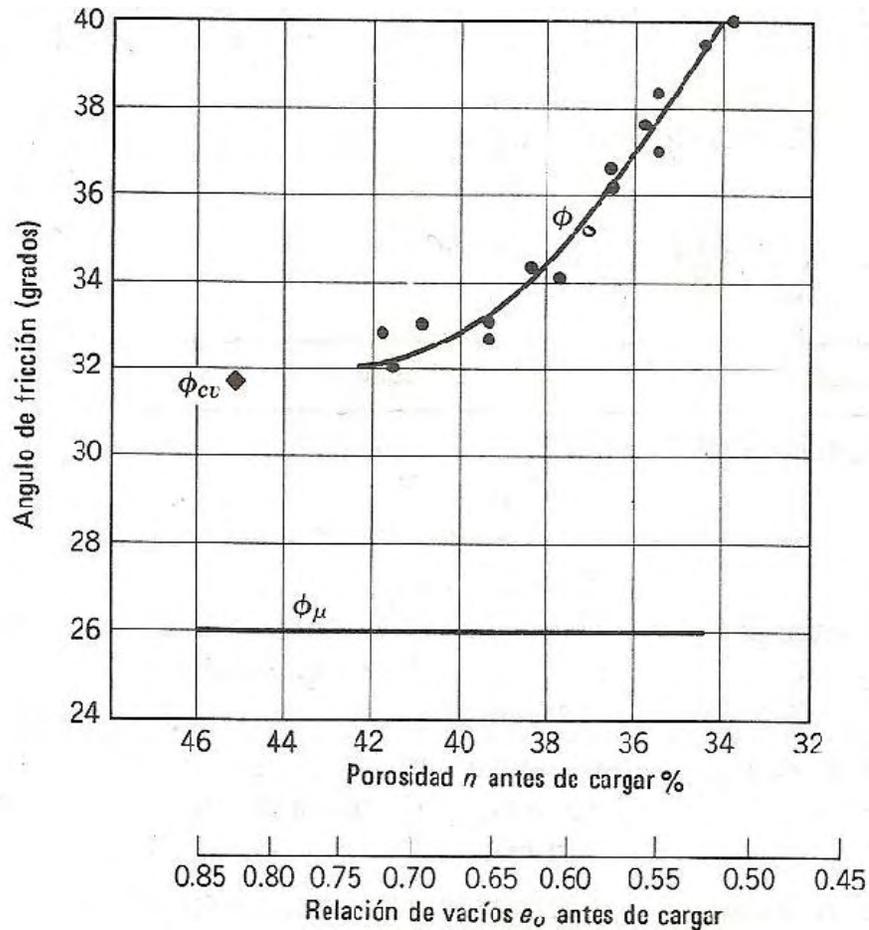


Figura N° 6. Relación entre el ángulo de fricción interna y la porosidad inicial en arena fina a media (Según Rowe) [43]

Nota: Obsérvese que la figura N° 6 posee dos escalas en el eje de las abscisas. El superior pertenece a la porosidad y el inferior a su relación de vacíos.

2.2.8 Algunos Factores que afectan la resistencia al corte

Es evidente según lo expuesto anteriormente que hay muchos factores que afectan la resistencia al esfuerzo cortante, de tal forma que a continuación se nombran algunos:

1. Presión, efectiva o intergranular $\sigma' = \sigma - \mu$
2. Trabazón de las partículas; así, partículas angulares dan mayor trabazón y mayor resistencia al corte (mayor ángulo ϕ) que partículas redondeadas tales como gravas angulares y arenas (ver tabla N° 8).
3. Arreglo de las partículas o densidad.
4. Cementación de las partículas ya sea natural o de cualquier forma.
5. Atracción entre partículas o cohesión. Obsérvese que la cohesión aparente debida a los efectos de capilaridad puede también estar presente.
6. Contenido de Agua, particularmente para suelos cohesivos.
7. Calidad de las muestras.
8. Método de ensayo ya sea U, CU o CD.
9. Otros efectos como la temperatura, habilidad del laboratorista, condiciones del equipo del laboratorio, etc.

Tabla N° 8. Intervalo típico de valores del ángulo verdadero de fricción interna ϕ para varios suelos. (Según Bowles J.) [7]

Suelo	Ángulo de Fricción Interna ϕ	
	Suelto	Denso
Arena, triturada (angular)	32-36°	35-45°
Arena, de depósitos (sub-angular)	30-34	34-40
Arena, de playa (bien redondeada)	28-32	32-38
Grava, triturada	36-40	40-50
Grava, de depósitos	34-38	38-42
Arena limosa	25-35	30-36
Limo inorgánico	25-35	30-35

Podría esperarse que las partículas angulosas encajen más perfectamente que las redondeadas y, por tanto, las arenas formadas por partículas más angulosas

tendrían un mayor ángulo de fricción. Cuando una arena se deforma hasta su estado final, de manera que se produce una posterior variación de volumen y esta en estado suelto, la arena con partículas angulosas tiene un mayor ángulo de fricción. En las gravas, la influencia de la angulosidad es menor debido al aplastamiento y fractura de las partículas.

2.2.9 Influencia de las diversas condiciones de carga.

Esfuerzo principal intermedio

En la forma normal de la prueba de triaxial (falla de la muestra aumentando el esfuerzo axial mientras se mantiene la presión lateral), el esfuerzo principal intermedio es igual al esfuerzo principal menor $\sigma_2 = \sigma_3$, una muestra puede romperse por tracción o por tensión vertical. En cuyo caso $\sigma_2 = \sigma_1$.

Numerosos investigadores han comparado el ángulo de fricción de las pruebas de compresión con el de pruebas de extensión, obteniendo resultados diversos, y la mayoría de los investigadores han llegado a la conclusión de que el ángulo de fricción es el mismo en ambos casos, aunque algunos han encontrado que ϕ era varios grados mayor cuando $\sigma_2 = \sigma_1$ que cuando $\sigma_2 = \sigma_3$.

La figura N° 7 se muestran los resultados de una serie de pruebas de deformación plana; la arena puede deformarse solamente en la dirección lateral, pero en la otra dirección no. El ángulo de fricción en estas pruebas de deformación plana es superior al obtenido en pruebas triaxiales convencionales, con una diferencia de hasta 4° en las muestras más compactadas y en muestras sueltas existe una diferencia muy pequeña en los valores de ϕ .

La deformación plana se encuentra a menudo en los problemas prácticos, y en muchos casos una prueba de deformación plana es más realista que la prueba de

deformación triaxial. Se cree que la variante de deformación plana, de la prueba triaxial se hará cada vez más popular, tanto en la práctica como en la investigación.

La razón de la mayor resistencia en el caso de la deformación plana se debe probablemente a que las partículas tienen menor grado de libertad de movimiento para desplazarse respecto a sus vecinas.

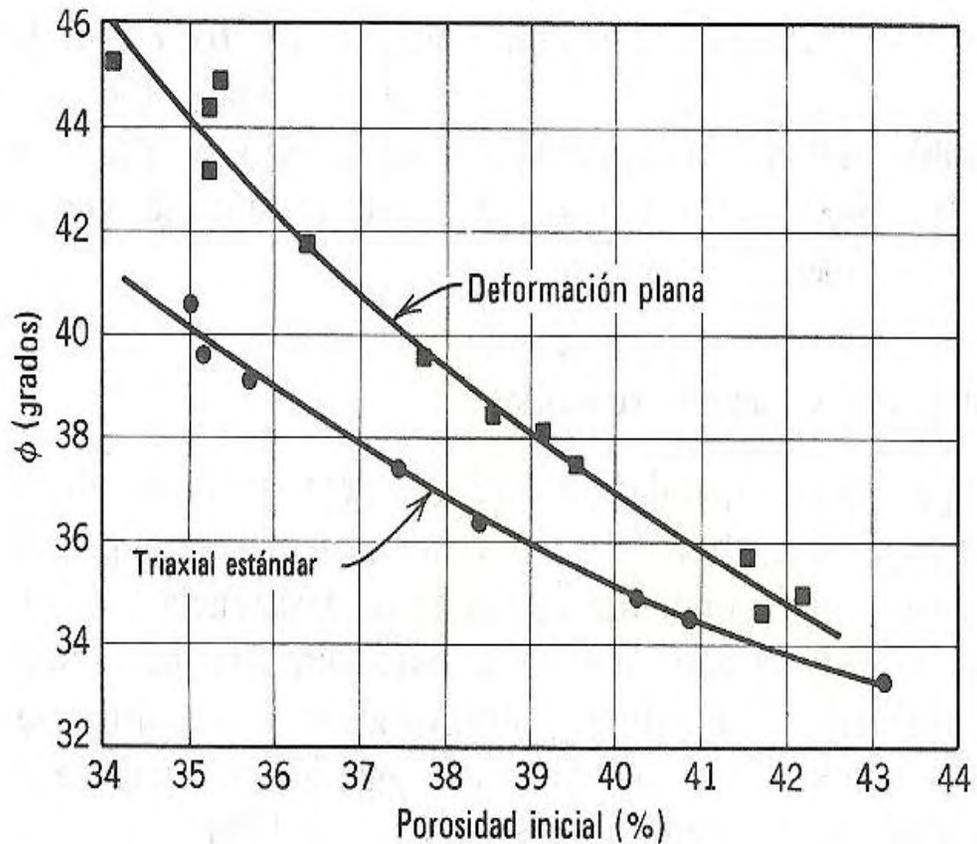


Figura N° 7. Resultado de pruebas triaxiales estándar y deformación plana (Según Cornforth). [14]

2.2.10 Influencia del agua y de la rugosidad superficial

En la figura N° 8 se observa que los coeficientes de fricción obtenidos para el cuarzo, bajo diversas condiciones de limpieza, humedad y rugosidad superficial.

Resultados muestran que el coeficiente de fricción del cuarzo liso varia desde aproximadamente $f=0,2$ a $f=1,0$, en función del grado de limpieza de las superficies más contaminadas. En las superficies más contaminadas, el agua aumenta la fricción, es decir actúa como un anti-lubricante. Sin embargo en superficies cuidadosamente limpias el agua no tiene influencia, esto demuestra que el agua es intrínsecamente neutra respecto al cuarzo. La capacidad lubricante del suelo, también disminuye cuando aumenta progresivamente su rugosidad, por tanto, esto es lo que se esperaría de una delgada capa de película de agua que actuase como lubricante de contorno.

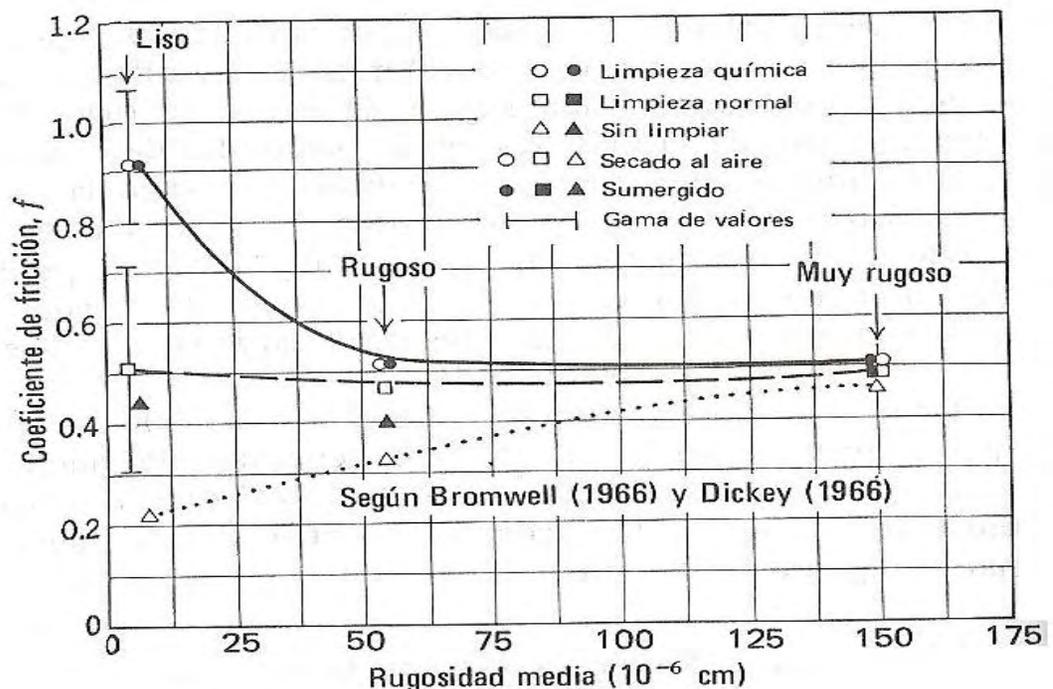


Figura N° 8. Fricción del cuarzo (Según Bromwell [9] y Dickey [18])

Un ligero contenido de humedad en cualquier arena puede tener un cierto efecto sobre el ángulo de fricción entre las partículas minerales. Sin embargo, tanto en las pruebas de corte como en la mayoría de los casos prácticos, se trata de arena secada al aire o saturada, la presencia de esta pequeña cantidad de humedad raramente debe tomarse en cuenta.

La humedad también puede introducir por capilaridad una cohesión aparente entre las partículas. En algunos casos, como pruebas prototipo, esta cohesión puede ser un elemento significativo de la resistencia.

2.2.11 Influencia de la granulometría en ángulo de fricción interna.

El valor ϕ_μ varía relativamente poco para los diversos tamaños de partículas o minerales, estas diferencias en ϕ para un valor e_0 dado se deben principalmente a diversos grados de encaje, esto se muestra claramente en la figura N° 9.

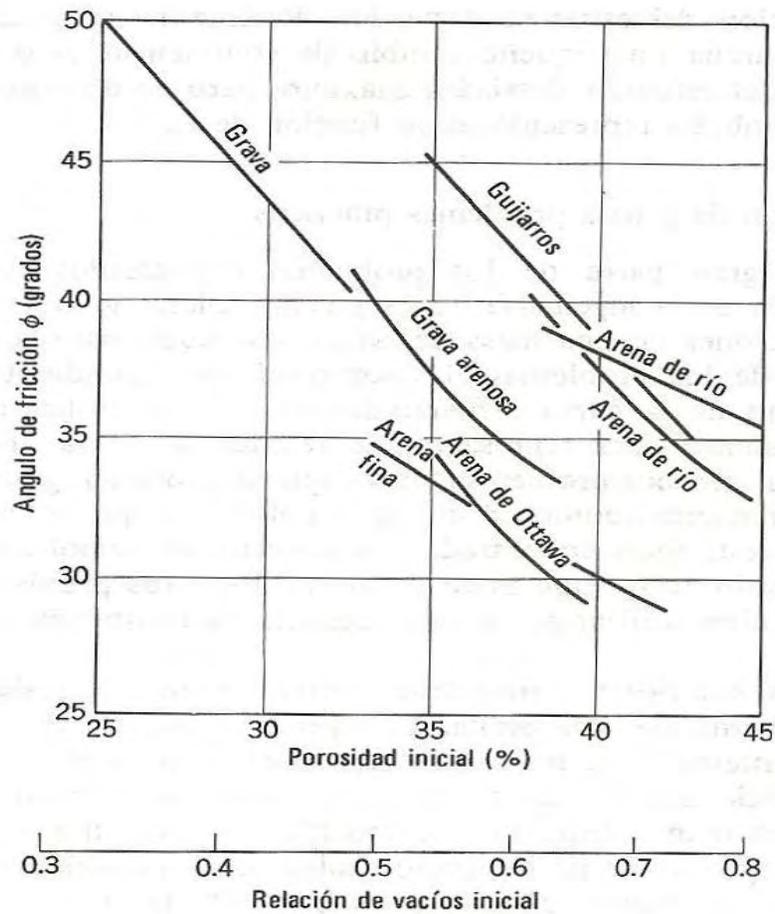


Figura N° 9. Relación entre el ángulo de fricción y la porosidad inicial para diversos suelos granulares. (Según Lambe y Whitman) [35]

La granulometría tiene una doble influencia sobre el ángulo de fricción interna de un suelo granular. En primer lugar influye sobre la relación de vacíos que se alcanza con una determinada energía de compactación, en segundo lugar, modifica el ángulo de fricción correspondiente a esa relación de vacíos. La influencia de la composición granulométrica puede estudiarse bien comparando los ángulos de fricción para un valor e_0 fijo o para una energía de compactación fija. Debido a que el efecto de la composición granulométrica es más importante en la construcción de terraplenes, las composiciones se suelen hacer para una energía de compactación fija.

En este mismo sentido Leslie [36] ha estudiado estos casos que podemos observar en la figura N° 10. La figura N° 10a muestra datos correspondientes a 5 suelos con un mismo coeficiente de uniformidad $C_u=3,3$, pero con tamaños diferentes de partículas. Usando una determinada energía de compactación la arena alcanza distintos valores en su relación de vacíos. Sin embargo, el ángulo de fricción es igual a todas las arenas. La influencia del mayor encaje inicial en la arena de partículas más gruesas viene compensada por el mayor grado de rotura y fracturación que se producen en las partículas más grandes debido a la mayor fuerza por contacto.

De igual forma la figura N° 10b junta datos correspondientes a cuatro suelos de igual tamaño mínimo de las partículas pero diferentes tamaños máximos. Para energías de compactación comparables, la arena mejor graduada tiene una menor relación de vacíos inicial y un ángulo de fricción más grande, resulta claro que una mejor distribución de los tamaños de las partículas produce una mejor trabazón esta tendencia puede apreciarse también en la tabla N° 8.

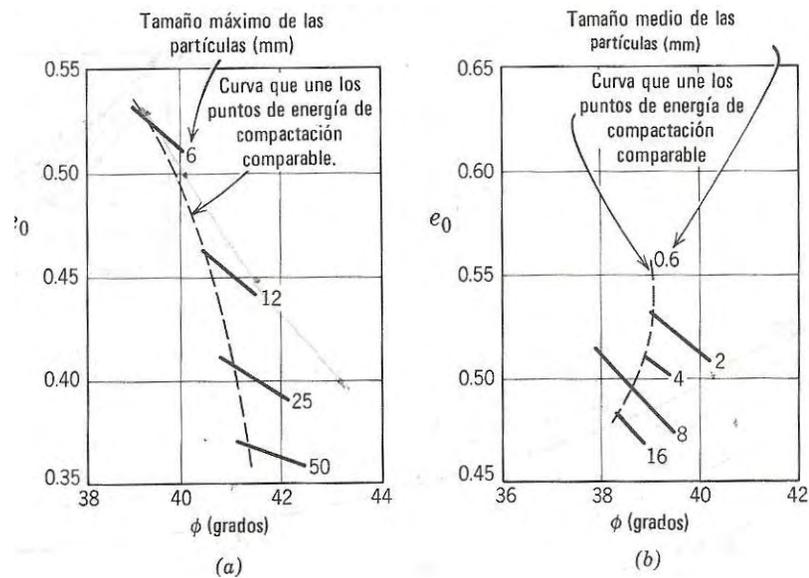


Figura N° 10. Influencia del tamaño de las partículas y de la granulometría sobre el ángulo de fricción. a) Suelos con partículas del mismo tamaño mínimo (0,5 mm). b) Suelos con el mismo coeficiente de uniformidad. (Según Datos de Leslie) [36].

En muchos suelos, unas pocas partículas de tamaño relativamente grandes producen una fracción importante en el peso total del suelo. Si estas partículas son suficientemente numerosas para que encajen unas con otras es importante que estén presentes en la preparación de la muestra cuando esta va a ser sometida a una prueba de corte.

Un suelo bien gradado experimenta menos rotura que un suelo uniforme, ya que en el primero existe muchos contactos entre partículas y la carga por contacto es, por tanto, menor que en un suelos uniforme, esta afirmación puede verse en la figura N° 11, donde se muestra que el suelo mejor graduado sufre una disminución menor de ϕ al aumentar la presión de confinamiento. Es importante destacar que en la mencionada figura en la parte superior de la esquina derecha se muestra las curvas granulométricas de los suelos usados en la investigación de Leslie [36].

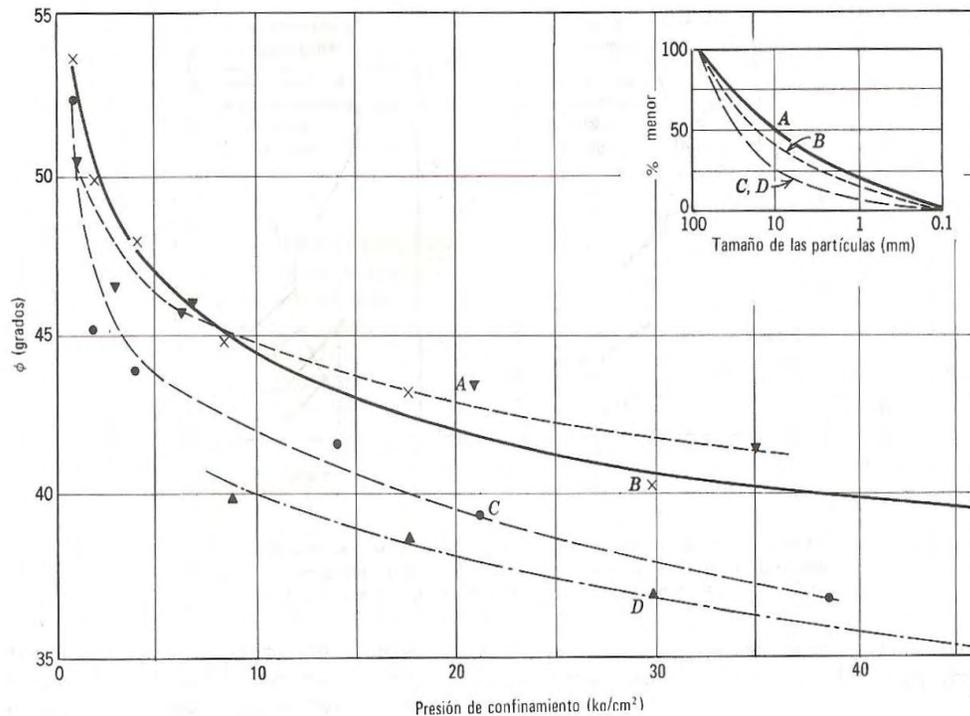


Figura N° 11. Relación entre el ángulo de fricción y la presión confinamiento. La figura adjunta a esta muestra la curva granulométrica de los suelos usados Datos de Leslie. [36].

2.2.12 Compactación de suelo

La compactación es la densificación de los suelos mediante la aplicación de energía mecánica, tomando en cuenta la variación del contenido de humedad y la gradación del suelo. Los suelos que no tienen cohesión son compactados confinando el suelo, acoplados con la energía vibratoria, operadas a mano y los rodillos vibratorios motorizados de varios tamaños, ya que son muy eficientes para compactar suelos arenosos y gravosos.

El objetivo de la compactación es el mejoramiento de las propiedades de mecánicas de la masa de suelo. Existen varias ventajas que se desarrollan a través de la compactación, entre las cuales se tienen:

- Reducción de los asentamientos debido a la disminución de la relación de vacíos
- Aumento de la resistencia del suelo
- Reducción de la contracción y expansión
- Disminución de la permeabilidad.

2.2.13 La energía de compactación

El esfuerzo de compactación es una medida de la energía aplicada a la masa de suelo. En unidades de SI la energía de compactación esta dada en kilo joules por metro cúbico (kJ/m³), donde 1 kJ= 1 KN.m. en unidades p/lb/s, 1pie*1b/pie³ = 0,04796 kJ/m³. En la practica de campo, el esfuerzo de compactación esta relacionado con el número de pasadas de la pieza particular del equipo de compactación en un volumen dado de suelo.

En el laboratorio, la energía de compactación puede ser desarrollada comúnmente por impacto, ó por amasado utilizando medios estáticos. El suelo se compacta dejando caer un martillo varias veces en una muestra de suelo alojada en un molde. Se especifican el tamaño de martillo, la altura de caída, el número de golpes, el número de capas del suelo y el volumen. Así podemos calcular la energía de compactación como:

$$E_c = \frac{Wm * n * N * hc}{Vm} \quad \text{Ec. 2.10}$$

Donde:

Ec: Energía de Compactación

n: número de capas

N: número de golpes por capa

h_c : Altura de caída del martillo

V_m : Volumen del molde

2.2.14 Especificaciones de la compactación

El objetivo de la compactación es mejorar las propiedades del suelo. Debe especificarse el peso unitario seco logrado en campo para cumplir con el propósito y no especificar simplemente que el suelo debe ser compactado al 95 % de la densidad máxima seca obtenida en el laboratorio. Normalmente para definir si un suelo esta compactado satisfactoriamente se toman suficientes pruebas en campo obteniendo su densidad seca y luego se compara con la densidad máxima seca se calcula la compactación relativa conocida también como grado de compactación que esta definida como:

$$\% CR = \frac{\rho_{dcomp}}{\rho_{dm\acute{a}x}} * 100 \quad \text{Ec. 2.11}$$

Donde:

- %CR: Es el Porcentaje o grado de compactación alcanzado por el suelo en el lugar de trabajo.
- ρ_{dcomp} : Es la densidad compacta obtenida en el lugar de trabajo.
- $\rho_{dm\acute{a}x}$: Es la densidad máxima obtenida en el laboratorio

Presumiblemente esta especificación se usa en muchos casos de la práctica cotidiana sin una preocupación verdadera. Existe una apreciable diferencia entre la CR y la densidad relativa D_r , esta última se aplica a suelos sin cohesión con pocos finos bajo la malla No. 200. Sin embargo Lee y Singh (Tomado del Bowles J.) [7] han usado con éxito en varias ocasiones una comparación del peso unitario en vez de la D_r . El ensayo de compactación es generalmente utilizado si el suelo contiene mas de 12 por ciento de finos, pero no hay razón como para que alguna tipo de ensayo del

peso unitario no pueda ser usado para todos los suelos para establecer especificaciones de compactación.

Una relación entre la densidad relativa D_r y la compactación relativa CR se ilustra en la figura N° 12. Un estudio estadístico por Lee y Singh en 47 suelos granulares diferentes, indicó que la compactación relativa CR correspondiente a una densidad relativa cero es de aproximadamente 80 por ciento.

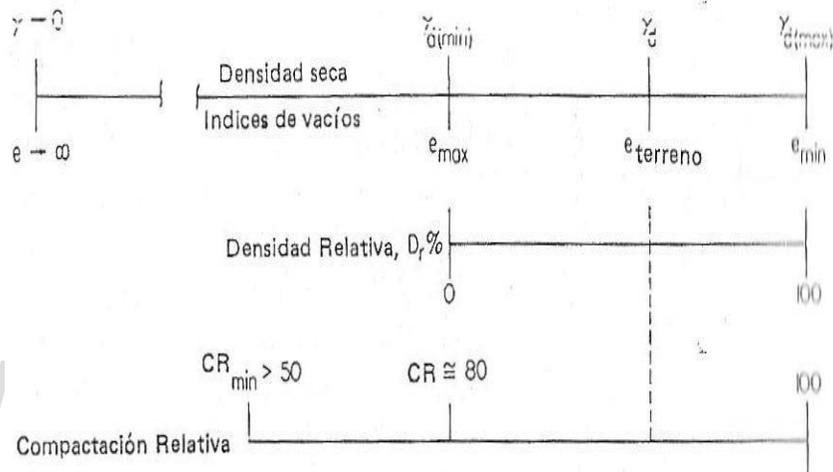


Figura N° 12. Relación entre densidad relativa, densidad y compactación relativa. Según Lee y Singh. Tomado del Joseph E. Bowles [7]

2.2.15 Teoría de Barkan

2.2.15.1 Definición de la vibración

Vibrar un suelo para compactarlo consiste en aplicar a estos suelos dos acciones:

Inicialmente una carga vertical que puede tener el peso propio del suelo, pero lo mas corriente es que esté constituida por el peso de una importante masa que se

desplaza lentamente sobre la superficie del suelo. Este peso se puede aplicar al suelo por superficies de contacto de formas y naturalezas diversas (rígidas o flexibles);

Por otra parte, una vibración forzada esta regida por una ley de la forma:

$$x = A \operatorname{sen}(2\pi Nt + \varphi) \quad \text{Ec. 2.12}$$

Donde:

- x : desplazamiento de la partícula
- π : es la posición instantánea de un punto M. del macizo del suelo en un instante t ,
- Nt : es la frecuencia de las vibraciones.
- φ : el desfase con la relación al instrumento que produce la vibración.
- A : es la amplitud del desplazamiento del punto M (¹).

En todo momento la velocidad del punto M es:

$$\frac{dx}{dt} = +A2\pi N \cos(2\pi Nt + \varphi)$$

y su aceleración es:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -4\pi^2 N^2 A \operatorname{sen}(2\pi Nt + \varphi)$$

Estableciendo que:

$$4\pi^2 N^2 A = \eta g \quad \text{Ec. 2.13}$$

¹ Conviene insistir sobre el hecho de que A es la amplitud de la vibración del punto M del suelo; esta amplitud puede ser diferente de la amplitud de la vibración de la maquina que la engendra.

Siendo g la aceleración de la gravedad y η un factor que relaciona ambas aceleraciones.

2.2.15.2 Relación fundamental

Apoyándose en diversos experimentos, Barkan [4], enuncia la siguiente ley:

“El índice de poros de una arena después de compactado por vibración cuando se varia la amplitud A y la frecuencia N no depende mas que de la aceleración ηg ”

Designado el índice de poros por ε ⁽²⁾ conforme a la anotación Barkan [4]. Admite que:

$$\frac{d\varepsilon}{d\eta} = -\beta(\varepsilon - \varepsilon_{\min})$$

El coeficiente β es llamado coeficiente de vibro-compactación. ε_{\min} es el índice de poros obtenido con la compactación más eficaz posible. Es decir el poro más pequeño que puede existir.

Integrando esta ecuación diferencial de Barkan[4] demostro que:

$$Id = 1 - Ce^{-\beta\eta} \quad \text{Ec. 2.14}$$

En dicha fórmula se aprecia que Id es el índice de compacidad o densidad relativa D_r . Por lo tanto,

$$Id = \frac{\varepsilon_{\max} - \varepsilon}{\varepsilon_{\max} - \varepsilon_{\min}} \quad \text{Ec. 2.15}$$

² El autor Barkan [3], con el propósito de no confundir la relación de vacíos con la base del logaritmo neperiano ha utilizado la letra griega ε para el calculo de el índice de densidad Id .

Siendo $\epsilon_{\text{máx}}$ en índice de poros mas alto posible.

2.2.15.3. Variación del coeficiente de vibro-compactación con el contenido de humedad.

Para los coeficientes $\epsilon_{\text{máx}}$, $\epsilon_{\text{mín}}$, y β descritos en las ecuaciones anteriores. Si los dos primeros son independientes del contenido de humedad ω , no ocurre lo mismo con β .

Barkan [3], ha estudiado la variación de β en función de ω para una arena. En este sentido la figura N° 13, permite observar esta variación

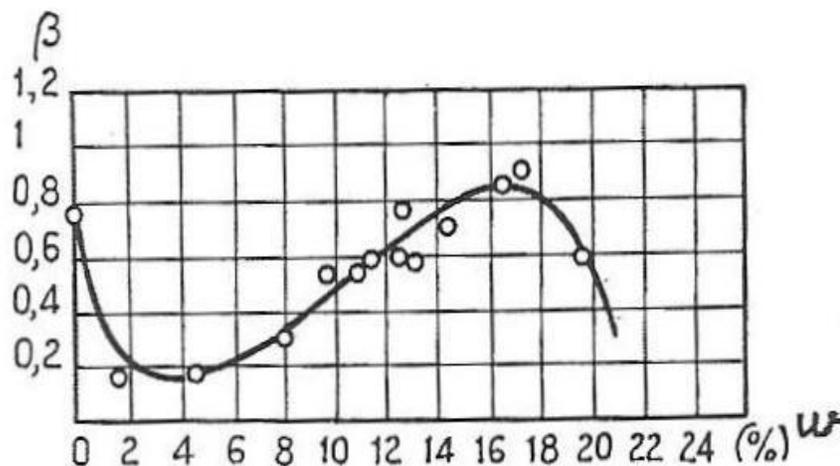


Figura N° 13. Relación entre el coeficiente de vibro-compactación de una arena y su humedad. Según Barkan. [4]

2.2.16 Estudios de densificación por vibración en el laboratorio.

Una forma de prueba que se ha utilizado con mucha frecuencia en laboratorios para estudiar la compactación de la arena por vibración se puede mostrar a través de la figura N° 14. Se rellena un molde de volumen conocido con arena en estado suelto. Por lo genera, se coloca una sobre carga sobre la superficie de la arena. El molde se somete a vibraciones durante varios minutos, luego se suprimen las vibraciones, se

mide la nueva altura del suelo, y se calcula su nuevo peso específico. A continuación se aplica un grado superior de vibración y así sucesivamente.

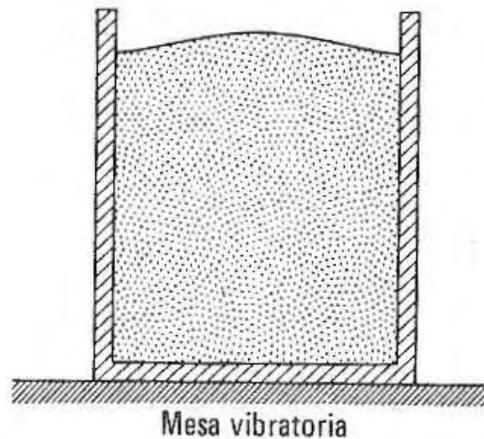


Figura N° 14 **Mesa vibratoria**

Como se puede observar en la figura N° 15 obtenida tras colocar a dicho molde en una mesa vibratoria que produce un movimiento periódico vertical, muestra los resultados típicos de tales pruebas. La arena tenía inicialmente una compactación relativa próxima a cero. Se producía una compactación muy pequeña hasta que las aceleraciones se aproximaban a $1g$, y la mayoría de la compactación se producía para ese valor o muy cerca de él. La máxima compactación se alcanzaba cuando la aceleración llegaba a $2g$, pero un posterior aumento de la aceleración producía una reducción en la compactación de la arena.

Los resultados de estas pruebas se han interpretado frecuentemente suponiendo que la aceleración máxima es la principal variable que controla la compactación, Barkan [4]. Sin embargo las aceleraciones por si solas, en ausencia de cambios considerables de los esfuerzos, pueden no producir aumento de compactación.

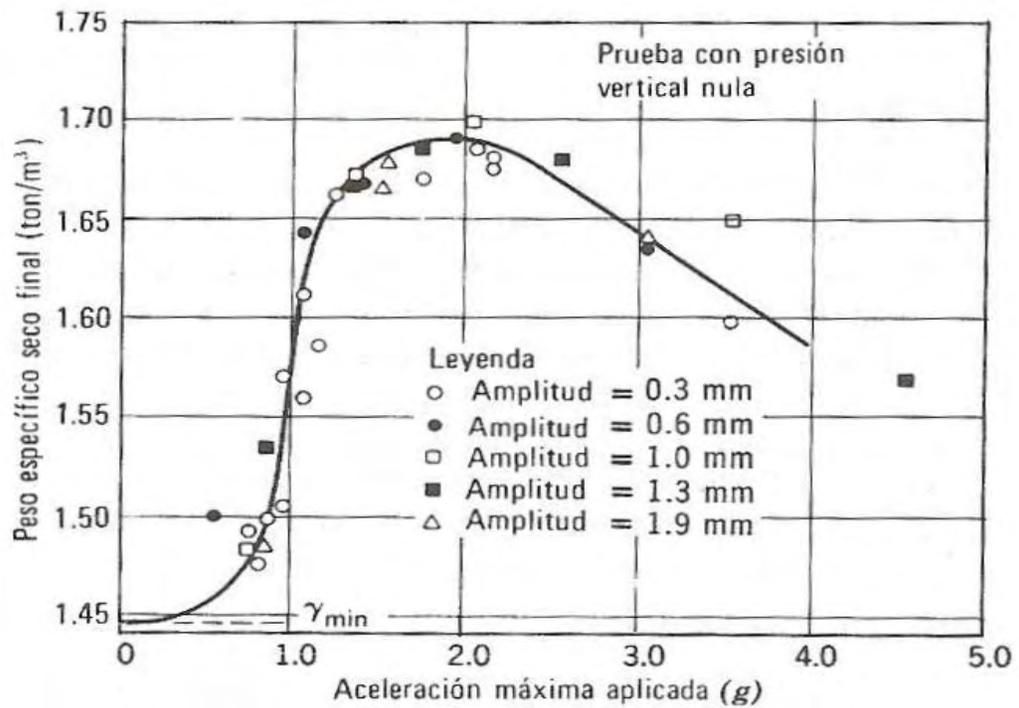


Figura N° 15. Resultados típicos obtenidos en el estudio del laboratorio de la compactación por vibración. Según D'Appolonia. 1967.

Fuente: Mecánica de los suelos, Lambe [35]

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

El presente capítulo se fundamenta en las pruebas de campo y laboratorio en el cual se obtienen parámetros que permiten el proceso analítico de este estudio que se desarrolla en el campo de correlación, y se fundamenta en pruebas de laboratorio en los suelos granulares de origen aluvional característicos de la meseta de la ciudad de Mérida-Venezuela.

3.1. Tipo de Investigación o Estudio

El trabajo expuesto es una investigación de campo, del tipo experimental con tomas de muestras en distintos puntos de la ciudad y luego son ensayadas experimentalmente. En el laboratorio a cada muestra de suelo se determina: la granulometría, plasticidad, peso específico relativo, densidad natural, densidad relativa o índice de compacidad, densidad máxima seca, relación de vacíos y porosidad.

Posteriormente se correlaciona el ángulo de fricción interna en función de D_r , e , y n .

3.2. Población y Muestra

El espacio muestral de esta investigación está representado por trece (13) muestras tomadas en campo en puntos claves de la ciudad (Ver plano en el Anexo) sugeridos por Fundación para la Prevención de Riesgo Sísmico (FUNDAPRIS) adscrita a la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS),

quienes realizan un estudio de Microzonificación Sísmica en los actuales momentos. Los suelos escogidos en los diferentes puntos de la meseta fueron recolectados mediante el uso de las calicatas y los mismos fueron ensayados en el Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos de la Universidad de los Andes. Se realizaron los distintos ensayos antes nombrados para correlacionar el parámetro de resistencia ϕ con la densidad relativa y la relación de vacíos, con el propósito de dar cumplimiento al objetivo planteado en este estudio.

La muestra tomada representó a toda la población.

3.3. Materiales y Métodos

3.3.1 Materiales

a. Toma de muestra en campo

- Picos
- Palas
- Bolsas herméticas para contenido de humedad del suelo.
- Sacos para recolección de muestra
- Barra o palanca

b. Toma de densidades naturales (método cono y arena)

- Equipo de cono y arena
- Cincel
- Martillo
- Brocha
- Recipiente
- Bolsas plásticas

c. Georeferenciación del punto

- GPS

d. Ensayos de laboratorio

- Hornos de secado
- Bandejas para el secado
- Picnómetros
- Termómetros
- Papel absorbente
- Balanza electrónica
- Copa de Casa Grande
- Separadores o ranurador
- Agua destilada
- Bases de vidrio
- Cápsulas para el secado
- Mesa vibratoria
- Molde para mesa vibratoria
- Vernier
- Embudo
- Cronómetro
- Balanza manual
- Cucharas
- Juego de tamices
- Tamizadota tipo Ro-Tap
- Cuarteador mecánico
- Molde Próctor
- Modificado
- Probetas graduadas

- **Martillos de compactación**
- **Regla para enrasar**
- **Maquina de corte directo**
- **Pesas.**

3.3.2. Métodos

La manera cómo fue desarrollado este estudio se especifica a continuación, indicando las acciones seguidas para la implementación del experimento.

3.3.3. Fase 1. Trabajo de campo para la toma de muestras.

En ella se realizaron exploraciones con calicatas de secciones cuadrada de 1x1 m , con profundidades entre 1,20 m y 1,50 m. A través de ellas, se extrajeron suficientes muestras para asegurar la representatividad real en la ejecución de las pruebas de laboratorio.

Se recolectó una pequeña muestra en una bolsa hermética para la obtención de la prueba del contenido de humedad, se realizó el ensayo de la densidad natural $(\rho_d)_{nat}$ con ayuda del método de Cono y Arena, y por último, con ayuda del GPS se ubicaron las coordenadas UTM del sector investigado para su posterior georeferenciación. En las tablas N° 9 y 10, se puede observar la procedencia de la muestra y sus respectivas coordenadas conjuntamente con los resultados de las pruebas de contenido de humedad ($\omega\%$) y las densidades naturales $(\rho_d)_{nat}$ respectivamente.

Tabla N° 9. Procedencia y ubicación de Coordenadas (UTM), del los diferentes puntos de muestreo en la ciudad de Mérida Venezuela

Procedencia de la toma de muestra	Coordenadas UTM	
	Coordenada Norte	Coordenada Este
El Acuario, Nuevo enlace Frente a C.C Las Tapias	0259632	0948238
Escuela menor de Béisbol "Luis Fargier Suarez" Detrás de Av. Humberto T.	0261937	0948349
Vía Pueblo Nuevo detrás de la Plaza de toros Román Eduardo Sandia	0264374	0951974
Actual C.C El Rodeo Al lado del Banco Mercantil	0262173	0950159
Laboratorio de Hidráulica (ULA) enlace vial de la Cruz verde	0263433	0950878
Conjunto residencial El Rodeo	0261898	0950140
Antigua vía Ejido detrás del la Cuesta del Ciego	0255878	0946237
Estadium Metropolitano (Zumba)	0255871	0946238
Talud detrás de Conjunto Residencial Alto Chama	0257933	0946443
Faces Universidad de los Andes	0264025	0952160
Urbanización Campo claro vía los Curos	0256844	0947388
Talud Urbanización las Tapias*	0259634	0947837
Av. los Próceres, metros arriba de Materiales los Andes	0259671	0949023

* Punto eliminado por el Tutor a causa de ser un material de relleno

www.digitat.ula.ve

Tabla N° 10. Contenidos de humedad y densidad seca natural (ASTM: D 2216 y D 1556 respectivamente)

Ubicación o procedencia	Contenido de humedad natural ($\omega\%$)	Densidad Natural $\rho_{d_{nat}}$ (T/m^3)
El Acuario, Nuevo enlace Frente a C.C Las Tapias	8.85	1.70
Estadium "Luis Fargier" Detrás de la Av Humberto Tejera	9.78	1.83
Vía Pueblo Nuevo detrás de la Plaza de toros Roman E. S.	5.87	1.84
Actual C.C El Rodeo Al lado del Banco Mercantil	9.05	1.62
Laboratorio de Hidráulica (ULA) enlace vial de la Cruz verde	8.81	1.90
Conjunto residencial El Rodeo	8.49	1.85
Antigua vía Ejido detrás del la Cuesta del Ciego	6.37	1.93
Estadium Metropolitano (Zumba)	6.83	1.92
Talud detrás de Conjunto Residencial Alto Chama	8.49	1.85
Faces Universidad de los Andes	8.22	1.95
Urbanización Campo claro vía los Curos	7.87	1.95
Talud Urbanizacion las Tapias *	-----	-----
Av. los Próceres Al lado de la Estación de servicios BP	13.90	1.83

* Punto eliminado por el Tutor a causa de ser un material de relleno

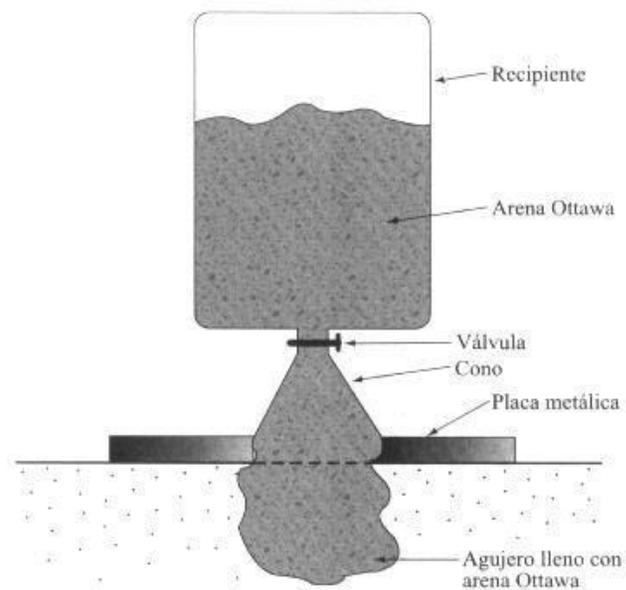


Figura N° 16 Esquema de Ensayo Cono y Arena ASTM D 1556

3.3.4. Fase 2 Trabajo Experimental en el Laboratorio de Mecánica de Suelos.

3.3.4.1. Ensayos Estándar

Con las muestras alteradas obtenidas, se realizaron los ensayos correspondientes para la identificación y clasificación de los suelos, consistentes en: análisis granulométrico, peso específico relativo y límites de consistencia

Los ensayos se ejecutaron siguiendo las normas de la American Society For Testing and materials.

3.3.4.2. Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos. (ASTM D 422)

Aplicando el procedimiento para determinar el tamaño de los granos mediante el cribado del material por una serie de mallas con aberturas establecidas. Se determinaron las diferentes curvas granulométricas las cuales se señalan

detalladamente en el anexo A, a continuación se reflejan sus resultados en la siguiente tabla.

Tabla N° 11. Granulometría, coeficiente de curvatura y de uniformidad de los suelos en estudio. (ASTM D 422)

Procedencia de la toma de muestra	% G	% S	% F	Cc	Cu
El Acuario, Nuevo enlace Frente a C.C Las Tapias	41.80	30.84	13.96		
Estadium "Luis Fargier" Detrás de la Av Humberto Tejera	25.40	40.61	10.03	0.3	240
Vía Pueblo Nuevo detrás de la Plaza de toros Roman E. S.	48.48	29.55	10.80	1.1	335
Actual C.C El Rodeo Al lado del Banco Mercantil	64.21	27.34	8.45	1.8	220
Laboratorio de Hidráulica (ULA) enlace vial de la Cruz verde	48.10	41.36	10.57	0.5	160
Conjunto residencial El Rodeo	26.34	36.86	25.32		
Antigua vía Ejido detrás del la Cuesta del Ciego	43.46	36.85	7.91	0.6	183
Estadium Metropolitano (Zumba)	24.75	45.10	6.98	0.2	164
Talud detrás de Conjunto Residencial Alto Chama	44.66	31.30	24.04		
Faces Universidad de los Andes	28.86	27.56	17.01		
Urbanizacion Campo claro vía los Curos	51.01	18.27	10.20	9.6	507
Talud Urbanizacion las Tapias *			Eliminado		
Av. los Proceres, metros arriba de la Materiales Los Andes	51.11	34.94	14.96

3.3.4.3. Peso específico relativo de los sólidos (ASTM D 558)

Siguiendo el procedimiento para la determinación del peso específico relativo de los sólidos (Gs) con tamaño inferior a 4.75mm. (Tamiz N ° 4), se determinó para los suelos objeto de este estudio el referido peso específico, el cual, servirá como parámetro auxiliar en el calculo de las relaciones de peso y volumen, como relación de vacíos (e) y porosidad (n), los cuales se detallan en las planillas del Anexo A y se resumen en la Tabla N° 12.

Tabla N° 12 Peso específico relativo de los sólidos (Gs) de los suelos en estudio. (ASTM D 854)

Procedencia de la toma de muestra	Gs
El Acuario, Nuevo enlace Frente a C.C Las Tapias	2.67
Estadium "Luis Fargier" Detrás de la Av. Humberto Tejera	2.60
Vía Pueblo Nuevo detrás de la Plaza de toros Román E. S.	2.67
Actual C.C El Rodeo Al lado del Banco Mercantil	2.68
Laboratorio de Hidráulica (ULA) enlace vial de la Cruz verde	2.72
Conjunto residencial El Rodeo	2.69
Antigua vía Ejido detrás del la Cuesta del Ciego	2.68
Estadium Metropolitano (Zumba)	2.62
Talud detrás de Conjunto Residencial Alto Chama	2.64
Faces Universidad de los Andes	2.68
Urbanización Campo claro vía los Curos	2.67
Talud Urbanización las Tapias (Eliminado por el tutor)	2.49
Av. los Próceres, metros arriba de la Materiales Los Andes	2.68

www.bdigital.ula.ve

3.3.4.4. Índices de plasticidad (ASTM D 4318)

Continuando con los procedimientos de laboratorio basados en las normas ASTM se ha determinado el límite líquido LL, límite plástico LP e índice plástico Ip. Estas propiedades plásticas junto al a granulometría de los suelos encontrados y mediante el uso de la carta de plasticidad de Casagrande mostrada en la figura N° 17 se establecerá su clasificación.

En este caso se aplicará el Sistema Unificado de Clasificación de los suelos SUCS, normalizada por la ASTM D 2487. Los procedimientos, cálculos y gráficos se presentan en el Anexo A, y los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N° 13. Valores de los límites de consistencia e índices de plasticidad y clasificación SUCS de los suelos en estudio. (ASTM: D 4318 y D 2487 respectivamente)

Procedencia de la toma de muestra	LI %	Lp %	Ip %	Clasificación según SUCS
El Acuario, Nuevo enlace Frente a C.C Las Tapias	27.75	20.76	6.99	GC
Estadium "Luis Fargier" Detrás de la Av. Humberto Tejera	29.58	19.47	10.10	SP-SC
Vía Pueblo Nuevo detrás de la Plaza de toros Román E. S.	26.24	18.02	8.22	GW-GC
Actual C.C El Rodeo Al lado del Banco Mercantil	22.38	NP	NP	GW-GM
Laboratorio de Hidráulica (ULA) enlace vial de la Cruz verde	27.67	NP	NP	GP-GM
Conjunto residencial El Rodeo	40.39	32.07	8.32	SM
Antigua vía Ejido detrás del la Cuesta del Ciego	23.90	NP	NP	GP-GM
Estadium Metropolitano (Zumba)	28.40	21.33	7.07	SP-SC
Talud detrás de Conjunto Residencial Alto Chama	32.05	18.96	13.09	GC
Faces Universidad de los Andes	25.36	NP	NP	GM
Urbanización Campo claro vía los Curos	32.94	23.12	9.82	GP-GC
Talud Urbanización las Tapias (Eliminado por el tutor)				
Av. los Próceres, metros arriba de la Materiales Los Andes	34.63	21.67	12.95	GC

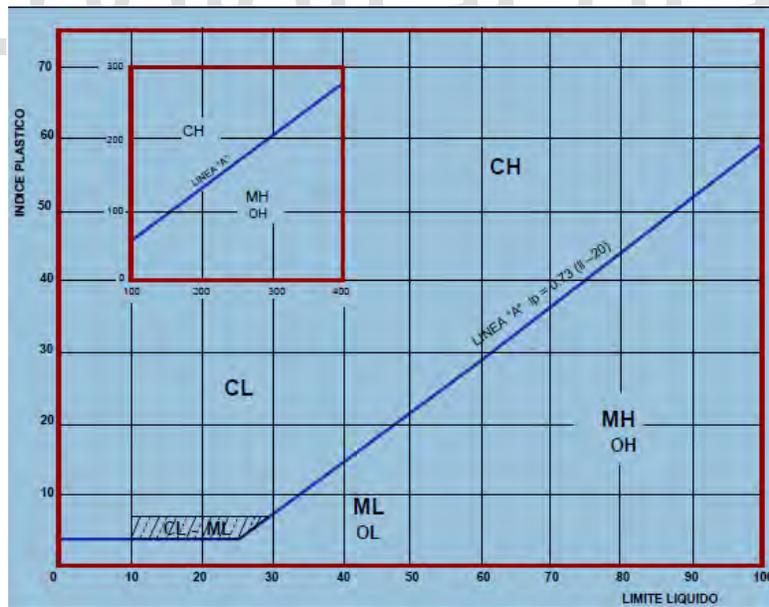


Figura N° 17 Carta de plasticidad de Casagrande

3.3.5 Ensayos Especiales

3.3.5.1. Compactación [Próctor Modificado (ASTM D 1557- D)]

Se realizó el ensayo de compactación bajo la norma de Próctor modificado, para determinar la densidad de máxima seca $\rho_{dm\acute{a}x}$ y EL contenido de humedad óptima $\omega_{\acute{o}ptima}$. Este valor de densidad se utilizará en el cálculo de la densidad relativa o índice de compacidad debido a que la presencia de finos de las muestras en estudio no permiten obtener la densidad máxima, realizándolas en estado seco por vibrado según ensayo de densidad relativa.

Se llevó a cabo éste ensayo de acuerdo con la norma de la American Society For Testing and Materials (ASTM D 1557-D). Los cálculos y gráficos se presentan en el Anexo A, y los resultados aparecen en la siguiente tabla:

Tabla N° 14 Valores de densidad máxima seca ensayados en Próctor modificado de los suelos en estudio. (ASTM D 1557-D)

Procedencia de la toma de muestra	Densidad máxima	
	seca $\rho_{dm\acute{a}x}$ t/m ³	$\omega_{\acute{o}ptima}$ %
El Acuario, Nuevo enlace Frente a C.C Las Tapias	2.15	8.0
Estadium "Luis Fargier" Detrás de la Av. Humberto Tejera	2.15	6.4
Vía Pueblo Nuevo detrás de la Plaza de toros Román E. S.	2.20	4.7
Actual C.C El Rodeo Al lado del Banco Mercantil	2.23	4.3
Laboratorio de Hidráulica (ULA) enlace vial de la Cruz verde	2.12	6.4
Conjunto residencial El Rodeo	1.93	10.8
Antigua vía Ejido detrás del la Cuesta del Ciego	2.16	5.8
Estadium Metropolitano (Zumba)	1.98	8.8
Talud detrás de Conjunto Residencial Alto Chama	2.11	6.0
Faces Universidad de los Andes	2.08	7.0
Urbanización Campo claro vía los Curos	2.12	6.0
Talud Urbanización las Tapias (Eliminado por el tutor)	-----	-----
Av. los Próceres, metros arriba de la Materiales Los Andes	2.08	7.0

3.3.5.2. Densidad relativa (ASTM D 4253)

Con las relaciones volumétricas elementales de la Mecánica de suelos y con ayuda de otros parámetros hallados anteriormente se determinó la relación de vacíos natural (e_n) con el propósito de ser usada en el cálculo de la densidad relativa.

$$Dr\% = \frac{e_{\max} - e_n}{e_{\max} - e_{\min}} 100$$

Cuando $\rightarrow e = e_{\max} \Rightarrow Dr = 0\% \rightarrow$ suelo .suelto

Cuando $\rightarrow e = e_{\min} \Rightarrow Dr = 100\% \rightarrow$ suelo .muy.compacto

Posteriormente con la ayuda del método para medir la densidad relativa o índice de compacidad y con ayuda de la mesa vibratoria, según la norma (ASTM D 4253), se determinó este parámetro objeto de esta investigación. En estas condiciones se estableció la correlación que existe entre el valor promedio de Dr. y el ángulo de fricción interna. En la tabla se indican los valores resultantes, correspondiente a cada sitio de estudio. Los cálculos de este experimento se encuentran en el Anexo A.

Tabla N° 15 Resultados obtenidos del ensayo de densidad relativa de los suelos en estudio con ayuda de la mesa vibratoria. (ASTM D 4253)

Procedencia de la toma de muestra	e_{nat}	$e_{\text{máx}}$	$e_{\text{mín}}$	ρ_{dmin}^3 t/m	$\rho_{\text{máx}}$ Próctor modificado 3 t/m	Dr %
El Acuario, Nuevo enlace Frente a C.C Las Tapias	0.57	1.02	0.24	1.32	2.15	57.85
Estadium "Luis Fargier" Detrás de la Av. Humberto Tejera	0.42	0.90	0.21	1.37	2.15	69.56
Vía Pueblo Nuevo detrás de la Plaza de toros Román E. S.	0.45	0.80	0.21	1.48	2.20	60.03
Actual C.C El Rodeo Al lado del Banco Mercantil	0.66	0.76	0.20	1.52	2.23	18.95
Laboratorio de Hidráulica (ULA) enlace vial de la Cruz verde	0.43	1.14	0.29	1.27	2.12	83.24
Conjunto residencial El Rodeo	0.45	1.23	0.39	1.21	1.93	93.05
Antigua vía Ejido detrás del la Cuesta del Ciego	0.39	0.98	0.24	1.36	2.16	79.72
Estadium Metropolitano (Zumba)	0.37	1.15	0.33	1.22	1.98	95.28
Talud detrás de Conjunto Residencial Alto Chama	0.43	1.03	0.25	1.30	2.11	77.44
Faces Universidad de los Andes	0.37	0.96	0.29	1.37	2.08	87.14
Urbanización Campo claro vía los Curos	0.37	0.89	0.26	1.41	2.12	82.84
Talud Urbanización las Tapias (Eliminado por el tutor)	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Av. los Próceres, metros arriba de la Materiales Los Andes	0.47	1.00	0.29	1.34	2.08	74.93

3.3.5.3. Corte Directo (ASTM D 3080)

En la realización de esta prueba se siguió la norma **ASTM D 3080** según lo especifica la norma de la American Society For Testing and Materiales. En este ensayo se determinaron dos parámetros de corte, como lo son, la cohesión C y el ángulo de fricción interna ϕ , en la condición no drenada, no consolidada y no saturada. Para la preparación de las muestras se usaron emplearon cajuelas con dimensiones de $(10 \times 10 \times 4) \text{ cm}^3$, (**ver figura N° 18**) mayores a las comúnmente usadas $(6 \times 6 \times 4) \text{ cm}^3$.

La razón por la cual se utilizaron estas cajuelas de mayor tamaño se debe a la composición granulométrica de las muestras en estudio, aunque estas poseen una cierta cantidad de finos su mayor proporción es granular (gravas y arenas). Por lo tanto, se requiere de colocar muestras cuya representación se aproxima lo mejor posible a la condición original.



Figura N° 18 Cajuela de corte directo

Las condiciones en las cuales se colocó el suelo investigado, dentro de la cajuela de ensayo, son las siguientes: El material se pasó por el tamiz N° 3/4", conservando su humedad natural ω_{nat} . En cuanto a la densidad con la que fueron ensayadas, se tomó la muestra perturbada colocándola en la cajuela tratando de lograr la densificación natural $\rho_{d_{nat}}$ la cual fue obtenida mediante el método de cono y arena.

Por otro lado al ensayarla se le colocaron cargas con esfuerzos normales de 1 kgf/cm², 2 kgf/cm² y 3 kgf/cm². Los cálculos y gráficos se presentan en el Anexo A, y los resultados se reflejan en la siguiente tabla.

Tabla N° 16 Resultados obtenidos del ensayo de corte directo en cajuela de 10x10x4 cm, de los suelos en estudio. (ASTM D 3080)

Procedencia de la toma de muestra	Angulo de fricción interna ϕ°	Cohesión C kgf/cm ²	Cohesión C kN/m ²
El Acuario, Nuevo enlace Frente a C.C Las Tapias	38.00	0.13	13.00
Estadium "Luis Fargier" Detrás de la Av. Humberto Tejera	41.24	0.07	7.00
Vía Pueblo Nuevo detrás de la Plaza de toros Román E. S.	42.00	0.05	5.00
Actual C.C El Rodeo Al lado del Banco Mercantil	35.00	0.00	0.00
Laboratorio de Hidráulica (ULA) enlace vial de la Cruz verde	39.38	0.04	4.00
Conjunto residencial El Rodeo	42.92	0.10	10.00
Antigua vía Ejido detrás del la Cuesta del Ciego	43.00	0.06	6.00
Estadium Metropolitano (Zumba)	45.00	0.08	8.00
Talud detrás de Conjunto Residencial Alto Chama	43.00	0.11	11.00
Faces Universidad de los Andes	45.00	0.00	0.00
Urbanización Campo claro vía los Curos	46.00	0.10	10.00
Av. los Próceres, metros arriba de la Materiales Los Andes	41.00	0.10	10.00

3.3.5.4. Determinación de la velocidad de las partículas de suelo en la mesa vibratoria.

A través del referido ensayo vibratorio se desea determinar la velocidad de las partículas durante el proceso de densificación del suelo en el tiempo de vibración de la mesa y así determinar la amplitud de la mesa vibratoria según norma (ASTM D 4253) para poder estimar la energía de compactación que produce la mesa vibratoria sobre el suelo en investigación, con el propósito de compararla con la energía de compactación obtenida con el ensayo de compactación bajo la norma de Próctor Modificado T180-D.

Empleando uno de los materiales en estudio, se colocó el material lo más suelto posible llenando la totalidad del recipiente tal como lo recomienda la norma (ASTM D 4253). Luego se le aplicó una frecuencia de vibración de aproximadamente 50 Hertz, aumentando el tiempo de vibración para cada una de las pruebas realizadas y con tiempos de: (1, 2, 3, 4, 5, 6 min.). Cabe señalar que, en cada uno de estos tiempos, se aplicó la condición inicial de densificación suelta del suelo.

Para cada prueba experimental se midió el promedio de tres desplazamientos verticales que se produjeron en el suelo al densificarse por vibrado. Adicionalmente se realizó otra experiencia pero llenando el recipiente hasta aproximadamente la mitad, para ver la variación de la velocidad de las partículas más cercanas al origen de la fuerza vibratoria. Con esta información se podrá establecer en una primera etapa la correlación entre estos dos estados de densificación del suelo obtenidos de maneras muy diferentes.

Los cálculos obtenidos de las experiencias están reflejados en el Anexo A, y los resultados obtenidos se observan en la siguiente tabla:

Tabla N° 17 Velocidad promedio de las partículas de suelo, ensayadas en la mesa vibratoria.

T (min)	Experiencia 1		Experiencia 1	
	H (cm) promedio	V (cm/s) promedio	H (cm) promedio	V (cm/s) promedio
1	3.043	0.051	3.043	0.014
2	3.037	0.025	3.037	0.010
3	3.170	0.018	3.170	0.006
4	3.263	0.014	3.263	0.005
5	3.193	0.011	3.193	0.004
6	3.110	0.009	3.110	0.001

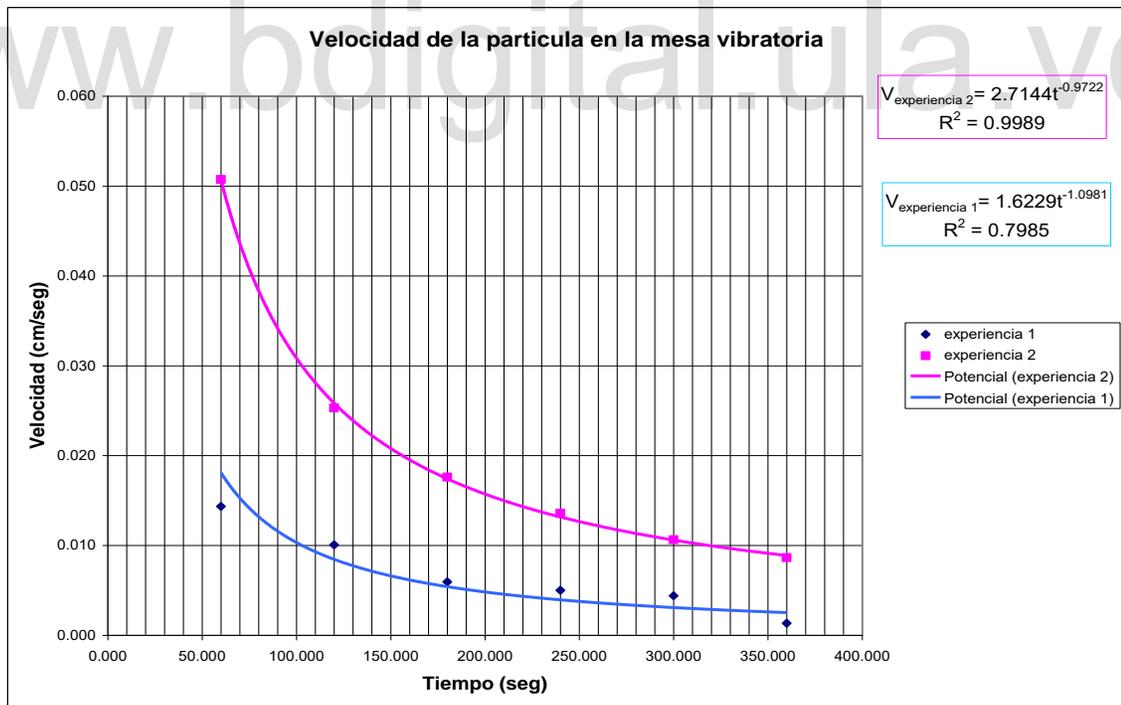


Figura N° 19 Gráfico de la velocidad promedio de las partículas de suelo, ensayadas en la mesa vibratoria.

CAPÍTULO IV

ASPECTOS GEOLOGICOS DE LA ZONA

4.1 GEOLOGIA LOCAL DE MERIDA

La terraza de Mérida, ubicada en los Andes Centrales venezolanos; en tiempos pasados formaba parte de una gran llanura, que fue depositada por sedimentos que algunos ríos principales como el Chama, el Mucujún, el Albarregas, y algunos ríos o quebradas laterales como: La Pedregosa, la quebrada Carvajal y el río Milla, transportaron bajo regimenes depositacionales variables.

Los cauces de estos ríos corrían por la superficie de la llanura, puesto que no existían los grandes taludes como los que hoy entallan a la terraza con alturas que pueden sobrepasar los 150 metros.

La gran llanura se mantuvo casi intacta por mucho tiempo, durante el cual los procesos de sedimentación y erosión variaban, sin que cambiara el régimen de los ríos, de tal forma que, el material erosionado era repuesto por una nueva sedimentación periódica.

Sin embargo, se altero el equilibrio que existía en el lugar, donde el régimen de erosión y sedimentación que posibilitaba la existencia de la gran llanura sufrió cambios bruscos en el tiempo geológico, que pudieron ser de origen climático o tectónico. Estos provocaron el inicio de una mayor erosión redefiniendo la superficie inicial, convirtiendo parte de la gran llanura, en la terraza donde se asienta actualmente la ciudad de Mérida.

La zona es atravesada por un conjunto de fallas, de dirección NE-SO, paralelas a la cordillera de Mérida. Existen en menor proporción fallas locales más o menos perpendiculares a los lineamientos principales. Destacan la falla de Bocono, de trascendencia regional y la de Albarregas, por atravesar la ciudad capital. La región ha sido afectada por una actividad tectónica compresiva, generando zonas de acortamiento y distensión de la corteza, que ha derivado en estructuras más complejas, como el graben de Loma de La Virgen, o el cabalgamiento que ejerce la Formación La Quinta sobre el Cretácico, en la vía Mérida Jají.

En la zona afloran rocas de edades diversas, desde el Precámbrico, hasta sedimentos cuaternarios. El Precámbrico está representado por la Asociación Sierra Nevada, que se presenta en dos franjas paralelas de dirección NE-SO, delimitando una especie de graben que agrupa unidades Paleozoicas, Mesozoicas, Terciarias y Cuaternarias. La Asociación Tostos y Las Formaciones Sabaneta y Palmarito (Paleozoico), afloran a lo largo del eje panamericano, desde La Hechicera, hasta el sector Manzano Alto, en Ejido, donde se acuña la Formación La Quinta (Jurásico), que se extiende en un arco que forma el corrimiento, de esta última sobre el Cretácico. Este cretácico agrupa las formaciones Río Negro, Apón, Aguardiente, Capacho y Luna, que además afloran en los límites de la cuenca alta del Río Montalban. La Formación Mucujun (mio-plioceno), aflora en una franja alargada que se extiende desde la Pedregosa Alta, hasta La Hechicera, donde se expande en un bloque mayor hacia la zona de El Valle, para ponerse en contacto con la Formación San Javier (Eoceno), que aflora en un área pequeña de esta zona. Finalmente, se encuentran los sedimentos cuaternarios, constituidos principalmente por terrazas y abanicos aluviales, donde están asentadas las ciudades de Mérida (capital del Estado) y Ejido y que no han sido diferenciados en este estudio.

4.2 TERRAZA DE MERIDA

Esta unidad representa el depósito aluvial más resaltante del área de estudio,

en el que actualmente se emplaza la ciudad de Mérida. Este depósito está conformado por diversos fragmentos de rocas, los cuales presentan distintos tamaños y formas, con fuentes de aportes como la Asociación Sierra Nevada, La Granodiorita del Carmen y a las formaciones Mucujún, Palmarito y Sabaneta, entre otras. Los principales ríos que generaron el aporte de sedimentos, son el Chama, Albarregas y Mucujún de forma longitudinal y los ríos La Pedregosa, Milla, la quebrada Carvajal y La Virgen realizaron un gran aporte lateral. Entre los aportes laterales que conforman esta terraza, también se encuentran los coluviones provenientes del Cerro Las Flores, Cerro La Virgen y otros, los cuales corresponden a la Formación Palmarito.

Estructuralmente, la terraza de Mérida se encuentra afectada principalmente por la falla de Boconó y la falla del Albarregas, debido a que las dos fallas son las responsables del modelado externo e interno de la terraza.

Los rasgos geomorfológicos principales son los escarpes realizados por los ríos Chama, Mucujún y Albarregas. El escarpe de los primeros dos ríos, presenta alturas que superan los 40 m. y el escarpe del Albarregas presenta alturas entre 10-30 m. aproximadamente.

El escarpe interno de la terraza, el cual es generado por el río Albarregas, presenta un comportamiento rectilíneo a lo largo de toda su extensión, lo que indica que éste río está controlado estructuralmente.

En cuanto a los procesos geomorfológicos desarrollados sobre la terraza, en el talud se desarrollan gran cantidad de entalles los cuales se comportan como cárcavas retrogradadas que generan colapsos en forma de derrumbes durante su evolución. Otro proceso observado son los deslizamientos en los coluviones provenientes del talud y el socavamiento generado por el río Chama.

En esta unidad se tiene que la actividad antrópica tiene gran influencia sobre los procesos geomorfológicos lineales que se desarrollan sobre la terraza, debido a que a lo largo de ésta se observan vertederos de basura y salidas de aguas negras los

cuales generan un aceleramiento de los procesos. La saturación de agua en este depósito es bastante alta, lo que trae como consecuencia pequeños deslizamientos en las paredes del talud. Además, los procesos puntuales como el socavamiento, generan pendientes negativas, esto como consecuencia de la desviación del cauce del río Chama que constantemente socava la base de las paredes de la terraza. En cuanto a las pendientes, se tiene que el rango más representativo está entre 0-16°, y hacia el borde de la terraza específicamente en el talud, se observan rangos de pendientes entre 16-31° , 31-47° y 47-62°, siendo en los dos últimos rangos donde se desarrollan la mayoría de los procesos geomorfológicos.

Se pueden observar diversos niveles de terraza, lo cual permite clasificarlos de la siguiente manera: un nivel superior, que corresponde a la terraza colgante (Capilla del Carmen) la cual es un remanente de depósitos aluviales que se encuentran en El Valle, un nivel intermedio que pertenece a la terraza donde se emplaza actualmente la ciudad de Mérida, un nivel inferior encontrado hacia el sur de la ciudad de Mérida, específicamente en Ejido y finalmente un ultimo nivel, que corresponde a los sedimentos que se depositan actualmente en las riveras del río Chama.

4.3 Localización del la terraza de Mérida

El área de estudio se encuentra en el Estado Mérida, en los Andes centrales venezolanos, ocupando una pequeña franja del valle medio – superior del río Chama, (principal drenaje merideño que desemboca en el Lago de Maracaibo) y que políticamente forma parte de los municipios Milla, Sagrario, Arias, El Llano y La Punta. Comprende específicamente la terraza de Mérida, localizada en el occidente del país entre las coordenadas N: 264655, E: 952178 y N: 253483, E: 944769, correspondiente a la ciudad de Mérida hasta el sector Mesa Seca en Ejido. El área es rectangular y alargada en dirección sur-oeste-noreste, con una altura promedio de 1650 m.s.n.m en la Plaza Bolívar, la mas alta 1698m.s.n.m. en Vuelta de Lola y la mas baja 1117 m.s.n.m. en Mesa Seca, Ejido.

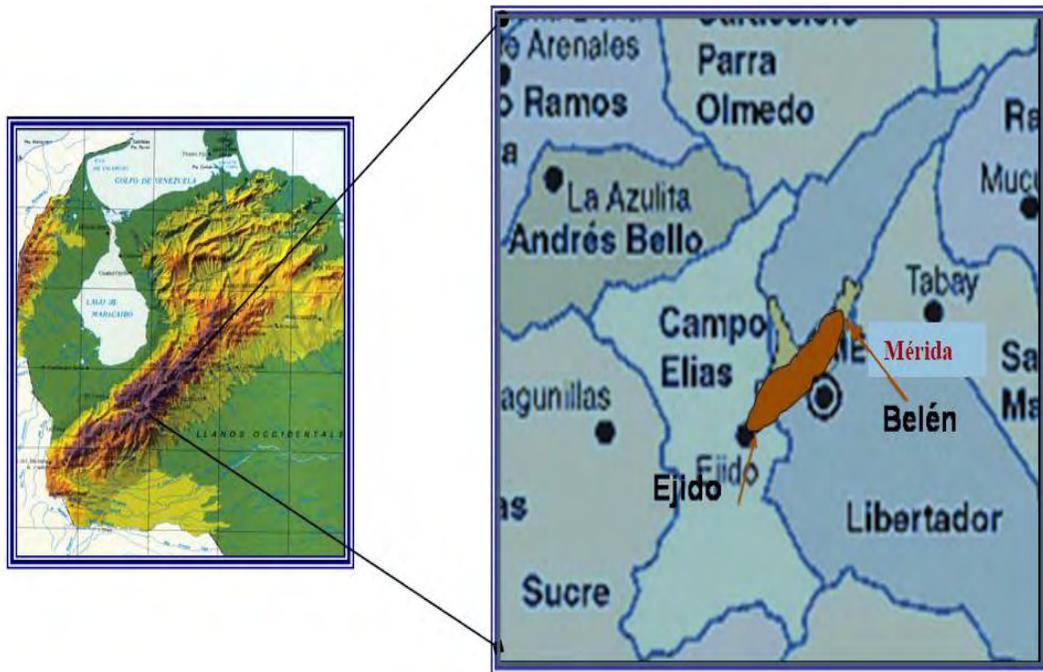


Figura N° 20-A Localización de la terraza de Mérida



Figura N° 20-B Vista general del área de estudio.

4.4 Relieve

El área de la terraza de Mérida, se caracteriza por una aparente homogeneidad consecuencia tanto de la estructura geológica como de la tendiente uniformidad litológica, caracterizada por el predominio de complejos metamórficos sedimentos altamente metamorfizados y materiales recientes. De relieve suave (pendientes entre los 10 y 17%) relativamente plano, pero, cortado por profundas y abruptas incisiones de los ríos Chama, Mucujún y Albarregas.

Ferrer C. [21], dice que las acumulaciones aluviales son las que constituyen verdaderas superficies planas en el área de estudio. Las características topográficas les imprimen un rasgo significativo, más aun, cuando se trata de un sector montañoso donde las altas cimas y la abruptez, constituye un carácter dominante. Estas acumulaciones se presentan en formas de grandes terrazas y numerosos conos en el valle del río Chama y sus afluentes principales alcanzando una extensión considerable.

Cabello O. [11], menciona que los valles y ensilladuras profundos andinos que, generalmente permiten una individualización de la terraza siguen las líneas de falla, y los conos de deyección sirven de asiento a considerables núcleos urbanos en los que se destaca la ciudad de Mérida.

En Los Andes Centrales se observan, dos importantes cadenas montañosas en dirección predominante NE – SO que se levantan frente a la ciudad de Mérida, separados por el valle del río Chama: La Sierra Nevada y la Sierra del Norte de la Culata. En cuanto a la altura se refiere, la terraza es prácticamente plana con alturas no muy variables que van desde 1100 m.s.n.m hasta 1600 m.s.n.m y las principales líneas de relieve siguen dirección NE - SO, es decir, la misma orientación de los Andes venezolanos.

Al SE de la ciudad, se observan colinas bajas, en la margen izquierda del río Chama compuestas principalmente por granitos muy alterados que, establecen

una transición en la parte inferior, del conjunto montañoso de la Sierra Nevada. Aquí se rompe la vigorosidad del relieve, desapareciendo las vertientes empinadas y los interfluvios estrechos, para pasar a colinas de cimas redondeadas con vertientes convexas en la mayoría de los casos y que han sido modeladas por movimientos de masa, principalmente por derrumbes y deslizamientos, han dejado numerosas cicatrices recolonizadas por la vegetación. Estas colinas llevan la misma orientación de la terraza. La cobertura vegetal de sus pendientes es pobre, poco protectora y de plantas bajas, en su mayor parte gramíneas. La presencia de grandes árboles, puede indicar que existió una masa boscosa que ha sido intensamente intervenida por el hombre a través de los años. La poca protección de esta vegetación y la ausencia de rocas sanas han permitido al escurrimiento formar canales naturales por donde escurre agua a cierta profundidad.

La Marca E. [34],, menciona que al Este de la ciudad se encuentran alturas de hasta 2500 m.s.n.m, en un bloque de cumbres redondeadas que constituye un verdadero interflujo individualizado por los ríos Chama y Mucujún, donde sus vertientes en un principio debieron ser más suaves con una cierta convexidad. En la actualidad, debido a una elevada alteración de las rocas, y a una escasa cobertura vegetal, los agentes modeladores las han trabajado con mayor facilidad y se caracterizan por pendientes más fuertes.

En el valle del Río Chama, estas terrazas son de gran elevación y han sido formadas principalmente por aportes longitudinales, destacando por importancia la Terraza de Mérida (zona de este estudio), que esta a una altura de 1700 m.s.n.m en la parte superior y decreciendo hasta 1200 m.s.n.m en la inferior, al oeste de La Punta. La pendiente es relativamente suave, raras veces sobrepasa los 5° y disminuye sensiblemente al este de la ciudad para convertirse en una superficie plana. Su escarpe esta irregularmente entallado por el Río Chama termina por lo general verticalmente y sobrepasa los 50 m. de altura. Por otro lado, su reborde Oeste, entallado por el río Albarregas, es más regular y menos pronunciado y no sobrepasa

los 30 metros. Aguas abajo de esta gran acumulación las superficies planas se hacen mas reducidas y nunca alcanzan la extensión de la Terraza de Mérida.

Por su parte, los conos de deyección, generalmente perpendiculares al valle del río Chama, son muy abundantes y extensos. Su pendiente es mayor que las de las terrazas, se acercan por lo regular a los 10°; algunos, como los situados en la margen derecha del río Chama, superan este valor y terminan en una escarpa abrupta.

Todas estas acumulaciones, tanto las terrazas como los conos, dadas sus buenas condiciones de topografía y su relativa extensión dentro del paisaje, han permitido el desarrollo de importantes ciudades y el asiento de importante núcleos rurales.

4.5 Clima:

4.5.1 Temperatura

El área de estudio presenta un relieve, que origina una gran variedad de climas, que se ubican en el piso, bosque húmedo, montaña baja (Holdridge), localizado entre las altitudes de 1.300 y 2.400 m.s.n.m., con una temperatura media anual de 18°C que oscila entre los 18°C en el mes mas frío (enero) y una temperatura de 23 °C para el mes mas calido (septiembre). Esta amplitud térmica según estudios realizados por la escuela de Geografía de la Universidad de los Andes, refleja una isometría que no ejerce grandes efectos sobre la evolución del modelado, más bien tiene influencia sobre la vegetación, sin embargo cabe destacar que para este estudio la amplitud térmica de tiempos pasados, que era mayor, pudo ejercer buena influencia sobre el modelado.

Por otro lado, la amplitud térmica diaria es de mayor interés sobre el modelado local, ya que, esta contribuye a la disgregación de las rocas. Así, en un periodo de observación de 14 años, esta amplitud térmica diaria alcanzó un máximo absoluto de 81° C y un mínimo absoluto de 9° C.

La vegetación y los suelos tienen marcada influencia sobre las temperaturas. En suelos provistos de buena cobertura vegetal ésta sólo llega a alcanzar un máximo de 29° C (marzo). En un periodo de ocho años (1956-63) se registró un máximo de 35°C. Por el contrario, en suelos desnudos, la temperatura puede alcanzar un máximo de 60° C en horas de mediodía.

4.5.2 Precipitación

La precipitación es la característica principal de esta área de estudio con la presencia de dos períodos de máximas lluvias hacia la parte más elevada (hacia al norte), durante los meses de abril - mayo y septiembre - octubre, así como, dos mínimos en los meses de enero - febrero y julio - agosto. Esto se debe a la doble influencia de los vientos alisios del noreste que atraviesan el cañón del Río Chama y por el efecto del avance de la zona de convergencia intertropical en su movimiento hacia el norte. Existe un dominio que tiene por influencia la condensación de las masas de aire caliente que ascienden cargadas de humedad y que se produce desde la zona sur del Lago de Maracaibo culminando en precipitaciones. El promedio anual oscilante es de 1.000 a 1.700 mm/año.

Otro factor importante en las precipitaciones es un mecanismo que proviene del enfriamiento abrupto provocado por el aire frío de la montaña cuando baja hacia el valle, según un horario bastante regular. La turbulencia necesaria además al desencadenamiento de las lluvias se nota por ráfagas preliminares de viento. A menudo, cuando llueve en Mérida las precipitaciones empiezan en el valle superior del Albarregas, el valle inferior del Mucujún y sobre la vertiente izquierda del valle del Chama. El desplazamiento de la franja lluviosa puede ser bastante rápido: 2 Km. en 10 minutos.

4.6 Vegetación

El área presenta diversos tipos de vegetación, la cual depende del tipo de clima; desde árboles de tierra caliente hasta vegetación xerófila. Generalmente

corresponde a árboles, arbustos y gramíneas muy degradadas por la acción del hombre. La intervención que ha hecho el hombre ha ocasionado la continua y permanente modificación del medio que lo rodea, dando como resultado la práctica desaparición del bosque originario de la zona. Por ende, los efectos alotrópicos dan lugar a un bosque común en el cual prevalece la deforestación, cárcavas con dominio de pequeños árboles y arbustos. Es por esto que el dominio de la flora es variada, de allí que se establece un patrón para de vegetación como sigue:

4.6.1 Bosque Seco Pre – Montano:

La cobertura natural se caracteriza por la presencia de un bosque medianamente denso, evidenciándose principalmente una vegetación secundaria en estados de degradación y/o recuperación. Se caracteriza por formar una masa que cubre el suelo y por presentar dos estratos en los que varía la altura entre 8 y 18 metros en el primer estrato y 2 a 3 metros en el segundo estrato. También domina una vegetación de gramíneas en zonas abandonadas.

4.6.2 Bosque Húmedo Pre- Montano:

La vegetación se corresponde con un bosque siempre verde, medio denso, aunque éste ha desaparecido parcialmente debido al uso agrícola y solo existen remanentes en vertientes de pendientes fuertes. Se encuentra localizada entre las cotas de 1.300 y 1700 m.s.n.m. (Holdridge, 1978). Cabe destacar que los perfiles de Terraza en la mayoría de los casos no poseen mucha vegetación, sobre todo los que se encuentran verticales.

4.7 Sismicidad

En la actualidad la zona de la falla de Bocono, que comienza en la depresión del Táchira en su extremo suroeste hasta el Mar Caribe al noreste, es sísmicamente activa. La mayoría de los grandes eventos se alinean hacia el noroeste (cuenca del Lago de Maracaibo) y hacia el sureste (cuenca de Barinas) de la zona de fallas de

Bocono, alcanzando profundidades que llegan a superar los 40 Km. La distribución espaciotemporal de la sismicidad indica una actividad más intensa hacia el extremo suroeste de la zona de fallas, donde la mayoría de los grandes terremotos han ocurrido.

Datos históricos en la zona, revelan ocurrencias de sismos destructivos, que ocasionaron cuantiosas pérdidas de vidas y bienes materiales. Han sido registrados períodos de Retorno de 135 - 460 años para magnitudes $M = 8$, de 45- 70 años para magnitudes $M = 7$ y de 7-15 años para magnitudes $M = 6$, estas medidas han sido estimadas usando datos de los eventos reportados en la región occidental de Venezuela desde 1.590 hasta el presente. Estudios sismológicos y geológicos clasifican a la zona de Fallas de Bocono como muy activa, lo que a sido comprobado por estudios recientes de paleosismicidad, cuyos resultados arrojan periodos de retorno del orden de 200 años para eventos de magnitud 7, además de observaciones de campo y registros sismográficos donde se han registrado en la ciudad hasta 100 micro sismos por día (estación sismográfica de la Universidad de los Andes).

Algunas muestras de neotectonismo a lo largo de la zona de Falla de Bocono, están marcadas por rasgos típicos hallados en fallas rumbo deslizantes: aluviones, colinas y drenajes desplazados, depresiones abiertas o cerradas, lagunas y ciénagas de falla, escarpes y trincheras de falla, valles alineados, entalladuras y escalones de falla, facetas triangulares, espejos de falla estriados y zonas de milonita.

Además, estudios realizados entre 1960 y 1973 por la Red Sismológica Mundial comprobaron que esta es una zona muy sísmica (con epicentros entre 0 y 70 Km., de profundidad) con un promedio entre 1,5 y 10 sismos mayores a 4° por unidad de área (área encerrada en 10° de latitud por 10° de longitud). Todos estos datos sugieren un desplazamiento rumbo deslizante hacia la derecha entre 60 y 250 metros durante el Holoceno y de varios kilómetros durante el Cuaternario.

4.8 GEOLOGÍA REGIONAL

4.8.1 PRECAMBRICO

4.8.1.1 Grupo Iglesias:

KÜNDIG, [32], introdujo este nombre para definir someramente una unidad heterogénea de rocas sedimentarias e ígneas, intenso metamorfismo. Tiene su localidad tipo en el cerro Las Iglesias, Macizo de los Conejos, al noroeste de la ciudad de Mérida. También se observan buenos afloramientos en los flancos noreste y sureste (macizo de los Conejos), al noreste de la ciudad de Mérida y en la sierra Nevada de Mérida.

4.8.1.2 Asociación Sierra Nevada: PRECÁMBRICO SUPERIOR

Este término fue introducido por BASS y SHAGAM, [5], para designar las rocas más antiguas que se conocen en Los Andes merideños. Su localidad tipo está ubicada en la porción nororiental glaciada, de la Sierra Nevada, al sur de Mérida. La unidad, ampliamente distribuida en los estados Táchira, Mérida, Trujillo y Barinas, muestra una gran variedad de tipos litológicos; presentan alternancias de micaesquistos y gneises, gneises magmáticos, anfibolitas, gneises graníticos y localmente mármoles y cuarcitas.

4.8.2 PALEOZOICO

4.8.2.1 Asociación Tostosa: PALEOZOICO SUPERIOR

El nombre de Tostosa fue propuesto por SHAGAM, [5], para describir afloramientos expuestos en la parte baja del río Tostosa, al sur de la falla de Bocono, Distrito Campo Elías en el estado Mérida. Las rocas predominantes son las filitas y esquistos, seguidos por rocas silicias masivas, pizarras, gneises y anfibolitas, que presentan colores verdosos a gris claro, grano fino fuertemente deformadas y muy

silícias. La distribución geográfica de los afloramientos, sugiere que las rocas fueron acumuladas principalmente en una cuenca alargada y estrecha en aguas poco profundas, lejos de las corrientes activas y de la acción de las olas.

La Asociación Tostosa suprayace discordantemente a la Asociación Sierra Nevada e infrayace discordantemente a formaciones paleozoicas (Sabaneta) y cretácicas (Río Negro).

4.8.2.2 Asociación Mucuchachi: CARBONÍFERO

BELLIZZIA y PIMENTEL, [6], la incluyen dentro del Terreno Mérida como Asociación. La unidad consiste en una secuencia monótona de pizarras y filitas finamente laminadas, de color gris oscuros azulados, entre los cuales se intercalan metareniscas.

4.8.2.3 Formación Sabaneta: CARBONÍFERO TARDÍO-PÉRMICO TEMPRANO

GONZÁLES DE JUANA, [25], llamó Formación Sabaneta a la secuencia infrayacente a la Formación Palmarito. En los alrededores de la ciudad de Mérida aflora carretera hacia Jají. Es una secuencia de areniscas gruesas a guijarrosas, de color gris a marrón, que pasan hacia arriba a una intercalación de limolitas y areniscas de color rojo a rojo violeta..

4.8.2.4 Formación Palmarito: PÉRMICO MEDIO

GONZÁLES DE JUANA, [25], le asigna rango formacional y la separa de la Formación Sabaneta. En la ciudad de Mérida aflora ampliamente en la carretera Mérida – Jají hasta la entrada de Los Curos. Es una secuencia de lutitas, principalmente marinas, limos, arenas y margas, que gradan hacia arriba a calizas marinas.

4.8.3 MESOZOICO

4.8.3.1 Formación La Quinta: JURÁSICO

KUNDIG, [32], dio el nombre y la primera descripción formal, a una secuencia que aflora extensamente en la parte suroeste de Los Andes de Mérida (estados Táchira, Mérida y Barinas), en la parte noreste estado Trujillo, y en el flanco de la sierra de Perijá. La Formación consta de tres intervalos: uno inferior, compuesto por una capa de toba vítrea de color violáceo; uno medio, consistente de una secuencia interestratificada de toba, arenisca gruesa y conglomerática, limolitas y algunas capas delgadas de caliza, de color verde, blanquecino, gris o violáceo y un intervalo superior, formado por limolita y arenisca, intercaladas por algún material tobáceo, de color rojo ladrillo y marrón chocolate.

4.8.3.2 Formación Río Negro: CRETÁCICO: NEOCOMIENSE-BARREMIENSE

La formación aflora en la mayor parte de Venezuela Occidental en los estados Zulia, Táchira y Mérida y esta compuesta por: areniscas blancas, generalmente de grano grueso; conglomerados heterogéneos; arcillas y lutitas variables, en tonos brillantes de amarillo, rojo y morado. De acuerdo con su fuente sedimentaria, las areniscas varían de muy cuarzosas, a muy feldespáticas.

4.8.3.3 Formación Apón: CRETÁCICO, APTIENSE-ALBIENSE TEMPRANO

Fue definida por SUTTON, [47], cuyo nombre se deriva del Río Apón, 10 Km. al oeste de Machiches, donde el río corta al piedemonte oriental de la sierra de Perijá. Se extiende por Venezuela Occidental y este de Colombia, Sus afloramientos forman franjas por el frente oriental de la sierra de Perija, y frente noroccidental de los andes de Mérida.

4.8.3.4 Formación Aguardiente: ALBIENSE

Su extensión geográfica abarca el Zulia suroccidental, partes adyacentes de Colombia, y cordillera de Los Andes entre Táchira y Lara. Esta formación presenta areniscas calcáreas duras, de color gris a verde claro, grano variable y estratificación cruzada, localmente glauconíticas, con intercalaciones de lutitas micáceas y carbonáceas y algunos lechos de calizas; Localmente las areniscas son tan calcáreas que se aproximan a calizas arenosas.

4.8.3.5 Formación Capacho: CRETÁCICO, ALBIENSE-TURONIENSE

SIEVERS, [45], introdujo el término calizas de Capacho para designar una Sección de Calizas del cretácico medio expuesta cerca del cerro Capacho al sur del pueblo del mismo nombre, estado Táchira. Según RENZ, [42], en Los Andes, la formación esta presente en las secciones desde Torondoy hasta Bocono. Lutitas duras de color gris oscuro a negro, calizas duras de colores claros, frecuentemente fosilíferas, y ocasionales limolitas.

4.8.3.6 Formación La Luna: CRETÁCICO, CENOMANIENSE-CAMPANIENSE

Es descrita en detalle y se le asigna rango de formación por HEDBERG y SASS, [27]. Se presenta en toda la extensión de la cuenca del lago de Maracaibo, estado Zulia, como también en los estados Falcón, Lara, Trujillo, Mérida, Táchira, Barinas y la península de la Guajira, Colombia. Consiste típicamente de calizas y lutitas calcáreas fértidas, con abundante materia orgánica laminada.

4.8.4 CENOZOICO

4.8.4.1 Formación San Javier: TERCIARIO: EOCENO

Fue descrita por GHOSH y ODREMAN, [23], en la zona del valle de San Javier, ubicado al noreste de la ciudad de Mérida. Consiste en alternancias de

areniscas limosas, grauvacas cuarzosas maduras, e intervalos fósiles lutáceos y calcáreos, con fósiles de bivalvos y gasterópodos marinos. Tres unidades o miembros se han identificado. El inferior consiste en delgadas capas de limolitas y areniscas limosas calcáreas, fosilíferas. La unidad media consiste en areniscas finas, arenitas cuarzosas maduras, areniscas impuras intercaladas, asociadas con limolitas y lutitas con frecuentes restos fósiles. La superior consiste en areniscas limosas, de grano fino, limolitas, lutitas limosas.

4.8.4.2 Formación Mucujún: TERCIARIO: MIOCENO – PLIOCENO

Fue descrita por GHOSH Y ODREMAN, [23]. Su localidad tipo aflora en la zona del valle de San Javier, ubicado al noreste de la ciudad de Mérida. La formación consiste de dos unidades. La inferior caracterizada por una alternancia de lodositas moteadas gruesas y limolitas lenticulares. La unidad superior arenosa con areniscas conglomeráticas, areniscas delgadas lenticulares, limolitas.

4.8.5 CUATERNARIO

La sedimentación cuaternaria esta conformada por espesas acumulaciones aluviales reciente, actualmente separadas en varias porciones de terrazas y conos de deyección. Así como por evidentes rasgos geomorfológicos y sedimentarios glaciares. En Mérida está representada por grandes espesores de sedimentos que algunos ríos, como el Chama, el Mucujún y el Albarregas han depositado en posición de terrazas bien expuestas. Estas terrazas están compuestas principalmente de rocas precámbricas y cantidades menores de rocas sedimentarias. Durante el cual los procesos de sedimentación y erosión se alternaron, sin que cambiaran el régimen de los ríos, de tal forma que el material erosionado era repuesto por una nueva sedimentación periódica.

CAPITULO V

ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez realizado los ensayos o pruebas de laboratorio se desea describir en este capítulo el análisis de los resultados. Esta sección contiene como principal herramienta la correlación gráfica de los parámetros estudiados en esta investigación como son: el ángulo de fricción interna ϕ , la densidad relativa D_r , la relación de vacíos e , la porosidad n , contenido de humedad ω , la densidad seca γ_d entre otros. Adicionalmente se ha comparando estas correlaciones con los diversos investigadores que han tratado estos temas como Meyerhof [35], Cauquot [13], Conrforth [14], Giuliani [24], Giraude [15], Burmister [10] que han sido mencionados en el capítulo II del presente estudio. También en esta sección se indica la relación entre la densidad máxima seca obtenida en el ensayo de compactación según la normativa Próctor Modificado y la densidad máxima seca obtenida a través de la mesa vibratoria según prueba de densidad relativa.

5.1. Fronteras del los parámetros de investigación

El primer paso relacionar los valores obtenidos y así poder establecer con claridad el intervalo en el cual se evaluaron las correlaciones obtenidas. En este sentido se ha considerado como referencia los valores máximos y mínimos de los resultados generales de los experimentos realizados en el espacio muestral investigado de la terraza de Mérida. En la tabla N° 18 se indican las fronteras de los parámetros principales de esta investigación, para ver el alcance de las interrelaciones que aquí van surgir.

Tabla N° 18 Intervalos recomendados en las correlaciones obtenidas en esta investigación.

Relacion de vacios e	Densidad Relativa Dr %	Angulo de friccion interna ϕ°	Densidad máxima seca ρ_{dnat} t/m ³	contenido de humedad $\omega\%$
$0,37 \leq e \leq 0,66$	$18\% \leq \%Dr \leq 95\%$	$37^{\circ} \leq \phi \leq 43^{\circ}$	$1,60 \leq \gamma_d \leq 1,95$	$5,82 \leq \omega \leq 13,90$

5.2. Correlación entre ángulo de fricción interna y la densidad relativa obtenidas experimentalmente.

Muchos autores en sus correlaciones prefieren usar el coeficiente de fricción ($\tan\phi$), para correlacionarlo con otros parámetros. En este estudio se plantea la correlación de la misma manera. En la tabla N° 19 se muestran en detalle los resultados, y posteriormente en la figura N° 20, se observa la conducta grafica de estos dos parámetros.

Tabla N° 19 Valores experimentales del ángulo de fricción interna y la densidad relativa de los suelos de la terraza de Mérida.

Fuente: el Autor

Angulo de fricción interna ϕ° experimental	Coficiente de fricción tg Φ	Densidad relativa %Dr experimental
38.00	0.78	57.85
41.24	0.88	69.56
42.00	0.90	60.03
35.00	0.70	18.95
39.38	0.82	83.24
42.92	0.93	93.05
43.00	0.93	79.72
45.00	1.00	95.28
43.00	0.93	77.44
45.00	1.00	87.14
46.00	1.04	82.84
41.00	0.87	75.00

En los datos experimentales de la tabla N° 19 se le aplicó un análisis estadístico a través del programa Crystal Ball utilizando la técnica de Monte Carlo, en el Anexo B se muestra la gráfica y los valores más importantes como la media, mediana, desviación estándar, coeficiente de variación entre otros estadígrafos. Algunos de estos valores son reflejados en la siguiente tabla:

Tabla N° 20. Valores mas importantes del análisis estadístico de los ensayos experimentales (coeficiente de fricción $\text{tg}(\phi)$ y la densidad relativa)

Estadígrafos más importantes	valores de pronostico $\text{tg } \phi$	valores de pronostico Dr%
Media	0,90	78,42
Mediana	0,90	78,53
Desviación Estándar σ	0,09	12,09
Coeff. de Variabilidad Cv	10,16	15,42

Por otro lado los valores descritos en la tabla N° 20 se han graficado en la figura N° 20 con la finalidad de ver cual es el comportamiento uno respecto del otro.

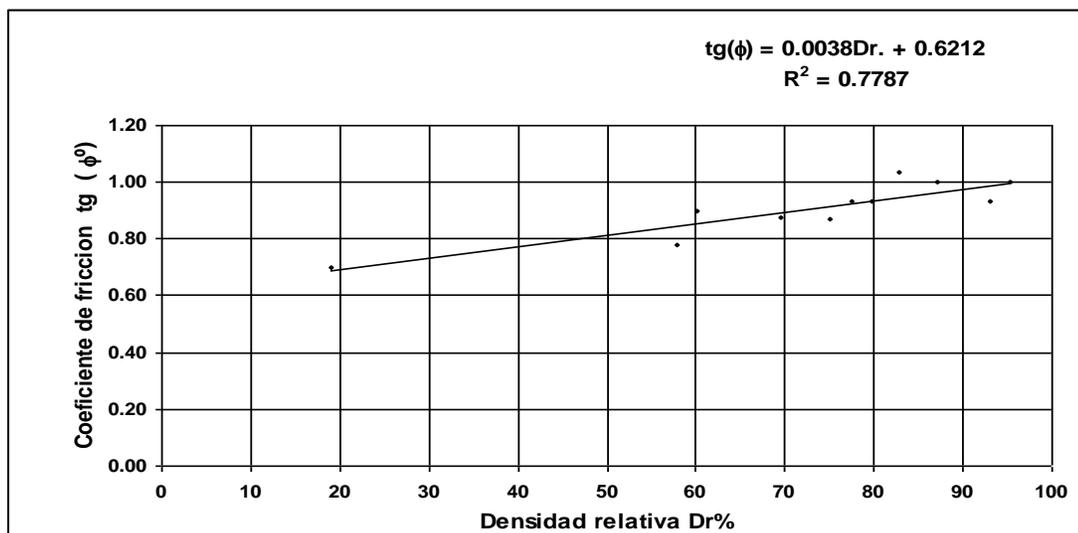


Figura N° 21. Correlación entre el coeficiente de fricción y la densidad relativa de los suelos de la terraza de Mérida.

Como se puede observar en la figura N° 21 el coeficiente de fricción aumenta a medida que incrementa la densidad relativa tal como era de esperarse, esta relación se puede sintetizar en la siguiente expresión:

$$tg(\phi) = 0.0038 Dr\% + 0.6212$$

Reescribiendo nos queda la siguiente ecuación experimental:

$$tg(\phi) = \left(\frac{0.38Dr\% + 62}{100} \right) \quad \text{Ec. 5.1}$$

La ecuación antes descrita tiene un coeficiente de correlación $R^2 = 0.78$ que es bastante aceptable. De igual forma se hizo un análisis estadístico a la ecuación 5.1 con el programa Crystal Ball, tomando en cuenta los intervalos de la densidad relativa que se describen en la tabla N° 21 en forma tal de observar sus algunos valores estadígrafos importantes.

Tabla N° 21. Análisis estadístico de la ecuación 5.1

$\%Dr_{\min}$	$\%Dr_{\text{nat}}$	$\%Dr_{\text{máx}}$	Distribución	Media $tg \phi$	Desviación estandar $\sigma_{tg\phi}$	Coefficiente de variación $\%Cv_{tg\phi}$	$tg(\phi) - \sigma_{tg\phi}$	$tg(\phi) + \sigma_{tg\phi}$	% Certeza ó Confianza
30	40	50	Triangular	0.77	0.02	2.00	0.75	0.79	80
40	50	60	Triangular	0.81	0.02	1.93	0.79	0.83	80
50	60	70	Triangular	0.85	0.02	1.80	0.83	0.87	80
60	70	80	Triangular	0.89	0.02	1.70	0.87	0.91	80
70	80	90	Triangular	0.93	0.02	1.60	0.91	0.95	70
80	90	100	Triangular	0.96	0.02	1.59	0.94	0.98	80

Se puede analizar según la tabla N° 21 que el coeficiente de fricción $tg(\phi)$ aquí encontrado tiene una desviación estándar de $\sigma_{tg\phi} \pm 0,02$, indicando que el 80% de los valores de coeficiente de fricción estadísticamente están en el rango de los valores descritos en la mencionada tabla y con un coeficiente de variación de $Cv = 1,8 \%$ en términos relativos, obteniéndose que con un 80% de certeza que el coeficiente de fricción interna se encuentra en el intervalo:

$$tg\phi - \sigma_{tg\phi} \leq tg\phi \leq tg\phi + \sigma_{tg\phi} \quad \text{con } \sigma_{tg\phi} = 0,02$$

5.3. Comparación de la ecuación experimental 5.1 con la ecuación de Meyerhof [39]Giuliani y Nicoll [24]

Para hacer una comparación de los resultados obtenidos utilizando la ecuación experimental 5.1 (método de los mínimos cuadrados), se considera la ecuación de Meyerhof [39], con la finalidad de observar si existen diferencias en los resultados, este autor tiene dos restricciones respecto a su contenido de finos (%pasa 200) en el uso de estas ecuaciones. Una para porcentajes de finos mayores de 5 % y otra para menores de 5%, luego se relacionó la del autor Giuliani y Nicoll [24] **Ec. 2.4** y lo resultados se expresan en la tabla N° 4, en este estudio se tomo la que corresponde a porcentaje de finos mayores de 5% ya que se ajusta perfectamente a todos los suelos de la toma muestral (ver tabla N° 11). Evaluando la ecuación 5.1, la ecuación de Meyerhof [39] y la de Giuliani-Nicoll [24], para diferentes $D_r \%$ se obtuvieron los valores de la tabla N° 22 y la figura N° 22, a continuación presentados:

Tabla N° 22. Valores de densidad relativa y ángulo de fricción interna (según ecuación de Meyerhof 1956 Giuliani y Nicoll 1982), y Ecuación N° 5.1.

Densidad relativa Dr %	Angulo de fricción interna $\Phi_{\text{experimental}}$	Angulo de fricción interna Φ_{meyerhof}	Angulo de fricción interna $\Phi_{\text{giuliani-Nicoll}}$
10	33	27	32
20	35	28	34
30	36	30	35
40	38	31	36
50	39	33	38
60	40	34	39
70	42	36	40
80	43	37	41
90	44	39	42
100	45	40	43

De la tabla N° 22 se observa que los valores del ángulo de fricción interna experimental presentan una diferencia mayor respecto a los valores de Meyerhof [39], para valores de hasta un máximo de 6°, siendo esta una diferencia notoria de consideración, mientras que los valores experimentales tienen una variación de 2° respecto a la ecuación de de Giuliani y Nicoll [24], siendo esta diferencia mas aceptable.

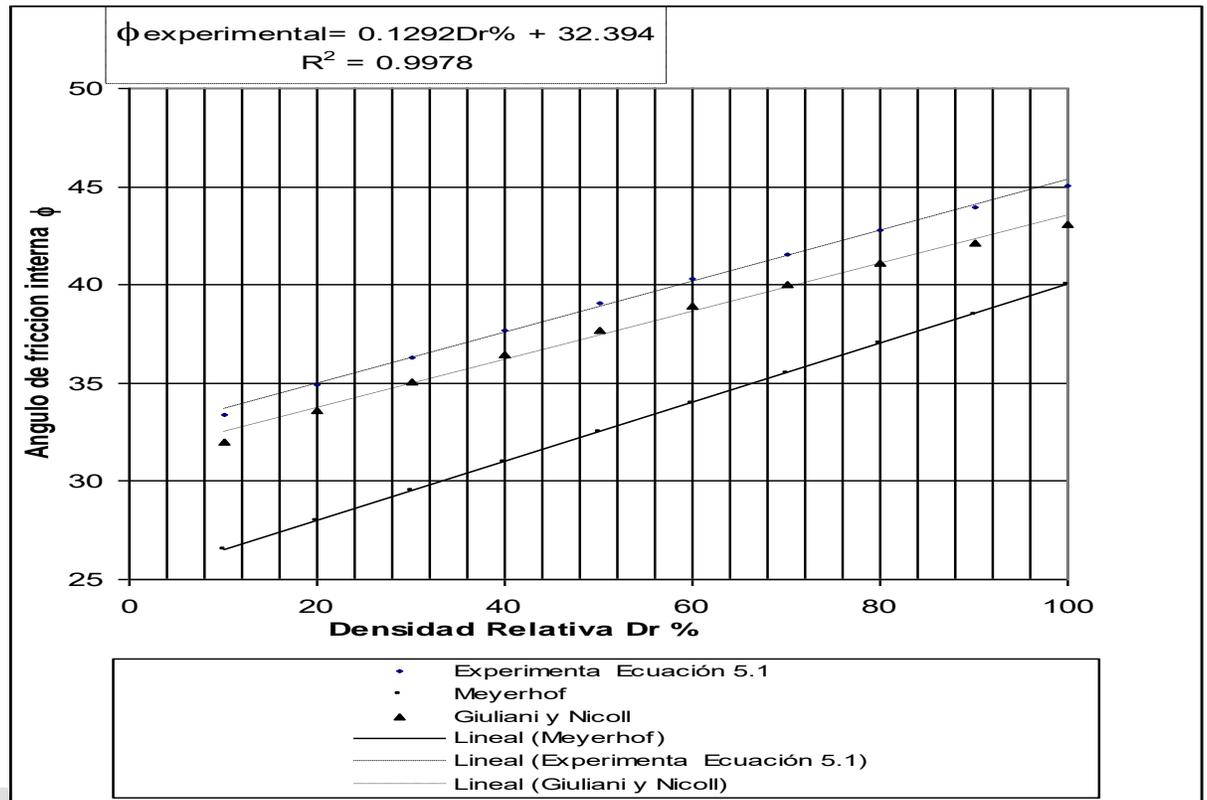


Figura N° 22 Relación del ángulo de fricción interna y la densidad relativa según Meyerhof 1956, Giuliani y Nicoll 1982 y ecuación 5.1

Al exponer gráficamente estos valores como se puede apreciar en la figura N° 22 las ecuaciones de Meyerhof [39], Giuliani y Nicoll [24], la ecuación 5.1 tiene una gran similitud en cuanto a la pendiente propuesta por los autores, aunque Meyerhof [39], experimentó con arenas un poco más idealizadas. Cabe destacar que en esta investigación se emplearon suelos más integrales en cuanto a proporciones de grava, arena, y finos.

La ecuación 5.1 da un valor del ángulo de fricción interna mayor en aproximadamente 1° para %Dr < 60% y de 2° aproximadamente para valores de %Dr > 60% respecto a la ecuación de Giuliani y Nicoll [24], mientras que con la

ecuación de Meyerhof [39]. tienen una diferencia de 5° a 6° para cualquier densidad relativa, pero las mismas tienen una gran convergencia.

En este mismo sentido la ecuación $\phi_{\text{experimental}} = 0,1292Dr + 32,39$ tiene una gran afinidad con la ecuación de Burmister [10] de la tabla N° 5 del capítulo II para arena media. Donde la diferencia del ángulo de fricción interna es de aproximadamente -2°.

5.4 Comparación de la relación de vacíos, el ángulo de fricción interna de los suelos de la terraza de Mérida y la ecuación propuesta por Caquot y Kérisel.

Según la ecuación 2.3 propuesta por Caquot y Kérisel [13], en la tabla N° 23 se determinó el producto entre coeficiente de fricción y la relación de vacíos es aproximadamente constante, llamando a dicho factor, K. En el caso investigado se determinó que para los suelos de Mérida el valor recomendado es de $0,37 \leq K \leq 0,43$ (Ver Anexo B), valor que ha sido sugerido por Caquot y Kérisel [13] en el ítem 2.1.2

Tabla N° 23. Valores del ángulo de fricción según datos experimentales y Caquot para correlación con la relación de vacíos para un valor de K= 0,40

$K = \text{tg}(\phi) * e$ Caquot y Kérisel	$\phi_{\text{experimental}}$	ϕ_{Caquot} k=0.4	e_{nat}
0,45	38	35	0,57
0,37	41	44	0,42
0,4	42	42	0,45
0,46	35	31	0,66
0,35	39	43	0,43
0,42	43	42	0,45
0,36	43	46	0,39
0,37	45	48	0,37
0,4	43	43	0,43
0,37	45	47	0,37
0,38	46	47	0,37
0,41	41	40	0,47

Graficando los valores obtenidos en este estudio, según la Tabla N° 23, con método de máximos y mínimos cuadrados se realizó la comparación gráfica según figura N° 23 entre $\phi_{\text{experimental}}$ y ϕ_{Caquot} con e_{nat} , usando el valor de K descrito anteriormente.

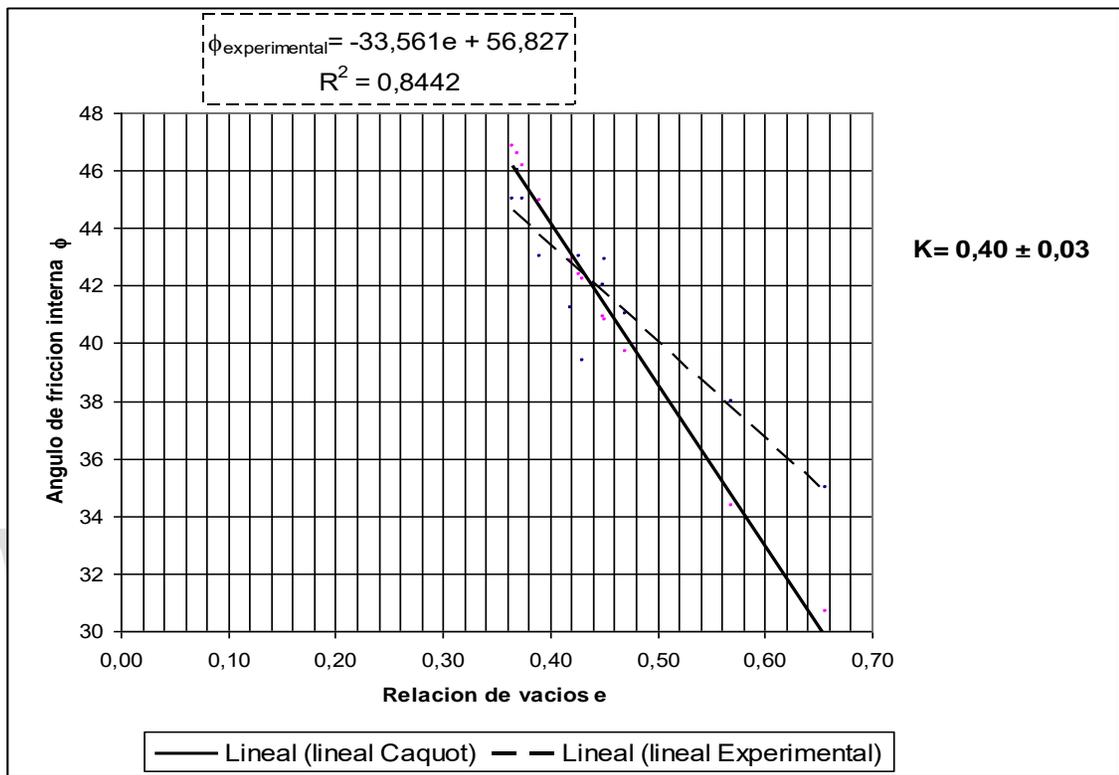


Figura N° 23 Correlación del ángulo de fricción interna y la relación de vacíos para valores de $K = 0,40 \pm 0,03$ para valores experimentales, y los obtenidos según Caquot y Kérisel.

La ecuación experimental $\phi=f(e)$ se aproxima bastante bien en la mayoría de los casos con los de Caquot y Kérisel [13]. La pequeña variación probablemente tenga su efecto en el tipo de suelos usados por los autores que en su mayoría fueron arenas. Podría sugerirse en otro avance de esta investigación calibrar con mayor espacio muestral el factor K, para conocer con exactitud cual es este valor para los suelos estudiados en esta investigación. Además se podría establecer una nueva

hipótesis para examinar como es la variación del valor de K en función de su composición granulométrica.

5.5. Comparación de la relación de vacíos, el ángulo de fricción interna de los suelos de la terraza de Mérida y la ecuación propuesta por Giraudet.

El referido autor igualmente hace una comparación entre el coeficiente de fricción y la relación de vacíos (**ver ecuación 2.2**).

Analizando al igual que en la sección anterior se puede confrontar la formulación de Giraudet, (tomado de Costet y Sanglerat) [15], y la encontrada en esta investigación. En este sentido se hace una regresión del tipo potencial para ambos casos y así graficar los parámetros, con la justificación de que el coeficiente de determinación del autor se ajusta a $R^2 \cong 1$, encontrándose que con este método y los parámetros experimentales también se ajustan mejor a este tipo de análisis gráfico. La tabla N° 24 contiene el parámetro ángulo de fricción interna tanto del autor como el de esta investigación, y también la relación de vacíos de los suelos en estudio los cuales se presentan en la figura N° 24

Es de importancia acotar que los puntos encontrados y los del autor antes mencionado también se ajustan bien a una regresión polinómica que pudo ser una otra alternativa para realizar la evaluación analíticamente, pero en este caso se tomo la regresión potencial.

Tabla N° 24. Valores del ángulo de fricción según datos experimentales y Girudet para correlación con la relación de vacíos.

Angulo de fricción interna	Angulo de fricción interna	Relación de vacíos e
$\phi_{\text{experimental}}$	ϕ_{Giraudet}	
38.00	37.82	0.57
41.24	43.96	0.42
42.00	42.53	0.45
35.00	35.25	0.66
39.38	43.47	0.43
42.92	42.42	0.45
43.00	45.51	0.39
45.00	46.97	0.37
43.00	43.61	0.43
45.00	46.43	0.37
46.00	46.74	0.37
41.00	41.61	0.47

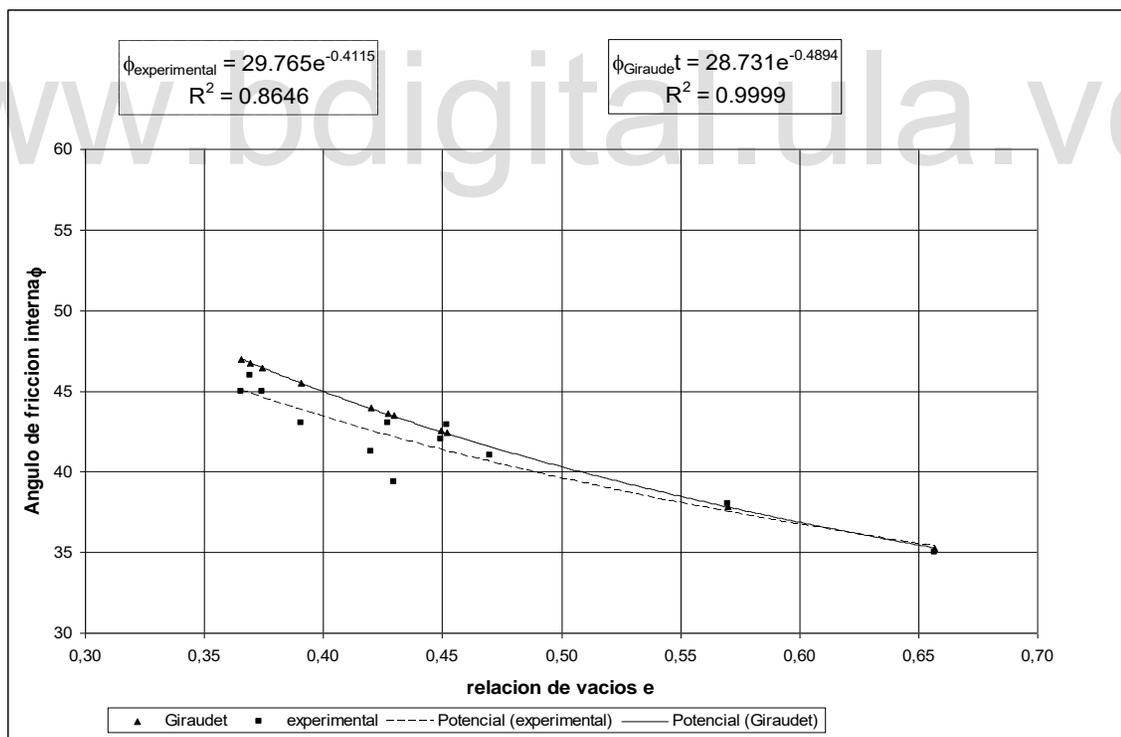


Figura N° 24 Correlación del ángulo de fricción interna y la relación de vacíos, según Giraudet (1939) y los obtenidos en esta investigación. (tomado de Costet y Sanglerat) [15],

A través de la ecuación experimental se observa una gran similitud, aunque el ángulo de fricción interna obtenido presenta una disminución respecto a Giraudet [9]. en 2° aproximadamente para relaciones de vacíos bajas, al aumentar la relación de vacíos este se va acercando mejor a los valores de la ecuación del autor. Sin embargo la ecuación 5.2 (experimental) que arroja esta confrontación, se analizó estadísticamente para observar su desviación estándar y afirmar si los 2° de disminución se corresponden a esta desviación.

$$\phi = 29,765 e^{-0,4115} \quad \text{Ec. 5.2}$$

Para realizar evaluación estadística de la ecuación 5.2 se empleó una distribución triangular de los datos en forma de rango como se establece en la tabla N° 25. En primer lugar se definió la desviación estándar del termino independiente e (relación de vacíos), mostrando valores de $\sigma \pm 0,09$ con un coeficiente de variación $Cv = 19,30\%$ extraído del reporte estadístico que se encuentra en el Anexo B.

La solución obtenida del estudio estadístico de la ecuación 5.2 en forma de intervalos de relación de vacíos demostró que el ángulo de fricción interna tiene una desviación estándar de $\sigma_{\phi} = \pm 0,65^{\circ}$ con un coeficiente de variación de $Cv = 1,77\%$. En la misma se obtuvo un 65,31 % de certeza que el ángulo de fricción interna ϕ se encuentra en el intervalo:

$$\phi - \sigma_{\phi} \leq \phi \leq \phi + \sigma_{\phi} \quad \text{Con } \sigma_{\phi} = 0,65^{\circ}$$

La siguiente tabla muestra los estadígrafos más importantes por intervalos de relación de vacíos para la ecuación 5.2.

Tabla N° 25. Análisis estadístico de la ecuación 5.2

Rango			Distribución	Ec. 5.2	Media $\bar{\phi}$	Desviación estándar σ_{ϕ}	Coeficiente de variación %Cv ϕ	$\phi - \sigma_{\phi}$	$\phi + \sigma_{\phi}$	% Certeza ó Confianza
e_{MIN}	e_{nat}	e_{MAX}								
0.35	0.40	0.45	Triangular	43.4	43.43	0.92	2.00	42.51	44.35	65.14
0.40	0.45	0.50	Triangular	31.34	41.36	0.77	1.93	40.59	42.13	65.26
0.45	0.50	0.55	Triangular	39.59	39.61	0.67	1.80	38.94	40.28	65.43
0.50	0.55	0.60	Triangular	38.07	38.08	0.58	1.70	37.50	38.66	65.06
0.55	0.60	0.65	Triangular	36.73	36.75	0.52	1.60	36.23	37.27	65.45
0.60	0.65	0.70	Triangular	35.54	35.55	0.46	1.59	35.09	36.01	65.52

5.6. Correlaciones entre el ángulo de fricción interna ϕ y la porosidad, n.

Otra relación que se determinó en esta investigación es la variación de ángulo de fricción interna de los suelos en estudio y su porosidad, que es otro parámetro de medición importante en la Mecánica de Suelos. Teniendo en cuenta la relación entre e y n, se puede correlacionar $\phi=f(n)$, tal como se indica en la siguiente tabla:

Tabla N° 26. Valores del ángulo de fricción y la porosidad de los suelos de la meseta de Mérida.

Angulo de fricción interna $\Phi_{experimental}$	38	41	42	35	39	43	43	45	43	45	46	41
Porosidad n	36	30	31	40	30	31	28	27	30	27	27	32

La razón de construir la mencionada tabla, es poder comparar con los trabajos realizados por Cornforth y Bjerrum [14], según figura N° 6 y figura N° 1. La figura N° 25 muestra gráficamente la relación entre el ángulo de fricción interna ϕ

y la porosidad n de los mencionados autores y la obtenida en esta investigación. Surgiendo una nueva ecuación 5.3 con un coeficiente de correlación $R^2 = 0,8633$ siendo este un valor bastante aceptado, y por otro lado se observa una convergencia entre las curvas.

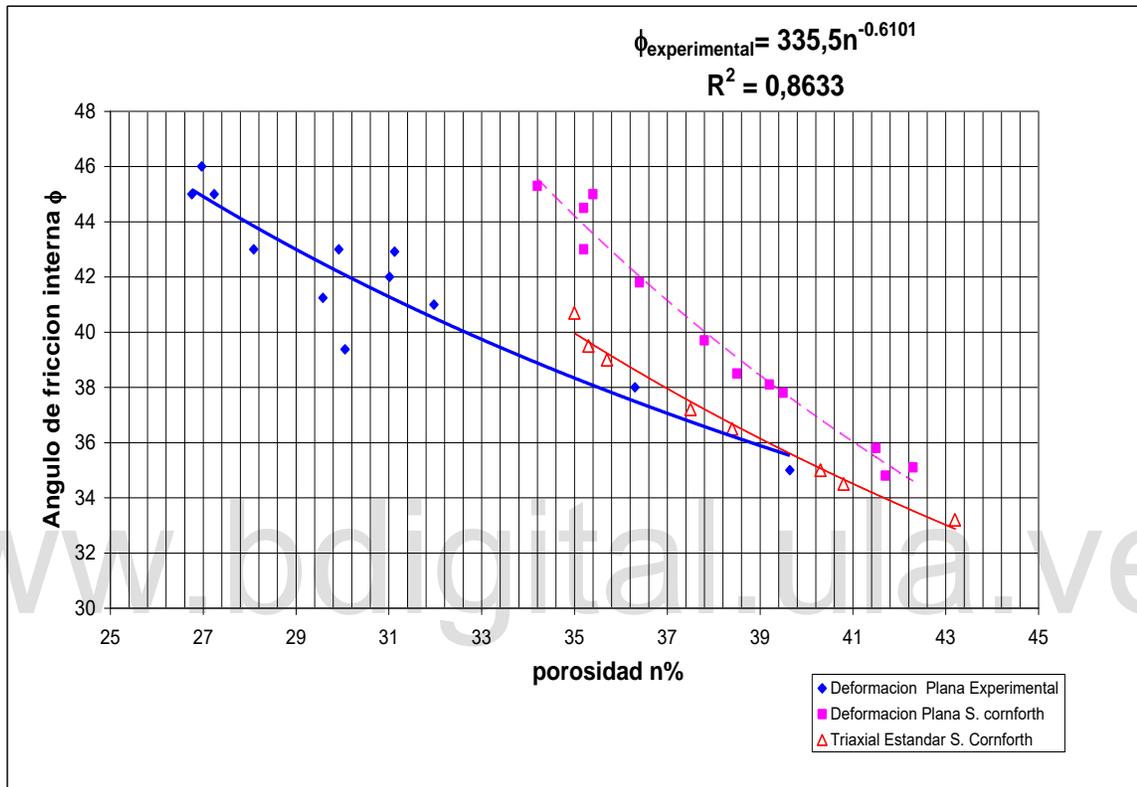


Figura N° 25. Correlación entre el ángulo de fricción interna y la porosidad. Según: Cornforth, (1964) y los obtenidos en esta investigación.

Como se puede ver en esta ocasión la curva experimental se desplaza hacia la izquierda en una buena proporción debido al porcentaje de finos presentes en el espacio muestral de esta investigación que hacen que la porosidad de las mismas disminuya a diferencia de los trabajos que realizó Cornforth [14]. que fueron para pruebas en arenas mas gruesas donde la porosidad es mayor debido a la falta de finos que puedan llenar los espacios vacíos del suelo.

Esta correlación arroja la siguiente expresión:

$$\phi = 335.5n^{-0.6101} \quad \text{Ec. 5.3}$$

Se realizó un reporte estadístico de la ecuación 5.3, tomando en cuenta que la desviación estándar de la porosidad es de $\sigma = \pm 3.89$ con un coeficiente de variabilidad de 12.55 % (ver reporte Anexo B). En el análisis de distribución triangular por rangos de porosidad, de la ecuación 5.3 (ver Anexo B) la desviación estándar del ángulo de fricción interna en función de su porosidad es aproximadamente de $\sigma_{\phi} = \pm 1,3^{\circ}$ y un coeficiente de variación $Cv = 3,38 \%$, observándose además un 65,28 % de certeza que el ángulo de fricción interna ϕ se encuentra en el intervalo:

$$\phi - \sigma_{\phi} \leq \phi \leq \phi + \sigma_{\phi} \quad \text{con } \sigma_{tg\phi} = 1,3^{\circ}$$

www.bdigital.ula.ve

A continuación la siguiente tabla reporta algunos estadígrafos importantes para la ecuación 5.3.

Tabla N° 27. Análisis estadístico de la ecuación 5.3

Rango			Distribución	Media $\bar{\phi}$	Desviación estándar σ_{ϕ}	Coeficiente de variación $\%CV_{\phi}$	$\phi - \sigma_{\phi}$	$\phi + \sigma_{\phi}$	% Certeza ó Confianza
e_{MIN}	e_{nat}	e_{MAX}							
25.00	30.00	35.00	Triangular	42.12	1.78	4.00	40.34	43.90	64.87
30.00	35.00	40.00	Triangular	38.34	1.38	3.60	36.96	39.72	65.34
35.00	40.00	45.00	Triangular	35.34	1.11	3.13	34.23	36.45	65.55
40.00	45.00	50.00	Triangular	32.89	0.92	2.78	31.97	33.81	65.36

5.7. Influencia de la humedad sobre el parámetro de resistencia

Parece lógico pensar que cuando en el suelo se aumenta su contenido de humedad la resistencia al esfuerzo cortante se vea afectada, y quizá en los suelos más superficiales que no están influenciados por una presión de confinamiento. En este estudio se trataran algunas relaciones sobre esta influencia de la humedad de una forma muy somera.

En esta sección se realizó una nueva correlación que no se había hecho en esta investigación, con ayuda de la hoja de cálculo Excel, en su herramienta de análisis de datos se ejecuto la Correlación Múltiple con un nivel de confianza del 95 % de varios de los parámetros que aquí se presentan.

Los parámetros correlacionados fueron: el ángulo de fricción interna ϕ , humedad w , la cohesión C y la densidad natural $(\rho_d)_{nat}$ que están muy íntimamente ligada a la humedad. Esta correlación múltiple se reporta en la ecuación 5.4 con una media muestral es $\bar{X} = 40,93^\circ$ y su desviación estándar $\sigma = \pm 2,71^\circ$, con un coeficiente de variación $Cv = 6,62\%$, según reporte en Anexo B y los intervalos de ϕ , ρ_d , w están definidos al inicio de este capítulo, y el intervalo de la cohesión sería: $0 \leq C \leq 0,13$.

$$\phi = 1,56C + 26,76\rho_d - 0,187w - 7,14 \quad \text{Ec. 5.4}$$

En esta ecuación se obtuvo un 66,59 % de certeza que el ángulo de fricción interna ϕ se encuentra en el intervalo:

$$\phi - \sigma_\phi \leq \phi \leq \phi + \sigma_\phi \quad \text{Con } \sigma_\phi = 2,71^\circ$$

Observando la ecuación 5.4 en forma lineal, se distingue numéricamente cual es la influencia de cada parámetro. Pero con ayuda del programa Crystal Ball se puede ver gráficamente en la fig N° 26 la cual posee la sensibilidad de la ecuación respecto a cada uno de los parámetros que la componen.

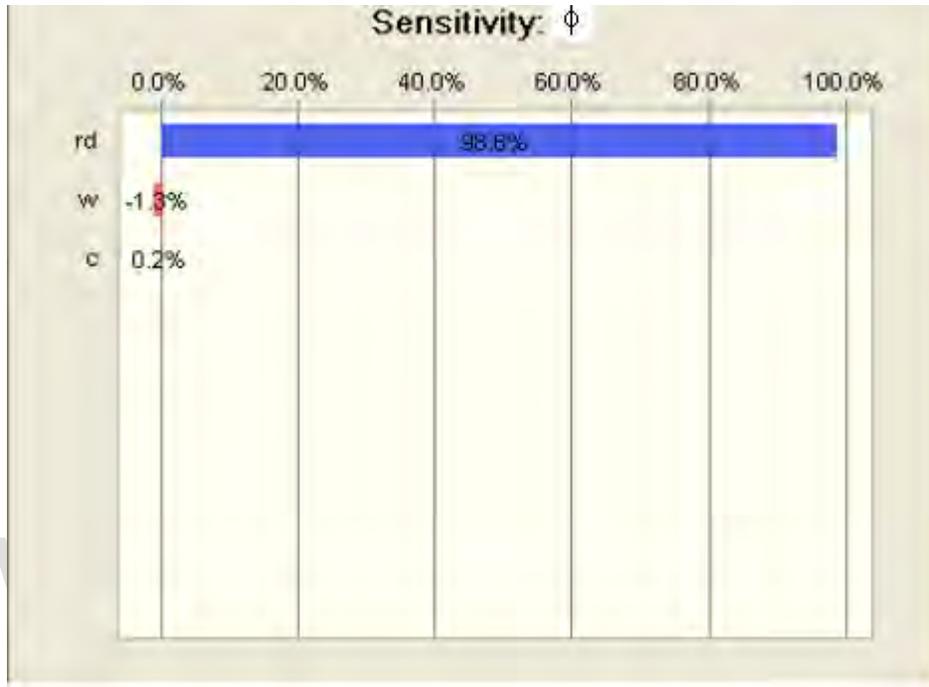


Figura N° 26. Sensibilidad del ángulo de fricción interna respecto a los parámetros de dependencia en la ecuación 5.4.

Como se puede observar la influencia del contenido de humedad y la cohesión no juegan un papel predominante en la obtención del parámetro de resistencia ϕ . Mientras que la densidad tiene un 96,6 % de influencia sobre la ecuación 5.4

A si mismo graficando los pronósticos del ángulo de fricción interna de esta ecuación y los experimentales con el contenido de humedad se obtiene la figura N° 27.

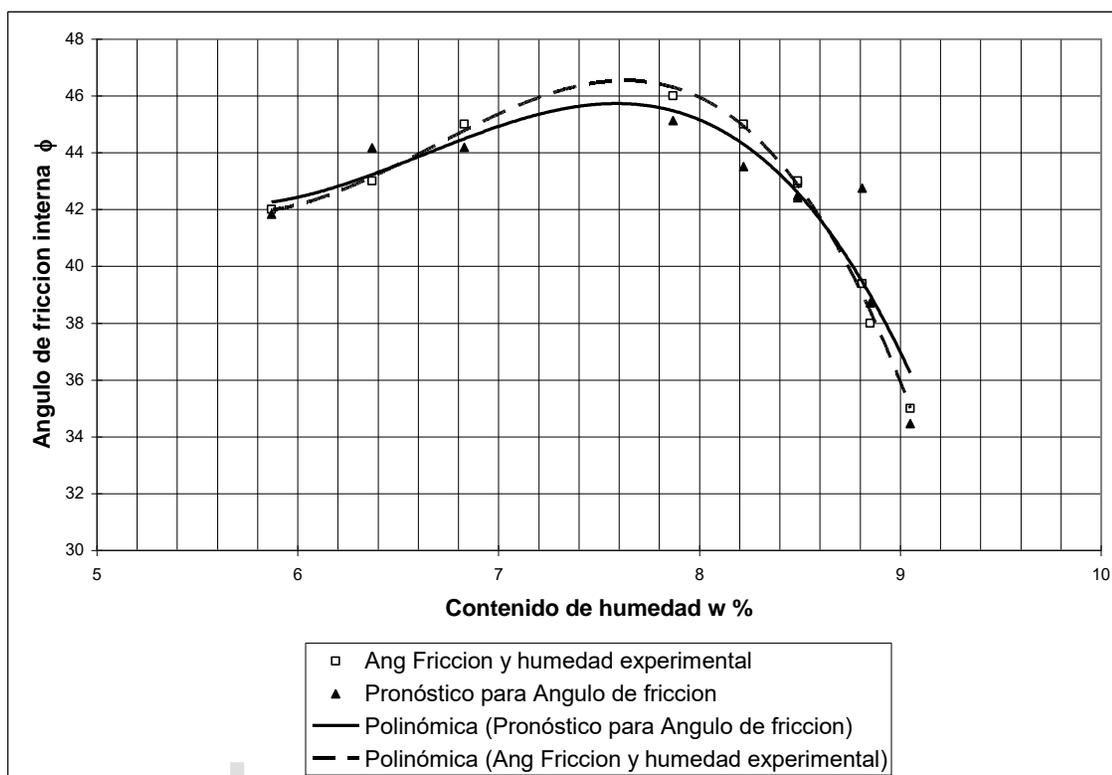


Figura N° 27. Relación entre el ángulo de fricción interna (correlación múltiple y experimental) con humedad en los suelos de Mérida.

Las graficas presenta un aumento y una disminución de su ángulo de fricción interna con el cambio de su contenido de humedad, como se dijo anteriormente esta curva tiene un gran parecido a la curva de compactación. Aunque su parecido es en la conducta de la variación de la humedad, se puede afirmar que también tienen sus diferencias, pues en la compactación se trabaja con un solo tipo de material y en este estudio se maneja con diferentes suelos de la meseta Mérida y eso la hace diferente, en cuanto a la compactación se relaciona con la densidad mientras que en la figura N° 27 se relaciona con el ángulo de fricción interna.

Esta variación del ángulo de fricción interna pudiera presentarse con el agua que se presenta en el contacto entre partículas al aplicar el esfuerzo tangencial de corte que ayudaría a aumentar o disminuirlo, pero vemos que la densidad igual

esta íntimamente relacionada y así se reflejo en la ecuación 5.4. Sabemos que la densidad del suelo incluso tiene una variación de aumento y disminución en su valor dependiendo de su humedad pero también es cierto que un material al densificarse mejor aumenta su resistencia al esfuerzo cortante, por tanto esta variación del ángulo de fricción interna en los suelos por cambios de humedad pudiera ser muy acertada.

Por otro lado habría que analizar la variación del coeficiente de fricción, $\text{tg}\phi = \mu$ característico de cada suelo, respecto su aumento o disminución con el contenido de humedad. Ya que en esta investigación se restringe realizar esta comparación por la diversidad de la toma de muestra y determinarlo no daría ningún resultado confiable. Pues queda abierta esta investigación para que en lo sucesivo se pueda establecer de forma experimental si esta variación existe y poder establecer con mayor precisión la influencia del agua en el ángulo de rozamiento.

5.8 Análisis de la densidad de compactación con la densidad máxima de la mesa vibratoria.

En la ejecución de la presente investigación, hubo que determinar la densidad máxima seca con ayuda del contenido de humedad es decir con ayuda de la curva de compactación, por la razón que en el calculo de la densidad máxima seca que se obtiene al vibrar los suelos en estudio arrojaba valores muy bajos para tal densificación y en la determinación del valor de la densidad relativa reportaba unos valores muy superiores a uno (1) algo no muy razonable.

En consecuencia se tomo la decisión de obtenerla a través de otro proceso de densificación que lograra mejores resultados que los obtenidos en la mesa vibratoria.

Una vez realizada la densificación por ambos procesos se pudo se realizo una comparación entre los valores obtenidos como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N° 28. Comparación de la densidad máxima seca obtenidas a través de la mesa vibratoria y la compactación bajo la norma Próctor Modificado T180-D

Procedencia de la toma de muestra	$P_{d\text{máx}}$ m en mesa vibratoria	$P_{d\text{máx}}$ en la curva de compactación	% de compactación alcanzado respecto a la vibrada
El Acuario, Nuevo enlace Frente a C.C Las Tapias	1.69	2.15	78.60
Estadium "Luis Fargier" Detrás de la Av. Humberto Tejera	1.77	2.15	82.44
Vía Pueblo Nuevo detrás de la Plaza de toros Román E. S.	1.86	2.20	84.68
Actual C.C El Rodeo Al lado del Banco Mercantil	1.95	2.23	87.44
Laboratorio de Hidráulica (ULA) enlace vial de la Cruz verde	1.62	2.12	76.60
Conjunto residencial El Rodeo	1.55	1.93	80.52
Antigua vía Ejido detrás del la Cuesta del Ciego	1.84	2.16	85.45
Estadium Metropolitano (Zumba)	1.62	1.98	82.03
Talud detrás de Conjunto Residencial Alto Chama	1.57	2.11	74.41
Faces Universidad de los Andes	1.76	2.08	84.62
Urbanización Campo claro vía los Curos	1.75	2.12	82.63
Av. los Próceres, metros arriba de la Materiales Los Andes	1.59	2.08	76.44
		Media	81.32%
		Desv. estandar	4.07%

Como se puede observar en la variación de la densidad máxima seca a través de la mesa vibratoria se alcanza un aproximado de 80% respecto a la obtenida con ayuda del contenido de humedad según la norma Próctor Modificado T180-D con una desviación estándar de $\sigma \pm 4\%$ aproximadamente.

Es importante resaltar que es una aproximación solo experimental, se han comparado los valores obtenidos al ensayar los suelos de esta investigación. Por lo tanto hay que hacer un estudio analítico minucioso para determinar las variables que influyen en esta reducción, hay que apoyarse en algunas teorías de vibración como la mencionada en el capítulo de marco teórico, específicamente el caso de Barkan [4] entre otras para poder determinar con exactitud esta primera aproximación

CONCLUSIONES

Una vez aplicado el instrumento de recolección de datos, procesados los mismos y obtenida la información que de ello se generó conjuntamente con los respectivos análisis se obtuvieron las siguientes conclusiones.

Los suelos estudiados en esta investigación resultaron ser suelos Gravosos y arenosos con contenidos de arcilla y limo considerables, en su mayoría todos son mal gradados con porcentaje de finos mayores al 5%.

En lo referido a la influencia de la relación de vacíos (e) y la densidad relativa (D_r). en el parámetro de resistencia (ϕ) se pudo corroborar la hipótesis que el ángulo de fricción interna (ϕ) aumenta cuando la relación de vacíos (e) disminuye y la densidad relativa aumenta. En este mismo sentido la ecuación 5.1 con un coeficiente de distribución de $R^2 = 0,78$ marca la tendencia de los valores de (ϕ) al aumentar la densidad relativa. Dicha ecuación permite determinar en los suelos de Mérida el parámetro de resistencia con una desviación estándar de $\sigma_{\text{tg}\phi} \pm 0,02$ que es equivalente $\sigma_{\phi} \pm 1.15^\circ$ con un nivel de certeza de 80%. Al comparar la mencionada ecuación con la de Meyerhof [39], Giuliani y Nicoll [24], se afirma que la misma se acerca mas por debajo a la de este ultimo autor con una diferencia de 2° siendo esta aceptable para su uso.

Siguiendo el mismo orden de ideas en cuanto a la relación del parámetro de resistencia (ϕ) con la relación de vacíos (e), los valores encontrado se ajustan bastante bien a los propuestos por Caquot y Kerisel [13] donde el valor de K en los suelos de la meseta de Mérida queda calibrado para $K = 0,40 \pm 0.03$.

En este mismo sentido la ecuación 5.2 que compara estos parámetros tiene un coeficiente de distribución $R^2 = 0,86$ con una certeza de 65.31% , una desviación estándar de $\sigma_{\phi} = \pm 0,65^\circ$ y un coeficiente de variación de 1,77%, sin embargo los valores aquí encontrados tienden a ser muy parecidos a los propuestos por Giraudet [15] con diferencia de $\phi = \pm 2^\circ$ a relaciones de vacíos bajas , en cambio cuando las relaciones de vacíos son mayores de 0,55 los valores tienden a ser iguales a los de el autor antes mencionado.

En cuanto a la relación de este parámetro de resistencia con respecto a la porosidad n se aprecia la reducción del ángulo ϕ al aumentar su porosidad. Los resultados obtenidos la ecuación 5.3 que marca la tendencia entre estas dos variables con una certeza de 65,28 % y una desviación estándar de $\sigma_{\phi} = \pm 0,65^\circ$ con un coeficiente de variación $Cv = 3,38 \%$ para suelos que presenten un % de finos > 5%. Estos resultados encontrados se compararon con los obtenidos por Cormforth [14], observándose una convergencia con los del mencionado autor pero con un desplazamiento notorio hacia la izquierda de la grafica como consecuencia del porcentaje de finos de los suelos aquí estudiados, que hace que la porosidad baje notoriamente.

En relación a la influencia que tiene el agua en la cuantificación del parámetro ϕ la ecuación 5.4 del Capitulo V, nos indica que el contenido agua y la cohesión tienen una influencia de -1,3 % y 0,2 % respectivamente, en dicha ecuación, es decir estos dos parámetros tienen muy poco peso en la determinación del parámetro de resistencia, contrario a la densidad del suelo que le da una representación del 98,6 %. La ecuación antes mencionada reporta además unos estadígrafos importantes para ser usada, como lo son: una media muestral es $\bar{X} = 40,93^\circ$ y su desviación estándar $\sigma = \pm 2,71^\circ$ con un coeficiente de variación $Cv = 6,62\%$ y un nivel de certeza de 66,59 %.

Aunque el contenido de humedad sea poco significativo como se ha descrito, es de importancia resaltar que el agua hace que el ángulo de fricción interna

aumente con el contenido de humedad hasta cierto punto, y luego comience a disminuir con el exceso de la misma tomando una similitud al proceso experimental con el que se construye la curva de compactación como se mostró en la figura N° 27. En este mismo sentido se debe resaltar que los valores para esta comparación no fueron obtenidos con un solo de material para la construcción de dicha curva como se hace en la mencionada curva de compactación, si no que, se tomaron todos los suelos del espacio muestral, en consecuencia esta conclusión es válida para los tipos de suelos encontrados en este estudio que presentan un porcentaje de finos mayor del 5%.

Por otra parte al comparar de la densidad máxima seca obtenida a través de la mesa vibratoria y la compactación bajo la norma Próctor Modificado T180-D se pudo observar que la densidad del suelo vibrada en el laboratorio alcanza un 80 % respecto a la densidad obtenida en la curva de compactación de Próctor. Este resultado no fue obtenido analíticamente como se intento realizar, el mismo se obtuvo a través de una comparación del tipo experimental y no se pudo corroborar analíticamente, mas sin embargo hubo la intención de hacerlo comparando la energía de compactación que propone Próctor y la energía de compactación que da la mesa vibratoria y para esto hay que conocer con bastante certeza la teoría de vibraciones en los cuerpos para así conseguir dicha energía debido a que el tiempo se convierte en una limitante para la culminación de esta tesis.

Conviene no insistir en realizar el ensayo de densidad relativa en los suelos investigados ya que no hay conformidad con los resultados, ya que su porcentaje de finos es mayor de 10% en casi la mayoría de los suelos, puesto que según Lee y Singh cuando la compacidad relativa CR es 80% en suelos granulares la Dr. es aproximadamente 0% y esto no se cumplió en lo expuesto en la hipótesis de esta investigación, en cuanto a la comparación entre la densidad obtenida en el ensayo de Próctor Modificado y la obtenida por vibrado en la mesa vibratoria.

RECOMENDACIONES

En función de las conclusiones que resultan de esta investigación, se plantea un conjunto de recomendaciones con el fin de validar con mayor peso algunos de los resultados obtenidos, y por otro lado ampliar esta interesante investigación. Entre las sugerencias que se consideran como fundamentales, se tiene:

1. La aplicación de las ecuaciones encontradas deben ser usadas para los tipos de suelo encontrados en casco de la ciudad de Mérida con porcentaje de finos mayores del 5 % como se observan en los ensayos que caracterizan los materiales y que se realizaron en esta investigación.
2. De igual forma las ecuaciones deben usarse con los intervalos recomendados en la tabla N° 18 para los parámetros encontrados en esta investigación.
3. La calibración del factor K en los suelos objeto de este estudio obtenido con la propuesta de Caquot y Kerisel [14], pueden ser mejor calibrados con un espacio muestral mayor y así trabajar con mayor certeza.
4. Es de vital importancia tomar en cuenta en una próxima investigación de este tipo, la influencia del coeficiente de uniformidad y de curvatura de los suelos en estudio y así poder resaltar la influencia de de la forma y tamaño de los granos en la determinación del parámetro de resistencia.
5. En cuanto al aumento o disminución del ángulo de fricción interna respecto al aumento del contenido de humedad, se recomienda hacerlo por cada suelo encontrado para así comparar los resultados y llegar a una conclusión más precisa en cuanto esta afirmación.
6. Corroborar la diferencia del 20 % entre las densidades obtenidas por compactación en la mesa vibratoria y por compactación a través de la norma Próctor Modificado T180-D, desde el punto de vista analítico,

7. Aplicando teoría de vibraciones de los cuerpos, para determinar la energía de compactación que genera la mesa vibratoria que es el único parámetro desconocido y comparar con la energía de compactación por el método de Próctor donde la ecuación de energía de compactación ya es conocida.

www.bdigital.ula.ve

REFERENCIAS

1. Arquie, Georges. Compactación en Carreteras y Aeropuertos, Eta, España, 1972
2. Arredondo Francisco et al. (1977). Compactación de terrenos terraplenes y pedraplenes, Eta, S.A., 1977
3. Balestrini, M. Cómo se elabora un proyecto de investigación. Caracas, servicio Editorial, 1998
4. Barkan, D. D. Dynamics of Bases y Foundations, Editorial McGraw-Hill Company, INC, 1962
5. Bass, N. y R. Shagam. "Edades Rb/Sr. de las Rocas Cristalinas de los andes merideños", Venezuela, Mem., *III Cong. Geol. Venez.*, Caracas, 1960.
6. Bellizzia, A. "Terreno Mérida: Un cinturón alóctono Herciniano en la Cordillera de Los Andes de Venezuela." *V Simp. Boliv., Explor. Petrol., Cuencas Subandinas*, Puerto La Cruz, 1995
7. Bowles, Joseph E. Propiedades Geofísicas del los suelos. Editorial McGraw-Hill Latinoamericana, S.A, España, 1982
8. Braja, M. Das. Principio de Ingeniería de Cimentaciones, Editorial Edamsa Impresiones, S.A., México D.F. 2006
9. Bromwell, L. The Friction of Quartz in High Vacuum. Se. D Thesis, M.I.T., Cambridge, Mass, 1966
10. Burmister, D.M., The Importance and Practical use of Relative Density in Soil Mechanics, ASTM, Vol 48, Philadelphia, 1948

11. Cabello O. "Estudio Geomorfológico del area de Mérida y sus Alrededores." Escuela de Geografía, Universidad de los Andes, Mérida – Venezuela, 1969
12. Camacho, Javier F. Anisotropía de esfuerzos y resistencia al corte de arenas, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia, 2006
13. Caquot, A y Kerisel, J. Tratado de Mecánica de Suelos, Madrid, España, 1969
14. Cornforth, D. "Some Experiments on the Influence of Strain Condition on the Stregth of Sand," Geotechnique, Vol 16, p. 193, 1964
15. Costet J. y Sanglerat G. Curso practico de Mecánica de Suelos. Ediciones Omega, S.A., Barcelona, España, 1975
16. D'Appolonia, J. "Determination of the Maximun Density of Cohesionless Soils," Proc. 3 rd Asian Conf. Soil Mech. Found Eng., Volumen 1.
17. Deresciewicz., H. Mechanics of Granular Matter. Advances in Applied Mechaniss. Vol. 5. Academic Press, New York, 1958
18. Dickey, J. The Fricción of Quartz in High Vacuum. Se. D Thesis, M.I.T., Cambridge, Mass, 1966
19. Diego A., Escobar y Luis A. Mendoza. Escritura de un programa de computador para calcular la energía de compactación de los compactadores vibratorios, Bogotá, D.C., 2001
20. Duran García. H.M. Efecto de la humedad en la resistencia mecánica de un suelo franco. Universidad Autónoma Chapingo México, Red de Revistas Científicas de America Latina y el Caribe, 2002
21. Ferrer, C. "Contribución de la Geomorfología a la Detección de Riesgos en Centros Urbanos: El caso de la ciudad de Mérida – Venezuela", Revista Geográfica Venezolana1, Mérida, 1982
22. FIUBA, Resistencia al Corte en las Arenas, Buenos Aires Argentina, 2009
23. Ghosh,.K, y Odreman, O. "Estudio sedimentológico-paleoambiental del Terciario en la zona del Valle de San Javier, Estado Mérida". *Bol. Soc. Venez. Geol.* Mérida, 1987.

24. Giuliani, F., Nicoll, F.L., New Analytical Correlations Between SPT, Overburden Pressure and Relative Density, Proc 2th. Europ. Symp on Penetration Testing, Amsterdam, 1982
25. González, de J. “Introducción al estudio de la geología de Venezuela” (5° Parte). *Bol. Geol. Universidad Central de Venezuela, Caracas*, 1953
26. Gutiérrez, Juan A. Actualización del Mapa Geológico del Área Metropolitana de Mérida-Venezuela, INGEOMIN, 2006
27. Hedberg, D. and Sass C. “Sinopsis de las formaciones geológicas de la parte occidental de la Cuenca de Maracaibo, Venezuela”. *Bol. Geol. y Min. Caracas*, 1937
28. Hossne, Christopher G. Paredes, E. Carvajal, E. Santaella, J. Malaver y A. Cova. Resistencia terramecánica en función de la humedad edáfica de un suelo ultisol de la sabana del estado Monagas, Universidad de Oriente, Venezuela, 2003
29. IGEOEST, S.L. Ensayos Geotécnicos in situ su ejecución e interpretación, 2004
30. Juárez, B. y Rico R. Mecánica de suelos. Tomo I Fundamentos de la Mecánica de suelos. Editorial Limusa, México, 1975
31. Juárez, B. y Rico R. Mecánica de suelos. Tomo II Fundamentos de la Mecánica de suelos. Editorial Limusa, México, 1975
32. Kundig, E. “Las rocas pre-cretácicas de los Andes Centrales de Venezuela con algunas observaciones sobre su tectónica.” Vol. Geol, Min. Caracas, 1938
33. Kyle M. Rollins, et al. Drille Side Frition in gravel soils, Journal of Geotechnical and Geoenviromental Engineering, 2005
34. La Marca, E. “Origen y Evolución Geológica de la Cordillera de Mérida,” Andes de Venezuela. Cuadernos de la Escuela de Geografía, Nueva Época, Universidad de Los Andes, Mérida, 1997

35. Lambe, T. W y Whitman R. V, *Mecánica de Suelos*. Editorial Limusa S.A. México, 2006
36. Leslie, D. “Large Scale Triaxial Test on Gravelly Soils,” Proc. 2 nd Pan Am. Conf. Soil Mech. Found. Eng. Brasil, 1963.
37. Lobo, G. Sebastian y Vallejo Luis E. Discrete Element Method Evaluation of Granular Crushing Under Direct Test Conditions, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 2005
38. Ludeña, Luis P. Variabilidad espacial del ensayo de Penetración estándar en los sedimentos volcánicos del subsuelo en el centro-norte de la ciudad de Quito, Perú, 1971
39. Meyerhof, G.G. Penetration Test Bearing Capacity of Cohesionless Soils, *Jour. Geotech. Eng. Div., ASCE vol 82, SMI*, 1956
40. Murray, R. Spiegel. *Estadística*, Editorial McGraw-Hill Latinoamericana, SA, España, 1982
41. Peck, R.B., Hanson, J.B. y Thornburn, S., *Foundation Engineering*, 2da Edition, John Wiley and Sons, New York, 1974
42. Renz, O. “Cretaceous in Western Venezuela and the Guajira (Colombia).” 20 Congr. Geol. Internat., manuscrito. México, 1965
43. Rowe, P W. La relación entre la resistencia al esfuerzo cortante de las arenas en compresión triaxial, deformación plana y corte directo, *Geotechnique* 19 N° 75-86, 1969
44. Royo, Jesus A., y Rabanaque Gloria. *Análisis de Vibraciones e Interpretación de Datos*, Universidad de Zaragoza, España.
45. Sievers, W. “Die Cordillere von Mérida”, nebst Bemerkungen über das Karibische Gebirge. *Geogr. Abhandl.* Penck, 1888
46. Suárez, D. Jaime. *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales*. Publicaciones UIS, Colombia, 2001

47. Sutton, A. "Geology of the Maracaibo Basin, Venezuela. Am. Assoc.Petr. Geol.Bull 30 (10). Tulsa, 1946
48. Terzaghi, K., Peck, R.B, Soils Mechanics in Engineering Practice. Ed. John Wiley and Sons, New York, 1948
49. Ventura E., Jose L. Justo. Resistencia al Esfuerzo Cortante de los Suelos, Editorial Dossat, S.A. Madrid, 1970
50. Verdugo K., Y Karem de la O. Caracterización Geomecánica se los suelos granulares gruesos.

www.bdigital.ula.ve

Anexo A

Ensayos del Laboratorio

www.bdigital.ula.ve

PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE LOS SÓLIDOS Gs

www.bdigital.uisa.ve



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO DE PESO ESPECIFICO DE LOS SOLIDOS

"Determinación del Parámetro de Resistencia, Angulo de Fricción Interna y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (Dr.), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares"

Nombre del Proyecto: _____

Procedencia de la Muestra: Varios Puntos

Fecha de realización del ensayo: _____

N° DE LABORATORIO	Las Tapias	Estadium Luis Fargier	Plaza de Toros	C.C Rodeo Plaza	Lab. De Hidráulica
PROFUNDIDAD, (m)	1.20	1.20	1.50	4.00	1.15
PICNOMETRO N°	1	2	7	4	5
CAPACIDAD DEL PICNOMETRO , cm	500	500	500	500	500
PESO DEL PICNOMETRO, gr	162.60	182.00	158.80	159.10	182.30
PESO DEL PICNOMETRO + SUELO SECO, gr	245.60	246.20	232.80	228.50	244.30
PESO SUELO SECO, (gr) W _s	83.00	64.20	74.00	69.40	62.00
PESO PICN+AGUA+SUELO,(gr) W ₁	713.00	720.40	704.00	701.20	720.30
PESO PICN+AGUA a C.T. , (gr) W ₂	661.10	680.90	657.70	657.70	681.10
TEMPERATURA ENSAYO. °C	21	20	21.5	20	20.5
G _s A TEMPERATURA ENSAYO	2.67	2.60	2.67	2.68	2.72
G _s A 20°C					

DENSIDAD RELATIVA DEL AGUA Y FACTOR DE CONVERSION "K" PARA VARIAS TEMPERATURAS.

TEMP °C	γ_w	K	TEMP °C	γ_w	K
19	0.9984347	1.0002	25	0.9970770	0.9989
20	0.9982343	1.0000	26	0.9968156	0.9986
21	0.9980233	0.9998	27	0.9965451	0.9983
22	0.9978019	0.9996	28	0.9962652	0.9980
23	0.9975702	0.9993	29	0.9959761	0.9977
24	0.9973286	0.9991	30	0.9956780	0.9974

$$G_s = \frac{W_s}{W_s + W_2 - W_1}$$

$$G_s \text{ 20°C} = G_s \times \text{FACTOR "K"}$$

Observaciones: _____

Realizado por: Yosmar Sulbarán

Revisado por: Dr. Roberto Ucar Navarro

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS SUELOS ω %



**Laboratorio de Mecánica de
los Suelos y Pavimentos**



ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Nombre del Proyecto: " Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(θ),
y su relación con los parámetros de densidad relativa(D_r) y relación de vacíos(e) en suelos granulares.

Procedencia de la Muestra: El Acuario, nuevo enlace frente a C.C Las Tapias.

Fecha de realización del ensayo: _____

Muestra	M1				
Profundidad (m)					
Capsula N°	20				
Peso total húmedo, W_{Th} (grs)	804.60				
Peso total seco, W_{Ts} (grs)	744.70				
Peso de capsula, W_c (grs)	67.70				
Peso del agua, W_w (grs)	59.90				
Peso suelo seco, W_s (grs)	677.00				
CONTENIDO DE HUMEDAD, w (%)	8.85				

Muestra					
Profundidad (m)					
Capsula N°					
Peso total húmedo, W_{Th} (grs)					
Peso total seco, W_{Ts} (grs)					
Peso de capsula, W_c (grs)					
Peso del agua, W_w (grs)					
Peso suelo seco, W_s (grs)					
CONTENIDO DE HUMEDAD, w (%)					

Observaciones: _____

Realizado: Lab. Yosmar Sulbaran. Revisado por: _____



**Laboratorio de Mecánica de
los Suelos y Pavimentos**



ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Nombre del Proyecto: **" Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(ϕ),
y su relación con los parametros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.**

Procedencia de la Muestra: **Escuela Menor de Béisbol "Luis Fargier Suarez" detrás de la Av Humberto T.**

Fecha de realización del ensayo: _____

Muestra	M1				
Profundidad (m)					
Capsula N°	35				
Peso total húmedo, W_{Th} (grs)	306.40				
Peso total seco, W_{Ts} (grs)	284.60				
Peso de capsula, W_c (grs)	61.60				
Peso del agua, W_w (grs)	21.80				
Peso suelo seco, W_s (grs)	223.00				
CONTENIDO DE HUMEDAD, w (%)	9.78				

Muestra					
Profundidad (m)					
Capsula N°					
Peso total húmedo, W_{Th} (grs)					
Peso total seco, W_{Ts} (grs)					
Peso de capsula, W_c (grs)					
Peso del agua, W_w (grs)					
Peso suelo seco, W_s (grs)					
CONTENIDO DE HUMEDAD, w (%)					

Observaciones: _____

Realizad Lab. Yosmar Sulbaran. Revisado por: _____



**Laboratorio de Mecánica de
los Suelos y Pavimentos**



ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Nombre del Proyecto: " Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(ϕ),
y su relación con los parametros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.

Procedencia de la Muestra: Vía Pueblo Nuevo detra de la plaza de Toros Román Eduardo Sandía.

Fecha de realización del ensayo: _____

Muestra	M1				
Profundidad (m)					
Capsula N°	88				
Peso total húmedo, W_{Th} (grs)	441.40				
Peso total seco, W_{Ts} (grs)	420.80				
Peso de capsula, W_c (grs)	69.60				
Peso del agua, W_w (grs)	20.60				
Peso suelo seco, W_s (grs)	351.20				
CONTENIDO DE HUMEDAD, w (%)	5.87				

Muestra					
Profundidad (m)					
Capsula N°					
Peso total húmedo, W_{Th} (grs)					
Peso total seco, W_{Ts} (grs)					
Peso de capsula, W_c (grs)					
Peso del agua, W_w (grs)					
Peso suelo seco, W_s (grs)					
CONTENIDO DE HUMEDAD, w (%)					

Observaciones: _____

Realizado: Lab. Yosmar Sulbaran. Revisado por: _____



**Laboratorio de Mecánica de
los Suelos y Pavimentos**



ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Nombre del Proyecto " **Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(θ),
y su relación con los parametros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.**

Procedencia de la Muestra: **Actual C.C El Rodeo Al lado del Banco Mercantil.**

Fecha de realización del ensayo: _____

Muestra	M1				
Profundidad (m)					
Capsula N°	88				
Peso total húmedo, W_{Th} (grs)	616.70				
Peso total seco, W_{Ts} (grs)	571.30				
Peso de capsula, W_c (grs)	69.70				
Peso del agua, W_w (grs)	45.40				
Peso suelo seco, W_s (grs)	501.60				
CONTENIDO DE HUMEDAD, w (%)	9.05				

Muestra					
Profundidad (m)					
Capsula N°					
Peso total húmedo, W_{Th} (grs)					
Peso total seco, W_{Ts} (grs)					
Peso de capsula, W_c (grs)					
Peso del agua, W_w (grs)					
Peso suelo seco, W_s (grs)					
CONTENIDO DE HUMEDAD, w (%)					

Observaciones: _____

Realizado Lab. Yosmar Sulbaran. Revisado por: _____



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Nombre del Proyecto: " Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(ϕ), y su relación con los parámetros de densidad relativa(Dr), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.

Procedencia de la Muestra: Laboratorio de Hidraulica(ULA) enlace vial de La Cruz Verde.

Fecha de realización del ensayo: _____

Muestra	M1				
Profundidad (m)					
Capsula N°	22				
Peso total húmedo, W_{Th} (grs)	169.60				
Peso total seco, W_{Ts} (grs)	160.80				
Peso de capsula, W_c (grs)	60.90				
Peso del agua, W_w (grs)	8.80				
Peso suelo seco, W_s (grs)	99.90				
CONTENIDO DE HUMEDAD, w (%)	8.81				

Muestra					
Profundidad (m)					
Capsula N°					
Peso total húmedo, W_{Th} (grs)					
Peso total seco, W_{Ts} (grs)					
Peso de capsula, W_c (grs)					
Peso del agua, W_w (grs)					
Peso suelo seco, W_s (grs)					
CONTENIDO DE HUMEDAD, w (%)					

Observaciones: _____

Realizad: Lab. Yosmar Sulbaran. Revisado por: _____



**Laboratorio de Mecánica de
los Suelos y Pavimentos**



ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Nombre del Proyecto: " **Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(θ),
y su relación con los parámetros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.**

Procedencia de la Muestra: **Conjunto Residencial El Rodeo.**

Fecha de realización del ensayo: _____

Muestra	M1				
Profundidad (m)					
Capsula N°	2				
Peso total húmedo, W_{Th} (grs)	193.10				
Peso total seco, W_{Ts} (grs)	183.50				
Peso de capsula, W_c (grs)	70.40				
Peso del agua, W_w (grs)	9.60				
Peso suelo seco, W_s (grs)	113.10				
CONTENIDO DE HUMEDAD, w (%)	8.49				

Muestra					
Profundidad (m)					
Capsula N°					
Peso total húmedo, W_{Th} (grs)					
Peso total seco, W_{Ts} (grs)					
Peso de capsula, W_c (grs)					
Peso del agua, W_w (grs)					
Peso suelo seco, W_s (grs)					
CONTENIDO DE HUMEDAD, w (%)					

Observaciones: _____

Realizado Lab. Yosmar Sulbaran. Revisado por: _____



**Laboratorio de Mecánica de
los Suelos y Pavimentos**



ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Nombre del Proyecto: _____ " **Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(θ),
y su relación con los parametros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.**

Procedencia de la Muestra: **Antigua vía Ejido detrás del la Cuesta del Ciego.**

Fecha de realización del ensayo: _____

Muestra	M1				
Profundidad (m)					
Capsula N°	43				
Peso total húmedo, W_{Th} (grs)	895.30				
Peso total seco, W_{Ts} (grs)	845.40				
Peso de capsula, W_c (grs)	61.60				
Peso del agua, W_w (grs)	49.90				
Peso suelo seco, W_s (grs)	783.80				
CONTENIDO DE HUMEDAD, w (%)	6.37				

Muestra					
Profundidad (m)					
Capsula N°					
Peso total húmedo, W_{Th} (grs)					
Peso total seco, W_{Ts} (grs)					
Peso de capsula, W_c (grs)					
Peso del agua, W_w (grs)					
Peso suelo seco, W_s (grs)					
CONTENIDO DE HUMEDAD, w (%)					

Observaciones: _____

Realizado Lab. Yosmar Sulbaran. Revisado por: _____



**Laboratorio de Mecánica de
los Suelos y Pavimentos**



ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Nombre del Proyecto: " Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(ϕ),
y su relación con los parámetros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.

Procedencia de la Muestra: Estadium Metropolitano (Zumba).

Fecha de realización del ensayo: _____

Muestra	M1				
Profundidad (m)					
Capsula N°	49				
Peso total húmedo, W_{Th} (grs)	594.10				
Peso total seco, W_{Ts} (grs)	560.20				
Peso de capsula, W_c (grs)	63.90				
Peso del agua, W_w (grs)	33.90				
Peso suelo seco, W_s (grs)	496.30				
CONTENIDO DE HUMEDAD, w (%)	6.83				

Muestra					
Profundidad (m)					
Capsula N°					
Peso total húmedo, W_{Th} (grs)					
Peso total seco, W_{Ts} (grs)					
Peso de capsula, W_c (grs)					
Peso del agua, W_w (grs)					
Peso suelo seco, W_s (grs)					
CONTENIDO DE HUMEDAD, w (%)					

Observaciones: _____

Realizado: Lab. Yosmar Sulbaran. Revisado por: _____



**Laboratorio de Mecánica de
los Suelos y Pavimentos**



ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Nombre del Proyecto: " **Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(θ),
y su relación con los parámetros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.**

Procedencia de la Muestra: **Talud detrás del Conjunto Residencial Alto Chama.**

Fecha de realización del ensayo: _____

Muestra	M1				
Profundidad (m)					
Capsula N°	48				
Peso total húmedo, W_{Th} (grs)	321.20				
Peso total seco, W_{Ts} (grs)	300.30				
Peso de capsula, W_c (grs)	54.19				
Peso del agua, W_w (grs)	20.90				
Peso suelo seco, W_s (grs)	246.11				
CONTENIDO DE HUMEDAD, w (%)	8.49				

Muestra					
Profundidad (m)					
Capsula N°					
Peso total húmedo, W_{Th} (grs)					
Peso total seco, W_{Ts} (grs)					
Peso de capsula, W_c (grs)					
Peso del agua, W_w (grs)					
Peso suelo seco, W_s (grs)					
CONTENIDO DE HUMEDAD, w (%)					

Observaciones: _____

Realizado Lab. Yosmar Sulbaran. Revisado por: _____



**Laboratorio de Mecánica de
los Suelos y Pavimentos**



ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Nombre del Proyecto: " Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(θ), y su relación con los parametros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.

Procedencia de la Muestra: FACES Universidad de los Andes.

Fecha de realización del ensayo: _____

Muestra	M1				
Profundidad (m)					
Capsula N°	55				
Peso total húmedo, W_{Th} (grs)	473.30				
Peso total seco, W_{Ts} (grs)	440.90				
Peso de capsula, W_c (grs)	46.80				
Peso del agua, W_w (grs)	32.40				
Peso suelo seco, W_s (grs)	394.10				
CONTENIDO DE HUMEDAD, w (%)	8.22				

Muestra					
Profundidad (m)					
Capsula N°					
Peso total húmedo, W_{Th} (grs)					
Peso total seco, W_{Ts} (grs)					
Peso de capsula, W_c (grs)					
Peso del agua, W_w (grs)					
Peso suelo seco, W_s (grs)					
CONTENIDO DE HUMEDAD, w (%)					

Observaciones: _____

Realizad Lab. Yosmar Sulbaran. Revisado por: _____



**Laboratorio de Mecánica de
los Suelos y Pavimentos**



ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Nombre del Proyecto: " Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(ϕ), y su relación con los parametros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.

Procedencia de la Muestra: Urbanización Campo Claro vía Los Curos.

Fecha de realización del ensayo: _____

Muestra	M1				
Profundidad (m)					
Capsula N°	7				
Peso total húmedo, W_{Th} (grs)	490.20				
Peso total seco, W_{Ts} (grs)	458.90				
Peso de capsula, W_c (grs)	61.30				
Peso del agua, W_w (grs)	31.30				
Peso suelo seco, W_s (grs)	397.60				
CONTENIDO DE HUMEDAD, w (%)	7.87				

Muestra					
Profundidad (m)					
Capsula N°					
Peso total húmedo, W_{Th} (grs)					
Peso total seco, W_{Ts} (grs)					
Peso de capsula, W_c (grs)					
Peso del agua, W_w (grs)					
Peso suelo seco, W_s (grs)					
CONTENIDO DE HUMEDAD, w (%)					

Observaciones: _____

Realizado por: Lab. Yosmar Sulbaran. Revisado por: _____



**Laboratorio de Mecánica de
los Suelos y Pavimentos**



ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Nombre del Proyecto: " Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(ϕ),
y su relación con los parametros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.

Procedencia de la Muestra: Av. los Próceres, metros arriba de la Materiales Los Andes

Fecha de realización del ensayo: _____

Muestra	M1				
Profundidad (m)					
Capsula N°	7				
Peso total húmedo, W_{Th} (grs)	489.00				
Peso total seco, W_{Ts} (grs)	457.35				
Peso de capsula, W_c (grs)	61.30				
Peso del agua, W_w (grs)	31.65				
Peso suelo seco, W_s (grs)	396.05				
CONTENIDO DE HUMEDAD, w (%)	8.0				

Muestra					
Profundidad (m)					
Capsula N°					
Peso total húmedo, W_{Th} (grs)					
Peso total seco, W_{Ts} (grs)					
Peso de capsula, W_c (grs)					
Peso del agua, W_w (grs)					
Peso suelo seco, W_s (grs)					
CONTENIDO DE HUMEDAD, w (%)					

Observaciones: _____

Realizado por: Lab. Yosmar Sulbaran. Revisado por: _____

PESO ESPECÍFICO SECO NATURAL DEL LOS SUELOS ρ_d .
(MÉTODO DE CONO Y ARENA)



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO (MÉTODO DE CONO Y ARENA)

"Determinación del Parámetro de Resistencia, Ángulo de Fricción Interna ϕ y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (D_r), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares"

Nombre del Proyecto: _____

Procedencia de la Muestra: _____ **Varios** _____

Calicata N°: _____ Profundidad: **Varios** Cota: _____

Fecha de realización del ensayo: _____

	Las Tapias	La Arenita	Plaza de Toros	C.C El Rodeo Plaza
PROGRESIVA O MUESTRA N°				
Cota bajo subrasante o capa	0.00	0.00	0.00	0.00
Terraplen				
Peso inicial arena+frasco W_0	4,000.00	4,000.00	4,000.00	4,000.00
Peso final arena+frasco W_f	570.00	965.00	820.00	1,362.00
Peso arena en cono y placa W_c	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00
Peso arena en hoyo $W_e = W_0 - W_f - W_c$	1,630.00	1,235.00	1,380.00	838.00
Peso Unitario de Arena γ_d (B39)	1.54	1.54	1.54	1.54
Volumen Hueco $V = W_e / \gamma_d$ (cm ³)	1,058.44	801.95	896.10	544.16

RECIPIENTE N°				
Peso Total Húmedo W_{th}	2,069.00	1,725.00	1,855.00	1,070.00
Peso del recipiente (t)	110.00	110.00	110.00	110.00
Peso del suelo + piedras $W_{sp} = W_{th} - t$	1,959.00	1,615.00	1,745.00	960.00
Peso piedras W_p (> 3/4")				
Peso suelo húmedo $W_h = W_{sp} - W_p$	1,959.00	1,615.00	1,745.00	960.00
Volumen piedras V_p				
Volumen suelo húmedo $V_h = V - V_p$				
Densidad suelo húmedo, $\gamma_h = W_h / V_h$	1.85	2.01	1.95	1.76

RECIPIENTE (Cápsula) N°	45	85	232	48
Peso total húmedo W_{th}	302.50	406.68	335.50	391.10
Peso total seco W_{ts}	283.23	377.18	319.91	364.60
Peso del recipiente t (cápsula)	65.60	75.60	54.40	71.70
Peso agua $W_w = W_{th} - W_{ts}$	19.27	29.50	15.59	26.50
Peso suelo seco $W_s = W_{ts} - t$	217.63	301.58	265.51	292.90
% de humedad suelo $\omega\% = W_w / W_s * 100$	8.85	9.78	5.87	9.05
Densidad suelo seco $\gamma_d = \gamma_h / (1 + \omega)$	1.70	1.83	1.84	1.62

Ensayado por: Yosmar E. Sulbarán G. Revisado por: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO (MÉTODO DE CONO Y ARENA)

“Determinación del Parámetro de Resistencia, Ángulo de Fricción Interna y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (Dr.), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares”

Nombre del Proyecto: _____

Procedencia de la Muestra: _____ **Varios** _____

Calicata N°: _____ Profundidad: **Varios** Cota: _____

Fecha de realización del ensayo: _____

	CHIDRA	Residencias el Rodeo	Antigua vía a Ejido	Estadium Metropolitano
PROGRESIVA O MUESTRA N°				
Cota bajo subrasante o capa	0.00	0.00	0.00	0.00
Terraplen				
Peso inicial arena+frasco W_0	4,000.00	4,000.00	4,000.00	4,000.00
Peso final arena+frasco W_f	1,200.00	1,158.00	1,155.00	1,120.00
Peso arena en cono y placa W_c	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00
Peso arena en hoyo $W_e = W_0 - W_f - W_c$	1,000.00	1,042.00	1,045.00	1,080.00
Peso Unitario de Arena γ_d (B39)	1.54	1.54	1.54	1.54
Volumen Hueco $V = W_e / \gamma_d$ (cm ³)	649.35	676.62	678.57	701.30

RECIPIENTE N°				
Peso Total Húmedo W_{th}	1,451.00	1,468.00	1,503.00	1,550.00
Peso del recipiente (t)	110.00	110.00	110.00	110.00
Peso del suelo + piedras $W_{sp} = W_{th} - t$	1,341.00	1,358.00	1,393.00	1,440.00
Peso piedras W_p (> 3/4")				
Peso suelo húmedo $W_h = W_{sp} - W_p$	1,341.00	1,358.00	1,393.00	1,440.00
Volumen piedras V_p				
Volumen suelo húmedo $V_h = V - V_p$				
Densidad suelo húmedo, $\gamma_h = W_h / V_h$	2.07	2.01	2.05	2.05

RECIPIENTE (Cápsula) N°	5C	25	65	102
Peso total húmedo W_{th}	335.50	402.50	290.20	311.68
Peso total seco W_{ts}	313.81	376.56	277.13	295.90
Peso del recipiente t (cápsula)	70.00	71.00	72.00	65.00
Peso agua $W_w = W_{th} - W_{ts}$	21.69	25.94	13.07	15.78
Peso suelo seco $W_s = W_{ts} - t$	243.81	305.56	205.13	230.90
% de humedad suelo $\omega\% = W_w / W_s * 100$	8.90	8.49	6.37	6.83
Densidad suelo seco $\gamma_d = \gamma_h / (1 + \omega)$	1.90	1.85	1.93	1.92

Ensayado por: Yosmar E. Sulbarán G. Revisado por: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO (MÉTODO DE CONO Y ARENA)

"Determinación del Parámetro de Resistencia, Ángulo de Fricción Interna ϕ y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (D_r), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares"

Nombre del Proyecto: _____

Procedencia de la Muestra: _____ **Varios** _____

Calicata N°: _____ Profundidad: **Varios** Cota: _____

Fecha de realización del ensayo: _____

	Alto Chama	FACES	Campo Claro	Av. Los Proceres
PROGRESIVA O MUESTRA N°				
Cota bajo subrasante o capa	0.00	0.00	0.00	0.00
Terraplen				
Peso inicial arena+frasco W_0	4,000.00	4,000.00	4,000.00	4,000.00
Peso final arena+frasco W_f	1,135.00	1,120.00	1,300.00	1,350.00
Peso arena en cono y placa W_c	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00
Peso arena en hoyo $W_e = W_0 - W_f - W_c$	1,065.00	1,080.00	900.00	850.00
Peso Unitario de Arena γ_d (B39)	1.54	1.54	1.54	1.54
Volumen Hueco $V = W_e / \gamma_d$ (cm ³)	691.56	701.30	584.42	551.95

RECIPIENTE N°				
Peso Total Húmedo W_{th}	1,498.00	1,590.00	1,340.00	1,258.00
Peso del recipiente (t)	110.00	110.00	110.00	110.00
Peso del suelo + piedras $W_{sp} = W_{th} - t$	1,388.00	1,480.00	1,230.00	1,148.00
Peso piedras W_p (> 3/4")				
Peso suelo húmedo $W_h = W_{sp} - W_p$	1,388.00	1,480.00	1,230.00	1,148.00
Volumen piedras V_p				
Volumen suelo húmedo $V_h = V - V_p$				
Densidad suelo húmedo, $\gamma_h = W_h / V_h$	2.01	2.11	2.10	2.08

RECIPIENTE (Cápsula) N°	100	67	225	335
Peso total húmedo W_{th}	291.50	408.30	300.70	344.60
Peso total seco W_{ts}	276.90	382.68	283.50	308.14
Peso del recipiente t (cápsula)	105.00	71.00	65.00	45.80
Peso agua $W_w = W_{th} - W_{ts}$	14.60	25.62	17.20	36.46
Peso suelo seco $W_s = W_{ts} - t$	171.90	311.68	218.50	262.34
% de humedad suelo $\omega\% = W_w / W_s * 100$	8.49	8.22	7.87	13.90
Densidad suelo seco $\gamma_d = \gamma_h / (1 + \omega)$	1.85	1.95	1.95	1.83

Ensayado por: Yosmar E. Sulbarán G. Revisado por: Dr. Roberto Ucar Navarro

GRANULOMETRIA DE LOS SUELOS

www.bdigital.ula.ve



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Nombre del Proyecto: " **Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(θ), y su relación con los parametros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.**

Procedencia de la Muestra: Talud detrás del Conjunto Residencial Alto Chama.

Profundidad: _____ Muestra: _____

Fecha de realización del ensayo: _____

		DESIGN. DEL TAMIZ US	"A" PESO RETENIDO gr	"B" % RETENIDO	% MAS GRUESO	% MAS FINO	PESO TOTAL DE MUESTRA (P.T.M.)
GRAVA	PIEDRA O CANTOS	4"	0.00	0.00	0.00	100.00	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">P.T.M. = 4,999.00</div> <p>Factor $F_o = 100 / P.T.M.$</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">F_o = 0.020004</div> <p>$B = A * F_o$</p>
		3"	0.00	0.00	0.00	100.00	
	GRUESA	2 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	
		2"	0.00	0.00	0.00	100.00	
		1 1/2"	697.40	13.95	13.95	86.05	
		1"	445.90	8.92	22.87	77.13	
		3/4"	344.10	6.88	29.75	70.25	
		FINA	1/2"				
	3/8"		453.20	9.07	38.82	61.18	
	1/4"						
Nº 4	292.10		5.84	44.66	55.34		
ARENA	GRUESA	Nº 8					Peso Húmedo (W1) = Peso seco (W2) = Factor $F_1 = W_2 / W_1 =$
		Nº 10	333.80	6.68	51.34	48.66	
	MEDIA	Nº 16					
		Nº 20	333.30	6.67	58.01	41.99	
		Nº 30					
		Nº 40	256.40	5.13	63.14	36.86	
	FINA	Nº 50					
		Nº 60	169.20	3.38	66.52	33.48	
		Nº 80					
		Nº 100	243.20	4.86	71.39	28.61	
	Nº 200	228.80	4.58	75.96	24.04	Factor $F_2 = W/W_4 =$ $B = A * F_2$	

Vía SECA: Vía Húmeda:

Características de la muestra ensayada: _____

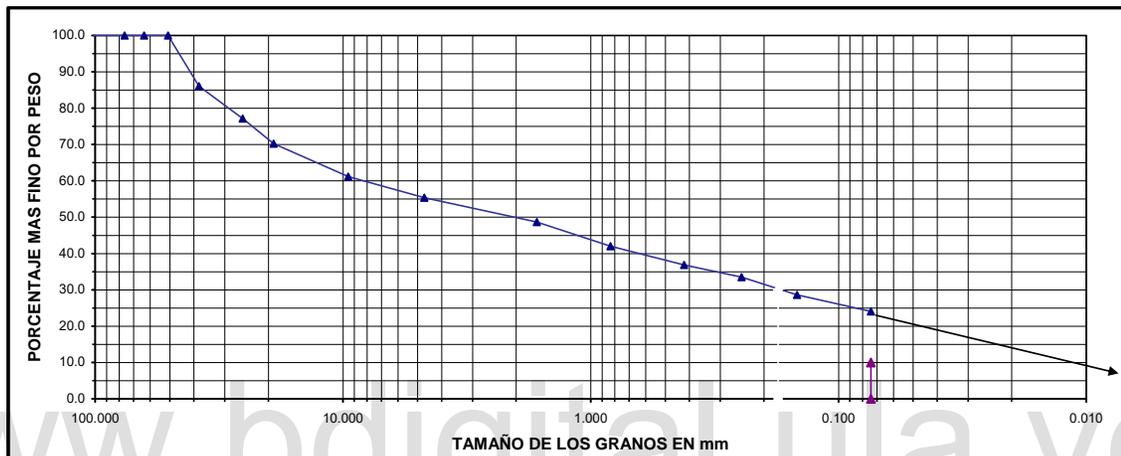
Observaciones: _____

Realizado por: _____ Revisado por: _____

G.G.S.



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO



Muestra N° ptofundidad	Datos de Campo	D60	D30	D10	Pasa T200	LL	LP	IP	Clasificación
alto chama					24.04	32.05%	18.96%	13.09%	GC
Análisis Granulométrico		Cálculo:		Dibujo:		Fecha:		Localidad:	



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Nombre del Proyecto: " **Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(θ),
y su relación con los parametros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.**

Procedencia de la Muestra: Urbanización Campo Claro vía Los Curos.

Profundidad: _____ Muestra: _____

Fecha de realización del ensayo: _____

		DESIGN. DEL TAMIZ US	"A" PESO RETENIDO gr	"B" % RETENIDO	% MAS GRUESO	% MAS FINO	PESO TOTAL DE MUESTRA (P.T.M.)		
TAMIZADO USANDO EL P.T.M.	PIEDRA O CANTOS	4"	0.00	0.00	0.00	100.00	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">P.T.M. = 7,481.00</div> <p>Factor $F_o = 100 / P.T.M.$</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">Fo = 0.013367</div> <p>$B = A * F_o$</p>		
		3"	1,534.60	20.51	20.51	79.49			
	GRAVA	GRUESA	2 1/2"	0.00	0.00	20.51		79.49	
			2"	344.10	4.60	25.11		74.89	
			1 1/2"	1,117.20	14.93	40.05		59.95	
		FINA	1"	513.70	6.87	46.91		53.09	
			3/4"	405.10	5.42	52.33		47.67	
			1/2"						
	TAMIZADO CON FRACCIÓN MENOR QUE P.T.M.	ARENA	GRUESA	Nº 4	600.40	8.03		71.53	28.47
				Nº 8					
MEDIA		Nº 10	464.30	6.21	77.73	22.27	<p>Peso Húmedo (W1) = _____</p> <p>Peso seco (W2) = _____</p> <p>Factor $F_1 = W_2 / W_1 =$ _____</p> <hr/> <p style="text-align: center;">PESOS PARA EL ENSAYO</p> <p>Peso Hum. (W3) = _____</p> <p>Peso Seco (W4) = $F_1 * W_3$</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: 80px;">W4 = _____</div> <p>Factor $F_2 = W / W_4 =$ _____</p> <p>$B = A * F_2$</p>		
		Nº 16							
		Nº 20	319.30	4.27	82.00	18.00			
		Nº 30							
		Nº 40	230.90	3.09	85.09	14.91			
		FINA	Nº 50						
Nº 60			84.50	1.13	86.22	13.78			
Nº 80									
Nº 100	135.80		1.82	88.03	11.97				
		Nº 200	132.00	1.76	89.80	10.20			

Vía SECA: Vía Húmeda:

Características de la muestra ensayada: _____

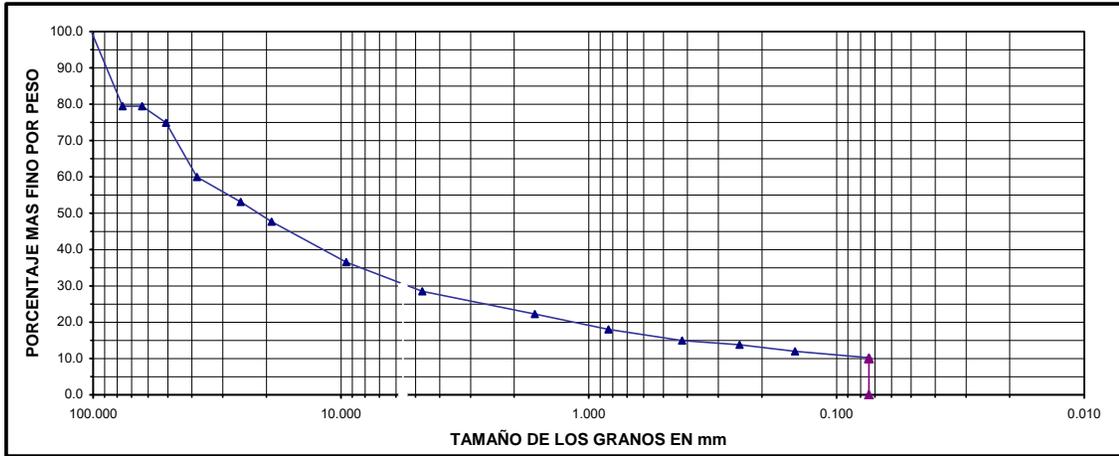
Observaciones: _____

Realizado por: _____ Revisado por: _____

G.G.S.



ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO



Muestra N° ptofundidad	Datos de Campo	D60	D30	D10	Pasa T200	LL	LP	IP	Clasificación
campo claro		38.00	5.40	0.08	10.20	25.36%	23.12	9.82	GP-GC
Análisis Granulométrico		Cálculo:		Dibujo:		Fecha:		Localidad:	



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Nombre del Proyecto: " Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(θ), y su relación con los parámetros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.

Procedencia de la Muestra: Antigua vía Ejido detrás del la Cuesta del Ciego.

Profundidad: _____ Muestra: _____

Fecha de realización del ensayo: _____

		DESIGN. DEL TAMIZ US	"A" PESO RETENIDO gr	"B" % RETENIDO	% MAS GRUESO	% MAS FINO	PESO TOTAL DE MUESTRA (P.T.M.)
GRAVA	PIEDRA O CANTOS	4"	0.00	0.00	0.00	100.00	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">P.T.M. = 10,180.00</div> Factor $F_o = 100 / P.T.M.$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">F_o = 0.009823</div> $B = A * F_o$
		3"	1,198.80	11.78	11.78	88.22	
	GRUESA	2 1/2"	1,118.80	10.99	22.77	77.23	
		2"	482.40	4.74	27.50	72.50	
		1 1/2"	952.90	9.36	36.87	63.13	
		1"	184.50	1.81	38.68	61.32	
		3/4"	205.60	2.02	40.70	59.30	
		FINA	1/2"				
	3/8"		663.50	6.52	47.22	52.78	
	1/4"						
							PESO PARA HUMEDAD IGROSCÓPICA
ARENA	GRUESA	Nº 8					Peso Húmedo (W1) =
		Nº 10	1,168.00	11.47	66.71	33.29	Peso seco (W2) =
	MEDIA	Nº 16					Factor F1=W2 / W1 =
		Nº 20	998.20	9.81	76.51	23.49	PESOS PARA EL ENSAYO
		Nº 30					Peso Hum. (W3) =
		Nº 40	741.90	7.29	83.80	16.20	Peso Seco (W4)=F1*W3
	FINA	Nº 50					<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">W4 =</div> Factor F2=W/W4 = $B = A * F2$
		Nº 60	237.90	2.34	86.14	13.86	
		Nº 80					
		Nº 100	379.60	3.73	89.87	10.13	
		Nº 200	226.10	2.22	92.09	7.91	

Vía SECA: Vía Húmeda:

Características de la muestra ensayada: _____

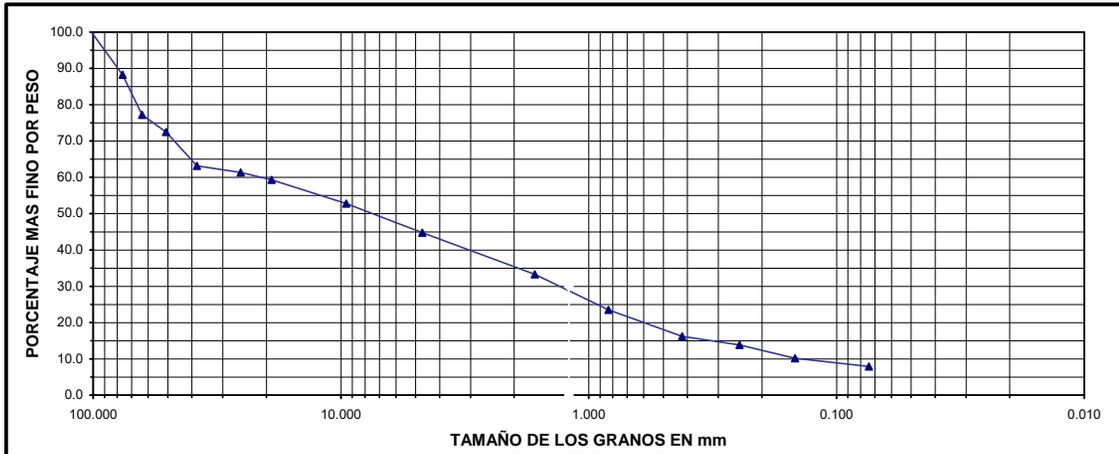
Observaciones: _____

Realizado por: _____ Revisado por: _____

G.G.S.



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO



Muestra N° ptofundidad	Datos de Campo	D60	D30	D10	Pasa T200	LL	LP	IP	Clasificación
		22.00	1.20	0.12	7.91	23.90%			GP-GM

Análisis Granulométrico	Cálculo:	Dibujo:	Fecha:	Localidad:
-------------------------	----------	---------	--------	------------

www.bdigital.ula.ve



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Nombre del Proyecto: " Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(θ), y su relación con los parametros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.

Procedencia de la Muestra: Actual C.C El Rodeo Al lado del Banco Mercantil.

Profundidad: _____ Muestra: _____

Fecha de realización del ensayo: _____

		DESIGN. DEL TAMIZ US	"A" PESO RETENIDO gr	"B" % RETENIDO	% MAS GRUESO	% MAS FINO	PESO TOTAL DE MUESTRA (P.T.M.)		
TAMIZADO USANDO EL P.T.M.	PIEDRA O CANTOS	4"	0.00	0.00	0.00	100.00	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">P.T.M. = 12,991.00</div> <p>Factor $F_o = 100 / P.T.M.$</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">F_o = 0.007698</div> <p>$B = A * F_o$</p>		
		3"	0.00	0.00	0.00	100.00			
	GRAVA	GRUESA	2 1/2"	1,147.60	8.83	8.83		91.17	
			2"	1,602.70	12.34	21.17		78.83	
			1 1/2"	915.20	7.04	28.22		71.78	
		FINA	1"	845.40	6.51	34.72		65.28	
			3/4"	1,167.70	8.99	6.25		56.29	
			1/2"	0.00					
	TAMIZADO CON FRACCIÓN MENOR QUE P.T.M.	ARENA	GRUESA	Nº 8					<p>PESO PARA HUMEDAD IGROSCÓPICA</p> <p>Peso Húmedo (W1) = _____</p> <p>Peso seco (W2) = _____</p> <p>Factor $F_1 = W_2 / W_1 =$ _____</p> <p>PESOS PARA EL ENSAYO</p> <p>Peso Hum. (W3) = _____</p> <p>Peso Seco (W4) = $F_1 * W_3$</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;">W4 = _____</div> <p>Factor $F_2 = W / W_4 =$ _____</p> <p>$B = A * F_2$</p>
				Nº 10	921.40	7.09		27.59	
MEDIA			Nº 16						
			Nº 20	804.90	6.20	33.78	22.50		
		Nº 30							
		Nº 40	798.20	6.14	39.93	16.36			
FINA		Nº 50							
		Nº 60	262.20	2.02	41.95	14.34			
		Nº 80							
		Nº 100	441.20	3.40	45.34	10.94			
	Nº 200	324.10	2.49	47.84	8.45				

Vía SECA: Vía Húmeda:

Características de la muestra ensayada: _____

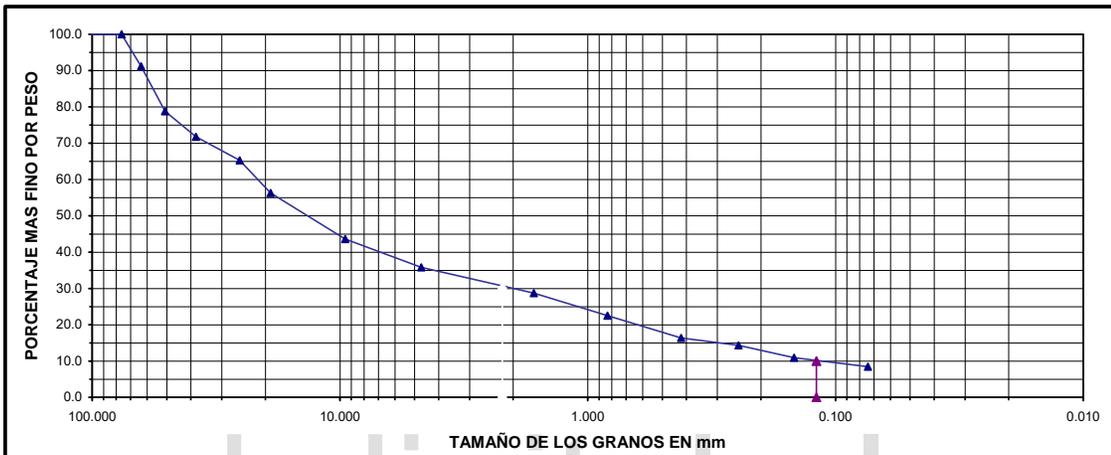
Observaciones: _____

Realizado por: Yosmar E. Sulbarán Revisado por: Dr. Roberto Ucar N.

G.G.S.



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO



Muestra N° ptofundidad	Datos de Campo	D60	D30	D10	Pasa T200	LL	LP	IP	Clasificación
cc rodeo		22.00	2.00	0.10	8.45	22.38%			GW-GM

Análisis Granulométrico	Cálculo:	Dibujo:	Fecha:	Localidad:
-------------------------	----------	---------	--------	------------



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Nombre del Proyecto: " **Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(θ), y su relación con los parametros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.**

Procedencia de la Muestra: Escuela Menor de Béisbol "Luis Fargier Suarez" detrás de la Av Humberto T.

Profundidad: _____ Muestra: _____

Fecha de realización del ensayo: _____

		DESIGN. DEL TAMIZ US	"A" PESO RETENIDO gr	"B" % RETENIDO	% MAS GRUESO	% MAS FINO	PESO TOTAL DE MUESTRA (P.T.M.)		
TAMIZADO USANDO EL P.T.M.	PIEDRA O CANTOS	4"	0.00	0.00	0.00	100.00	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">P.T.M. = 10,842.00</div> <p>Factor $F_o = 100 / P.T.M.$</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">F_o = 0.009223</div> <p>$B = A * F_o$</p>		
		3"	2,615.70	24.13	24.13	75.87			
	GRAVA	GRUESA	2 1/2"	491.30	4.53	28.66		71.34	
			2"	308.20	2.84	31.50		68.50	
			1 1/2"	453.70	4.18	35.68		64.32	
		FINA	1"	121.20	1.12	36.80		63.20	
			3/4"	183.40	1.69	6.25		61.51	
			1/2"						
	TAMIZADO CON FRACCIÓN MENOR QUE P.T.M.	ARENA	GRUESA	Nº 4	564.30	5.20		49.37	PESO PARA HUMEDAD IGROSCÓPICA Peso Húmedo (W1) = _____ Peso seco (W2) = _____ Factor $F_1 = W_2 / W_1 =$ _____
				Nº 10	900.80	8.31		57.67	
MEDIA		Nº 16					PESOS PARA EL ENSAYO Factor $F_2 = W_3 / W_4 =$ _____ (W3) = _____ Peso Seco (W4) = $F_1 * W_3$		
		Nº 20	996.90	9.19	66.87	33.13			
		Nº 30							
		Nº 40	962.30	8.88	75.74	24.26			
FINA		Nº 50					<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">W4 = _____</div> Factor $F_2 = W_3 / W_4 =$ _____ $B = A * F_2$		
		Nº 60	313.10	2.89	78.63	21.37			
		Nº 80							
		Nº 100	888.70	8.20	86.83	13.17			
		Nº 200	340.90	3.14	89.97	10.03			

Vía SECA: Vía Húmeda

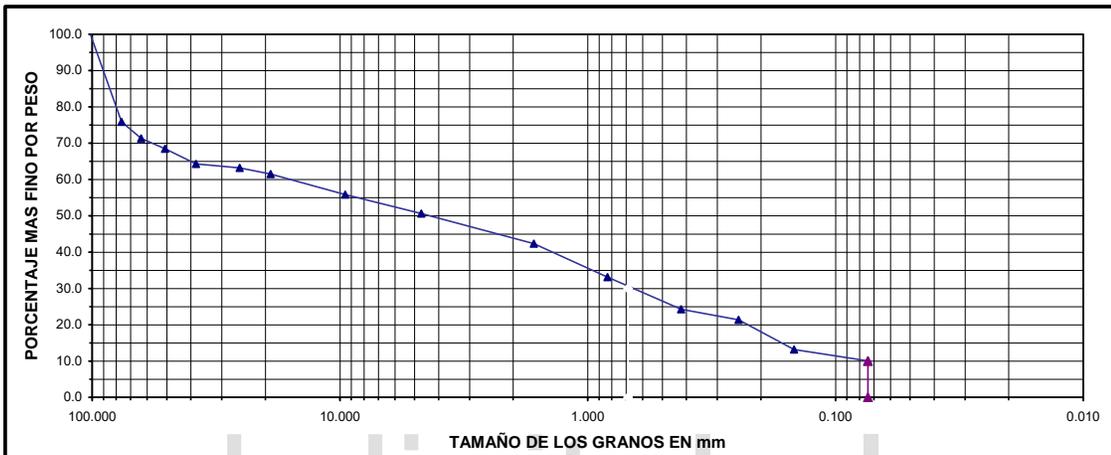
Características de la muestra ensayada: _____

Observaciones: _____

Realizado por: Raúl Rivas Revisado por: _____



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO



Muestra N° ptofundidad	Datos de Campo	D60	D30	D10	Pasa T200	LL	LP	IP	Clasificación
la arenita		18.00	0.69	0.07	10.03	29.58%	19.47%	10.10%	SP-SC

Análisis Granulométrico	Cálculo:	Dibujo:	Fecha:	Localidad:
-------------------------	----------	---------	--------	------------



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Nombre del Proyecto: " **Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(ϕ), y su relación con los parametros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.**

Procedencia de la Muestra: **Estadium Metropolitano (Zumba).**

Profundidad: _____ Muestra: _____

Fecha de realización del ensayo: _____

		DESIGN. DEL TAMIZ US	"A" PESO RETENIDO gr	"B" % RETENIDO	% MAS GRUESO	% MAS FINO	PESO TOTAL DE MUESTRA (P.T.M.)		
TAMIZADO USANDO EL P.T.M.	PIEDRA O CANTOS	4"	0.00	0.00	0.00	100.00	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">P.T.M. = 9,568.00</div> <p>Factor $F_o = 100 / P.T.M.$</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">F_o = 0.010452</div> <p>$B = A * F_o$</p>		
		3"	2,216.30	23.16	23.16	76.84			
	GRAVA	GRUESA	2 1/2"	421.50	4.41	27.57		72.43	
			2"	671.30	7.02	34.59		65.41	
			1 1/2"	271.50	2.84	37.42		62.58	
		FINA	1"	131.70	1.38	38.80		61.20	
			3/4"	127.40	1.33	40.13		59.87	
			1/2"						
	TAMIZADO CON FRACCIÓN MENOR QUE P.T.M.	ARENA	GRUESA	3/8"	347.90	3.64		3.64	PESO PARA HUMEDAD IGROSCÓPICA Peso Húmedo (W1) = _____ Peso seco (W2) = _____ Factor $F_1 = W_2 / W_1 =$ _____
				Nº 4	397.30	4.15		7.79	
MEDIA		GRUESA	Nº 8				PESOS PARA EL ENSAYO Peso Hum. (W3) = _____ Peso Seco (W4)=F1*W3 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;">W4 = _____</div> Factor $F_2 = W/W_4 =$ _____ $B = A * F_2$		
			Nº 10	942.10	9.85	17.63		42.23	
			Nº 16						
		FINA	Nº 20	898.40	9.39	27.02		32.84	
			Nº 30						
			Nº 40	1,092.10	11.41	38.44		21.43	
FINA		Nº 50							
		Nº 60	412.20	4.31	42.75	17.12			
	Nº 80								
	Nº 100	660.80	6.91	49.65	10.22				
		Nº 200	309.50	3.23	52.89	6.98			

Vía SECA: Vía Húmeda:

Características de la muestra ensayada: _____

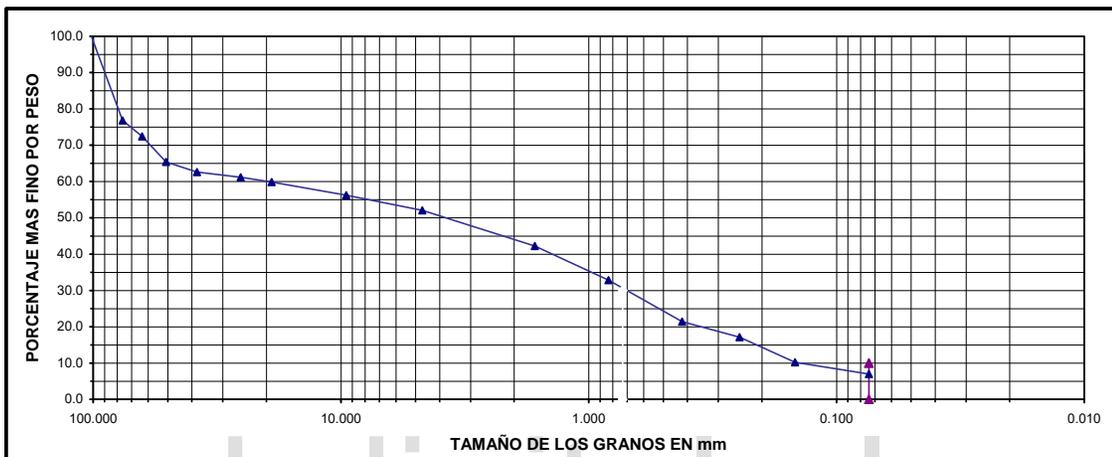
Observaciones: _____

Realizado por: _____ Revisado por: _____

G.G.S.



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO



Muestra N° ptofundidad	Datos de Campo	D60	D30	D10	Pasa T200	LL	LP	IP	Clasificación
Estadium		19.67	0.73	0.12	6.98	28.40%	21.33%	7.07%	SP-SC
*									

Análisis Granulométrico	Cálculo:	Dibujo:	Fecha:	Localidad:
-------------------------	----------	---------	--------	------------



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Nombre del Proyecto: " **Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(θ), y su relación con los parámetros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.**

Procedencia de la Muestra: **FACES Universidad de los Andes.**

Profundidad: _____ Muestra: _____

Fecha de realización del ensayo: _____

		DESIGN. DEL TAMIZ US	"A" PESO RETENIDO gr	"B" % RETENIDO	% MAS GRUESO	% MAS FINO	PESO TOTAL DE MUESTRA (P.T.M.)		
TAMIZADO USANDO EL P.T.M.	PIEDRA O CANTOS	4"	0.00	0.00	0.00	100.00	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">P.T.M. = 8,071.00</div> <p>Factor $F_o = 100 / P.T.M.$</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">F_o = 0.012390</div> <p>$B = A * F_o$</p>		
		3"	2,144.50	26.57	26.57	73.43			
	GRAVA	GRUESA	2 1/2"	0.00	0.00	26.57		73.43	
			2"	236.90	2.94	29.51		70.49	
			1 1/2"	558.30	6.92	36.42		63.58	
		FINA	1"	675.40	8.37	44.79		55.21	
			3/4"	201.80	2.50	47.29		52.71	
			1/2"						
	TAMIZADO CON FRACCIÓN MENOR QUE P.T.M.	ARENA	GRUESA	Nº 8					Peso Húmedo (W1) = Peso seco (W2) = Factor $F_1 = W_2 / W_1 =$
				Nº 10	420.20	5.21		60.63	
MEDIA		Nº 16					<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">PESOS PARA EL ENSAYO</div> Peso Hum. (W3) = Peso Seco (W4) = $F_1 * W_3$		
		Nº 20	390.20	4.83	65.47	34.53			
		Nº 30							
		Nº 40	479.00	5.93	71.40	28.60			
FINA		Nº 50					<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">W4 =</div> Factor $F_2 = W/W_4 =$ $B = A * F_2$		
		Nº 60	218.60	2.71	74.11	25.89			
		Nº 80							
		Nº 100	384.00	4.76	78.87	21.13			
		Nº 200	332.20	4.12	82.99	17.01			

Vía SECA: Vía Húmeda:

Características de la muestra ensayada: _____

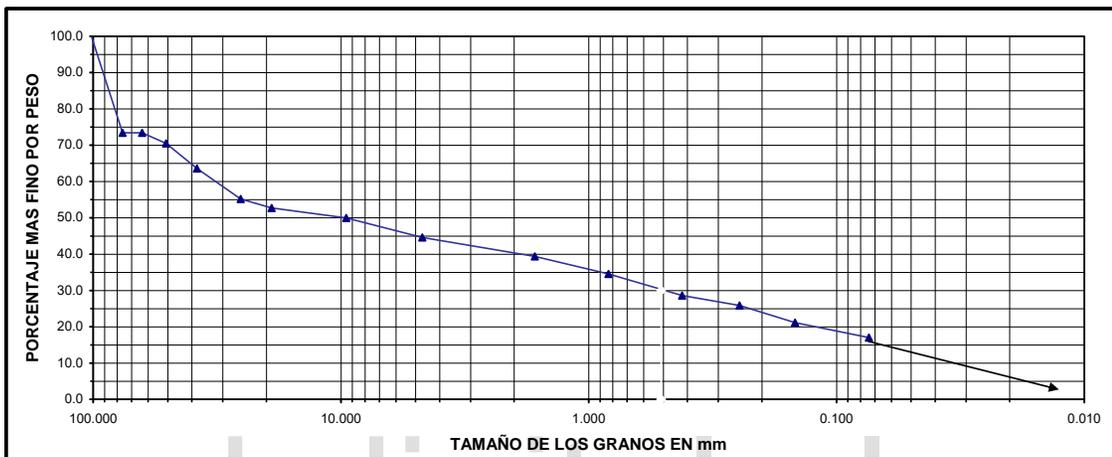
Observaciones: _____

Realizado por: _____ Revisado por: _____

G.G.S.



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO



Muestra N° ptofundidad	Datos de Campo	D60	D30	D10	Pasa T200	LL	LP	IP	Clasificación
FACES					17.01	25.36%	NP	NP	GM

Análisis Granulométrico	Cálculo:	Dibujo:	Fecha:	Localidad:
-------------------------	----------	---------	--------	------------



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Nombre del Proyecto: " **Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(ϕ), y su relación con los parámetros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.**

Procedencia de la Muestra: **Laboratorio de Hidraulica(ULA) enlace vial de La Cruz Verde.**

Profundidad: _____ Muestra: _____

Fecha de realización del ensayo: _____

		DESIGN. DEL TAMIZ US	"A" PESO RETENIDO gr	"B" % RETENIDO	% MAS GRUESO	% MAS FINO	PESO TOTAL DE MUESTRA (P.T.M.)		
TAMIZADO USANDO EL P.T.M.	PIEDRA O CANTOS	4"	0.00	0.00	0.00	100.00	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">P.T.M. = 7,475.00</div> Factor $F_o = 100 / P.T.M.$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">F_o = 0.013378</div> $B = A * F_o$		
		3"	0.00	0.00	0.00	100.00			
	GRAVA	GRUESA	2 1/2"	1,234.90	16.52	16.52		83.48	
			2"	759.20	10.16	26.68		73.32	
			1 1/2"	0.00	0.00	26.68		73.32	
		FINA	1"	101.10	1.35	28.03		71.97	
			3/4"	256.50	3.43	31.46		68.54	
			1/2"						
	TAMIZADO CON FRACCIÓN MENOR QUE P.T.M.	ARENA	GRUESA	3/8"	714.10	9.55		41.01	PESO PARA HUMEDAD IGROSCÓPICA Peso Húmedo (W1) = Peso seco (W2) = Factor $F_1 = W_2 / W_1 =$ PESOS PARA EL ENSAYO Peso Hum. (W3) = Peso Seco (W4) = $F_1 * W_3$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">W4 =</div> Factor $F_2 = W / W_4 =$ $B = A * F_2$
				1/4"					
Nº 4			527.90	7.06	48.08	51.92			
FINA			GRUESA	Nº 8					
		Nº 10		695.70	9.31	57.38	42.62		
		MEDIA	Nº 16						
			Nº 20	719.20	9.62	67.00	33.00		
			Nº 30						
			Nº 40	683.50	9.14	76.15	23.85		
FINA		Nº 50							
	Nº 60	242.70	3.25	79.40	20.60				
	Nº 80								
	Nº 100	425.60	5.69	85.09	14.91				
	Nº 200	324.60	4.34	89.43	10.57				

Vía SECA: Vía Húmeda:

Características de la muestra ensayada: _____

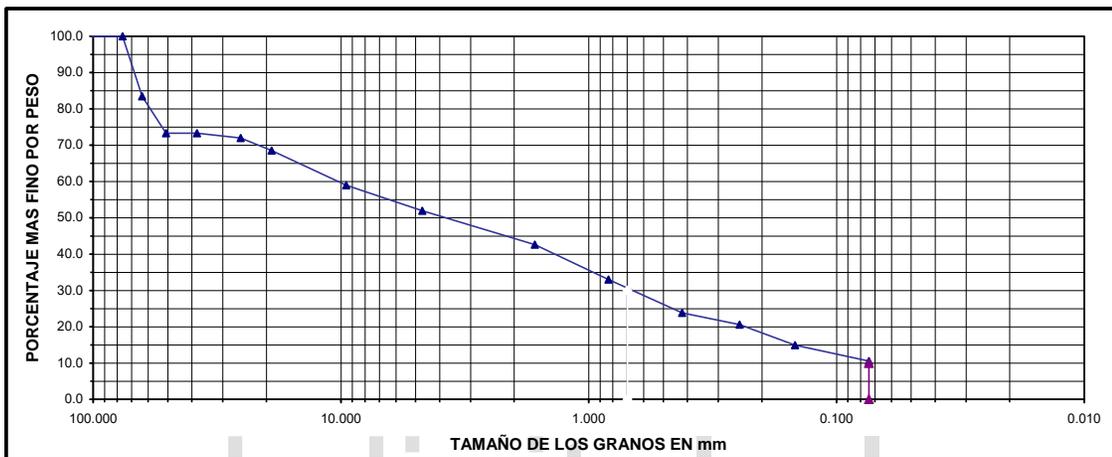
Observaciones: _____

Realizado por: _____ Revisado por: _____

G.G.S.



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO



Muestra N° ptofundidad	Datos de Campo	D60	D30	D10	Pasa T200	LL	LP	IP	Clasificación
CHIDRA		12.00	0.68	0.08	10.57	27.67%	NP	NP	GP-GM

Análisis Granulométrico	Cálculo:	Dibujo:	Fecha:	Localidad:
-------------------------	----------	---------	--------	------------



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Nombre del Proyecto: " Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(ϕ), y su relación con los parametros de densidad relativa(Dr), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.

Procedencia de la Muestra: El Acuario, nuevo enlace frente a C.C Las Tapias.

Profundidad: _____ Muestra: _____

Fecha de realización del ensayo: _____

		DESIGN. DEL TAMIZ US	"A" PESO RETENIDO gr	"B" % RETENIDO	% MAS GRUESO	% MAS FINO	PESO TOTAL DE MUESTRA (P.T.M.)		
TAMIZADO USANDO EL P. T. M.	PIEDRA O CANTOS	4"	0.00	0.00	0.00	100.00	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">P.T.M. = 9,562.00</div> Factor $F_o = 100 / P.T.M.$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">F_o = 0.010458</div> $B = A * F_o$		
		3"	1,281.80	13.41	13.41	86.59			
	GRAVA	GRUESA	2 1/2"	535.70	5.60	19.01		80.99	
			2"	1,312.50	13.73	32.73		67.27	
			1 1/2"	388.00	4.06	36.79		63.21	
		FINA	1"	220.30	2.30	39.10		60.90	
			3/4"	306.40	3.20	42.30		57.70	
			1/2"						
	TAMIZADO CON FRACCIÓN MENOR QUE P. T. M.	ARENA	GRUESA	Nº 8					PESO PARA HUMEDAD IGROSCÓPICA $B = A * F_o$ Peso Húmedo (W1) = _____ Peso seco (W2) = _____ Factor $F_1 = W_2 / W_1 =$ _____ <hr/> PESOS PARA EL ENSAYO Peso Hum. (W3) = _____ Peso Seco (W4)= $F_1 * W_3$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">W4 = _____</div> Factor $F_2 = W/W_4 =$ _____ $B = A * F_2$
				Nº 10	586.20	6.13		61.34	
MEDIA		Nº 16							
		Nº 20	568.80	5.95	67.29	32.71			
		Nº 30							
		Nº 40	622.90	6.51	73.80	26.20			
FINA		Nº 50							
		Nº 60	271.60	2.84	76.64	23.36			
		Nº 80							
		Nº 100	571.30	5.97	82.62	17.38			
		Nº 200	327.70	3.43	86.04	13.96			

Vía SECA: Vía Húmeda:

Características de la muestra ensayada: _____

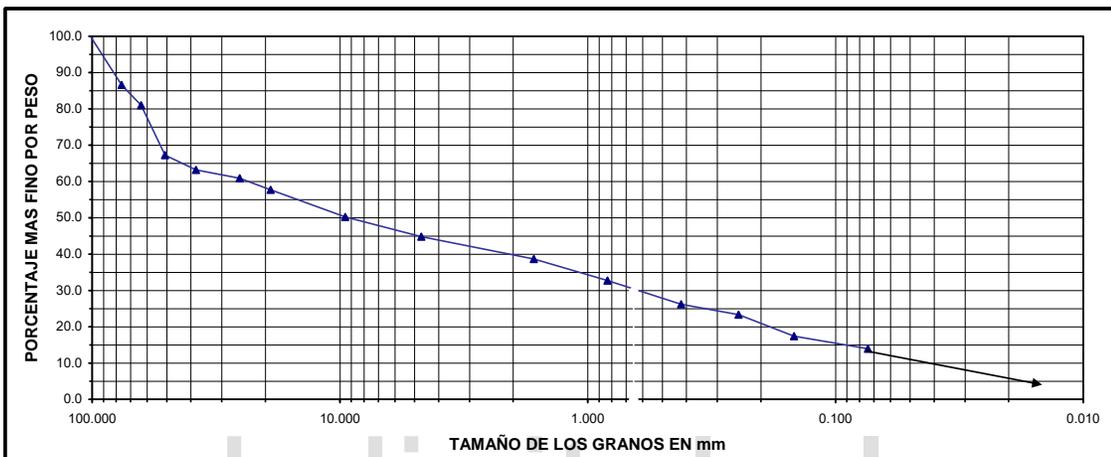
Observaciones: _____

Realizado por: Tec. Yosmar Sulbaran. Revisado por: _____

G.G.S.



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO



Muestra N° ptofundidad	Datos de Campo	D60	D30	D10	Pasa T200	LL	LP	IP	Clasificación
las tapias					13.96	25.75%	20.76%	6.99%	GC

Análisis Granulométrico	Cálculo:	Dibujo:	Fecha:	Localidad:
-------------------------	----------	---------	--------	------------



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Nombre del Proyecto: " **Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(θ), y su relación con los parametros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.**

Procedencia de la Muestra: Av. los Próceres, metros arriba de la Materiales Los Andes

Profundidad: _____ Muestra: _____

Fecha de realización del ensayo: _____

		DESIGN. DEL TAMIZ US	"A" PESO RETENIDO gr	"B" % RETENIDO	% MAS GRUESO	% MAS FINO	PESO TOTAL DE MUESTRA (P.T.M.)	
TAMIZADO USANDO EL P.T.M.	PIEDRA O CANTOS	4"	0.00	0.00	0.00	100.00	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">P.T.M. = 5,785.00</div> <p>Factor $F_o = 100 / P.T.M.$</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">F_o = 0.017286</div> <p>$B = A * F_o$</p>	
		3"	0.00	0.00	0.00	100.00		
	GRAVA	GRUESA	2 1/2"	0.00	0.00	0.00		100.00
			2"	230.00	3.98	3.98		96.02
			1 1/2"	204.50	3.54	7.51		92.49
			1"	440.00	7.61	15.12		84.88
			3/4"	259.00	4.48	19.59		80.41
	FINA	1/2"						
		3/8"	867.60	15.00	34.59	65.41		
		1/4"		0.00				
							PESO PARA HUMEDAD IGROSCÓPICA	
TAMIZADO CON FRACCIÓN MENOR QUE P.T.M.	ARENA	GRUESA	Nº 8	5.6	10.31		Peso Húmedo (W1) =	
			Nº 10	849.00	14.68	64.78	35.22	Peso seco (W2) =
	MEDIA	Nº 16					Factor F1=W2 / W1 =	
		Nº 20	596.20	10.31	75.09	24.91	PESOS PARA EL ENSAYO	
		Nº 30						
		Nº 40	292.60	5.06	80.15	19.85		
	FINA	Nº 50					<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">W4 =</div> <p>Factor F2=W/W4 =</p> <p>$B = A * F2$</p>	
		Nº 60	157.20	2.72	82.86	17.14		
		Nº 80						
		Nº 100	86.00	1.49	84.35	15.65		
		Nº 200	40.00	0.69	85.04	14.96		

Vía SECA: Vía Húmeda:

Características de la muestra ensayada: _____

Observaciones: _____

Realizado por: Yosmar Sulbarán Revisado por: Dr. Roberto Ucar N.

G.G.S.



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Nombre del Proyecto: " Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(θ), y su relación con los parámetros de densidad relativa(Dr), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.

Procedencia de la Muestra: Vía Pueblo Nuevo detra de la plaza de Toros Román Eduardo Sandia.

Profundidad: _____ Muestra: _____

Fecha de realización del ensayo: _____

		DESIGN. DEL TAMIZ US	"A" PESO RETENIDO gr	"B" % RETENIDO	% MAS GRUESO	% MAS FINO	PESO TOTAL DE MUESTRA (P.T.M.)			
TAMIZADO USANDO EL P.T.M.	PIEDRA O CANTOS	4"	0.00	0.00	0.00	100.00	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">P.T.M. = 8,836.00</div> Factor $F_o = 100 / P.T.M.$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">F_o = 0.011317</div> $B = A * F_o$			
		3"	986.80	11.17	11.17	88.83				
	GRAVA	GRUESA	2 1/2"	0.00	0.00	11.17		88.83		
			2"	786.90	8.91	20.07		79.93		
			1 1/2"	1,060.40	12.00	32.07		67.93		
		FINA	1"	614.00	6.95	39.02		60.98		
			3/4"	277.40	3.14	42.16		57.84		
			1/2"							
	TAMIZADO CON FRACCIÓN MENOR QUE P.T.M.	ARENA	GRUESA	Nº 4	761.70	8.62		59.65	40.35	PESO PARA HUMEDAD IGROSCÓPICA
				Nº 8						Peso Húmedo (W1) =
MEDIA		Nº 10	714.30	8.08	67.73	32.27	Peso seco (W2) =			
		Nº 16					Factor F1=W2 / W1 =			
		Nº 20	566.70	6.41	74.15	25.85	PESOS PARA EL ENSAYO			
		Nº 30					Peso Hum. (W3) =			
		Nº 40	520.70	5.89	80.04	19.96	Peso Seco (W4)=F1*W3			
		Nº 50					W4 =			
FINA		Nº 60	201.70	2.28	82.32	17.68	Factor F2=W/W4 = $B = A * F2$			
		Nº 80								
	Nº 100	361.20	4.09	86.41	13.59					
	Nº 200	246.30	2.79	89.20	10.80					

Vía SECA: Vía Húmeda:

Características de la muestra ensayada: _____

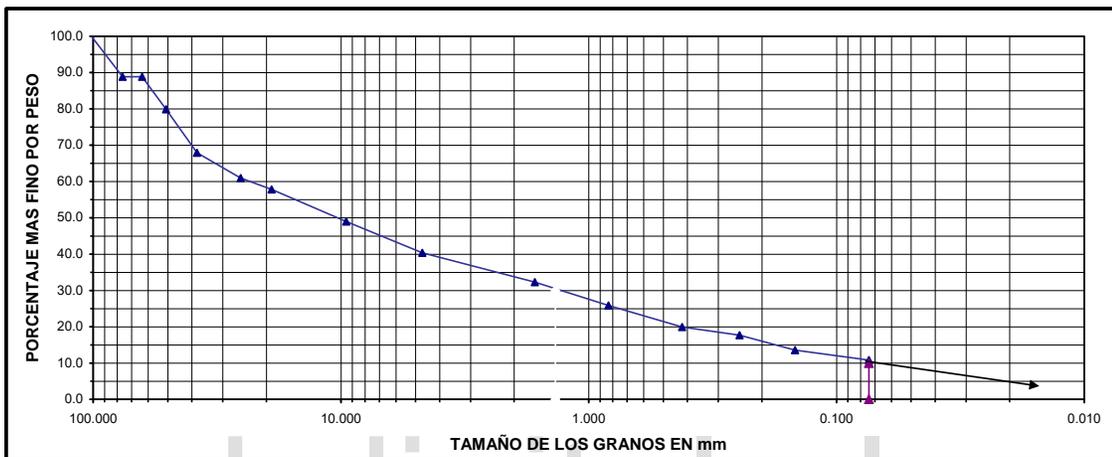
Observaciones: _____

Realizado por: _____ Tec. Yosmar Sulbaran. Revisado por: _____ Ing. _____

G.G.S.



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO



Muestra N° ptofundidad	Datos de Campo	D60	D30	D10	Pasa T200	LL	LP	IP	Clasificación
		23.42	1.36	0.07	10.80	26.24%	18.02%	8.22%	GW-GC

Análisis Granulométrico	Cálculo:	Dibujo:	Fecha:	Localidad:
-------------------------	----------	---------	--------	------------



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Nombre del Proyecto: " Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(ϕ), y su relación con los parametros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.

Procedencia de la Muestra: Conjunto Residencial El Rodeo.

Profundidad: _____ Muestra: _____

Fecha de realización del ensayo: _____

		DESIGN. DEL TAMIZ US	"A" PESO RETENIDO gr	"B" % RETENIDO	% MAS GRUESO	% MAS FINO	PESO TOTAL DE MUESTRA (P.T.M.)		
TAMIZADO USANDO EL P.T.M.	PIEDRA O CANTOS	4"	0.00	0.00	0.00	100.00	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">P.T.M. = 8,511.00</div> <p>Factor $F_o = 100 / P.T.M.$</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">F_o = 0.011750</div> <p>$B = A * F_o$</p>		
		3"	977.40	11.48	11.48	88.52			
	GRAVA	GRUESA	2 1/2"	0.00	0.00	11.48		88.52	
			2"	373.50	4.39	15.87		84.13	
			1 1/2"	371.40	4.36	20.24		79.76	
		FINA	1"	387.40	4.55	24.79		75.21	
			3/4"	212.80	2.50	27.29		72.71	
			1/2"						
	TAMIZADO CON FRACCIÓN MENOR QUE P.T.M.	ARENA	GRUESA	Nº 8					<p>PESO PARA HUMEDAD IGROSCÓPICA</p> <p>Peso Húmedo (W1) = _____</p> <p>Peso seco (W2) = _____</p> <p>Factor $F_1 = W_2 / W_1 =$ _____</p> <hr/> <p>PESOS PARA EL ENSAYO</p> <p>Peso Hum. (W3) = _____</p> <p>Peso Seco (W4) = $F_1 * W_3$</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">W4 = _____</div> <p>Factor $F_2 = W / W_4 =$ _____</p> <p>$B = A * F_2$</p>
				Nº 10	559.40	6.57		17.11	
MEDIA		Nº 16							
		Nº 20	637.80	7.49	24.61	48.11			
		Nº 30							
		Nº 40	696.40	8.18	32.79	39.92			
FINA		Nº 50							
		Nº 60	270.50	3.18	35.97	36.75			
		Nº 80							
		Nº 100	506.10	5.95	41.91	30.80			
		Nº 200	466.70	5.48	47.40	25.32			

Vía SECA: Vía Húmeda:

Características de la muestra ensayada: _____

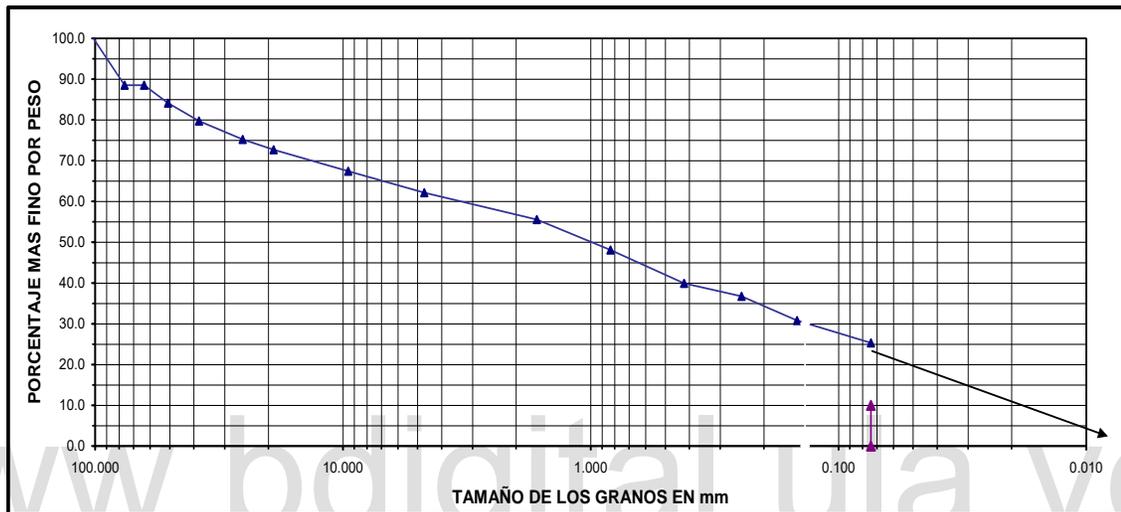
Observaciones: _____

Realizado por: Yosmar Sulbarán G. Revisado por: Dr. Roberto Ucar N.

G.G.S.



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO



Muestra N° ptofundidad	Datos de Campo	D60	D30	D10	Pasa T200	LL	LP	IP	Clasificación
Res. Rodeo					25.32	40.39%	NP	NP	GP-GM

Análisis Granulométrico	Cálculo:	Dibujo:	Fecha:	Localidad:
-------------------------	----------	---------	--------	------------

LIMITES DE CONSISTENCIA

www.bdigital.ula.ve



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA

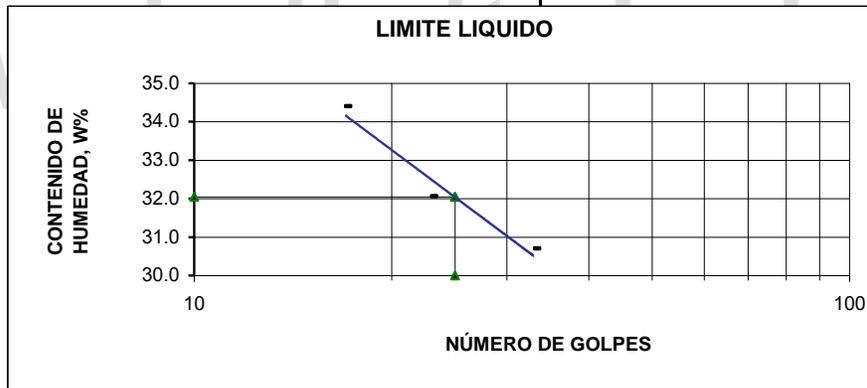
Nombre del Proyecto: " Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(ϕ), y su relación con los parametros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.

Procedencia de la Muestra: Talud detrás del Conjunto Residencial Alto Chama.

Profundidad: _____ Muestra : _____

Fecha de realización del ensayo: _____

LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO			
N° DE CAÍDAS	17	23	33				
N° CAPSULA	79	24	88		24	88	
W _{Th} , gr.	22.208	23.198	30.430		13.198	18.500	
W _{Ts} gr.	19.300	20.300	27.200		12.900	18.200	
W CÁPSULA, gr.	10.848	11.261	16.680		11.261	16.680	
W _w	2.908	2.898	3.230		0.298	0.300	
W SECO, gr.	8.452	9.039	10.520		1.639	1.520	
W, %	34.41	32.06	30.70		18.18	19.74	



RESULTADOS:

LL= 32.05 % LP= 18.96 %

IP= 13.09 %

TIPO DE SUELO: GC

Realizado por Tec. Yosmar Sulbaran Revisado por: _____



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA

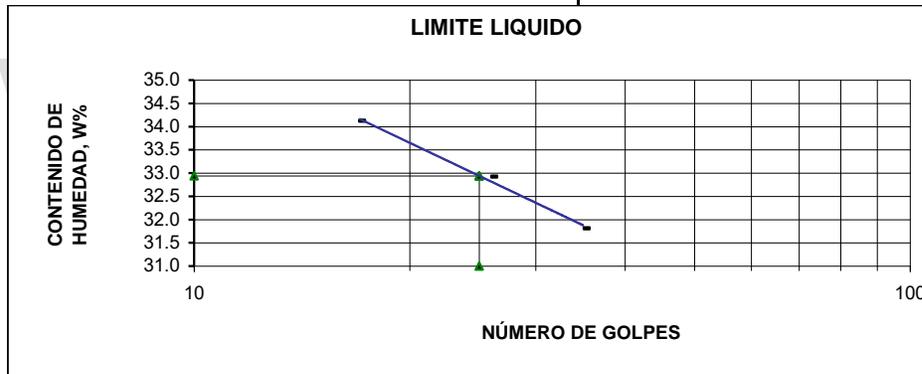
Nombre del Proyecto: " Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(ϕ), y su relación con los parametros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.

Procedencia de la Muestra: Urbanización Campo Claro vía Los Curos.

Profundidad: _____ Muestra : _____

Fecha de realización del ensayo: _____, _____, _____

LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO			
N° DE CAÍDAS	17	26	35				
N° CAPSULA	15	52	62		63	78	
W _{Th} , gr.	24.824	18.044	23.913		12.666	12.376	
W _{Ts} gr.	21.199	16.198	20.682		12.268	12.085	
W CÁPSULA,	10.576	10.591	10.524		10.571	10.808	
W _w	3.625	1.846	3.231		0.398	0.291	
W SECO, gr.	10.623	5.607	10.158		1.697	1.277	
W, %	34.12	32.92	31.81		23.45	22.79	



RESULTADOS:

LL= 32.94 % LP= 23.12 %

IP= 9.82 %

TIPO DE SUELO: GP-GC

Realizado por: _____ Revisado por: _____



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA

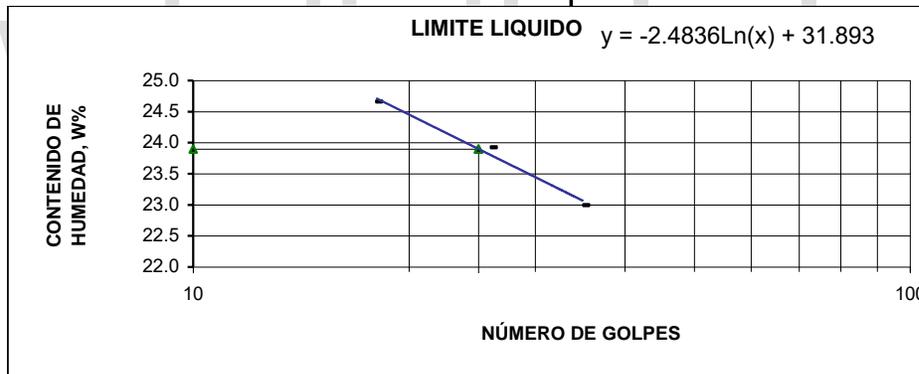
Nombre del Proyecto: " **Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(ϕ), y su relación con los parametros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.**

Procedencia de la Muestra: **Antigua vía Ejido detrás del la Cuesta del Ciego.**

Profundidad: _____ Muestra : _____

Fecha de realización del ensayo: _____

LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO			
N° DE CAÍDAS	18	26	35				
N° CAPSULA	44	82	45				
W _{Th} , gr.	26.431	24.887	25.175				
W _{Ts} gr.	23.409	22.131	22.489				
W CÁPSULA	11.154	10.612	10.808				
W _w	3.022	2.756	2.686				
W SECO, gr.	12.255	11.519	11.681				
W, %	24.66	23.93	22.99				



RESULTADOS:

LL= 23.90 % LP= %

IP= %

TIPO DE SUELO: GP-GM

Realizado por: Yosmar E. Sulbarán G. Revisado por: Dr. Roberto Ucar N.



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA

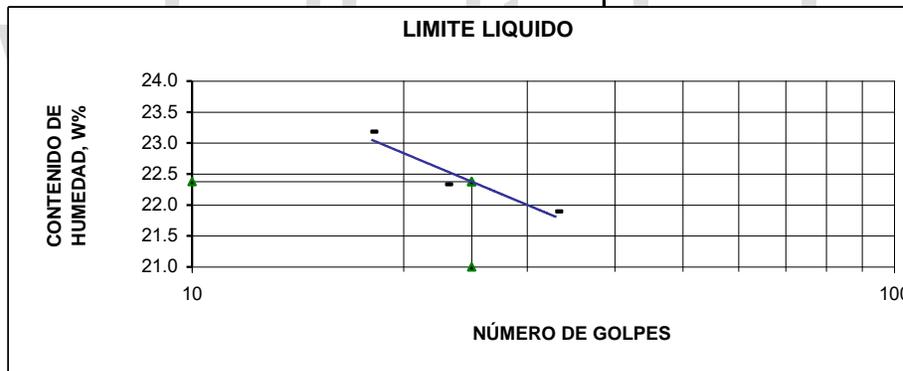
Nombre del Proyecto: " **Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(ϕ), y su relación con los parametros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.**

Procedencia de la Muestra: Actual C.C El Rodeo Al lado del Banco Mercantil.

Profundidad: _____ Muestra : _____

Fecha de realización del ensayo: 13/02/2009

LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO			
N° DE CAÍDAS	18	23	33				
N° CAPSULA	50	203	100				
W _{Th} , gr.	29.201	26.694	29.781				
W _{Ts} gr.	25.695	23.872	27.558				
W CÁPSULA, gr.	10.572	11.236	17.404				
W _w	3.506	2.822	2.223				
W SECO, gr.	15.123	12.636	10.154				
W, %	23.18	22.33	21.89				



RESULTADOS:

LL= 22.38 % LP= NP %

IP= NP %

TIPO DE SUELO: GW-GM

Realizado por: Yosmar Sulbarán Revisado por: Dr. Roberto Ucar N.



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA

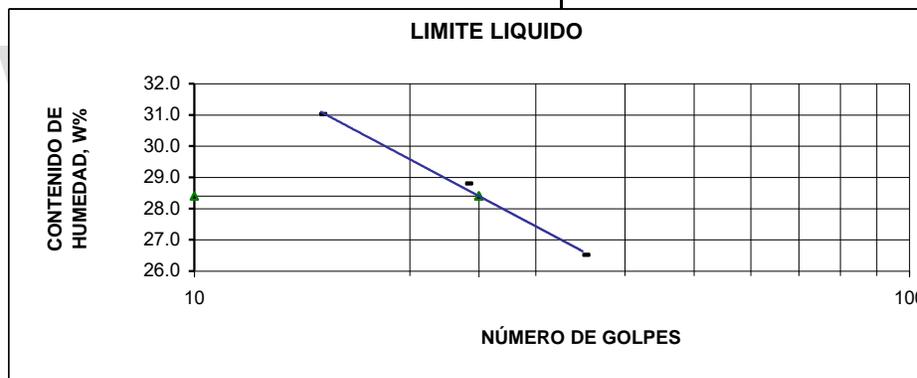
Nombre del Proyecto: " **Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(θ), y su relación con los parametros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.**

Procedencia de la Muestra: **Estadium Metropolitano (Zumba).**

Profundidad: _____ Muestra : _____

Fecha de realización del ensayo: _____

LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO			
N° DE CAÍDAS	15	24	35				
N° CAPSULA	54	2	62	91	11		
W _{Th} , gr.	22.327	28.814	22.513	12.848	19.327		
W _{Ts} gr:	19.634	24.922	19.996	12.550	18.940		
W CÁPSULA,	10.953	11.410	10.504	11.150	17.130		
W _w	2.693	3.892	2.517	0.298	0.387		
W SECO, gr.	8.681	13.512	9.492	1.400	1.810		
W, %	31.02	28.80	26.52	21.29	21.38		



RESULTADOS:

LL= 28.40 % LP= 21.33 %

IP= 7.07 NP %

TIPO DE SUELO: SP-SC

Realizado por: Yosmar Sulbarán Revisado por: Dr. Roberto Ucar N.



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA

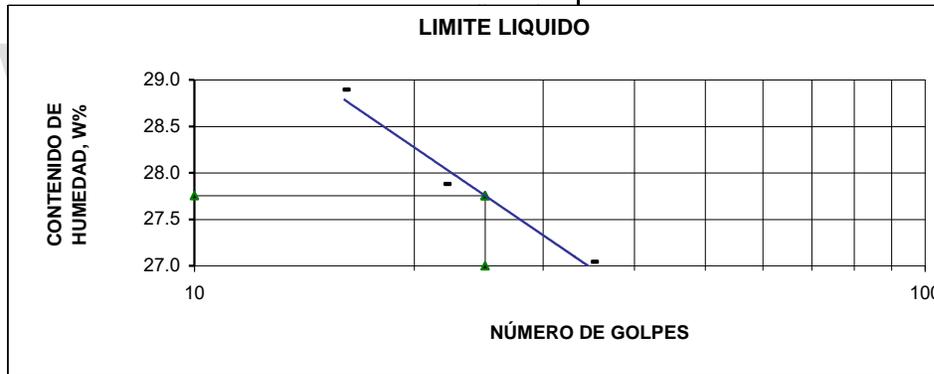
Nombre del Proyecto: " Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(ϕ), y su relación con los parametros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.

Procedencia de la Muestra: El Acuario, nuevo enlace frente a C.C Las Tapias.

Profundidad: _____ Muestra : _____

Fecha de realización del ensayo: _____

LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO			
N° DE CAÍDAS	16	22	35				
N° CAPSULA	16	7	c		8	2	
W _{Th} , gr.	23.911	30.965	27.965		12.350	13.902	
W _{Ts} gr.	20.903	27.989	24.409		12.114	13.475	
W CÁPSULA,	10.493	17.314	11.259		10.985	11.404	
W _w	3.008	2.976	3.556		0.236	0.427	
W SECO, gr.	10.410	10.675	13.150		1.129	2.071	
W, %	28.90	27.88	27.04		20.90	20.62	



RESULTADOS:

LL= 27.75 % LP= 20.76 %

IP= 6.99 %

TIPO DE SUELO: GC

Realizado por: Tec. Yosmar Sulbaran. Revisado por: Dr. Roberto Ucar N.



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA

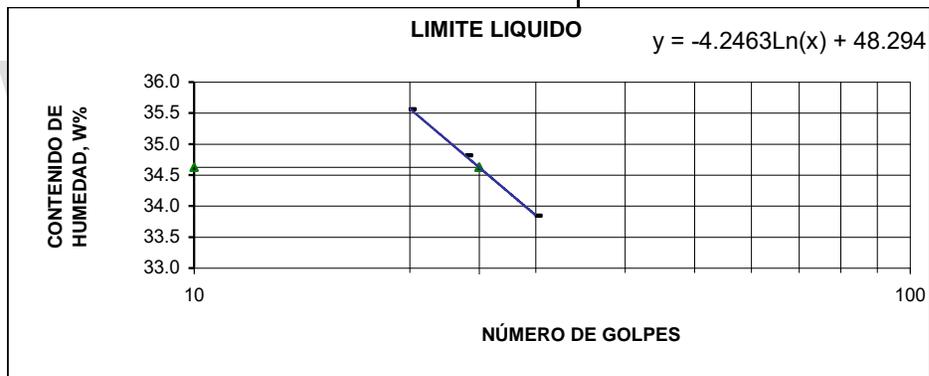
Nombre del Proyecto: " Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(ϕ), y su relación con los parametros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.

Procedencia de la Muestra: Av. los Próceres, metros arriba de la Materiales Los Andes

Profundidad: _____ Muestra : _____

Fecha de realización del ensayo: _____, _____, _____

LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO			
N° DE CAÍDAS	20	24	30				
N° CAPSULA	7	9	8		16	78	
W _{Th} , gr.	29.150	28.930	29.160		18.020	12.376	
W _{Ts} gr.	25.800	25.880	26.060		17.721	12.084	
W CÁPSULA,	16.380	17.120	16.900		16.260	10.808	
W _w	3.350	3.050	3.100		0.299	0.292	
W SECO, gr.	9.420	8.760	9.160		1.461	1.276	
W, %	35.56	34.82	33.84		20.47	22.88	



RESULTADOS:

LL= 34.63 % LP= 21.67 %

IP= 12.95 %

TIPO DE SUELO: GP-GC

Realizado por: Yosmar E. Sulbarán G. Revisado por: Dr. Roberto Ucar N.



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA

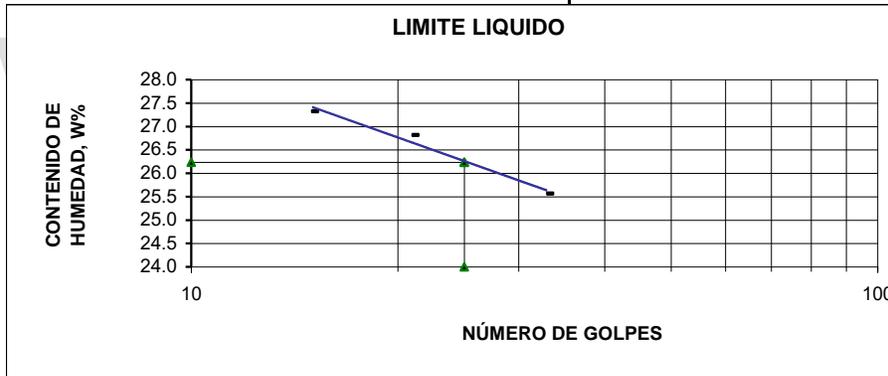
Nombre del Proyecto: " **Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(ϕ), y su relación con los parametros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.**

Procedencia de la Muestra: **Vía Pueblo Nuevo detra de la plaza de Toros Román Eduardo Sandia.**

Profundidad: _____ Muestra : _____

Fecha de realización del ensayo: _____, _____

LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO			
N° DE CAÍDAS	15	21	33				
N° CAPSULA	311	87	43		15	64	
W _{Th} , gr.	26.406	26.142	24.710		12.199	11.852	
W _{Ts} gr.	23.184	22.872	21.834		11.947	11.650	
W CÁPSULA, gr.	11.392	10.678	10.583		10.572	10.509	
W _w	3.222	3.270	2.876		0.252	0.202	
W SECO, gr.	11.792	12.194	11.251		1.375	1.141	
W, %	27.32	26.82	25.56		18.33	17.70	



RESULTADOS:

LL= 26.24 % LP= 18.02 %

IP= 8.22 %

TIPO DE SUELO: GW-GC

Realizado por: Tec. Yosmar Sulbaran. Revisado por: Dr. Roberto Ucar N.

COMPACTACIÓN

www.bdigital.ula.ve



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO DE COMPACTACIÓN

Nombre del Proyecto: " Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(ϕ), y su relación con los parametros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.

Procedencia de la Muestra: El Acuario, nuevo enlace frente a C.C Las Tapias.

Profundidad: _____ Progresiva: _____

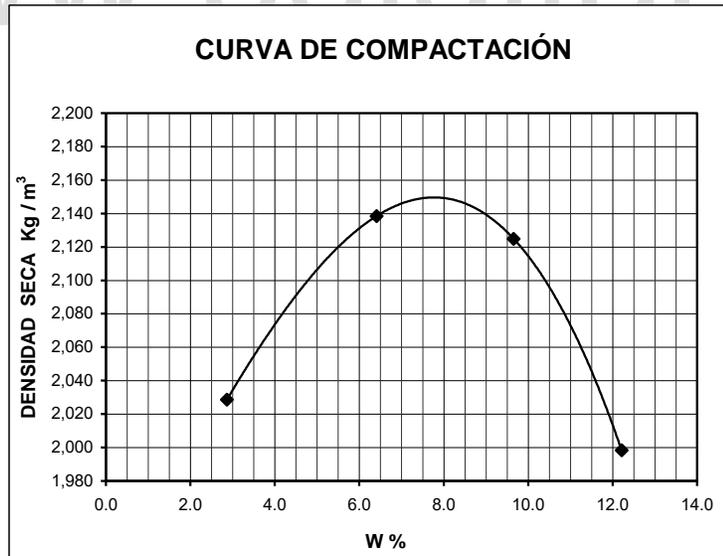
Fecha de realización del ensayo: _____

CILINDRO
 Numero: _____
 ALTURA (cm) : _____
 VOLUMEN:(cm^3) 2145
 PESO(gr): 6624

N° GOLPES/CAPA: 56
 N° CAPAS: 5
 PASANTE TAMIZ: 3/4"

**PROCTOR MODIFICADO
T-180D, 6 PULGADAS**

ENSAYO N°	1	2	3	4
PESO DEL CILINDRO + SUELO	11100	11505	11598	11515
PESO CILINDRO	6624	6624	6600	6705
PESO SUELO COMPACTADO	4,476.00	4,881.00	4,998.00	4,810.00
DENSIDAD HÚMEDA Kg/m^3	2,086.71	2,275.52	2,330.07	2,242.42
CÁPSULA N°	15	15	1	2X
P. MUESTRA H. + CÁPSULA	245.30	295.80	326.50	306.80
P. MUESTRA S. + CÁPSULA	240.00	281.20	302.50	279.80
PESO AGUA	5.30	14.60	24.00	27.00
PESO CÁPSULA	55.00	53.40	54.00	58.70
PESO MUESTRA SECA	185.00	227.80	248.50	221.10
CONTENIDO DE HUMEDAD %	2.86	6.41	9.66	12.21
DENSIDAD SECA Kg / m^3	2,028.60	2,138.47	2,124.85	1,998.39



$Y_{dmá} : 2150 \text{ Kg / m}^3$
 $W_{op} : 8,0 \%$

Realizado por: Tec. Yosmar Sulbaran. Revisado por: _____



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO DE COMPACTACIÓN

Nombre del Proyecto: " Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(ϕ), y su relación con los parametros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.

Procedencia de la Muestra: Vía Pueblo Nuevo detra de la plaza de Toros Román Eduardo Sandia.

Profundidad: _____ Progresiva: _____

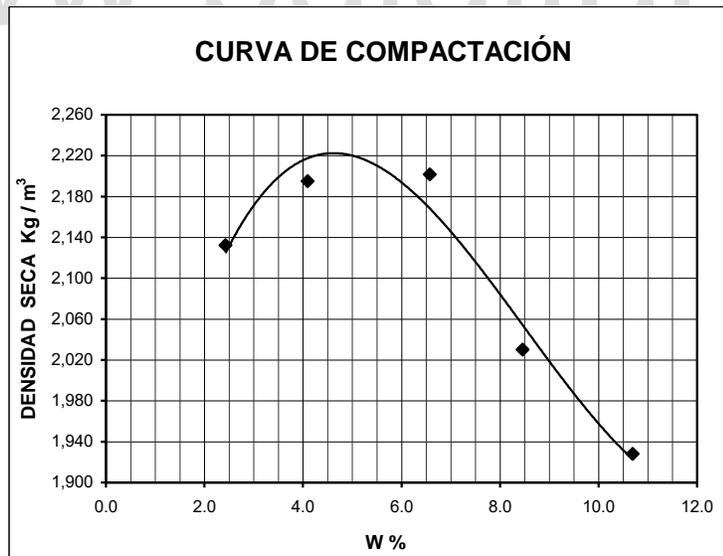
Fecha de realización del ensayo: _____

CILINDRO
 Numero: _____
 ALTURA (cm) : _____
 VOLUMEN:(cm^3) 2145
 PESO(gr): 6593

N° GOLPES/CAPA: 56
 N° CAPAS: 5
 PASANTE TAMIZ: 3/4"

**PROCTOR MODIFICADO
T-180D, 6 PULGADAS**

ENSAYO N°	1	2	3	4	5
PESO DEL CILINDRO + SUELO	11278	11525	11626	11426	11185
PESO CILINDRO	6593	6624	6593	6703	6607
PESO SUELO COMPACTADO	4,685.00	4,901.00	5,033.00	4,723.00	4,578.00
DENSIDAD HÚMEDA Kg/m^3	2,184.15	2,284.85	2,346.39	2,201.86	2,134.27
CÁPSULA N°	2A	20	102	38	200
P. MUESTRA H. + CÁPSULA	542.70	324.60	479.90	548.00	725.90
P. MUESTRA S. + CÁPSULA	531.50	314.50	454.70	510.70	662.50
PESO AGUA	11.20	10.10	25.20	37.30	63.40
PESO CÁPSULA	70.20	67.70	71.40	69.80	69.50
PESO MUESTRA SECA	461.30	246.80	383.30	440.90	593.00
CONTENIDO DE HUMEDAD %	2.43	4.09	6.57	8.46	10.69
DENSIDAD SECA Kg / m^3	2,132.38	2,195.02	2,201.64	2,030.12	1,928.12



$Y_{dmá} : 2200Kg / m^3$
 $W_{op} : 4.70 \%$

Realizado por: Tec. Yosmar Sulbaran. Revisado por: Dr. Roberto Ucar N.



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO DE COMPACTACIÓN

Nombre del Proyecto: " Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(ϕ), y su relación con los parámetros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares. "

Procedencia de la Muestra: Laboratorio de Hidráulica(ULA) enlace vial de La Cruz Verde.

Profundidad: _____ Progresiva: _____

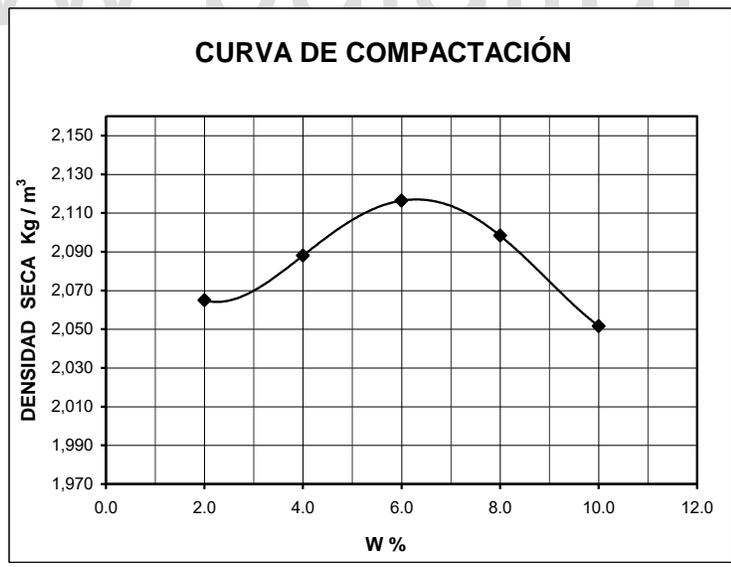
Fecha de realización del ensayo: _____

CILINDRO
 Numero: _____
 ALTURA (cm) : _____
 VOLUMEN:(cm³) 2145
 PESO(gr): 6593

N° GOLPES/CAPA: 56
 N° CAPAS: 5
 PASANTE TAMIZ: 3/4"

**PROCTOR MODIFICADO
T-180D, 6 PULGADAS**

ENSAYO N°	1	2	3	4	5
PESO DEL CILINDRO + SUELO	11111	11251	11405	11454	11434
PESO CILINDRO	6593	6593	6593	6593	6593
PESO SUELO COMPACTADO	4,518.00	4,658.00	4,812.00	4,861.00	4,841.00
DENSIDAD HÚMEDA Kg/m ³	2,106.29	2,171.56	2,243.36	2,266.20	2,256.88
CÁPSULA N°	8	15	3	45	60
P. MUESTRA H. + CÁPSULA	360.03	402.61	398.76	419.99	502.40
P. MUESTRA S. + CÁPSULA	354.20	389.50	379.80	393.60	462.30
PESO AGUA	5.83	13.11	18.96	26.39	40.10
PESO CÁPSULA	62.70	61.80	63.80	63.70	61.30
PESO MUESTRA SECA	291.50	327.70	316.00	329.90	401.00
CONTENIDO DE HUMEDAD %	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
DENSIDAD SECA Kg / m ³	2,064.99	2,088.03	2,116.37	2,098.35	2,051.71



Y_{d má} : 2120 Kg / m³
 W_{op} : 6,4 %

Realizado por: Tec. Yosmar Sulbaran. Revisado por: Dr. Roberto Ucar N.



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO DE COMPACTACIÓN

Nombre del Proyecto: " Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(θ), y su relación con los parametros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.

Procedencia de la Muestra: Antigua vía Ejido detrás del la Cuesta del Ciego.

Profundidad: _____ Progresiva: _____

Fecha de realización del ensayo: _____

CILINDRO

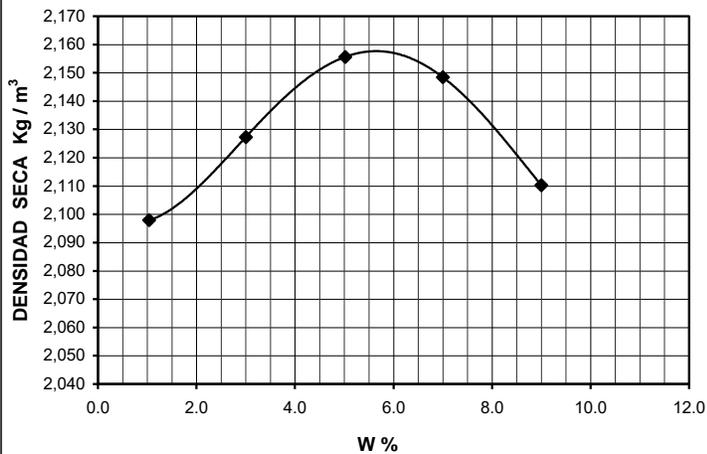
Numero: _____
 ALTURA (cm) : _____
 VOLUMEN:(cm³) 2145
 PESO(gr): 6595

N° GOLPES/CAPA: 56
 N° CAPAS: 5
 PASANTE TAMIZ: 3/4"

**PROCTOR MODIFICADO
T-180D, 6 PULGADAS**

ENSAYO N°	1	2	3	4	5
PESO DEL CILINDRO + SUELO	11142	11295	11451	11526	11529
PESO CILINDRO	6595	6595	6595	6595	6595
PESO SUELO COMPACTADO	4,547.00	4,700.00	4,856.00	4,931.00	4,934.00
DENSIDAD HÚMEDA Kg/m ³	2,119.81	2,191.14	2,263.87	2,298.83	2,300.23
CÁPSULA N°	21	53	7	31	39
P. MUESTRA H. + CÁPSULA	270.82	282.37	362.41	378.90	406.74
P. MUESTRA S. + CÁPSULA	268.60	276.00	348.10	357.50	378.30
PESO AGUA	2.22	6.37	14.31	21.40	28.44
PESO CÁPSULA	55.60	63.80	63.10	51.80	62.30
PESO MUESTRA SECA	213.00	212.20	285.00	305.70	316.00
CONTENIDO DE HUMEDAD %	1.04	3.00	5.02	7.00	9.00
DENSIDAD SECA Kg / m ³	2,097.95	2,127.28	2,155.63	2,148.44	2,110.31

CURVA DE COMPACTACIÓN



Y_{dmá} : 2158 Kg / m³
 W_{op} : 5,8 %

Realizado por: Tec. Yosmar Sulbaran. Revisado por: Dr. Roberto Ucar N.



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO DE COMPACTACIÓN

Nombre del Proyecto: " Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(ϕ), y su relación con los parametros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.

Procedencia de la Muestra: Talud detrás del Conjunto Residencial Alto Chama.

Profundidad: _____ Progresiva: _____

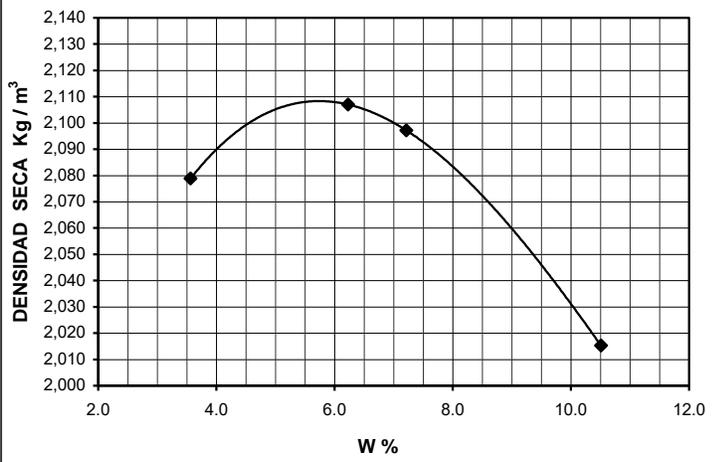
Fecha de realización del ensayo: _____

CILINDRO
 Numero: _____
 ALTURA (cm) : _____
 VOLUMEN:(cm³) 2145
 PESO(gr): 6582
 N° GOLPES/CAPA: 56
 N° CAPAS: 5
 PASANTE TAMIZ: _____

**PROCTOR MODIFICADO
T-180D, 6 PULGADAS**

ENSAYO N°	1	2	3	4
PESO DEL CILINDRO + SUELO	11200	11383	11405	11359
PESO CILINDRO	6582	6582	6582	6582
PESO SUELO COMPACTADO	4,618.00	4,801.00	4,823.00	4,777.00
DENSIDAD HÚMEDA Kg/m ³	2,152.91	2,238.23	2,248.48	2,227.04
CÁPSULA N°	205	200	a1	7
P. MUESTRA H. + CÁPSULA	344.50	352.60	338.80	386.40
P. MUESTRA S. + CÁPSULA	335.00	336.00	320.20	354.30
PESO AGUA	9.50	16.60	18.60	32.10
PESO CÁPSULA	68.40	69.40	62.40	48.80
PESO MUESTRA SECA	266.60	266.60	257.80	305.50
CONTENIDO DE HUMEDAD %	3.56	6.23	7.21	10.51
DENSIDAD SECA Kg / m ³	2,078.84	2,107.03	2,097.18	2,015.29

CURVA DE COMPACTACIÓN



Y_{dmá} : 2108 Kg / m³
 W_{op} : 6,0%

Realizado por: Tec. Yosmar Sulbarán. Revisado por: Dr. Roberto Ucar N.



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO DE COMPACTACIÓN

Nombre del Proyecto: " Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción(ϕ), y su relación con los parametros de densidad relativa(D_r), y relación de vacíos(e) en suelos granulares.

Procedencia de la Muestra: FACES Universidad de los Andes.

Profundidad: _____ Progresiva: _____

Fecha de realización del ensayo: _____

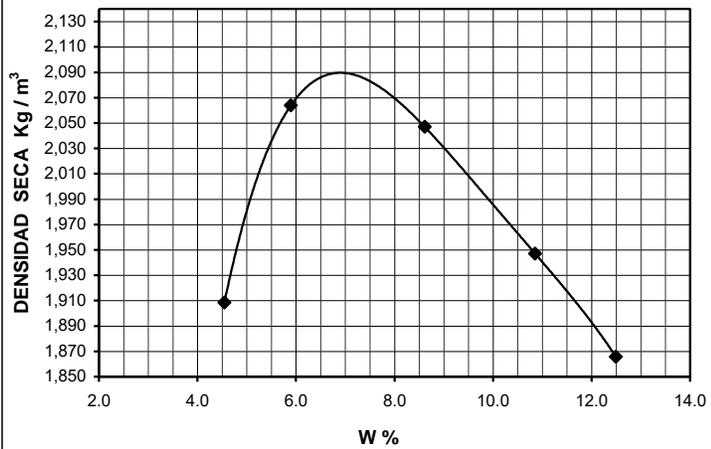
CILINDRO
 Numero: _____
 ALTURA (cm) : _____
 VOLUMEN:(cm^3) 2145
 PESO(gr): 6592

N° GOLPES/CAPA: 56
 N° CAPAS: 5
 PASANTE TAMIZ: 3/4"

**PROCTOR MODIFICADO
T-180D, 6 PULGADAS**

ENSAYO N°	1	2	3	4	5
PESO DEL CILINDRO + SUELO	11020	11314	11365	11222	11105
PESO CILINDRO	6740	6626	6596	6592	6603
PESO SUELO COMPACTADO	4,280.00	4,688.00	4,769.00	4,630.00	4,502.00
DENSIDAD HÚMEDA Kg/m^3	1,995.34	2,185.55	2,223.31	2,158.51	2,098.83
CÁPSULA N°	43	16	305	8	53
P. MUESTRA H. + CÁPSULA	337.50	235.60	341.60	374.00	324.60
P. MUESTRA S. + CÁPSULA	325.50	226.00	319.40	343.50	294.70
PESO AGUA	12.00	9.60	22.20	30.50	29.90
PESO CÁPSULA	61.60	63.20	61.60	62.50	55.40
PESO MUESTRA SECA	263.90	162.80	257.80	281.00	239.30
CONTENIDO DE HUMEDAD %	4.55	5.90	8.61	10.85	12.49
DENSIDAD SECA Kg / m^3	1,908.55	2,063.85	2,047.03	1,947.16	1,865.72

CURVA DE COMPACTACIÓN



$Y_{dmá} : 2080 \text{ Kg} / m^3$
 $W_{op} : 7,0 \%$

Realizado por: Tec. Yosmar Sulbarán. Revisado por: Dr. Roberto Ucar N.

www.bdigital.ula.ve

DENSIDAD RELATIVA



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO DE DENSIDAD RELATIVA

"Determinación del Parámetro de Resistencia, Angulo de Fricción Interna ϕ y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (D_r), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares"

Nombre del Proyecto: _____

Procedencia de la Muestra: El Acuario, Nuevo enlace Frente a C.C Las Tapias

Profundidad: _____ Muestra : _____

Fecha de realización del ensayo: _____ , _____

Gs: 2.67

$\gamma_{d\text{mín}}$ 1.32 T/m³ $e_{\text{máx}}$ 1.02

$\gamma_{d\text{máx}}$ 2.15 T/m³ $e_{\text{mín}}$ 0.24

$\gamma_{d\text{nat}}$ 1.70 T/m³ e_{nat} 0.57

$\gamma_{d\text{comp}}$ _____ T/m³ e_{comp} _____

$D_{r\text{nat}}$ 58 % $D_{r\text{comp}}$ _____ %

Observaciones: La Densidad Maxima seca usada para calcular D_r % se realizo con la densidad maxima seca obtenida con el Próctor Modificado T180-D

Realizado por: Yosmar E. Sulbarán Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO DE DENSIDAD RELATIVA

"Determinación del Parámetro de Resistencia, Angulo de Fricción Interna ϕ y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (D_r), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares"

Nombre del Proyecto: _____

Procedencia de la Muestra: Escuela menor de Béisbol "Luis Fargier Suarez" Detrás de Av. Humberto T.

Profundidad: _____ Muestra : _____

Fecha de realización del ensayo: _____ , _____

Gs: 2.6

$\gamma_{d\text{mín}}$ 1.37 T/m³ $e_{\text{máx}}$ 0.90

$\gamma_{d\text{máx}}$ 2.15 T/m³ $e_{\text{mín}}$ 0.21

$\gamma_{d\text{nat}}$ 1.83 T/m³ e_{nat} 0.42

$\gamma_{d\text{comp}}$ _____ T/m³ e_{comp} _____

$D_{r\text{nat}}$ 69.56 % $D_{r\text{comp}}$ _____ %

Observaciones: La Densidad Maxima seca usada para calcular $D_r\%$ se realizo con la densidad maxima seca obtenida con el Próctor Modificado T180-D

Realizado por: Yosmar E. Sulbarán Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO DE DENSIDAD RELATIVA

"Determinación del Parámetro de Resistencia, Angulo de Fricción Interna ϕ y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (D_r), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares"

Nombre del Proyecto: Vía Pueblo Nuevo detrás de la Plaza de toros Román

Procedencia de la Muestra: Eduardo Sandía

Profundidad: _____ Muestra : _____

Fecha de realización del ensayo: _____ , _____

Gs: 2.67

$\gamma_{d\text{mín}}$ 1.48 T/m³ $e_{\text{máx}}$ 0.80

$\gamma_{d\text{máx}}$ 2.20 T/m³ $e_{\text{mín}}$ 0.21

$\gamma_{d\text{nat}}$ 1.84 T/m³ e_{nat} 0.45

$\gamma_{d\text{comp}}$ _____ T/m³ e_{comp} _____

$D_{r\text{nat}}$ 60.03 % $D_{r\text{comp}}$ _____ %

Observaciones: La Densidad Maxima seca usada para calcular $D_r\%$ se realizo con la densidad maxima seca obtenida con el Próctor Modificado T180-D

Realizado por: Yosmar E. Sulbarán Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO DE DENSIDAD RELATIVA

"Determinación del Parámetro de Resistencia, Angulo de Fricción Interna ϕ y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (D_r), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares"

Nombre del Proyecto: _____

Procedencia de la Muestra: Actual C.C El Rodeo Al lado del Banco Mercantil

Profundidad: _____ Muestra : _____

Fecha de realización del ensayo: _____ , _____

Gs: 2.68

$\gamma_{d\text{mín}}$ 1.52 T/m³ $e_{\text{máx}}$ 0.76

$\gamma_{d\text{máx}}$ 2.23 T/m³ $e_{\text{mín}}$ 0.20

$\gamma_{d\text{nat}}$ 1.62 T/m³ e_{nat} 0.66

$\gamma_{d\text{comp}}$ _____ T/m³ e_{comp} _____

$D_{r\text{nat}}$ 18.95 % $D_{r\text{comp}}$ _____ %

Observaciones: La Densidad Maxima seca usada para calcular $D_r\%$ se realizo con la densidad maxima seca obtenida con el Próctor Modificado T180-D

Realizado por: Yosmar E. Sulbarán Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO DE DENSIDAD RELATIVA

"Determinación del Parámetro de Resistencia, Angulo de Fricción Interna y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (Dr.), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares"

Nombre del Proyecto: _____

Laboratorio de Hidráulica (ULA) enlace vial de la Cruz

Procedencia de la Muestra: _____ verde

Profundidad: _____ Muestra : _____

Fecha de realización del ensayo: _____

Gs: 2.72

$\gamma_{d_{\min}}$	<u>1.27</u>	T/m^3	e_{\max}	<u>1.14</u>
$\gamma_{d_{\max}}$	<u>2.12</u>	T/m^3	e_{\min}	<u>0.28</u>
$\gamma_{d_{\text{nat}}}$	<u>1.90</u>	T/m^3	e_{nat}	<u>0.43</u>
$\gamma_{d_{\text{comp}}}$	_____	T/m^3	e_{comp}	_____
Dr_{nat}	<u>83.24</u>	%	Dr_{comp}	_____ %

Observaciones: **La Densidad Maxima seca usada para calcular Dr% se realizo con la densidad maxima seca obtenida con el Próctor Modificado T180-D**

Realizado por: Yosmar E. Sulbarán Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO DE DENSIDAD RELATIVA

"Determinación del Parámetro de Resistencia, Angulo de Fricción Interna y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (Dr.), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares"

Nombre del Proyecto: _____

Procedencia de la Muestra: Antigua vía Ejido detrás del la Cuesta del Ciego

Profundidad: _____ Muestra : _____

Fecha de realización del ensayo: _____

Gs: 2.68

$\gamma_{d_{\min}}$	<u>1.36</u>	T/m^3	e_{\max}	<u>0.98</u>
$\gamma_{d_{\max}}$	<u>2.16</u>	T/m^3	e_{\min}	<u>0.24</u>
$\gamma_{d_{\text{nat}}}$	<u>1.93</u>	T/m^3	e_{nat}	<u>0.39</u>
$\gamma_{d_{\text{comp}}}$	_____	T/m^3	e_{comp}	_____
Dr_{nat}	<u>79.72</u>	%	Dr_{comp}	_____ %

Observaciones: La Densidad Maxima seca usada para calcular Dr% se realizo con la densidad maxima seca obtenida con el Próctor Modificado T180-D

Realizado por: Yosmar E. Sulbarán Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO DE DENSIDAD RELATIVA

"Determinación del Parámetro de Resistencia, Angulo de Fricción Interna ϕ y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (D_r), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares"

Nombre del Proyecto: _____

Procedencia de la Muestra: _____ **Estadium Metropolitano (Zumba)** _____

Profundidad: _____ Muestra : _____

Fecha de realización del ensayo: _____ , _____

Gs: _____ 2.62 _____

$\gamma_{d\text{mín}}$ _____ 1.22 _____ T/m³ $e_{\text{máx}}$ _____ 1.15 _____

$\gamma_{d\text{máx}}$ _____ 1.98 _____ T/m³ $e_{\text{mín}}$ _____ 0.33 _____

$\gamma_{d\text{nat}}$ _____ 1.92 _____ T/m³ e_{nat} _____ 0.37 _____

$\gamma_{d\text{comp}}$ _____ _____ T/m³ e_{comp} _____ _____

$D_{r\text{nat}}$ _____ **95.28** _____ % $D_{r\text{comp}}$ _____ _____ %

Observaciones: La Densidad Maxima seca usada para calcular $D_r\%$ se realizo con la densidad maxima seca obtenida con el Próctor Modificado T180-D

Realizado por: Yosmar E. Sulbarán Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO DE DENSIDAD RELATIVA

“Determinación del Parámetro de Resistencia, Angulo de Fricción Interna y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (Dr.), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares”

Nombre del Proyecto: _____

Procedencia de la Muestra: Talud detrás de Conjunto Residencial Alto Chama

Profundidad: _____ Muestra : _____

Fecha de realización del ensayo: _____

Gs: 2.64

$\gamma_{d_{\min}}$	<u>1.30</u>	T/m^3	e_{\max}	<u>1.03</u>
$\gamma_{d_{\max}}$	<u>2.11</u>	T/m^3	e_{\min}	<u>0.25</u>
$\gamma_{d_{\text{nat}}}$	<u>1.85</u>	T/m^3	e_{nat}	<u>0.43</u>
$\gamma_{d_{\text{comp}}}$	_____	T/m^3	e_{comp}	_____
Dr_{nat}	<u>77.44</u>	%	Dr_{comp}	_____ %

Observaciones: La Densidad Maxima seca usada para calcular Dr% se realizo con la densidad maxima seca obtenida con el Próctor Modificado T180-D

Realizado por: Yosmar E. Sulbarán Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO DE DENSIDAD RELATIVA

"Determinación del Parámetro de Resistencia, Angulo de Fricción Interna ϕ y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (D_r), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares"

Nombre del Proyecto: _____

Procedencia de la Muestra: _____ **Faces Universidad de los Andes** _____

Profundidad: _____ Muestra : _____

Fecha de realización del ensayo: _____ , _____

Gs: _____ **2.68** _____

$\gamma_{d\text{mín}}$ _____ **1.37** _____ T/m³ $e_{\text{máx}}$ _____ **0.96** _____

$\gamma_{d\text{máx}}$ _____ **2.08** _____ T/m³ $e_{\text{mín}}$ _____ **0.29** _____

$\gamma_{d\text{nat}}$ _____ **1.95** _____ T/m³ e_{nat} _____ **0.37** _____

$\gamma_{d\text{comp}}$ _____ _____ T/m³ e_{comp} _____ _____

$D_{r\text{nat}}$ _____ **87.14** _____ % $D_{r\text{comp}}$ _____ _____ %

Observaciones: **La Densidad Maxima seca usada para calcular D_r % se realizo con la densidad maxima seca obtenida con el Próctor Modificado T180-D**

Realizado por: Yosmar E. Sulbarán Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO DE DENSIDAD RELATIVA

"Determinación del Parámetro de Resistencia, Angulo de Fricción Interna ϕ y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (D_r), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares"

Nombre del Proyecto: _____

Procedencia de la Muestra: Urbanización Campo claro vía los Curos

Profundidad: _____ Muestra : _____

Fecha de realización del ensayo: _____, _____

Gs: 2.67

$\gamma_{d\text{mín}}$ 1.41 T/m³ $e_{\text{máx}}$ 0.89

$\gamma_{d\text{máx}}$ 2.12 T/m³ $e_{\text{mín}}$ 0.26

$\gamma_{d\text{nat}}$ 1.95 T/m³ e_{nat} 0.37

$\gamma_{d\text{comp}}$ _____ T/m³ e_{comp} _____

$D_{r\text{nat}}$ 82.84 % $D_{r\text{comp}}$ _____ %

Observaciones: La Densidad Maxima seca usada para calcular $D_r\%$ se realizo con la densidad maxima seca obtenida con el Próctor Modificado T180-D

Realizado por: Yosmar E. Sulbarán Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



ENSAYO DE DENSIDAD RELATIVA

"Determinación del Parámetro de Resistencia, Angulo de Fricción Interna ϕ y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (D_r), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares"

Nombre del Proyecto: _____

Procedencia de la Muestra: Av. los Próceres, metros arriba de Materiales los Andes

Profundidad: _____ Muestra : _____

Fecha de realización del ensayo: _____ , _____

Gs: 2.68

$\gamma_{d\text{mín}}$ 1.34 T/m³ $e_{\text{máx}}$ 1.00

$\gamma_{d\text{máx}}$ 2.08 T/m³ $e_{\text{mín}}$ 0.29

$\gamma_{d\text{nat}}$ 1.83 T/m³ e_{nat} 0.47

$\gamma_{d\text{comp}}$ _____ T/m³ e_{comp} _____

$D_{r\text{nat}}$ 74.93 % $D_{r\text{comp}}$ _____ %

Observaciones: La Densidad Maxima seca usada para calcular D_r % se realizo con la densidad maxima seca obtenida con el Próctor Modificado T180-D

Realizado por: Yosmar E. Sulbarán Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro

CORTE DIRECTO

www.bdigital.ula.ve



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



Nombre del Proyecto: "Determinación del Parámetro de Resistencia, Angulo de Fricción Interna y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (Dr.), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares"

Procedencia de la Muestra: El Acuario, Nuevo enlace Frente a C.C Las Tapias

Fecha de realización del ensayo: _____ Muestra: _____ Profundidad: 1.2 m

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

CAJA DE CORTE Nº **62-64-81**

LONG 10 cm ANCHO 10 cm ALTURA 4.00 cm AREA 100 cm²
 VOLUMEN 400 cm³ %W 8.85 % Wm 740 grs.
 VELOCIDAD 1 mm/min FACTOR DE CALIBRACION 4.599 Kg/u.n

T min	D.H (cm)	Lc=6-D.H (cm)	Area Corregida AC= 6xLc (cm ²)	$\sigma_n = 1,00 \text{ Kg/cm}^2$			$\sigma_n = 2,00 \text{ Kg/cm}^2$			$\sigma_n = 3,00 \text{ Kg/cm}^2$		
				L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)	L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)	L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)
0.0	0.00	10.000	100.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
0.3	0.025	9.975	99.75	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
0.5	0.050	9.950	99.50	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
0.8	0.075	9.925	99.25	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
1.0	0.100	9.900	99.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
1.5	0.150	9.850	98.50	5.200	23.91	0.24	9.000	41.39	0.42	10.000	45.99	0.47
2.0	0.200	9.800	98.00	9.500	43.69	0.45	15.000	68.99	0.70	20.000	91.98	0.94
2.5	0.250	9.750	97.50	11.200	51.51	0.53	17.500	80.48	0.83	25.500	117.27	1.20
3.0	0.300	9.700	97.00	13.000	59.79	0.62	20.200	92.90	0.96	30.000	137.97	1.42
3.5	0.350	9.650	96.50	14.500	66.69	0.69	23.500	108.08	1.12	33.500	154.07	1.60
4.0	0.400	9.600	96.00	15.500	71.28	0.74	24.500	112.68	1.17	36.500	167.86	1.75
4.5	0.450	9.550	95.50	16.200	74.50	0.78	25.000	114.98	1.20	38.500	177.06	1.85
5.0	0.500	9.500	95.00	17.200	79.10	0.83	25.500	117.27	1.23	40.800	187.64	1.98
5.5	0.550	9.450	94.50	18.000	82.78	0.88	26.500	121.87	1.29	42.500	195.46	2.07
6.0	0.600	9.400	94.00	18.200	83.70	0.89	26.200	120.49	1.28	44.000	202.36	2.15
6.5	0.650	9.350	93.50	18.700	86.00	0.92	26.500	121.87	1.30	46.000	211.55	2.26
7.0	0.700	9.300	93.00	19.000	87.38	0.94	27.500	126.47	1.36	47.200	217.07	2.33
7.5	0.750	9.250	92.50	19.200	88.30	0.95	27.500	126.47	1.37	48.500	223.05	2.41
8.0	0.800	9.200	92.00	19.400	89.22	0.97	28.000	128.77	1.40	49.500	227.65	2.47
8.5	0.850	9.150	91.50	19.600	90.14	0.99	28.500	131.07	1.43	50.000	229.95	2.51
9.0	0.900	9.100	91.00	19.000	87.38	0.96	29.000	133.37	1.47	50.000	229.95	2.53
9.5	0.950	9.050	90.50	18.400	84.62	0.94	29.500	135.67	1.50	50.000	229.95	2.54
10.0	1.000	9.000	90.00	0.00	0.00	0.00	30.000	137.97	1.53	50.000	229.95	2.56
10.5	1.050	8.950	89.50	0.00	0.00	0.00	30.500	140.27	1.57	50.000	229.95	2.57
11.0	1.100	8.900	89.00	0.00	0.00	0.00	31.000	142.57	1.60	0.000	0.00	0.00
11.5	1.150	8.850	88.50	0.00	0.00	0.00	31.000	142.57	1.61	0.000	0.00	0.00

Realizado por: Yosmar Sulbarán Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



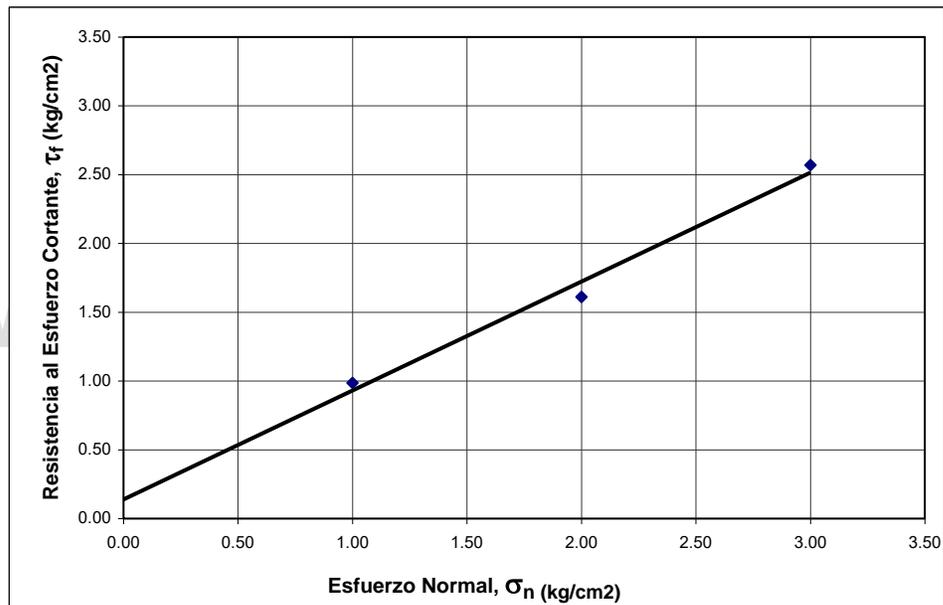
Nombre del Proyecto: “Determinación del Parámetro de Resistencia, Ángulo de Fricción Interna y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (Dr), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares”

Procedencia de la Muestra: El Acuario, Nuevo enlace Frente a C.C Las Tapias

Fecha de realización del ensayo: _____ Muestra: _____

GRAFICO DE CORTE DIRECTO

$\sigma_n = 1.00 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_n = 2.00 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_n = 3.00 \text{ kg/cm}^2$
$\tau_f = 0.99 \text{ kg/cm}^2$	$\tau_f = 1.61 \text{ kg/cm}^2$	$\tau_f = 2.57 \text{ kg/cm}^2$



Cohesión, C : **0.137 kg/cm²**
Angulo de fricción interna, ϕ : **38 °**

Realizado por: Yosmar Sulbarán Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



"Determinación del Parámetro de Resistencia, Angulo de Fricción Interna y su Relación con los Parámetros, Nombre del Proyecto: Densidad Relativa (Dr.), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares"

Procedencia de la Muestra: Escuela menor de Béisbol "Luis Fargier Suarez" Detrás de Av. Humberto T.

Fecha de realización del ensayo: _____ Muestra: _____ Profundidad: 1.2 m

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

CAJA DE CORTE Nº 62-64-81

LONG 10 cm **ANCHO** 10 cm **ALTURA** 4.00 cm **AREA** 100 cm²
VOLUMEN 400 cm³ **%W** 9.78 % **Wm** 805 grs.
VELOCIDAD 1 mm/min **FACTOR DE CALIBRACION** 4.599 Kg/u.n

T min	D.H (cm)	Lc=6-D.H (cm)	Area Corregida AC= 6xLc (cm ²)	$\sigma_n = 1,00 \text{ Kg/cm}^2$			$\sigma_n = 2,00 \text{ Kg/cm}^2$			$\sigma_n = 3,00 \text{ Kg/cm}^2$		
				L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)	L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)	L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)
0.0	0.00	10.000	100.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
0.3	0.025	9.975	99.75	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	1.500	6.90	0.07
0.5	0.050	9.950	99.50	9.000	41.39	0.42	0.000	0.00	0.00	13.500	62.09	0.62
0.8	0.075	9.925	99.25	12.500	57.49	0.58	5.000	23.00	0.23	20.000	91.98	0.93
1.0	0.100	9.900	99.00	15.000	68.99	0.70	14.500	66.69	0.67	25.500	117.27	1.18
1.5	0.150	9.850	98.50	17.500	80.48	0.82	20.000	91.98	0.93	33.500	154.07	1.56
2.0	0.200	9.800	98.00	19.500	89.68	0.92	24.500	112.68	1.15	40.500	186.26	1.90
2.5	0.250	9.750	97.50	19.500	89.68	0.92	28.000	128.77	1.32	44.500	204.66	2.10
3.0	0.300	9.700	97.00	19.500	89.68	0.92	28.500	131.07	1.35	47.500	218.45	2.25
3.5	0.350	9.650	96.50	18.500	85.08	0.88	29.000	133.37	1.38	49.000	225.35	2.34
4.0	0.400	9.600	96.00	18.000	82.78	0.86	29.500	135.67	1.41	50.000	229.95	2.40
4.5	0.450	9.550	95.50	17.000	78.18	0.82	30.000	137.97	1.44	50.500	232.25	2.43
5.0	0.500	9.500	95.00	16.500	75.88	0.80	30.500	140.27	1.48	51.000	234.55	2.47
5.5	0.550	9.450	94.50	16.000	73.58	0.78	31.000	142.57	1.51	51.500	236.85	2.51
6.0	0.600	9.400	94.00	0.00	0.00	0.00	31.500	144.87	1.54	52.000	239.15	2.54
6.5	0.650	9.350	93.50	0.00	0.00	0.00	32.000	147.17	1.57	52.500	241.45	2.58
7.0	0.700	9.300	93.00	0.00	0.00	0.00	32.500	149.47	1.61	53.000	243.75	2.62
7.5	0.750	9.250	92.50	0.00	0.00	0.00	33.000	151.77	1.64	53.000	243.75	2.64
8.0	0.800	9.200	92.00	0.00	0.00	0.00	33.500	154.07	1.67	53.500	246.05	2.67
8.5	0.850	9.150	91.50	0.00	0.00	0.00	34.000	156.37	1.71	53.000	243.75	2.66
9.0	0.900	9.100	91.00	0.00	0.00	0.00	34.500	158.67	1.74	53.000	243.75	2.68
9.5	0.950	9.050	90.50	0.00	0.00	0.00	35.000	160.97	1.78	53.000	243.75	2.69
10.0	1.000	9.000	90.00	0.00	0.00	0.00	35.500	163.26	1.81	0.000	0.00	0.00
10.5	1.050	8.950	89.50	0.00	0.00	0.00	36.000	165.56	1.85	0.000	0.00	0.00
11.0	1.100	8.900	89.00	0.00	0.00	0.00	37.000	170.16	1.91	0.000	0.00	0.00
11.5	1.150	8.850	88.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00

Realizado por: Yosmar Sulbarán Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



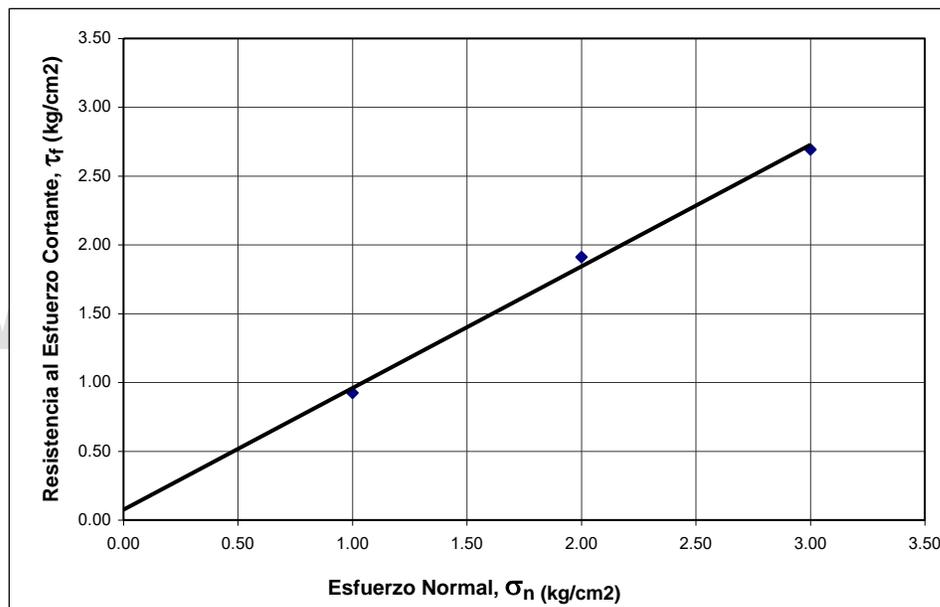
Nombre del Proyecto: “Determinación del Parámetro de Resistencia, Ángulo de Fricción Interna y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (Dr), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares”

Procedencia de la Muestra: Escuela menor de Béisbol "Luis Fargier Suarez" Detrás de Av. Humberto T.

Fecha de realización del ensayo: _____ Muestra: _____

GRAFICO DE CORTE DIRECTO

$\sigma_n = 1.00 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_n = 2.00 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_n = 3.00 \text{ kg/cm}^2$
$\tau_f = 0.92 \text{ kg/cm}^2$	$\tau_f = 1.91 \text{ kg/cm}^2$	$\tau_f = 2.69 \text{ kg/cm}^2$



Cohesión, C : **0.075 kg/cm²**
Angulo de fricción interna, ϕ : **41 °**

Realizado por: Yosmar Sulbarán Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



"Determinación del Parámetro de Resistencia, Angulo de Fricción Interna y su Relación con los Parámetros, Nombre del Proyecto: Densidad Relativa (Dr.), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares"

Procedencia de la Muestra: Vía Pueblo Nuevo detrás de la Plaza de toros Román Eduardo Sandía

Fecha de realización del ensayo: _____ Muestra: _____ Profundidad: 1.5 m

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

CAJA DE CORTE N° 62-64-81

LONG 10 cm **ANCHO** 10 cm **ALTURA** 4.00 cm **AREA** 100 cm²

VOLUMEN 400 cm³ **%W** 5.87 % **Wm** 780 grs.

VELOCIDAD 1 mm/min **FACTOR DE CALIBRACION** 4.599 Kg/u.n

T min	D.H (cm)	Lc=6-D.H (cm)	Area Corregida AC= 6xLc (cm ²)	$\sigma_n = 1,00 \text{ Kg/cm}^2$			$\sigma_n = 2,00 \text{ Kg/cm}^2$			$\sigma_n = 3,00 \text{ Kg/cm}^2$		
				L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)	L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)	L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)
0.0	0.00	10.000	100.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
0.3	0.025	9.975	99.75	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
0.5	0.050	9.950	99.50	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
0.8	0.075	9.925	99.25	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
1.0	0.100	9.900	99.00	0.000	0.00	0.00	4.000	18.40	0.19	6.000	27.59	0.28
1.5	0.150	9.850	98.50	7.500	34.49	0.35	13.000	59.79	0.61	11.500	52.89	0.54
2.0	0.200	9.800	98.00	11.500	52.89	0.54	18.200	83.70	0.85	15.500	71.28	0.73
2.5	0.250	9.750	97.50	14.000	64.39	0.66	20.000	91.98	0.94	19.200	88.30	0.91
3.0	0.300	9.700	97.00	15.000	68.99	0.71	22.000	101.18	1.04	23.000	105.78	1.09
3.5	0.350	9.650	96.50	16.500	75.88	0.79	24.000	110.38	1.14	25.000	114.98	1.19
4.0	0.400	9.600	96.00	17.500	80.48	0.84	24.500	112.68	1.17	29.500	135.67	1.41
4.5	0.450	9.550	95.50	18.500	85.08	0.89	25.500	117.27	1.23	32.000	147.17	1.54
5.0	0.500	9.500	95.00	18.500	85.08	0.90	27.200	125.09	1.32	34.500	158.67	1.67
5.5	0.550	9.450	94.50	18.500	85.08	0.90	28.500	131.07	1.39	37.500	172.46	1.83
6.0	0.600	9.400	94.00	18.500	85.08	0.91	29.500	135.67	1.44	39.800	183.04	1.95
6.5	0.650	9.350	93.50	18.500	85.08	0.91	30.000	137.97	1.48	41.500	190.86	2.04
7.0	0.700	9.300	93.00	18.500	85.08	0.91	31.000	142.57	1.53	43.500	200.06	2.15
7.5	0.750	9.250	92.50	18.500	85.08	0.92	32.500	149.47	1.62	45.000	206.96	2.24
8.0	0.800	9.200	92.00	18.500	85.08	0.92	33.000	151.77	1.65	46.500	213.85	2.32
8.5	0.850	9.150	91.50	18.500	85.08	0.93	33.500	154.07	1.68	48.700	223.97	2.45
9.0	0.900	9.100	91.00	18.500	85.08	0.93	34.000	156.37	1.72	49.500	227.65	2.50
9.5	0.950	9.050	90.50	0.000	0.00	0.00	35.000	160.97	1.78	51.000	234.55	2.59
10.0	1.000	9.000	90.00	0.00	0.00	0.00	36.000	165.56	1.84	52.000	239.15	2.66
10.5	1.050	8.950	89.50	0.00	0.00	0.00	37.000	170.16	1.90	53.000	243.75	2.72
11.0	1.100	8.900	89.00	0.00	0.00	0.00	37.000	170.16	1.91	53.000	243.75	2.74
11.5	1.150	8.850	88.50	0.00	0.00	0.00	37.000	170.16	1.92	53.000	243.75	2.75

Realizado por: Yosmar Sulbarán Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



“Determinación del Parámetro de Resistencia, Ángulo de Fricción Interna y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (Dr.), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares”

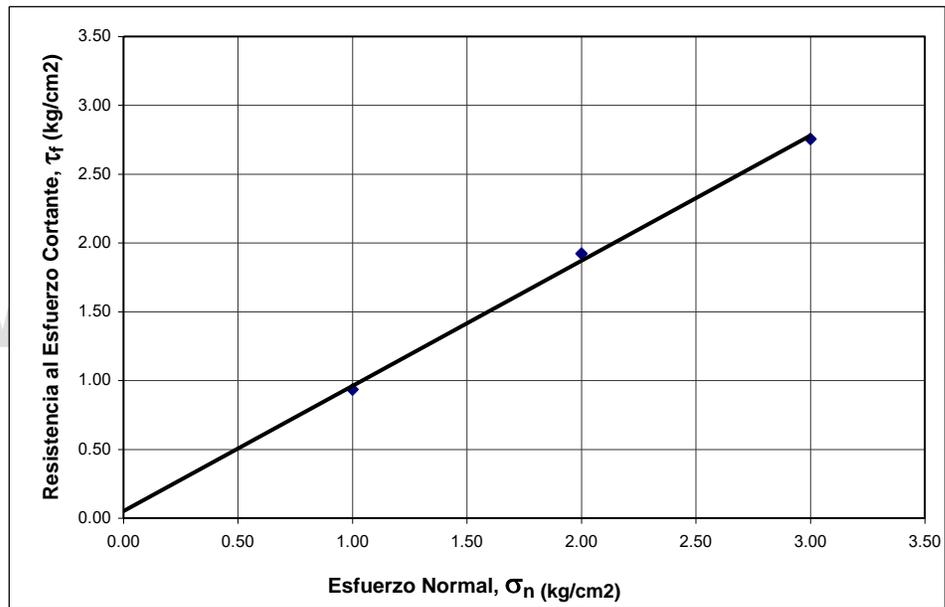
Nombre del Proyecto: _____

Procedencia de la Muestra: Vía Pueblo Nuevo detrás de la Plaza de toros Román Eduardo Sandia

Fecha de realización del ensayo: _____ **Muestra:** _____

GRAFICO DE CORTE DIRECTO

$\sigma_n = 1.00 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_n = 2.00 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_n = 3.00 \text{ kg/cm}^2$
$\tau_f = 0.93 \text{ kg/cm}^2$	$\tau_f = 1.92 \text{ kg/cm}^2$	$\tau_f = 2.75 \text{ kg/cm}^2$



Cohesión, C : **0.050 kg/cm²**

Angulo de fricción interna , ϕ : **42 °**

Realizado por: Yosmar Sulbarán **Revisado por:** Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



Nombre del Proyecto: "Determinación del Parámetro de Resistencia, Angulo de Fricción Interna y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (Dr.), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares"

Procedencia de la Muestra: Actual C.C El Rodeo Al lado del Banco Mercantil

Fecha de realización del ensayo: _____ Muestra: _____ Profundidad: 4 m

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

CAJA DE CORTE N° **62-64-81**

LONG 10 cm

ANCHO 10 cm

ALTURA 4.00 cm

AREA 100 cm²

VOLUMEN 400 cm³

%W 9.05 %

Wm 705 grs.

VELOCIDAD 1 mm/min

FACTOR DE CALIBRACION 4.599 Kg/u.n

T min	D.H (cm)	Lc=6-D.H (cm)	Area Corregida AC= 6xLc (cm ²)	$\sigma_n = 1,00 \text{ Kg/cm}^2$			$\sigma_n = 2,00 \text{ Kg/cm}^2$			$\sigma_n = 3,00 \text{ Kg/cm}^2$		
				L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)	L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)	L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)
0.0	0.00	10.000	100.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
0.3	0.025	9.975	99.75	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
0.5	0.050	9.950	99.50	5.000	23.00	0.23	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
0.8	0.075	9.925	99.25	7.000	32.19	0.32	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
1.0	0.100	9.900	99.00	8.800	40.47	0.41	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
1.5	0.150	9.850	98.50	9.700	44.61	0.45	10.000	45.99	0.47	7.500	34.49	0.35
2.0	0.200	9.800	98.00	11.200	51.51	0.53	15.000	68.99	0.70	13.000	59.79	0.61
2.5	0.250	9.750	97.50	12.500	57.49	0.59	20.000	91.98	0.94	19.000	87.38	0.90
3.0	0.300	9.700	97.00	13.600	62.55	0.64	22.000	101.18	1.04	22.000	101.18	1.04
3.5	0.350	9.650	96.50	14.500	66.69	0.69	24.400	112.22	1.16	24.500	112.68	1.17
4.0	0.400	9.600	96.00	14.500	66.69	0.69	26.500	121.87	1.27	27.000	124.17	1.29
4.5	0.450	9.550	95.50	14.500	66.69	0.70	28.200	129.69	1.36	28.500	131.07	1.37
5.0	0.500	9.500	95.00	14.500	66.69	0.70	28.200	129.69	1.37	30.000	137.97	1.45
5.5	0.550	9.450	94.50	14.500	66.69	0.71	28.200	129.69	1.37	32.000	147.17	1.56
6.0	0.600	9.400	94.00	14.500	66.69	0.71	28.200	129.69	1.38	34.000	156.37	1.66
6.5	0.650	9.350	93.50	14.500	66.69	0.71	28.200	129.69	1.39	35.500	163.26	1.75
7.0	0.700	9.300	93.00	14.500	66.69	0.72	28.200	129.69	1.39	36.700	168.78	1.81
7.5	0.750	9.250	92.50	14.500	66.69	0.72	28.200	129.69	1.40	39.000	179.36	1.94
8.0	0.800	9.200	92.00	0.000	0.00	0.00	28.200	129.69	1.41	39.500	181.66	1.97
8.5	0.850	9.150	91.50	0.000	0.00	0.00	28.200	129.69	1.42	41.000	188.56	2.06
9.0	0.900	9.100	91.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	41.500	190.86	2.10
9.5	0.950	9.050	90.50	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	41.500	190.86	2.11
10.0	1.000	9.000	90.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	41.500	190.86	2.12
10.5	1.050	8.950	89.50	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	41.500	190.86	2.13
11.0	1.100	8.900	89.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
11.5	1.150	8.850	88.50	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00

Realizado por: Yosmar Sulbarán

Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



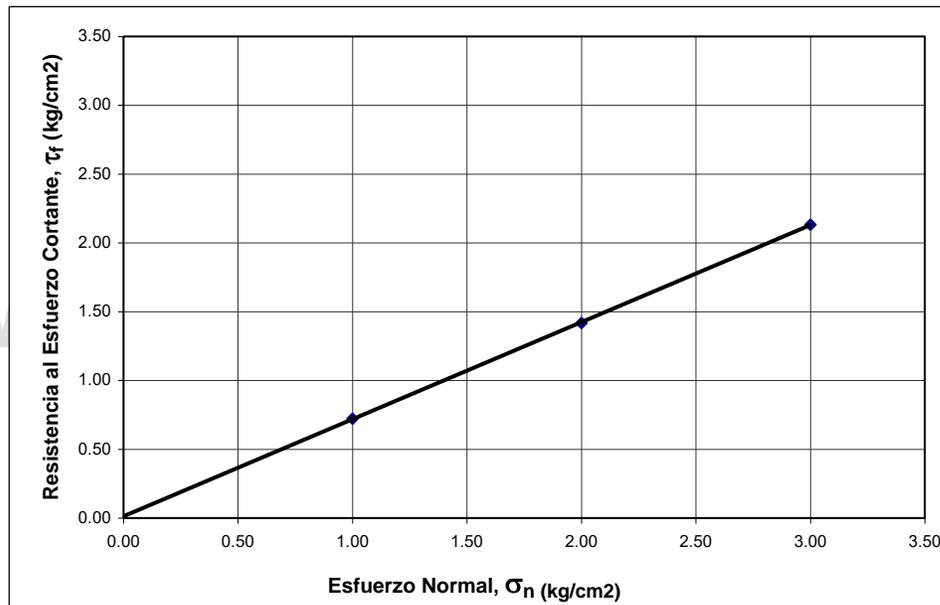
Nombre del Proyecto: “Determinación del Parámetro de Resistencia, Ángulo de Fricción Interna y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (Dr), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares”

Procedencia de la Muestra: Actual C.C El Rodeo Al lado del Banco Mercantil

Fecha de realización del ensayo: _____ Muestra: _____

GRAFICO DE CORTE DIRECTO

$\sigma_n = 1.00 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_n = 2.00 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_n = 3.00 \text{ kg/cm}^2$
$\tau_f = 0.72 \text{ kg/cm}^2$	$\tau_f = 1.42 \text{ kg/cm}^2$	$\tau_f = 2.13 \text{ kg/cm}^2$



Cohesión, C : **0.000 kg/cm²**
 Angulo de fricción interna , ϕ : **35 °**

Realizado por: Yosmar Sulbarán Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



"Determinación del Parámetro de Resistencia, Angulo de Fricción Interna y su Relación con los Parámetros, Nombre del Proyecto: Densidad Relativa (Dr.), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares"

Procedencia de la Muestra: Laboratorio de Hidráulica (ULA) enlace vial de la Cruz verde

Fecha de realización del ensayo: _____ Muestra: _____ Profundidad: 1,15 m

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

CAJA DE CORTE Nº 62-64-81

LONG 10 cm **ANCHO** 10 cm **ALTURA** 4.00 cm **AREA** 100 cm²

VOLUMEN 400 cm³ **%W** 8.81 % **Wm** 828 grs.

VELOCIDAD 1 mm/min **FACTOR DE CALIBRACION** 4.599 Kg/u.n

T min	D.H (cm)	Lc=6-D.H (cm)	Area Corregida AC= 6xLc (cm ²)	σ _n =1,00 Kg /cm ²			σ _n =2,00 Kg /cm ²			σ _n =3,00 Kg /cm ²		
				L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)	L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)	L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)
0.0	0.00	10.000	100.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
0.3	0.025	9.975	99.75	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
0.5	0.050	9.950	99.50	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
0.8	0.075	9.925	99.25	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
1.0	0.100	9.900	99.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
1.5	0.150	9.850	98.50	4.500	20.70	0.21	9.500	43.69	0.44	10.000	45.99	0.47
2.0	0.200	9.800	98.00	5.000	23.00	0.23	9.500	43.69	0.45	16.000	73.58	0.75
2.5	0.250	9.750	97.50	6.500	29.89	0.31	10.000	45.99	0.47	18.500	85.08	0.87
3.0	0.300	9.700	97.00	7.500	34.49	0.36	10.500	48.29	0.50	20.500	94.28	0.97
3.5	0.350	9.650	96.50	9.000	41.39	0.43	11.000	50.59	0.52	23.000	105.78	1.10
4.0	0.400	9.600	96.00	10.000	45.99	0.48	12.000	55.19	0.57	25.000	114.98	1.20
4.5	0.450	9.550	95.50	10.500	48.29	0.51	12.500	57.49	0.60	27.500	126.47	1.32
5.0	0.500	9.500	95.00	11.500	52.89	0.56	13.000	59.79	0.63	30.000	137.97	1.45
5.5	0.550	9.450	94.50	11.500	52.89	0.56	14.000	64.39	0.68	31.000	142.57	1.51
6.0	0.600	9.400	94.00	12.000	55.19	0.59	15.000	68.99	0.73	32.500	149.47	1.59
6.5	0.650	9.350	93.50	12.500	57.49	0.61	15.500	71.28	0.76	33.000	151.77	1.62
7.0	0.700	9.300	93.00	13.000	59.79	0.64	16.000	73.58	0.79	35.000	160.97	1.73
7.5	0.750	9.250	92.50	13.500	62.09	0.67	17.000	78.18	0.85	35.500	163.26	1.77
8.0	0.800	9.200	92.00	14.000	64.39	0.70	18.000	82.78	0.90	37.000	170.16	1.85
8.5	0.850	9.150	91.50	14.500	66.69	0.73	19.000	87.38	0.95	38.000	174.76	1.91
9.0	0.900	9.100	91.00	14.500	66.69	0.73	20.000	91.98	1.01	39.000	179.36	1.97
9.5	0.950	9.050	90.50	14.000	64.39	0.71	21.000	96.58	1.07	39.500	181.66	2.01
10.0	1.000	9.000	90.00	14.500	66.69	0.74	21.500	98.88	1.10	10.500	48.29	0.54
10.5	1.050	8.950	89.50	14.500	66.69	0.75	22.000	101.18	1.13	41.500	190.86	2.13
11.0	1.100	8.900	89.00	15.000	68.99	0.78	22.500	103.48	1.16	42.500	195.46	2.20
11.5	1.150	8.850	88.50	15.500	71.28	0.81	23.000	105.78	1.20	43.000	197.76	2.23
12.0	1.200	8.800	88.00	15.500	71.28	0.81	23.500	108.08	1.23	44.000	202.36	2.30
12.5	1.250	8.750	87.50	16.000	73.58	0.84	24.000	110.38	1.26	44.500	204.66	2.34
13.0	1.300	8.700	87.00	16.500	75.88	0.87	25.000	114.98	1.32	45.000	206.96	2.38
13.5	1.350	8.650	86.50	16.500	75.88	0.88	26.000	119.57	1.38	46.000	211.55	2.45
14.0	1.400	8.600	86.00	16.500	75.88	0.88	27.000	124.17	1.44	46.500	213.85	2.49
14.5	1.450	8.550	85.50	16.500	75.88	0.89	28.000	128.77	1.51	46.500	213.85	2.50
15.0	1.500	8.500	85.00	16.500	75.88	0.89	29.000	133.37	1.57	46.500	213.85	2.52
15.5	1.550	8.450	84.50	16.500	75.88	0.90	30.000	137.97	1.63	46.500	213.85	2.53
16.0	1.600	8.400	84.00	0.000	0.00	0.00	30.500	140.27	1.67	46.500	213.85	2.55
16.5	1.650	8.350	83.50	0.000	0.00	0.00	30.000	137.97	1.65	0.000	0.00	0.00
17.0	1.700	8.300	83.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
17.5	1.750	8.250	82.50	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00

Realizado por: Yosmar Sulbarán Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de
los Suelos y Pavimentos



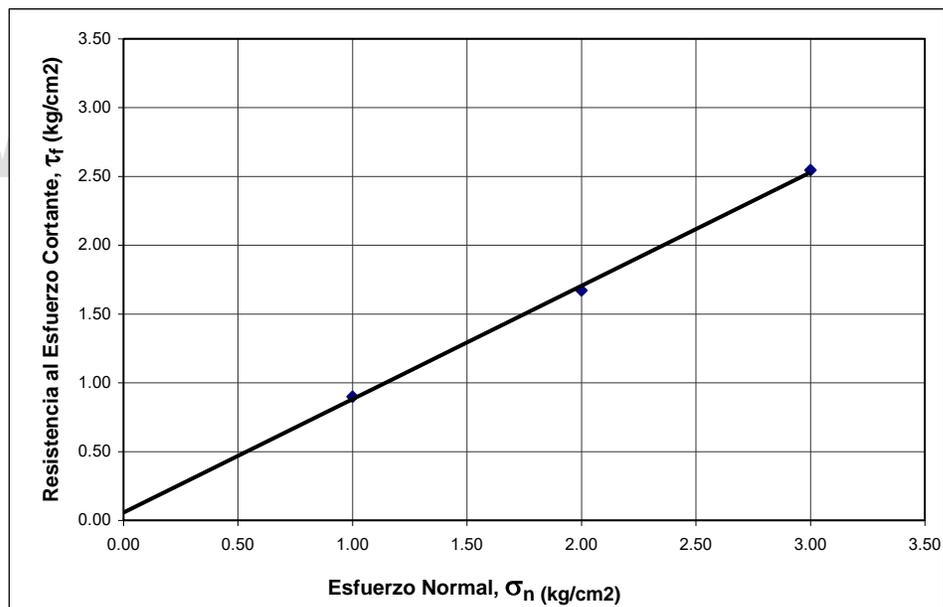
Nombre del Proyecto: “Determinación del Parámetro de Resistencia, Ángulo de Fricción Interna y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (Dr.), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares”

Procedencia de la Muestra: Laboratorio de Hidráulica (ULA) enlace vial de la Cruz verde

Fecha de realización del ensayo: _____ Muestra: _____

GRAFICO DE CORTE DIRECTO

$\sigma_n = 1.00 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_n = 2.00 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_n = 3.00 \text{ kg/cm}^2$
$\tau_f = 0.90 \text{ kg/cm}^2$	$\tau_f = 1.67 \text{ kg/cm}^2$	$\tau_f = 2.55 \text{ kg/cm}^2$



Cohesión, C : **0.040 kg/cm²**
Angulo de fricción interna, ϕ : **39 °**

Realizado por: Yosmar Sulbarán Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



Nombre del Proyecto: **"Determinación del Parámetro de Resistencia, Angulo de Fricción Interna y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (Dr.), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares"**

Procedencia de la Muestra: **Conjunto residencial El Rodeo**

Fecha de realización del ensayo: _____ Muestra: _____ Profundidad: **1,2 m**

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

CAJA DE CORTE Nº 62-64-81

LONG 10 cm **ANCHO** 10 cm **ALTURA** 4.00 cm **AREA** 100 cm²
VOLUMEN 400 cm³ **%W** 8.49 % **Wm** 805 grs.
VELOCIDAD 1 mm/min **FACTOR DE CALIBRACION** 4.599 Kg/u.n

T min	D.H (cm)	Lc=6-D.H (cm)	Area Corregida AC= 6xLc (cm ²)	$\sigma_n = 1,00 \text{ Kg/cm}^2$			$\sigma_n = 2,00 \text{ Kg/cm}^2$			$\sigma_n = 3,00 \text{ Kg/cm}^2$		
				L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)	L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)	L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)
0.0	0.00	10.000	100.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
0.3	0.025	9.975	99.75	9.000	41.39	0.41	0.000	0.00	0.00	3.000	13.80	0.14
0.5	0.050	9.950	99.50	15.000	68.99	0.69	0.000	0.00	0.00	6.000	27.59	0.28
0.8	0.075	9.925	99.25	19.000	87.38	0.88	0.000	0.00	0.00	11.000	50.59	0.51
1.0	0.100	9.900	99.00	21.500	98.88	1.00	0.000	0.00	0.00	15.000	68.99	0.70
1.5	0.150	9.850	98.50	25.000	114.98	1.17	11.000	50.59	0.51	31.500	144.87	1.47
2.0	0.200	9.800	98.00	26.000	119.57	1.22	14.000	64.39	0.66	36.000	165.56	1.69
2.5	0.250	9.750	97.50	26.200	120.49	1.24	19.000	87.38	0.90	39.500	181.66	1.86
3.0	0.300	9.700	97.00	26.200	120.49	1.24	21.000	96.58	1.00	42.500	195.46	2.02
3.5	0.350	9.650	96.50	26.200	120.49	1.25	25.000	114.98	1.19	45.000	206.96	2.14
4.0	0.400	9.600	96.00	0.000	0.00	0.00	16.200	74.50	0.78	47.000	216.15	2.25
4.5	0.450	9.550	95.50	0.000	0.00	0.00	28.000	128.77	1.35	48.500	223.05	2.34
5.0	0.500	9.500	95.00	0.000	0.00	0.00	30.000	137.97	1.45	50.500	232.25	2.44
5.5	0.550	9.450	94.50	0.000	0.00	0.00	32.000	147.17	1.56	52.000	239.15	2.53
6.0	0.600	9.400	94.00	0.000	0.00	0.00	32.000	147.17	1.57	53.000	243.75	2.59
6.5	0.650	9.350	93.50	0.000	0.00	0.00	32.000	147.17	1.57	54.500	250.65	2.68
7.0	0.700	9.300	93.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	55.500	255.24	2.74
7.5	0.750	9.250	92.50	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	56.500	259.84	2.81
8.0	0.800	9.200	92.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	57.500	264.44	2.87
8.5	0.850	9.150	91.50	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	58.500	269.04	2.94
9.0	0.900	9.100	91.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	59.000	271.34	2.98
9.5	0.950	9.050	90.50	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	59.500	273.64	3.02
10.0	1.000	9.000	90.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	59.500	273.64	3.04
10.5	1.050	8.950	89.50	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	59.500	273.64	3.06
11.0	1.100	8.900	89.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	59.500	273.64	3.07
11.5	1.150	8.850	88.50	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	59.500	273.64	3.09
12.0	1.200	8.800	88.00	1.00	4.60	0.05	1.000	4.60	0.05	59.500	273.64	3.11
12.5	1.250	8.750	87.50	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	59.500	273.64	3.13

Realizado por: **Yosmar Sulbarán** Revisado por: **Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro**



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



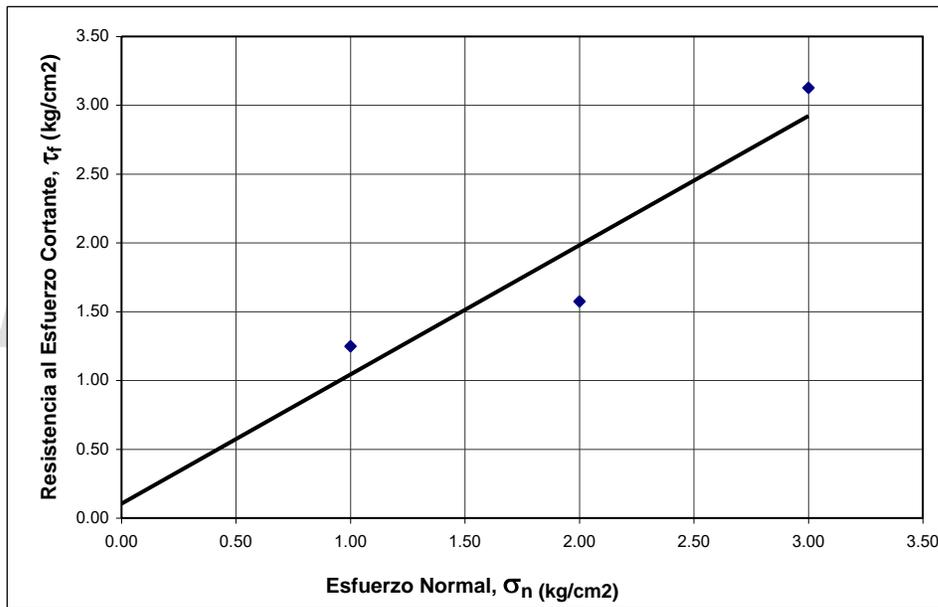
Nombre del Proyecto: “Determinación del Parámetro de Resistencia, Ángulo de Fricción Interna y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (Dr), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares”

Procedencia de la Muestra: Conjunto residencial El Rodeo

Fecha de realización del ensayo: _____ Muestra: _____

GRAFICO DE CORTE DIRECTO

$\sigma_n = 1.00 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_n = 2.00 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_n = 3.00 \text{ kg/cm}^2$
$\tau_f = 1.25 \text{ kg/cm}^2$	$\tau_f = 1.57 \text{ kg/cm}^2$	$\tau_f = 3.13 \text{ kg/cm}^2$



Cohesión, C : **0.104 kg/cm²**
 Angulo de fricción interna , ϕ : **43 °**

Realizado por: Yosmar Sulbarán Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



"Determinación del Parámetro de Resistencia, Angulo de Fricción Interna ϕ y su Relación con los Parámetros, Nombre del Proyecto: **Densidad Relativa (D_r), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares"**

Procedencia de la Muestra: Antigua vía Ejido detrás del la Cuesta del Ciego

Fecha de realización del ensayo: _____ Muestra: _____ Profundidad: **talud**

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

CAJA DE CORTE Nº 62-64-81

LONG 10 cm **ANCHO** 10 cm **ALTURA** 4.00 cm **AREA** 100 cm²
VOLUMEN 400 cm³ **%W** 6.37 % **Wm** 820 grs.
VELOCIDAD 1 mm/min **FACTOR DE CALIBRACION** 4.599 Kg/u.n

T min	D.H (cm)	Lc=6-D.H (cm)	Area Corregida AC= 6xLc (cm ²)	$\sigma_n = 1,00 \text{ Kg/cm}^2$			$\sigma_n = 2,00 \text{ Kg/cm}^2$			$\sigma_n = 3,00 \text{ Kg/cm}^2$		
				L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)	L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)	L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)
0.0	0.00	10.000	100.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
0.3	0.025	9.975	99.75	0.000	0.00	0.00	2.000	9.20	0.09	0.000	0.00	0.00
0.5	0.050	9.950	99.50	0.000	0.00	0.00	10.000	45.99	0.46	6.000	27.59	0.28
0.8	0.075	9.925	99.25	0.000	0.00	0.00	15.000	68.99	0.70	15.000	68.99	0.70
1.0	0.100	9.900	99.00	1.000	4.60	0.05	20.000	91.98	0.93	20.000	91.98	0.93
1.5	0.150	9.850	98.50	7.500	34.49	0.35	25.000	114.98	1.17	28.000	128.77	1.31
2.0	0.200	9.800	98.00	13.000	59.79	0.61	28.500	131.07	1.34	33.500	154.07	1.57
2.5	0.250	9.750	97.50	15.500	71.28	0.73	31.000	142.57	1.46	38.500	177.06	1.82
3.0	0.300	9.700	97.00	18.000	82.78	0.85	32.500	149.47	1.54	42.000	193.16	1.99
3.5	0.350	9.650	96.50	19.500	89.68	0.93	34.500	158.67	1.64	46.500	213.85	2.22
4.0	0.400	9.600	96.00	19.500	89.68	0.93	36.000	165.56	1.72	49.500	227.65	2.37
4.5	0.450	9.550	95.50	20.000	91.98	0.96	36.500	167.86	1.76	52.500	241.45	2.53
5.0	0.500	9.500	95.00	20.500	94.28	0.99	37.000	170.16	1.79	55.000	252.95	2.66
5.5	0.550	9.450	94.50	20.500	94.28	1.00	37.000	170.16	1.80	57.000	262.14	2.77
6.0	0.600	9.400	94.00	20.500	94.28	1.00	37.000	170.16	1.81	57.000	262.14	2.79
6.5	0.650	9.350	93.50	20.500	94.28	1.01	37.000	170.16	1.82	57.000	262.14	2.80
7.0	0.700	9.300	93.00	20.500	94.28	1.01	37.000	170.16	1.83	57.000	262.14	2.82
7.5	0.750	9.250	92.50	20.500	94.28	1.02	37.000	170.16	1.84	57.000	262.14	2.83
8.0	0.800	9.200	92.00	20.500	94.28	1.02	37.000	170.16	1.85	57.000	262.14	2.85
8.5	0.850	9.150	91.50	20.500	94.28	1.03	37.000	170.16	1.86	57.000	262.14	2.86
9.0	0.900	9.100	91.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	57.000	262.14	2.88
9.5	0.950	9.050	90.50	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	57.000	262.14	2.90
10.0	1.000	9.000	90.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
10.5	1.050	8.950	89.50	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
11.0	1.100	8.900	89.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
11.5	1.150	8.850	88.50	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00

Realizado por: Yosmar Sulbarán

Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



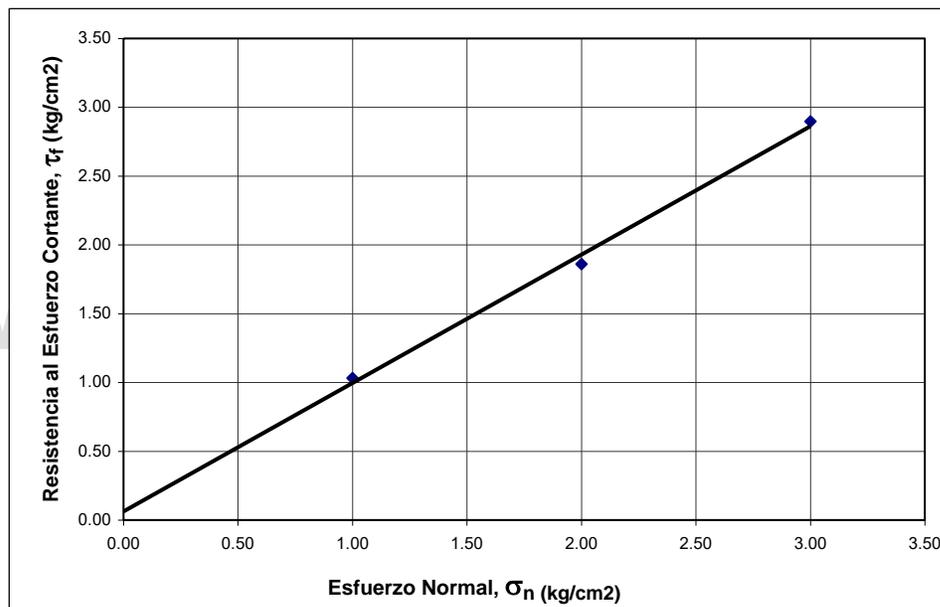
Nombre del Proyecto: “Determinación del Parámetro de Resistencia, Ángulo de Fricción Interna y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (Dr), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares”

Procedencia de la Muestra: Antigua vía Ejido detrás del la Cuesta del Ciego

Fecha de realización del ensayo: _____ Muestra: _____

GRAFICO DE CORTE DIRECTO

$\sigma_n = 1.00 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_n = 2.00 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_n = 3.00 \text{ kg/cm}^2$
$\tau_f = 1.03 \text{ kg/cm}^2$	$\tau_f = 1.86 \text{ kg/cm}^2$	$\tau_f = 2.90 \text{ kg/cm}^2$



Cohesión, C : **0.060 kg/cm²**
Angulo de fricción interna , ϕ : **43 °**

Realizado por: Yosmar Sulbarán Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



"Determinación del Parámetro de Resistencia, Angulo de Fricción Interna ϕ y su Relación con los Parámetros, Nombre del Proyecto: Densidad Relativa (D_r), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares"

Procedencia de la Muestra: Estadium Metropolitano (Zumba)

Fecha de realización del ensayo: _____ Muestra: _____ Profundidad: 1,25 m

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

CAJA DE CORTE Nº 62-64-81

LONG 10 cm **ANCHO** 10 cm **ALTURA** 4.00 cm **AREA** 100 cm²
VOLUMEN 400 cm³ **%W** 6.83 % **Wm** 820 grs.
VELOCIDAD 1 mm/min **FACTOR DE CALIBRACION** 4.599 Kg/u.n

T min	D.H (cm)	Lc=6-D.H (cm)	Area Corregida AC= 6xLc (cm ²)	$\sigma_n = 1,00 \text{ Kg/cm}^2$			$\sigma_n = 2,00 \text{ Kg/cm}^2$			$\sigma_n = 3,00 \text{ Kg/cm}^2$		
				L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)	L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)	L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)
0.0	0.00	10.000	100.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
0.3	0.025	9.975	99.75	0.000	0.00	0.00	2.000	9.20	0.09	0.000	0.00	0.00
0.5	0.050	9.950	99.50	0.000	0.00	0.00	14.000	64.39	0.65	0.000	0.00	0.00
0.8	0.075	9.925	99.25	0.000	0.00	0.00	15.000	68.99	0.70	0.000	0.00	0.00
1.0	0.100	9.900	99.00	7.000	32.19	0.33	29.500	135.67	1.37	3.000	13.80	0.14
1.5	0.150	9.850	98.50	17.000	78.18	0.79	35.000	160.97	1.63	15.500	71.28	0.72
2.0	0.200	9.800	98.00	18.000	82.78	0.84	37.000	170.16	1.74	29.000	133.37	1.36
2.5	0.250	9.750	97.50	19.000	87.38	0.90	37.500	172.46	1.77	38.000	174.76	1.79
3.0	0.300	9.700	97.00	20.000	91.98	0.95	37.500	172.46	1.78	45.000	206.96	2.13
3.5	0.350	9.650	96.50	21.000	96.58	1.00	37.000	170.16	1.76	49.000	225.35	2.34
4.0	0.400	9.600	96.00	22.000	101.18	1.05	37.500	172.46	1.80	51.500	236.85	2.47
4.5	0.450	9.550	95.50	22.500	103.48	1.08	37.000	170.16	1.78	52.300	240.53	2.52
5.0	0.500	9.500	95.00	22.500	103.48	1.09	36.000	165.56	1.74	51.500	236.85	2.49
5.5	0.550	9.450	94.50	22.500	103.48	1.10	35.000	160.97	1.70	50.500	232.25	2.46
6.0	0.600	9.400	94.00	22.500	103.48	1.10	36.000	165.56	1.76	50.000	229.95	2.45
6.5	0.650	9.350	93.50	22.500	103.48	1.11	37.000	170.16	1.82	51.000	234.55	2.51
7.0	0.700	9.300	93.00	0.000	0.00	0.00	38.000	174.76	1.88	52.000	239.15	2.57
7.5	0.750	9.250	92.50	0.000	0.00	0.00	39.000	179.36	1.94	52.000	239.15	2.59
8.0	0.800	9.200	92.00	0.000	0.00	0.00	40.000	183.96	2.00	53.000	243.75	2.65
8.5	0.850	9.150	91.50	0.000	0.00	0.00	40.000	183.96	2.01	54.000	248.35	2.71
9.0	0.900	9.100	91.00	0.000	0.00	0.00	40.000	183.96	2.02	55.000	252.95	2.78
9.5	0.950	9.050	90.50	0.000	0.00	0.00	40.000	183.96	2.03	56.000	257.54	2.85
10.0	1.000	9.000	90.00	0.000	0.00	0.00	40.000	183.96	2.04	57.000	262.14	2.91
10.5	1.050	8.950	89.50	0.000	0.00	0.00	40.000	183.96	2.06	58.000	266.74	2.98
11.0	1.100	8.900	89.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	58.000	266.74	3.00
11.5	1.150	8.850	88.50	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	58.000	266.74	3.01
12.0	1.200	8.800	88.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	58.000	266.74	3.03
12.5	1.250	8.750	87.50	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	58.000	266.74	3.05
13.0	1.300	8.700	87.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	58.000	266.74	3.07
13.5	1.350	8.650	86.50	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	58.000	266.74	3.08
14.0	1.400	8.600	86.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	58.000	266.74	3.10
14.5	1.450	8.550	85.50	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	58.000	266.74	3.12
15.0	1.500	8.500	85.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
15.5	1.550	8.450	84.50	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
16.0	1.600	8.400	84.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
16.5	1.650	8.350	83.50	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
17.0	1.700	8.300	83.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
17.5	1.750	8.250	82.50	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00

Realizado por: Yosmar Sulbarán

Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



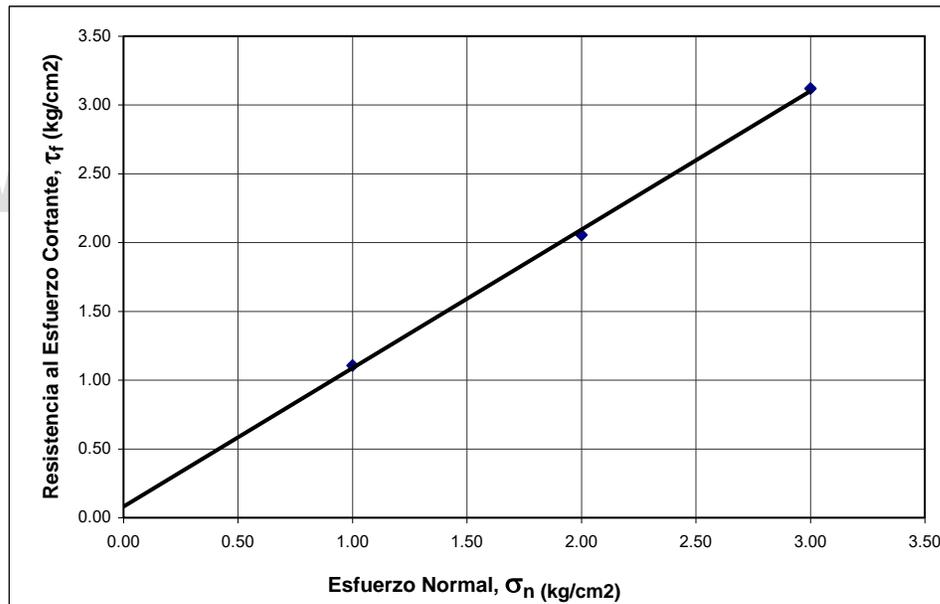
Nombre del Proyecto: “Determinación del Parámetro de Resistencia, Ángulo de Fricción Interna y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (Dr.), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares”

Procedencia de la Muestra: Estadium Metropolitano (Zumba)

Fecha de realización del ensayo: _____ Muestra: _____

GRAFICO DE CORTE DIRECTO

$\sigma_n = 1.00 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_n = 2.00 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_n = 3.00 \text{ kg/cm}^2$
$\tau_f = 1.11 \text{ kg/cm}^2$	$\tau_f = 2.06 \text{ kg/cm}^2$	$\tau_f = 3.12 \text{ kg/cm}^2$



Cohesión, C : 0.080 kg/cm²

Angulo de fricción interna, ϕ : 45 °

Realizado por: Yosmar Sulbarán Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



"Determinación del Parámetro de Resistencia, Angulo de Fricción Interna y su Relación con los Parámetros, Nombre del Proyecto: Densidad Relativa (Dr.), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares"

Procedencia de la Muestra: Talud detrás de Conjunto Residencial Alto Chama

Fecha de realización del ensayo: _____ Muestra: _____ Profundidad: Talud

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

CAJA DE CORTE Nº 62-64-81

LONG 10 cm **ANCHO** 10 cm **ALTURA** 4.00 cm **AREA** 100 cm²
VOLUMEN 400 cm³ **%W** 8.49 % **Wm** 805 grs.
VELOCIDAD 1 mm/min **FACTOR DE CALIBRACION** 4.599 Kg/u.n

T min	D.H (cm)	Lc=6-D.H (cm)	Area Corregida AC= 6xLc (cm ²)	$\sigma_n = 1,00 \text{ Kg/cm}^2$			$\sigma_n = 2,00 \text{ Kg/cm}^2$			$\sigma_n = 3,00 \text{ Kg/cm}^2$		
				L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)	L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)	L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)
0.0	0.00	10.000	100.00	0.000	0.00	0.00	25.000	114.98	1.15	0.000	0.00	0.00
0.3	0.025	9.975	99.75	0.000	0.00	0.00	25.500	117.27	1.18	1.500	6.90	0.07
0.5	0.050	9.950	99.50	0.000	0.00	0.00	25.500	117.27	1.18	13.500	62.09	0.62
0.8	0.075	9.925	99.25	0.000	0.00	0.00	25.500	117.27	1.18	20.000	91.98	0.93
1.0	0.100	9.900	99.00	0.000	0.00	0.00	25.500	117.27	1.18	25.500	117.27	1.18
1.5	0.150	9.850	98.50	5.000	23.00	0.23	26.000	119.57	1.21	33.500	154.07	1.56
2.0	0.200	9.800	98.00	10.000	45.99	0.47	26.000	119.57	1.22	35.000	160.97	1.64
2.5	0.250	9.750	97.50	12.500	57.49	0.59	26.000	119.57	1.23	37.000	170.16	1.75
3.0	0.300	9.700	97.00	14.500	66.69	0.69	26.000	119.57	1.23	39.000	179.36	1.85
3.5	0.350	9.650	96.50	15.500	71.28	0.74	26.500	121.87	1.26	41.000	188.56	1.95
4.0	0.400	9.600	96.00	16.000	73.58	0.77	27.000	124.17	1.29	43.000	197.76	2.06
4.5	0.450	9.550	95.50	16.500	75.88	0.79	29.000	133.37	1.40	44.000	202.36	2.12
5.0	0.500	9.500	95.00	17.000	78.18	0.82	31.000	142.57	1.50	44.500	204.66	2.15
5.5	0.550	9.450	94.50	17.500	80.48	0.85	33.000	151.77	1.61	46.000	211.55	2.24
6.0	0.600	9.400	94.00	0.00	0.00	0.00	35.000	160.97	1.71	47.000	216.15	2.30
6.5	0.650	9.350	93.50	0.00	0.00	0.00	35.500	163.26	1.75	47.500	218.45	2.34
7.0	0.700	9.300	93.00	0.00	0.00	0.00	37.000	170.16	1.83	48.000	220.75	2.37
7.5	0.750	9.250	92.50	0.00	0.00	0.00	39.000	179.36	1.94	48.500	223.05	2.41
8.0	0.800	9.200	92.00	0.00	0.00	0.00	41.000	188.56	2.05	49.000	225.35	2.45
8.5	0.850	9.150	91.50	0.00	0.00	0.00	43.000	197.76	2.16	50.000	229.95	2.51
9.0	0.900	9.100	91.00	0.00	0.00	0.00	45.000	206.96	2.27	51.000	234.55	2.58
9.5	0.950	9.050	90.50	0.00	0.00	0.00	46.000	211.55	2.34	52.000	239.15	2.64
10.0	1.000	9.000	90.00	0.00	0.00	0.00	46.000	211.55	2.35	52.500	241.45	2.68
10.5	1.050	8.950	89.50	0.00	0.00	0.00	46.000	211.55	2.36	52.500	241.45	2.70
11.0	1.100	8.900	89.00	0.00	0.00	0.00	46.000	211.55	2.38	52.500	241.45	2.71
11.5	1.150	8.850	88.50	0.00	0.00	0.00	46.000	211.55	2.39	52.500	241.45	2.73

Realizado por: Yosmar Sulbarán

Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



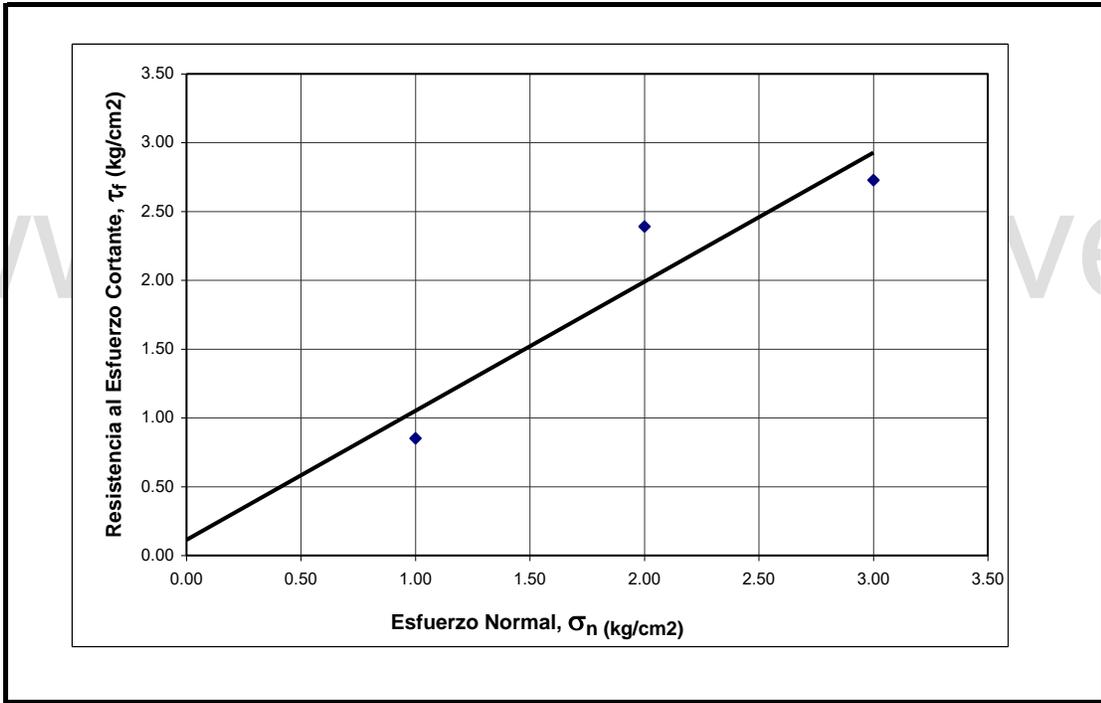
Nombre del Proyecto: “Determinación del Parámetro de Resistencia, Ángulo de Fricción Interna ϕ y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (D_r), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares”

Procedencia de la Muestra: Talud detrás de Conjunto Residencial Alto Chama

Fecha de realización del ensayo: _____ Muestra: _____

GRAFICO DE CORTE DIRECTO

$\sigma_n = 1.00 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_n = 2.00 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_n = 3.00 \text{ kg/cm}^2$
$\tau_f = 0.85 \text{ kg/cm}^2$	$\tau_f = 2.39 \text{ kg/cm}^2$	$\tau_f = 2.73 \text{ kg/cm}^2$



Cohesión, C : 0.110 kg/cm²
 Angulo de fricción interna , ϕ : 43 °

Realizado por: Yosmar Sulbarán Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



Nombre del Proyecto: "Determinación del Parámetro de Resistencia, Angulo de Fricción Interna y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (Dr.), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares"

Procedencia de la Muestra: Facies Universidad de los Andes

Fecha de realización del ensayo: _____ Muestra: _____ Profundidad: 1.2 m

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

CAJA DE CORTE N° **62-64-81**

LONG 10 cm ANCHO 10 cm ALTURA 4.00 cm AREA 100 cm²

VOLUMEN 400 cm³ %W 8.2 % Wm 845 grs.

VELOCIDAD 1 mm/min FACTOR DE CALIBRACION 4.599 Kg/u.n

T min	D.H (cm)	Lc=6-D.H (cm)	Area Corregida AC= 6xLc (cm ²)	$\sigma_n = 1,00 \text{ Kg/cm}^2$			$\sigma_n = 2,00 \text{ Kg/cm}^2$			$\sigma_n = 3,00 \text{ Kg/cm}^2$		
				L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)	L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)	L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)
0.0	0.00	10.000	100.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
0.3	0.025	9.975	99.75	5.000	23.00	0.23	3.000	13.80	0.14	0.000	0.00	0.00
0.5	0.050	9.950	99.50	10.000	45.99	0.46	13.000	59.79	0.60	0.000	0.00	0.00
0.8	0.075	9.925	99.25	12.000	55.19	0.56	19.000	87.38	0.88	0.000	0.00	0.00
1.0	0.100	9.900	99.00	15.000	68.99	0.70	21.000	96.58	0.98	4.000	18.40	0.19
1.5	0.150	9.850	98.50	19.500	89.68	0.91	25.000	114.98	1.17	22.500	103.48	1.05
2.0	0.200	9.800	98.00	21.500	98.88	1.01	27.500	126.47	1.29	33.000	151.77	1.55
2.5	0.250	9.750	97.50	22.000	101.18	1.04	29.000	133.37	1.37	40.500	186.26	1.91
3.0	0.300	9.700	97.00	22.500	103.48	1.07	30.500	140.27	1.45	46.000	211.55	2.18
3.5	0.350	9.650	96.50	22.500	103.48	1.07	32.000	147.17	1.53	49.500	227.65	2.36
4.0	0.400	9.600	96.00	22.500	103.48	1.08	33.200	152.69	1.59	52.000	239.15	2.49
4.5	0.450	9.550	95.50	22.500	103.48	1.08	34.500	158.67	1.66	53.500	246.05	2.58
5.0	0.500	9.500	95.00	22.500	103.48	1.09	35.000	160.97	1.69	54.500	250.65	2.64
5.5	0.550	9.450	94.50	22.500	103.48	1.10	36.000	165.56	1.75	55.000	252.95	2.68
6.0	0.600	9.400	94.00	0.00	0.00	0.00	36.000	165.56	1.76	55.500	255.24	2.72
6.5	0.650	9.350	93.50	0.00	0.00	0.00	36.500	167.86	1.80	56.000	257.54	2.75
7.0	0.700	9.300	93.00	0.00	0.00	0.00	36.500	167.86	1.80	56.000	257.54	2.77
7.5	0.750	9.250	92.50	0.00	0.00	0.00	36.500	167.86	1.81	57.000	262.14	2.83
8.0	0.800	9.200	92.00	0.00	0.00	0.00	36.000	165.56	1.80	58.000	266.74	2.90
8.5	0.850	9.150	91.50	0.00	0.00	0.00	35.800	164.64	1.80	59.000	271.34	2.97
9.0	0.900	9.100	91.00	0.00	0.00	0.00	35.500	163.26	1.79	59.500	273.64	3.01
9.5	0.950	9.050	90.50	0.00	0.00	0.00	35.000	160.97	1.78	59.500	273.64	3.02
10.0	1.000	9.000	90.00	0.00	0.00	0.00	34.500	158.67	1.76	59.500	273.64	3.04
10.5	1.050	8.950	89.50	0.00	0.00	0.00	34.000	156.37	1.75	59.500	273.64	3.06
11.0	1.100	8.900	89.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	59.500	273.64	3.07
11.5	1.150	8.850	88.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	59.500	273.64	3.09

Realizado por: Yosmar Sulbarán

Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



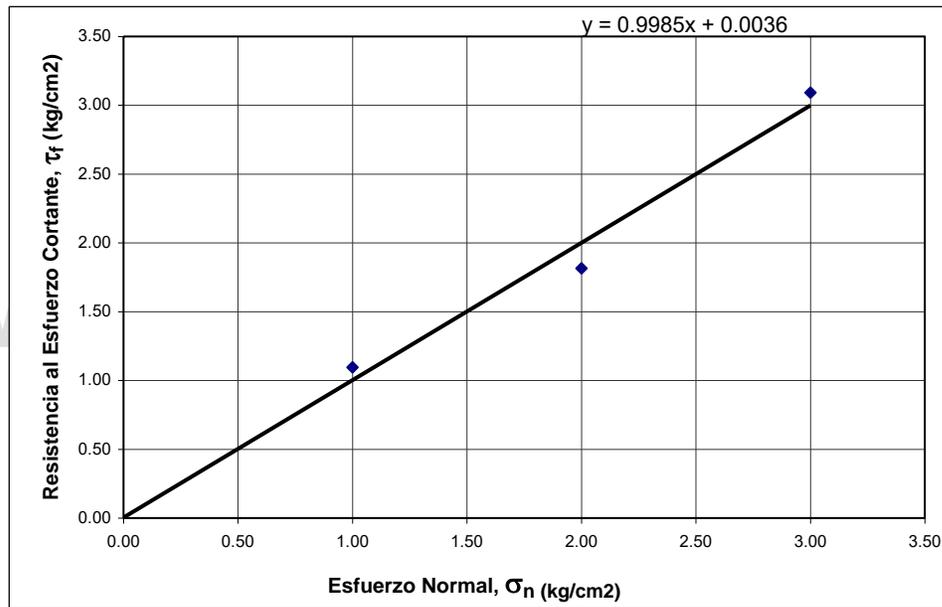
Nombre del Proyecto: “Determinación del Parámetro de Resistencia, Ángulo de Fricción Interna y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (Dr), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares”

Procedencia de la Muestra: Faces Universidad de los Andes

Fecha de realización del ensayo: _____ Muestra: _____

GRAFICO DE CORTE DIRECTO

$\sigma_n = 1.00 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_n = 2.00 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_n = 3.00 \text{ kg/cm}^2$
$\tau_f = 1.10 \text{ kg/cm}^2$	$\tau_f = 1.81 \text{ kg/cm}^2$	$\tau_f = 3.09 \text{ kg/cm}^2$



Cohesión, C : **0.000 kg/cm²**
 Angulo de fricción interna , ϕ : **45 °**

Realizado por: Yosmar Sulbarán Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



Nombre del Proyecto: "Determinación del Parámetro de Resistencia, Angulo de Fricción Interna ? y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (Dr.), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares"

Procedencia de la Muestra: Urbanización Campo claro vía los Curos

Fecha de realización del ensayo: _____ Muestra: _____ Profundidad: talud

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

CAJA DE CORTE Nº 62-64-81

LONG 10 cm **ANCHO** 10 cm **ALTURA** 4.00 cm **AREA** 100 cm²
VOLUMEN 400 cm³ **%W** 7.87 % **Wm** 840 grs.
VELOCIDAD 1 mm/min **FACTOR DE CALIBRACION** 4.599 Kg/u.n

T min	D.H (cm)	Lc=6-D.H (cm)	Area Corregida AC= 6xLc (cm ²)	σ _n =1,00 Kg /cm ²			σ _n =2,00 Kg /cm ²			σ _n =3,00 Kg /cm ²		
				L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)	L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)	L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)
0.0	0.00	10.000	100.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
0.3	0.025	9.975	99.75	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
0.5	0.050	9.950	99.50	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
0.8	0.075	9.925	99.25	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
1.0	0.100	9.900	99.00	9.000	41.39	0.42	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
1.5	0.150	9.850	98.50	12.500	57.49	0.58	7.500	34.49	0.35	10.000	45.99	0.47
2.0	0.200	9.800	98.00	14.500	66.69	0.68	12.500	57.49	0.59	20.500	94.28	0.96
2.5	0.250	9.750	97.50	16.000	73.58	0.75	15.500	71.28	0.73	25.000	114.98	1.18
3.0	0.300	9.700	97.00	17.500	80.48	0.83	18.000	82.78	0.85	28.000	128.77	1.33
3.5	0.350	9.650	96.50	19.000	87.38	0.91	20.000	91.98	0.95	30.300	139.35	1.44
4.0	0.400	9.600	96.00	20.500	94.28	0.98	22.000	101.18	1.05	33.000	151.77	1.58
4.5	0.450	9.550	95.50	21.500	98.88	1.04	23.500	108.08	1.13	34.500	158.67	1.66
5.0	0.500	9.500	95.00	22.500	103.48	1.09	25.000	114.98	1.21	36.500	167.86	1.77
5.5	0.550	9.450	94.50	23.000	105.78	1.12	26.000	119.57	1.27	38.500	177.06	1.87
6.0	0.600	9.400	94.00	23.500	108.08	1.15	27.000	124.17	1.32	40.500	186.26	1.98
6.5	0.650	9.350	93.50	23.500	108.08	1.16	28.500	131.07	1.40	42.000	193.16	2.07
7.0	0.700	9.300	93.00	24.000	110.38	1.19	29.500	135.67	1.46	44.000	202.36	2.18
7.5	0.750	9.250	92.50	24.000	110.38	1.19	30.500	140.27	1.52	46.000	211.55	2.29
8.0	0.800	9.200	92.00	24.500	112.68	1.22	33.000	151.77	1.65	47.000	216.15	2.35
8.5	0.850	9.150	91.50	24.500	112.68	1.23	33.500	154.07	1.68	48.000	220.75	2.41
9.0	0.900	9.100	91.00	24.500	112.68	1.24	34.500	158.67	1.74	49.000	225.35	2.48
9.5	0.950	9.050	90.50	24.500	112.68	1.25	35.000	160.97	1.78	50.000	229.95	2.54
10.0	1.000	9.000	90.00	24.500	112.68	1.25	36.000	165.56	1.84	51.500	236.85	2.63
10.5	1.050	8.950	89.50	24.500	112.68	1.26	37.000	170.16	1.90	52.000	239.15	2.67
11.0	1.100	8.900	89.00	24.500	112.68	1.27	37.000	170.16	1.91	53.500	246.05	2.76
11.5	1.150	8.850	88.50	0.000	0.00	0.00	37.000	170.16	1.92	54.000	248.35	2.81
12.0	1.200	8.800	88.00	0.000	0.00	0.00	37.000	170.16	1.93	55.000	252.95	2.87
12.5	1.250	8.750	87.50	0.000	0.00	0.00	37.000	170.16	1.94	56.000	257.54	2.94
13.0	1.300	8.700	87.00	0.000	0.00	0.00	37.000	170.16	1.96	57.000	262.14	3.01
13.5	1.350	8.650	86.50	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	58.000	266.74	3.08
14.0	1.400	8.600	86.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	59.000	271.34	3.16
14.5	1.450	8.550	85.50	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	60.000	275.94	3.23
15.0	1.500	8.500	85.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	60.000	275.94	3.25
15.5	1.550	8.450	84.50	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	60.500	278.24	3.29
16.0	1.600	8.400	84.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	60.500	278.24	3.31
16.5	1.650	8.350	83.50	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	60.500	278.24	3.33
17.0	1.700	8.300	83.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	60.500	278.24	3.35
17.5	1.750	8.250	82.50	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	60.000	275.94	3.34

Realizado por: Yosmar Sulbarán

Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



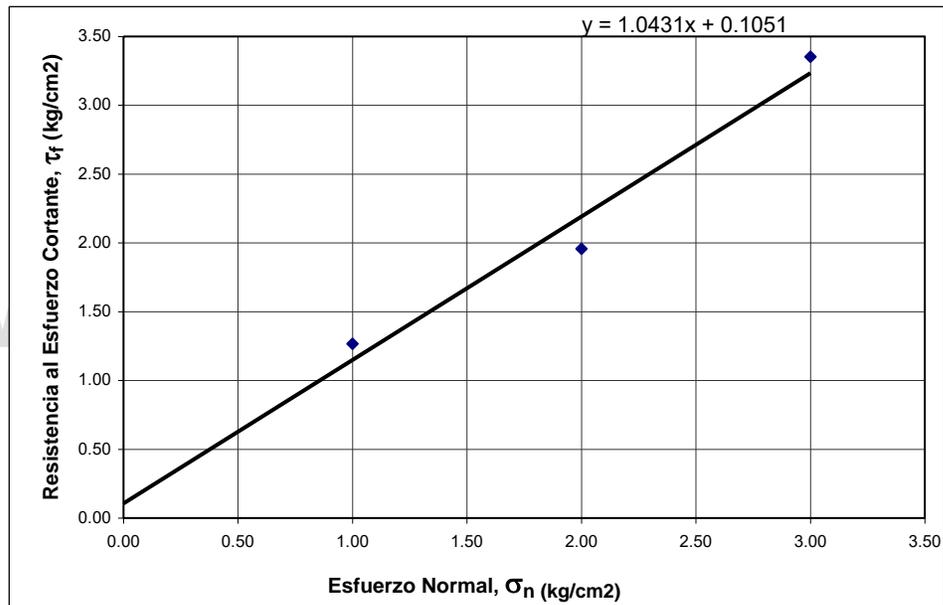
Nombre del Proyecto: “Determinación del Parámetro de Resistencia, Ángulo de Fricción Interna y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (Dr), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares”

Procedencia de la Muestra: Urbanización Campo claro vía los Curos

Fecha de realización del ensayo: _____ Muestra: _____

GRAFICO DE CORTE DIRECTO

$\sigma_n = 1.00 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_n = 2.00 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_n = 3.00 \text{ kg/cm}^2$
$\tau_f = 1.27 \text{ kg/cm}^2$	$\tau_f = 1.96 \text{ kg/cm}^2$	$\tau_f = 3.35 \text{ kg/cm}^2$



Cohesión, C : **0.100 kg/cm²**
Angulo de fricción interna, ϕ : **46 °**

Realizado por: Yosmar Sulbarán Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



Nombre del Proyecto: "Determinación del Parámetro de Resistencia, Angulo de Fricción Interna ?y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (Dr.), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares"

Procedencia de la Muestra: Av. los Próceres, metros arriba de Materiales los Andes

Fecha de realización del ensayo: _____ Muestra: _____ Profundidad: 1.25 m

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

CAJA DE CORTE Nº **62-64-81**

LONG 10 cm

ANCHO 10 cm

ALTURA 4.00 cm

AREA 100 cm²

VOLUMEN 400 cm³

%W 13.90 %

Wm 832 grs.

VELOCIDAD 1 mm/min

FACTOR DE CALIBRACION 4.599 Kg/u.n

T min	D.H (cm)	Lc=6-D.H (cm)	Area Corregida AC= 6xLc (cm ²)	$\sigma_n = 1,00 \text{ Kg/cm}^2$			$\sigma_n = 2,00 \text{ Kg/cm}^2$			$\sigma_n = 3,00 \text{ Kg/cm}^2$		
				L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)	L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)	L.D (un)	F.C (Kg)	(Kg/cm ²)
0.0	0.00	10.000	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.025	9.975	99.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.050	9.950	99.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.8	0.075	9.925	99.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.0	0.100	9.900	99.00	7.00	32.19	0.33	5.00	23.00	0.23	9.00	41.39	0.42
1.5	0.150	9.850	98.50	18.00	82.78	0.84	18.00	82.78	0.84	28.50	131.07	1.33
2.0	0.200	9.800	98.00	19.00	87.38	0.89	25.50	117.27	1.20	37.00	170.16	1.74
2.5	0.250	9.750	97.50	20.00	91.98	0.94	31.50	144.87	1.49	41.00	188.56	1.93
3.0	0.300	9.700	97.00	21.00	96.58	1.00	32.50	149.47	1.54	48.00	220.75	2.28
3.5	0.350	9.650	96.50	22.00	101.18	1.05	33.00	151.77	1.57	49.00	225.35	2.34
4.0	0.400	9.600	96.00	22.00	101.18	1.05	33.50	154.07	1.60	50.00	229.95	2.40
4.5	0.450	9.550	95.50	22.00	101.18	1.06	33.50	154.07	1.61	51.00	234.55	2.46
5.0	0.500	9.500	95.00	22.00	101.18	1.07	33.50	154.07	1.62	52.00	239.15	2.52
5.5	0.550	9.450	94.50	22.00	101.18	1.07	33.50	154.07	1.63	53.00	243.75	2.58
6.0	0.600	9.400	94.00	22.00	101.18	1.08	33.50	154.07	1.64	54.00	248.35	2.64
6.5	0.650	9.350	93.50	22.00	101.18	1.08	0.00	0.00	0.00	54.00	248.35	2.66
7.0	0.700	9.300	93.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.00	248.35	2.67
7.5	0.750	9.250	92.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.00	248.35	2.68
8.0	0.800	9.200	92.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.00	248.35	2.70
8.5	0.850	9.150	91.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.00	248.35	2.71
9.0	0.900	9.100	91.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.00	248.35	2.73
9.5	0.950	9.050	90.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.00	248.35	2.74
10.0	1.000	9.000	90.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.00	248.35	2.76
10.5	1.050	8.950	89.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.00	248.35	2.77
11.0	1.100	8.900	89.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.00	248.35	2.79
11.5	1.150	8.850	88.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.00	248.35	2.81

Realizado por: Yosmar Sulbarán

Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro



Laboratorio de Mecánica de los Suelos y Pavimentos



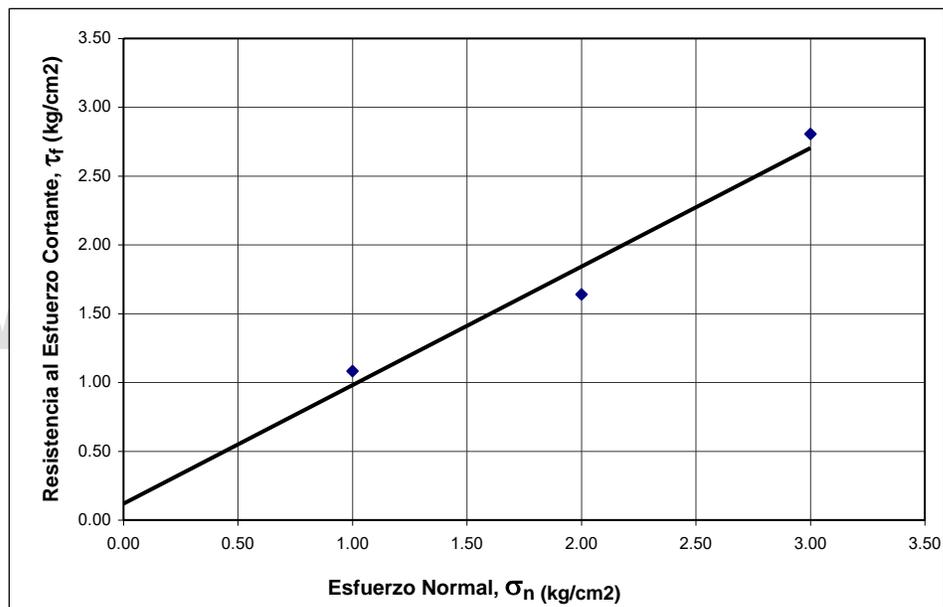
Nombre del Proyecto: “Determinación del Parámetro de Resistencia, Ángulo de Fricción Interna y su Relación con los Parámetros, Densidad Relativa (Dr), y Relación de vacíos (e) en Suelos Granulares”

Procedencia de la Muestra: Av. los Próceres, metros arriba de Materiales los Andes

Fecha de realización del ensayo: _____ Muestra: _____

GRAFICO DE CORTE DIRECTO

$\sigma_n = 1.00 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_n = 2.00 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_n = 3.00 \text{ kg/cm}^2$
$\tau_f = 1.08 \text{ kg/cm}^2$	$\tau_f = 1.64 \text{ kg/cm}^2$	$\tau_f = 2.81 \text{ kg/cm}^2$



Cohesión, C : **0.111 kg/cm²**
Angulo de fricción interna , ϕ : **41 °**

Realizado por: Yosmar Sulbarán Revisado por: Tutor: Dr. Roberto Ucar Navarro

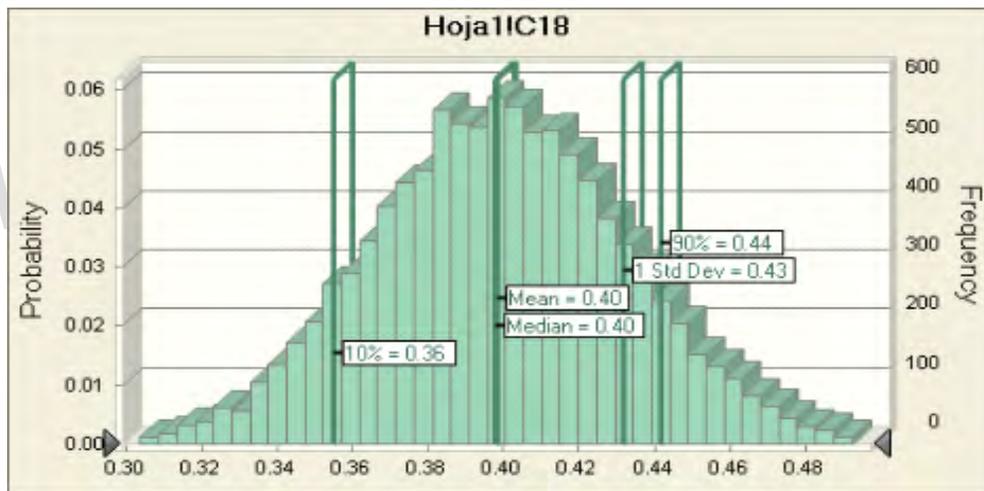
Anexo B

Resultados del Programa Crystal Ball y Correlación Múltiple Excel

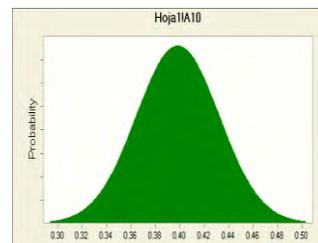
Informe de Crystal Ball para valor de K de Caquot

Estadística:	Valores de previsión
Numero de iteraciones	10,000
Median	0.40
Mediana	0.40
Moda	---
Desviación Estándar	0.03
Varianza o Discrepancia	0.00
Oblicuidad	0.0166
Kurtosis	2.98
Coefficiente de Variabilidad	0.0845
Mínimo	0.28
Máximo	0.51
Anchura de Gama	0.24
Error de Desviación Estandar	0.00

Percentiles:	Valores de previsión
0%	0.28
10%	0.36
20%	0.37
30%	0.38
40%	0.39
50%	0.40
60%	0.41
70%	0.42
80%	0.43
90%	0.44
100%	0.51



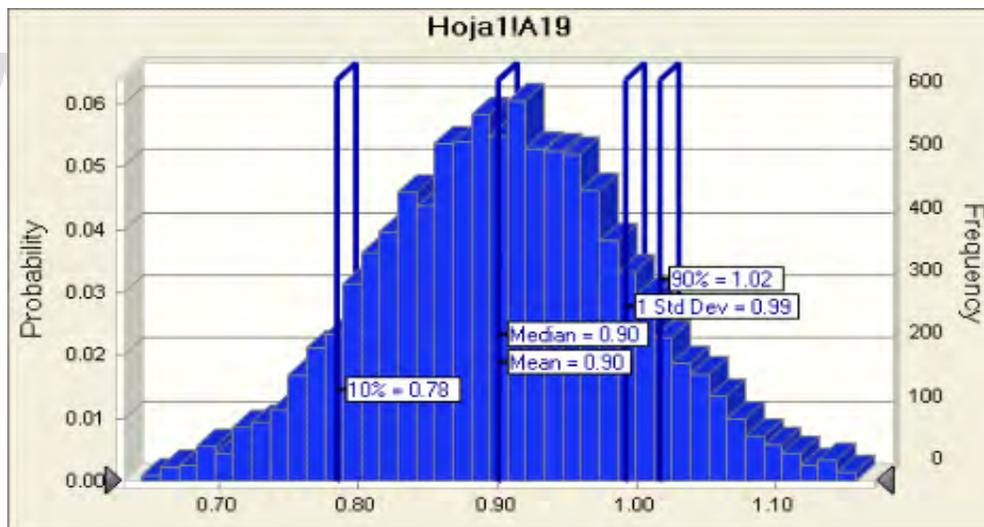
Distribución Normal con los parámetros:	
Media	0.40
Desviación Estándar	0.03



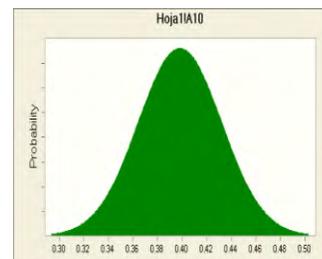
Informe de Crystal Ball para valor de $\text{tg}(\phi)$ en la tabla N° 20

Estadística:	Valores de previsión
Numero de iteraciones	10,000.00
Median	0.90
Mediana	0.90
Moda	---
Desviacion Estándar	0.09
Varianza o Discrepancia	0.01
Oblicuidad	0.01
Kurtosis	3.07
Coefficiente de Variabilidad	0.10
Mínimo	0.54
Máximo	1.25
Anchura de Gama	0.71
Error de Desviación Estándar	0.00

Percentiles:	Valores de previsión
0%	0.54
10%	0.78
20%	0.82
30%	0.85
40%	0.88
50%	0.90
60%	0.92
70%	0.95
80%	0.98
90%	1.02
100%	1.25



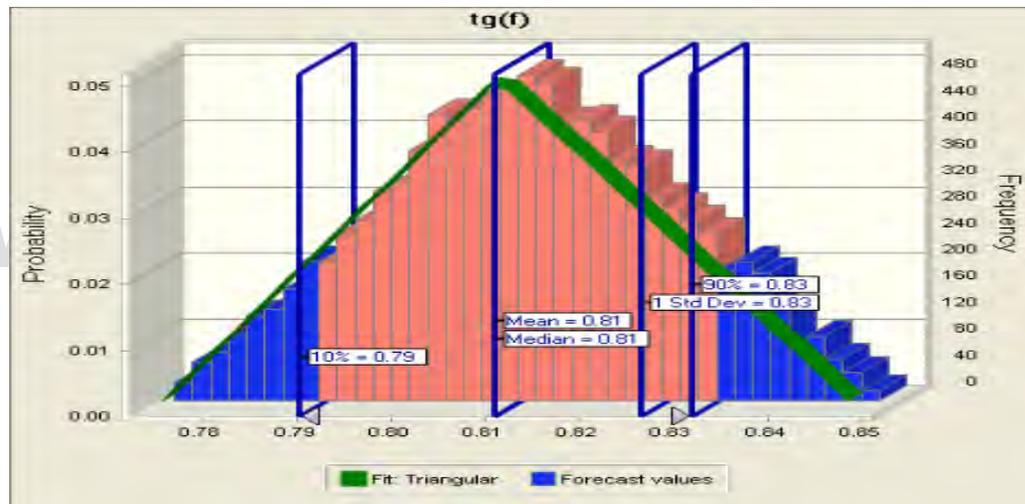
Distribución Normal con los parámetros:	
Media	0.90
Desviación Estándar	0.09



Informe de Crystal Ball para Ecuación 5.1

Estadística:	Valores de previsión
Numero de iteraciones	10,000.00
Median	0.77
Mediana	0.77
Moda	---
Desviación Estándar	0.02
Varianza o Discrepancia	0.00
Cesgo	0.00
Kurtosis	2.42
Coefficiente de Variabilidad	0.02
Mínimo	0.74
Máximo	0.81
Anchura de Gama	0.08
Error de Desviación Estándar	0.00

Percentiles:	Valores de previsión
0%	0.77
10%	0.79
20%	0.80
30%	0.80
40%	0.81
50%	0.81
60%	0.82
70%	0.82
80%	0.83
90%	0.83
100%	0.85



Distribución Triangular de la Densidad Rel	
Mínimo	40.0
Valor Medio	50.0
Máximo	60.0

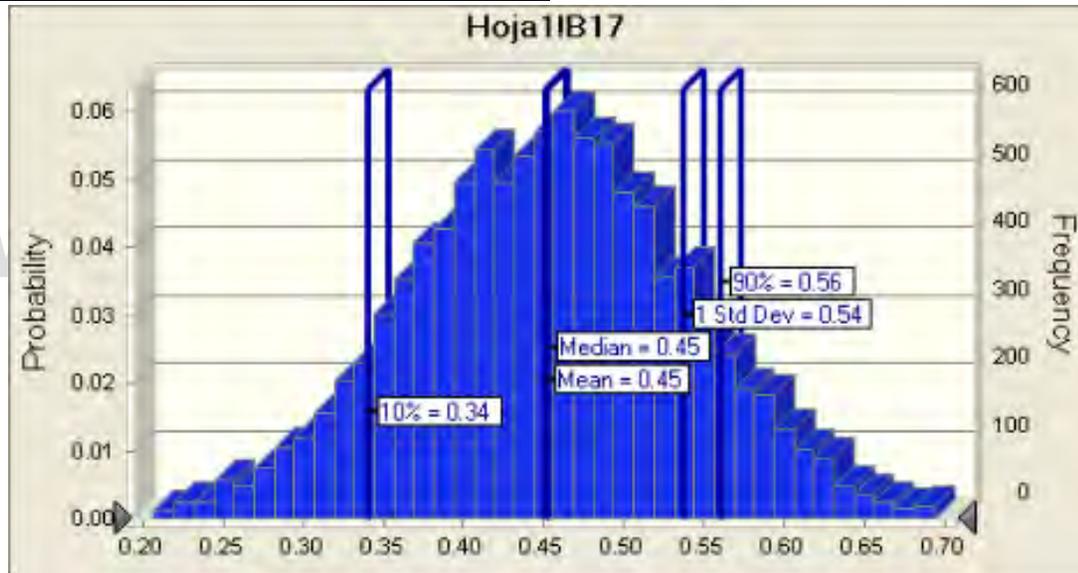
Resumen:

El 80 % de los valores de $tg(\phi)$ para una desviación estándar de 0,02 se encuentran entre 0,79 y 0,83

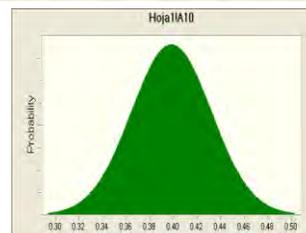
Informe de Crystal Ball para los valores de Relacion de Vacios (e)

Estadística:	Valores de previsión
Numero de iteraciones	10,000.00
Median	0.45
Mediana	0.45
Moda	---
Desviación Estándar	0.09
Varianza o Discrepancia	0.01
Oblicuidad	-0.04
Kurtosis	3.06
Coefficiente de Variabilidad	0.19
Mínimo	0.10
Máximo	0.78
Anchura de Gama	0.68
Error de Desviación Estándar	0.00

Percentiles:	Valores de previsión
0%	0.10
10%	0.34
20%	0.38
30%	0.40
40%	0.43
50%	0.45
60%	0.47
70%	0.50
80%	0.52
90%	0.56
100%	0.78



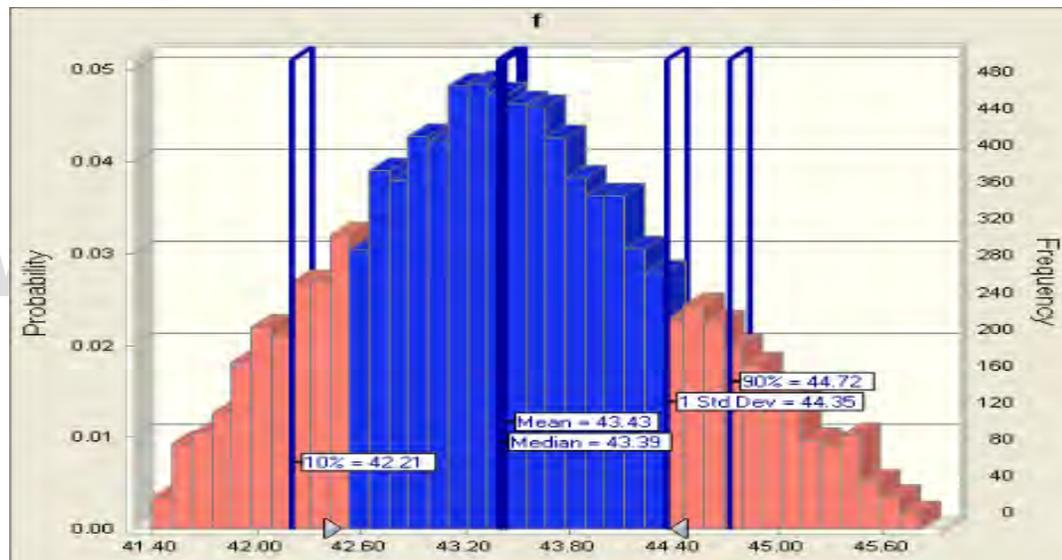
Distribución Normal con los parámetros:	
Media	0.45
Desviación Estándar	0.09



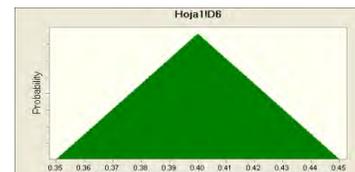
Informe de Crystal Ball para Ecuación 5.2

Estadística:	Valores de previsión
Numero de iteraciones	10,000.00
Median	43.43
Mediana	43.39
Moda	---
Desviación Estándar	0.92
Varianza o Discrepancia	0.85
Cesgo	0.16
Kurtosis	2.43
Coefficiente de Variabilidad	0.02
Mínimo	41.40
Máximo	45.81
Anchura de Gama	4.40
Error de Desviación Estándar	0.01

Percentiles:	Valores de previsión
0%	41.40
10%	42.21
20%	42.60
30%	42.90
40%	43.16
50%	43.39
60%	43.63
70%	43.91
80%	44.25
90%	44.72
100%	45.81



Distribución Triangular de la Densidad Rela	
Mínimo	41.4
Valor Medio	43.4
Máximo	45.8



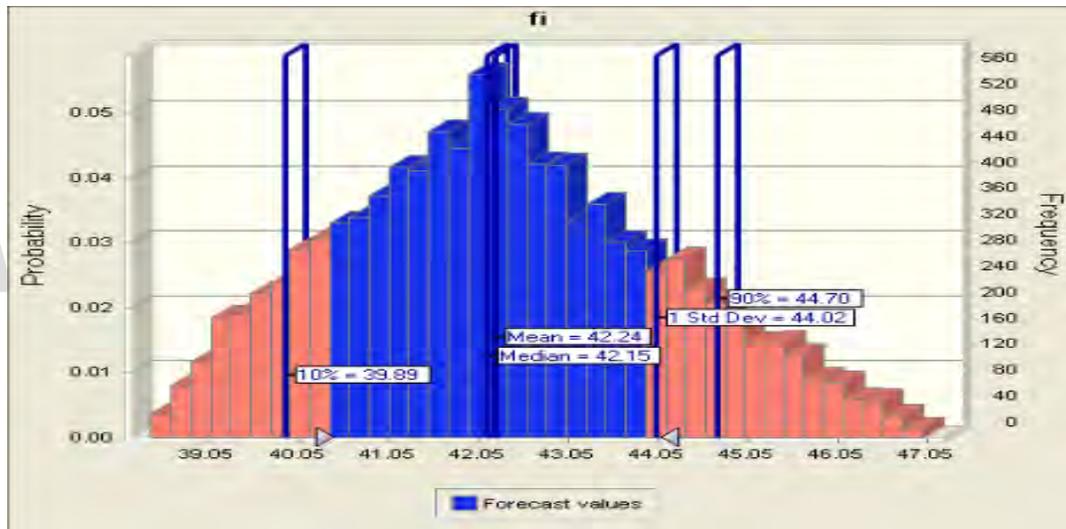
Resumen:

El 65.14 % de los valores de ϕ para una desviación estandar de 0,92 se encuentran entre 42,51 y 44,35

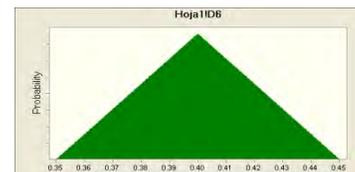
Informe de Crystal Ball para Ecuación 5.3

Estadística:	Valores de previsión
Numero de iteraciones	10,000.00
Median	42.24
Mediana	42.15
Moda	---
Desviación Estándar	1.78
Varianza o Discrepancia	3.18
Cesgo	0.21
Kurtosis	2.46
Coefficiente de Variabilidad	0.04
Mínimo	38.41
Máximo	46.99
Anchura de Gama	8.58
Error de Desviación Estándar	0.02

Percentiles:	Valores de previsión
0%	38.41
10%	39.89
20%	40.61
30%	41.21
40%	41.71
50%	42.15
60%	42.59
70%	43.14
80%	43.82
90%	44.70
100%	46.99



Distribución Triangular de ϕ	
Mínimo	38.4
Valor Medio	42.2
Máximo	47.0



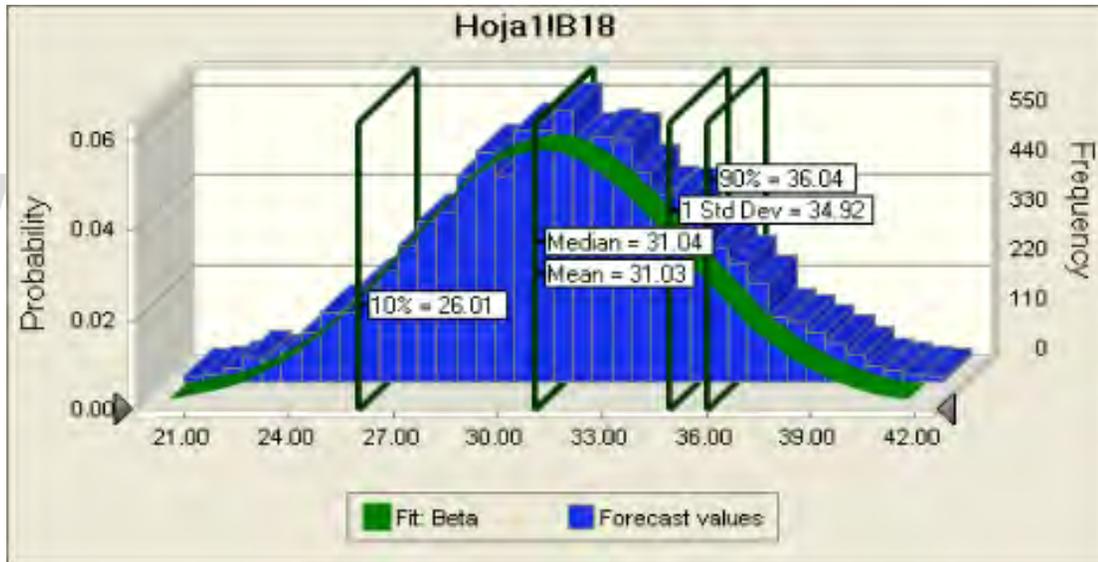
Resumen:

El 64.87% de los valores de ϕ para una desviación estándar de 1.78 los valores de ϕ se encuentran entre 40.46 y 44.02

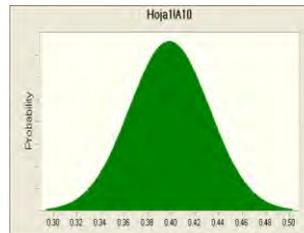
Informe de Crystal Ball Para valores de Porosidad (n) en suelos estudiados

Estadística:	Valores de previsión
Numero de iteraciones	10,000.00
Median	31.03
Mediana	31.04
Moda	---
Desviación Estándar	3.89
Varianza o Discrepancia	15.15
Oblicuidad	-0.01
Kurtosis	2.92
Coficiente de Variabilidad	0.13
Mínimo	16.67
Máximo	45.61
Anchura de Gama	28.93
Error de Desviación Estándar	0.04

Percentiles:	Valores de previsión
0%	16.67
10%	26.04
20%	27.72
30%	28.93
40%	30.07
50%	31.04
60%	32.02
70%	33.06
80%	34.37
90%	36.05
100%	45.61



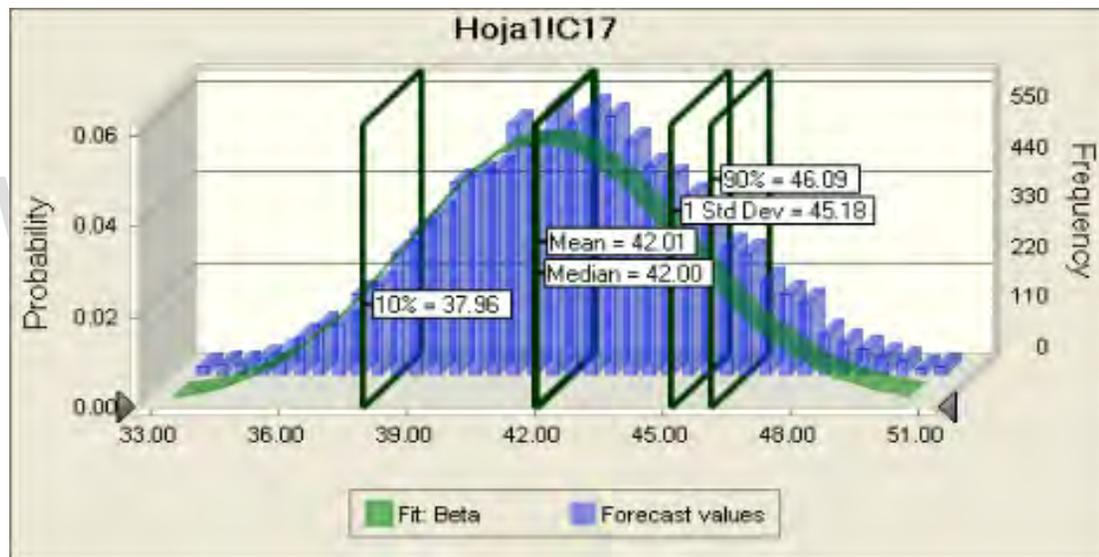
Distribución Normal con los parámetros:	
Media	31.03
Desviación Estándar	3.89



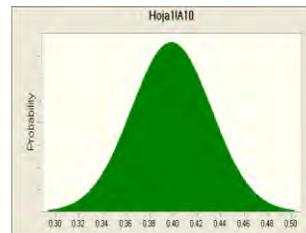
Informe de Crystal Ball para los valores de Ángulo de Fricción interna experimentales

Estadística:	Valores de previsión
Numero de iteraciones	10,000.00
Median	42.01
Mediana	42.01
Moda	---
Desviación Estándar	3.17
Varianza o Discrepancia	10.03
Oblicuidad	0.03
Kurtosis	2.96
Coefficiente de Variabilidad	0.08
Mínimo	30.45
Máximo	54.20
Anchura de Gama	23.75
Error de Desviación Estándar	0.03

Percentiles:	Valores de previsión
0%	30.45
10%	38.00
20%	39.33
30%	40.34
40%	41.20
50%	42.01
60%	42.80
70%	43.65
80%	44.70
90%	46.15
100%	54.20



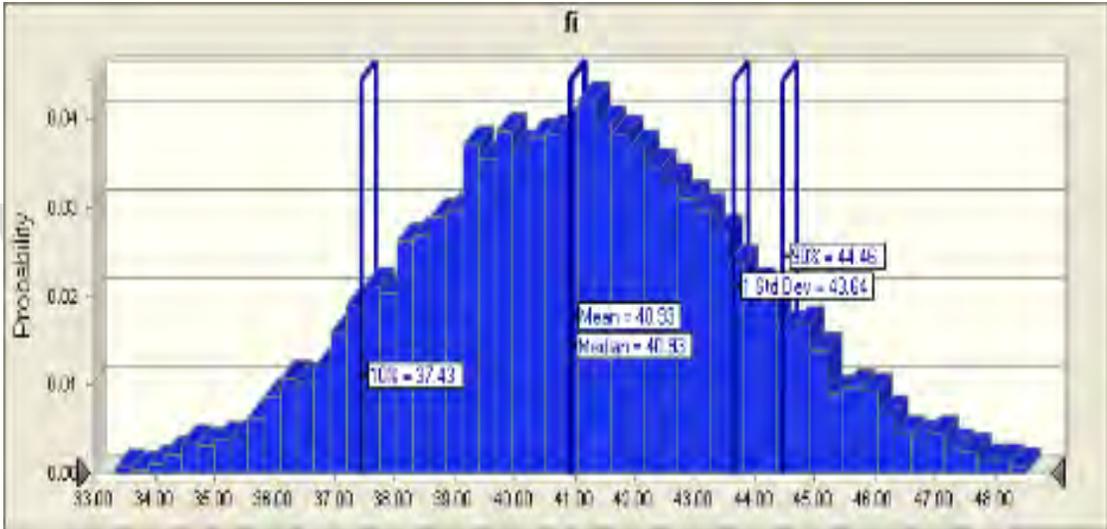
Distribución Normal con los parámetros:	
Media	42.01
Desviación Estándar	3.17



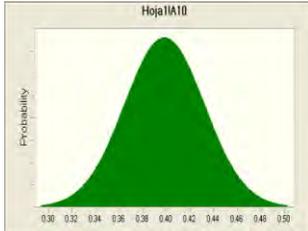
Informe de Crystal Ball Ecuación 5.4

Estadística:	Valores de previsión
Numero de iteraciones	10,000.00
Median	40.93
Mediana	40.93
Moda	---
Desviación Estándar	2.71
Varianza o Discrepancia	7.35
Oblicuidad	0.02
Kurtosis	2.89
Coefficiente de Variabilidad	0.07
Mínimo	30.31
Máximo	51.06
Anchura de Gama	20.75
Error de Desviación Estándar	0.03

Percentiles:	Valores de previsión
0%	30.31
10%	37.43
20%	38.61
30%	39.46
40%	40.21
50%	40.93
60%	41.61
70%	42.36
80%	43.24
90%	44.46
100%	51.06



Distribución Normal con los parámetros:	
Media	40.93
Desviación Estándar	2.71



ANALIS DE REGRESIÓN MULTIPLE CON EXCEL (RESUMEN)

<i>Estadísticas de la regresión</i>					
Coefficiente de correlación múltiple		0.915456075			
Coefficiente de determinación R ²		0.838059825			
R ² ajustado		0.777332259			
Error típico		1.490740435			
Observaciones		12			
ANALISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	3	92.00564364	30.66854788	13.80031978	0.001578851
Residuos	8	17.77845636	2.222307045		
Total	11	109.7841			
	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>
Termino Independiente	-7.1427	9.4014	-0.7598	0.4692	-28.8224
Contenido de Humedad (% ω)	-0.1867	0.2351	-0.7941	0.4501	-0.7290
Densidad Natural (ρ _d)	26.7603	4.6909	5.7047	0.0005	15.9430
Cohesión ©	1.5582	1.1037	1.4118	0.1957	-0.9869
	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>		
	14.5369	-28.8224	14.5369		
	0.3555	-0.7290	0.3555		
	37.5775	15.9430	37.5775		
	4.1033	-0.9869	4.1033		
Análisis de los residuales					
<i>Observación</i>	<i>Pronóstico para Y</i>	<i>Residuos</i>	<i>Residuos estándares</i>		
1	38.71175156	-0.711751564	-0.559857818		
2	41.11807432	0.121925682	0.09590572		
3	41.82948477	0.170515232	0.134125853		
4	34.454928	0.545072004	0.428749073		
5	42.74413521	-3.364135208	-2.646200577		
6	42.40900725	0.510992751	0.401942618		
7	44.17602468	-1.176024684	-0.925051166		
8	44.17970161	0.820298389	0.645239842		
9	42.4924332	0.507566796	0.39924779		
10	43.50484479	1.495155207	1.176076562		
11	45.12840948	0.871590515	0.685585799		
12	40.79120512	0.208794881	0.164236304		

Anexo C

Plano del área de estudio

(Meseta de Mérida)

www.bdigital.ula.ve

www.bdigital.ula.ve

www.bdigital.ula.ve