



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

TÍTULO:

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MÉTODO CONO Y ARENA UTILIZANDO
DOS TIPOS DE ARENA (ARENA DE MAR Y ARENA DE OTTAWA) Y DENSÍMETRO
NUCLEAR PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DEL SUELO EN LA VÍA QUE UNE
A LA CIUADELA MANTA 2000 CON LA CIUADELA UNIVERSITARIA DEL
CANTÓN MANTA, PROVINCIA DE MANABÍ.**

AUTOR

JULIANA ANCHUNDIA ORRALA

ASESOR ACADEMICO

ING. MARCELO OLEAS ESCALANTE

MANTA-ECUADOR

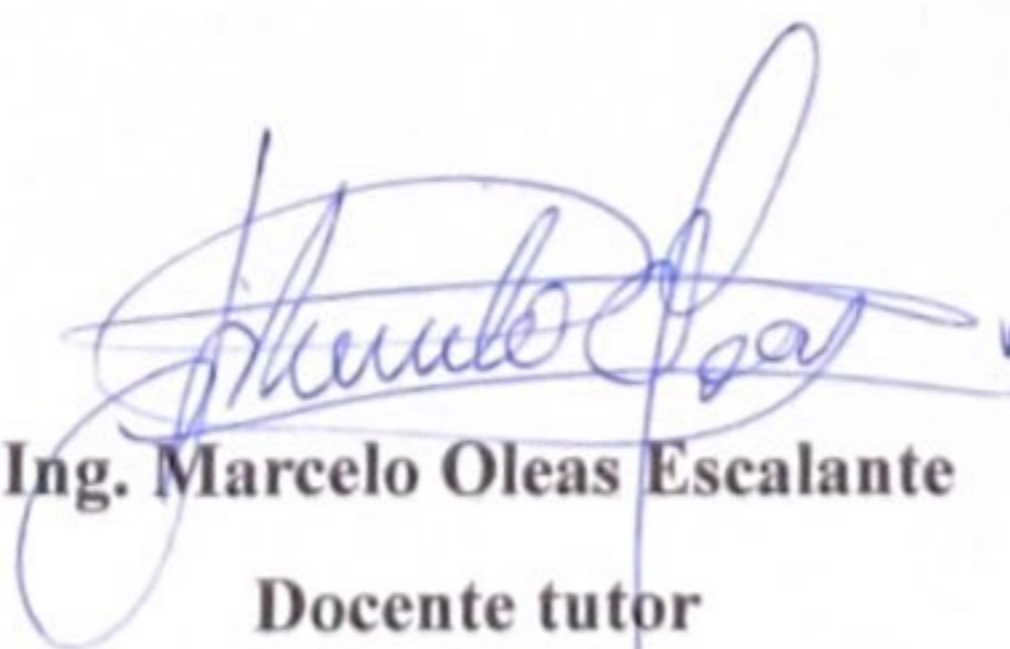
2024-2

CERTIFICADO DEL TUTOR

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, certifico: Haber dirigido, y revisado el trabajo de titulación, cumpliendo el total de 400 horas, bajo la modalidad de Proyecto investigativo cuyo tema del proyecto es "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MÉTODO CONO Y ARENA UTILIZANDO DOS TIPOS DE ARENA (ARENA DE MAR Y ARENA DE OTTAWA) Y DENSÍMETRO NUCLEAR PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DEL SUELO EN LA VÍA QUE UNE A LA CIUDADELA MANTA 2000 CON LA CIUDADELA UNIVERSITARIA DEL CANTÓN MANTA, PROVINCIA DE MANABÍ", el mismo que sido desarrollado de acuerdo a los lineamientos internos de la modalidad en mención, y en apego al cumplimiento de los requisitos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico, por tal motivo CERTIFICO, que el mencionado proyecto reúne lo méritos académicos, científicos y formales, suficientes para ser sometido a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad. La autoría del tema desarrollado corresponde a la señorita Anchundia Orrala Juliana Elizabeth, estudiante de la carrera de Ingeniería Civil período académico 2020(1) – 2024(2) quien se encuentra apta para la sustentación.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 3 de enero de 2025



Ing. Marcelo Oleas Escalante
Docente tutor
Área: Suelos

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesis, corresponden exclusivamente a la autora, y el patrimonio intelectual de la tesis de grado corresponderá a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí”

Juliana Anchundia.
Egsod. Juliana Elizabeth Anchundia Orrala

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL EXAMINADOR



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Trabajo de Titulación siguiendo la modalidad de Proyecto de Investigación, titulado: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MÉTODO CONO Y ARENA UTILIZANDO DOS TIPOS DE ARENA (ARENA DE MAR Y ARENA DE OTTAWA) Y DENSÍMETRO NUCLEAR PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DEL SUELO EN LA VÍA QUE UNE A LA CIUDADELA MANTA 2000 CON LA CIUDADELA UNIVERSITARIA DEL CANTÓN MANTA, PROVINCIA DE MANABÍ" elaborado por la egresada: ANCHUNDIA ORRALA JULIANA ELIZABETH de la Carrera de Ingeniería Civil.

INGENIERA CIVIL

Aprobado por el Tribunal Examinador

Ing. José Hualpa Muñoz.
Miembro del tribunal

Ing. Jorge Gareía Argandoña.
Miembro del tribunal

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento muy especial al Ingeniero Julio, quien, con su experiencia y conocimiento, además de su confianza, me ayudó desde el día uno que inicié con la carrera, siempre presto a atender mis inquietudes.

A mi mamá, tía, abuela y Andrés quienes me brindaron su apoyo incondicional en esta etapa de formación académica.

A mis compañeros por explicarme una y otra vez cuando algo no entendía con claridad.

A mis sobrinos por ser Luz en mi vida. A mis hermanas, y demás familiares.

A mi asesor Ing. Marcelo Oleas, por su tiempo, motivación y por facilitarme ideas necesarias para el desarrollo de este trabajo de Titulación

Finalmente expreso mi agradecimiento al Ing. Javier Bravo, y al Señor Hugo Panta por darme la oportunidad de recurrir a sus conocimientos y ayudarme durante todo este proceso. Gracias por la enseñanza y paciencia.

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a Dios por darme las fuerzas para lograr alcanzar esta meta y sobre todo por ser mi mayor soporte.

A mi mamá Zoila Orrala Chávez y mi Abuela Letty Chávez excelentes madres que han estado en todo momento para mí y me han inculcado siempre valores como la responsabilidad, superación y trabajo duro, gracias por ser guía en mi camino.

A Andrés Méndez quien me motivó a seguir esta carrera y un día me dijo “Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, electricidad o la energía atómica: es la voluntad” Gracias por ser para mí un ejemplo de fortaleza, perseverancia y sabiduría.

RESUMEN

La presente investigación se realizó en el carril de ingreso a la vía principal del sector colegio julio Pierregross, (vía que une a la ciudadela manta 2000 con la ciudadela universitaria) del cantón Manta, provincia de Manabí.

El desarrollo del proyecto de titulación inició con la toma de muestras material que sería usado para el mejoramiento de la subrasante del carril de ingreso, con estas muestras se realizó la clasificación de suelo y el ensayo de Proctor Modificado con el fin de conocer su Densidad Máxima (dato que es importante, ya que se introduce en el Densímetro Nuclear) y Humedad Optima, formando así la llamada curva de compactación.

Se trabajó con dos Tipos de Arena para el ensayo de Cono y Arena siendo esta de Mar y Ottawa, para aquello se llevó a cabo el ensayo de Peso específico de la arena de mar que permitió, determinar la diferencia entre los pesos específicos entre ambas arenas ya que la de Ottawa el peso específico es normado.

Realizados los estudios de suelo y Proctor, se procedió determinar el peso específico de la subrasante mediante el densímetro Nuclear y el Cono y Arena (con arena de mar y la de Ottawa), en la vía que une a la ciudadela manta 2000 con la ciudadela universitaria cuya subrasante había sido previamente compactada de acuerdo con las normativas y Proctor de diseño. Se tomaron cinco puntos para cada método.

Los datos obtenidos en los ensayos con densímetro nuclear determinaron que el grado de compactación del carril de acceso está por debajo del 95% que indica la normativa.

Los resultados obtenidos, arrojan que los datos obtenidos con el densímetro nuclear presentan un incremento de 5,37%, por encima de los obtenidos mediante ensayo de cono y arena (Ottawa).

Utilizando el método de correlación lineal mediante gráficos de dispersión se determinó que la densidad de campo obtenida utilizando el método de cono y arena con arena de Ottawa es igual a 0,96 veces la densidad obtenida con el densímetro nuclear mientras que la densidad utilizando el método de cono con arena de mar es igual a 0,92 veces la densidad utilizando el densímetro.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el uso de arena de mar puede ser utilizado para fines educativos del ensayo del Cono y Arena.

ABSTRACT

This research was carried out in the entrance lane to the main road of the Julio Pierregross school sector, (road that connects the Manta 2000 citadel with the university citadel) of the Manta canton, Manabí province.

The development of the titling project began with the taking of samples of material that would be used to improve the subgrade of the entrance lane, with these samples the soil classification and the Modified Proctor test were carried out in order to know its Maximum Density (data that is important, since it is introduced in the Nuclear Densimeter) and Optimal Humidity, thus forming the so-called compaction curve.

Two types of sand were worked with for the Cone and Sand test, this being from Sea and Ottawa, for that the specific weight test of the sea sand was carried out that allowed determining the difference between the specific weights between both sands since the Ottawa specific weight is standardized.

After the soil and Proctor studies were carried out, the specific weight of the subgrade was determined using the Nuclear densitometer and the Cone and Sand (with sea sand and Ottawa sand), on the road that connects the Manta 2000 citadel with the university citadel, whose subgrade had been previously compacted in accordance with the regulations and Proctor design. Five points were taken for each method.

The data obtained in the tests with the nuclear densitometer determined that the degree of compaction of the access lane is below the 95% indicated by the regulations.

The results obtained show that the data obtained with the nuclear densitometer show an increase of 5.37%, above those obtained by the cone and sand test (Ottawa).

Using the linear correlation method using scatter plots, it was determined that the field density obtained using the cone and sand method with Ottawa sand is equal to 0.96 times the density obtained with the nuclear densitometer, while the density using the cone method with sea sand is equal to 0.92 times the density using the densitometer.

According to the results obtained, the use of sea sand can be used for educational purposes of the Cone and Sand test.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DEL TUTOR.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
DEDICATORIA.....	4
RESUMEN.....	5
INTRODUCCIÓN.....	15
1. CAPÍTULO I – PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.1. Hipótesis.....	16
1.2. Problemática.....	16
1.3. Delimitación del problema.....	17
1.3.1. Delimitación del Contenido.....	17
1.3.2. Delimitación Espacial.....	17
1.3.3. Delimitación Temporal.....	17
1.4. Objetivos.....	18
1.4.1. Objetivo general.....	18
1.4.2. Objetivos Específicos.....	18
1.5. Variables.....	19
1.5.1. Variable Independiente.....	19
1.5.2. Variable Dependiente.....	19
2. CAPÍTULO II – MARCO TEÓRICO.....	19

2.1.	Estado del Arte	19
2.1.1.	Antecedentes.....	19
2.1.2.	Compactación del suelo.....	20
2.1.3.	Factores que Influyen en la Compactación.....	21
2.2.	Afirmados y Pavimentos	22
2.2.1.	Afirmados	22
2.3.	Granulometría.....	27
2.4.	Sistemas de Clasificación de Suelos	29
2.4.1.	Sistema de Clasificación de la AASHTO	29
2.4.2.	Sistema de Clasificación Unificada SUCS.....	30
2.5.1.	Contenido de humedad	35
2.6.	Métodos Utilizados	37
2.6.1.	Método del Cono y Arena.....	37
2.6.3.	Tipos de Medición	42
3.	CAPITULO III- DISEÑO METODOLÓGICO	44
3.1.	Tipo de Investigación, Nivel de investigación y diseño de Investigación	44
3.1.1.	Tipo de Investigación.....	44
3.1.2.	Nivel de Investigación	44
3.2.	Ubicación de la vía.....	44
3.3.	Ensayos de Control a utilizarse en la presente Investigación.....	45

3.3.1. Ensayos para determinar la clasificación general de la Muestra	45
3.3.2. Ensayos para el control de la compactación en los suelos	50
4. CAPITULO IV - CÁLCULOS Y RESULTADOS	59
4.1.1. Resultado del Ensayo de granulometría por Lavado	59
4.1.2. Resultado del Ensayo de Atterberg.....	60
4.1.3. Resultados del Ensayo de Proctor Modificado.....	61
4.1.4. Peso Específico de la Arena de Mar y Ottawa.....	62
4.1.5. Ensayo de Cono y Arena	62
4.1.6. Resultados de los Ensayo con Densímetro Nuclear	67
4.1.7. Resultados de los grados de Compactación con ambos métodos.....	67
4.2. Correlación de la densidad seca del suelo y del Porcentaje de Humedad usando el método Cono y arena vs Densímetro nuclear.....	68
4.3. Conclusiones y Recomendaciones	70
4.3.1. Conclusiones.....	70
4.3.2. Recomendaciones	72
4.4. Bibliografía	73
4.5. Anexos	74

Tabla 1- Grado de Compactación Relativa según el Tipo de Relleno.....	21
Tabla 2 Requerimientos Granulométricos para Sub-base Granular	26
Tabla 3 Granulometría según su tamaño	28
Tabla 4. Clasificación AASHTO.....	30
Tabla 5. Terminología del Sistema de Clasificación SUCS	31
Tabla 6. Sistema de Clasificación SUCS	31
Tabla 7. Sistema de Clasificación SUCS	32
Tabla 8. Índice de Plasticidad.....	33
Tabla 9. Resultado del Ensayo de Granulometría por lavado	59
Tabla 10. Ensayo de Atterberg	60
Tabla 11. Resultado del Ensayo de Proctor Modificado	61
Tabla 12. Resultados de los ensayos con Densímetro Nuclear	67
Tabla 13. Resultados de Grado de Compactación.....	67
Tabla 14. Resultados de Correlación de Densidad Seca del suelo usando ambos métodos	68
Tabla 15. Resultado de Porcentaje de Humedad usando ambos métodos (Cono y Arena y Densímetro N).....	69
Figura 1. Curva Granulométrica de un suelo	29
Figura 2. Equipo Proctor	34
Figura 3. Curva de Compactación.....	35
Figura 4. Prueba de Cono y Arena	37
Figura 5. Aparato de Cono y Arena.....	38
Figura 6. Densímetro Nuclear	40

Figura 7. Accesorios del Densímetro Nuclear.....	41
Figura 8. Ubicación de la Vía	44
Figura 9. Curva Granulométrica del ensayo por Lavado	60
Figura 10. Gráfica de L.L.....	61
Figura 11. Curva de Compactación del ensayo Proctor M	62
Figura 12. Correlación de Densidades Método Cono y Arena (Ottawa) Y Densímetro...,	68
Figura 13 Correlación de Densidades Método Cono y Arena (de Mar) Y Densímetro N .	69
Figura 14. Correlación de Humedades Método Cono y Arena (Ottawa) Y Densímetro N70	
Ilustración 1. Proceso de Lavado de la muestra por el Tamiz #200.....	46
Ilustración 2. Muestra secada y Tamizada.	46
Ilustración 3 Mezcla de la muestra con agua y accionar de la cuchara casa grande.....	48
Ilustración 4. Equipo Cuchara casa Grande y Muestra de la Serie 12-15.....	49
Ilustración 5. Muestra en forma de Cilindro agrietada y pesada en la balanza.....	50
Ilustración 6. Peso del Tarro más muestra húmeda y luego seca.	51
Ilustración 7. Peso de la muestra y mezcla uniforme con el 2% de agua	53
Ilustración 8. Peso del molde más muestra compactada.	54
Ilustración 9. Realización del Hoyo con cincel y martillo.	56
Ilustración 10. Extracción del material del hoyo	56
Ilustración 11. Vaciado del cono y arena en el Hoyo	56
Ilustración 12. Peso del recipiente vacío.....	56
Ilustración 13. Peso del recipiente con material.....	56

Ilustración 14. Ensayo de Cono y Arena (Ottawa).....	57
Ilustración 15. Ensayo de Cono y Arena (Mar).....	57
Ilustración 16. Perforación con la varilla.	58
Ilustración 17. Ingreso de Datos en el Densímetro N	58
Ilustración 18. Densidad Seca y Porcentaje de Humedad en el Punto I con Densímetro	59
Ilustración 19. Recolección de Muestra	74
Ilustración 20. Laboratorio de la Uleam	75
Ilustración 21. Muestra Seca	75
Ilustración 22. Cálculos en Laboratorio	75
Ilustración 23. Toma de datos en Campo	76
Ilustración 24. Ensayo de Peso específico	76
Ilustración 25. Vía a utilizar para los ensayos.....	76

INTRODUCCIÓN

La ingeniería civil enfrenta el reto constante de mejorar sus procesos, métodos constructivos y controles de calidad, abordando no solo la eficiencia técnica, sino también aspectos económicos, de viabilidad y de rapidez para optimizar el servicio a la comunidad. Gracias al esfuerzo de ingenieros y laboratorios, con el tiempo se han desarrollado y perfeccionado técnicas de prueba en campo para determinar los métodos más adecuados según el tipo de material. En este contexto, se han implementado pruebas clave en la construcción de vías de transporte, como la granulometría, los límites de Atterberg, el Proctor y la medición de densidades de campo, siendo esta última fundamental para evaluar la maquinaria y los trabajos realizados en obra.

En la medición de densidades de campo, las pruebas se han refinado para obtener resultados más precisos, reducir el margen de error, agilizar la obtención de datos y optimizar los costos. Por ello, la compactación de un suelo tiene una gran importancia porque con esto se busca incrementar la resistencia y disminuir la deformación del suelo, que generalmente se realizan en un relleno o conformación del pavimento, en efecto, se cuenta con métodos como el Cono y Arena y el Densímetro Nuclear.

El método del Cono y Arena, tradicional y manual, consiste en excavar y llenar un volumen de suelo con arena calibrada para calcular su densidad, mientras que el Densímetro Nuclear utiliza radiación para medir densidades de manera rápida y precisa. Este análisis comparativo examina las diferencias entre estos métodos en términos de precisión, costo, tiempo, facilidad de uso y seguridad, ofreciendo una guía para seleccionar la opción más conveniente.

1. CAPÍTULO I – PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.Hipótesis

Existe diferencia en los resultados obtenidos en los ensayos de cono y arena utilizando dos tipos de arenas (Arena de mar y Arena de Ottawa) y densímetro nuclear para la determinación in situ de peso específico de suelo compactado.

1.2.Problemática

El control de calidad en la compactación de suelos es esencial para asegurar el buen desempeño mecánico del terreno a lo largo de su vida útil en proyectos de ingeniería. Hoy en día, los constructores enfrentan el desafío de contar con pruebas de laboratorio confiables que, además de ser precisas, sean también asequibles y rápidas, evitando que las obras se detengan y permitiendo el avance según el cronograma establecido. Por ello, la ingeniería civil, junto con sus instituciones y laboratorios, debe mantenerse al día en innovación tecnológica para contribuir al desarrollo económico tanto de las empresas como de los países. Este estudio compara dos métodos de prueba distintos que buscan el mismo fin, evaluando las ventajas y desventajas de cada uno, con el propósito de ayudar a los constructores a elegir el método más adecuado según sus necesidades económicas, de tiempo y, sobre todo, técnicas.

Además, se hace un análisis comparativo con el uso de arena de mar y arena Ottawa para determinar la diferencia en las densidades con la finalidad de que se pueda usar la arena de mar con fines educativos ante la falta del factor económico o escases de producto.

1.3. Delimitación del problema.

1.3.1. Delimitación del Contenido

El presente proyecto contiene un análisis comparativo de ensayos utilizando el Cono y arena, Proctor, Densímetro Nuclear, Sistema Unificado de clasificación de Suelos.

1.3.2. Delimitación Espacial

Los ensayos de Cono y Arena y Densímetro Nuclear serán realizados in situ en la vía que une a la ciudadela manta 2000 con la ciudadela universitaria del cantón Manta. Y la clasificación de suelos y el ensayo para la determinación de la humedad optima (Proctor) se los realizará en el laboratorio de ensayo de materiales y mecánica de suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

COORDENADAS		
No. Punto	Este	Norte
1	527743.00 m E	9894386.00 m S
2	527735.00 m E	9894406.00 m S
3	527726.00 m E	9894424.00 m S
4	527720.00 m E	9894438.00 m S
5	527713.00 m E	9894455.00 m S

1.3.3. Delimitación Temporal

La presente investigación se realizará entre meses de Julio del 2024 a diciembre del 2024.

1.4.Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Realizar un análisis comparativo entre los métodos cono y arena y densímetro nuclear para la determinación de las densidades y humedades in situ en la vía que une a la ciudadela manta 2000 con la ciudadela universitaria del cantón Manta, provincia de Manabí.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Interpretar los datos obtenidos en los ensayos con densímetro nuclear y cono y Arena en la vía que une a la ciudadela Manta 2000 con la ciudadela universitaria del cantón Manta, para determinar el grado de compactación de la capa de mejoramiento.
- Comparar los resultados de ambos tipos de prueba, tomados relativamente en el mismo sitio, para determinar las diferencias en el grado de compactación.
- Demostrar que a pesar de que los procedimientos empleados son diferentes, estos guardan un tipo de correlación al momento de determinar la densidad de campo.
- Analizar la diferencia que existe entre la Arena de Mar con la Arena de Ottawa en la determinación de la Densidad in situ mediante el método de cono y arena.
- Determinar la diferencia de la Humedad obtenida con el Densímetro Nuclear en relación a la del ensayo Proctor.

1.5. Variables

1.5.1. Variable Independiente

Ensayos de control de calidad de compactación con el densímetro nuclear y cono de arena.

1.5.2. Variable Dependiente

Datos obtenidos de peso específico seco y su comparación de los resultados del sistema de medición.

2. CAPÍTULO II – MARCO TEÓRICO

2.1. Estado del Arte

2.1.1. Antecedentes

Este análisis comparativo ya ha sido realizado antes en muchos países como Guatemala, Perú, Tanzania y Chile; puntualmente hablando de Ecuador, este estudio fue realizado por el Ing. Juan Flores Cano de la Pontificia Universidad Católica de Quito. También fue realizado por el Ing. Fausto Esteban Valdivieso de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, asimismo por la Ing. Silvia Alexandra Guerrón de la Universidad central del Ecuador.

BR Gerardo E. Gil, de la Universidad Rafael Urdaneta, realizó en abril de 2011 un trabajo especial de grado titulado “Comparación entre densímetro nuclear y eléctrico con el cono y arena para el control de compactación de suelos.” Su objetivo fue comparar estadísticamente los resultados de estos dos densímetros y el método del cono y arena para asegurar la confiabilidad de los dispositivos, y evaluar la posibilidad de priorizar el densímetro eléctrico sobre el nuclear. La investigación concluye que en mediciones de compactación en suelos arenosos-arcillosos (SC), los tres métodos ofrecen resultados similares, permitiendo el uso de cualquiera de ellos.

Por su parte, Fausto Esteban Valdivieso, en la Universidad Santiago de Guayaquil, desarrolló en 2022 la tesis “Análisis Comparativo de la Utilización del Método de Cono y Arena

y Densímetro Nuclear para Determinar Densidades de Campo en Suelos Cohesivos para Terraplenes y Vías Procedente de la Cantera Ubicada en el Km 19.5 de la Carretera Guayaquil-Salinas” Este estudio busca analizar y comparar ambos métodos para determinar cuál es más recomendable para obras viales, con especial atención a las necesidades estructurales y la diversidad de suelos en Guayaquil, Ecuador

2.1.2. Compactación del suelo

La compactación de suelos, materiales de mejoramiento y capas de pavimento, es el proceso artificial por el cual las partículas de suelos y otros componentes son obligadas a estar más en contacto las unas de las otras, mediante una reducción del índice de vacíos, empleando medios mecánicos, lo cual se traduce en un mejoramiento de sus propiedades físico-mecánicas.

La importancia de la compactación de suelos estriba en el aumento de la resistencia y disminución de la capacidad de deformación que se obtiene al someter el suelo a técnicas convenientes, que aumentan el peso específico seco, disminuyendo sus vacíos

En el libro del Ministerio de Transporte del Ecuador se describe este proceso como “operación mecánica controlada para comprimir los suelos y materiales por reducción de espacios vacíos, mediante el empleo de equipo apropiado para la compactación del terreno natural original, terraplenes, rellenos y las varias capas del pavimento, de acuerdo con las presentes” (Ministerio de Obras Públicas, 2002).

El objetivo de este proceso es lograr que el suelo llegue a una densidad determinada con relación a su densidad seca máxima (DSM). Este grado de compactación relativa varía según el tipo de relleno que se esté haciendo:

Tabla 1- Grado de Compactación Relativa según el Tipo de Relleno

Compactación Relativa (Porcentaje)	Superficies o capas
90%	Terreno natural en zonas de relleno
95%	Terreno natural en zonas de corte
95%	Terraplenes o rellenos
95%	Subrasantes formadas por suelo seleccionado.

2.1.3. Factores que Influyen en la Compactación

2.1.3.1. Tipo de Suelo

Tiene influencia la granulometría del suelo, forma de sus partículas, contenido de finos, cantidad y tipo de minerales arcillosos, gravedad específica, entre otros. De acuerdo a la naturaleza del suelo se aplicarán técnicas adecuadas en el proceso de compactación. En laboratorio, un suelo grueso alcanzará densidades secas altas para contenidos óptimos de humedad bajos, en cambio los suelos finos presentan valores bajos de densidades secas máximas y altos contenidos óptimos de humedad.

2.1.3.2. Energía Específica

La energía específica es la presión aplicada al suelo por unidad de volumen, durante cualquier proceso de compactación.

El empleo de una mayor energía de compactación permite alcanzar densidades secas mayores y óptimos contenidos de humedad menores, esto se comprueba al analizar los resultados obtenidos con las pruebas Proctor Estándar y Proctor Modificado.

2.1.3.3. Método de Compactación

En el campo y laboratorio existen diferentes métodos de compactación. La elección de uno de ellos influirá en los resultados a obtenerse.

2.1.3.4.Humedad

El óptimo contenido de humedad es aquel que permite alcanzar la compactación ideal del suelo, logrando su máxima densidad seca. Si el suelo tiene menos humedad de la necesaria, se vuelve rígido y difícil de compactar, lo que genera bajas densidades y un alto contenido de aire. Por el contrario, si el nivel de humedad supera el óptimo, el aire en el suelo se mantiene constante, pero el exceso de agua reduce la densidad seca. (Londoño, 2022)

2.1.3.5.Temperatura y presencia de otras sustancias

Dependiendo de la temperatura puede producirse la evaporación o condensación del agua, la presencia de sustancias extrañas, puede también producir variación del resultado en la obtención de la densidad seca.

2.2.Afirmados y Pavimentos

2.2.1. Afirados

El afirmado consiste en una capa compactada del material granular natural o procesada con gradación específica que soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito.

El afirmado consta de una mezcla de materiales con las características siguientes:

- Grava o piedra triturada, que tiene por objeto soportarla carga.
- Arena clasificada, para llenar vacías entre la grava y así dar estabilidad a la capa.
- Finos plásticos, como arcilla, para dar cohesión a la grava y la arena.

El Afirado es un elemento que cumple la función de ser resistente, absorber las deformaciones de la subrasante debido a cambios volumétricos, también sirve de dren para evacuar el agua que se infiltra desde arriba (capa de rodadura) o impide la ascensión capilar proveniente del subsuelo hacia la base.

2.2.1.1. Materiales de Afirmado

El tipo de material utilizado depende de la región y de las fuentes locales de agregados, como canteras de cerro o de río. Además, varía según se emplee en una capa superficial o en una capa inferior, ya que esto determina el tamaño máximo de los agregados y la proporción de material fino o arcilla, característica esencial para una carretera de afirmado. (Transportes, 2013)

2.2.1.2. Preparación de subrasante

Se denomina subrasante al nivel terminado de la estructura vial ubicado debajo de la capa de base o de la sub base si la hubiera y se logrará conformando el terreno natural, mediante los cortes o rellenos que están considerados bajo estas sub-partidas.

La subrasante está constituida por el suelo natural resultante del corte, o por suelos transportados en el caso de rellenos. Tendrá el ancho completo de vía y estará libre de raíces, hierbas, desmonte o material suelto de inferior calidad al del suelo natural. Esta capa debidamente preparada formará la capa de apoyo de la estructura del pavimento.

Una vez concluidas las obras de movimiento de tierras y se haya comprobado que no existen dificultades con las redes y conexiones domiciliarias de energía, agua y desagüe, se procederá a la escarificación mediante moto niveladora (o a rastras en las zonas de difícil acceso), en una profundidad de 15 cm., debiéndose eliminar las partículas de tamaño mayor de 7.5 cm.

Luego de la escarificación se procederá al riego y batido de la capa de 15 cm. de espesor, con el empleo repetido y alternativo de camiones cisterna, provistos de dispositivos que garanticen un riego uniforme.

La operación será continua, hasta lograr un material homogéneo de humedad uniforme lo más cercana a la óptima, definida por el ensayo de compactación Proctor modificado, que se obtenga en laboratorio de una muestra representativa del suelo de la capa subrasante.

Luego se procederá a la explanación de este material homogéneo, hasta conformar una superficie que, de acuerdo a los perfiles y geometría del proyecto una vez compactada, alcance el nivel de la subrasante.

En general, para suelos cohesivos se utilizarán, siempre y cuando el ancho de zanja lo permita, rodillos pata de cabra de cilindros lisos y neumáticos con ruedas oscilantes. Para suelos granulares no cohesivos, se utilizarán rodillos de cilindros lisos y vibratorios.

Para verificar la calidad del suelo se utilizará los siguientes sistemas de control:

- Granulometría (AASHTO T88, ASTM D-422, NTP 339.128)
- Límites de consistencia (AASHTO T89, T90; ASTM-D-423-D-424)
- Clasificación HRB (AASHTO)
- Proctor modificado (AASHTO T 180, ASTM D-1557, NTP 339.141).

La frecuencia de estos ensayos, será determinada por la Supervisión y en todo caso es obligatoria cuando exista un evidente cambio en el tipo de suelo de la capa subrasante.

2.2.1.3. Condiciones generales de los materiales para sub base o base

Los trabajos de sub bases y bases consisten en el suministro, transporte, colocación y compactación de los materiales de afirmado o material granular sobre la subrasante terminada (o sub base si existiera), de acuerdo con la presente especificación.

El material para sub bases y bases se colocará en capas de 10 cm a menos que la capa sea de menor espesor, procediéndose a la compactación utilizando planchas vibratorias, rodillos vibradores. O algún equipo que permita alcanzar la densidad especificada.

El porcentaje de compactación no será menor al 100 % de la máxima densidad seca del Proctor modificado (AASHTO T180).

2.2.1.4.Sub base de afirmado o material granular

Se denomina sub base a la capa intermedia de la estructura de un pavimento ubicado entre la subrasante y la capa de base, sus funciones son económicas y estructurales con las siguientes características:

- Distribuir las cargas solicitantes, de manera que sobre las subrasantes actúen presiones compatibles con la calidad de ésta.
- Absorber las deformaciones en las subrasantes, debido a cambios volumétricos.
- Servir de dren para evacuar el agua que se infiltra desde arriba o impedir la ascensión capilar hacia la base.

2.2.1.5.Base de afirmado o material granular

El afirmado se presenta como capa de material selecto procesado o semi procesado de acuerdo a diseño, que se coloca sobre la subrasante o sub base. Funciona como capa de rodadura y de soporte al tráfico en vías no pavimentadas.

En vías pavimentadas el afirmado o material granular se coloca como Base y corresponde a la capa intermedia de la estructura del pavimento ubicada entre la subrasante (o sub base si existiera) y la carpeta de rodamiento.

Los materiales que se usarán como base serán selectos, provistos de suficiente cantidad de vacíos para garantizar su resistencia, estabilidad y capacidad de drenaje.

Tabla 2 Requerimientos Granulométricos para Sub-base Granular

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso			
	Gradación A (1)	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	---	---
25 mm (1")	---	75 - 95	100	100
9.5 mm (3/8")	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100
4.75 mm (N° 4)	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85
2.0 mm (N° 10)	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70
4.25 um (N° 40)	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45
75 um (N° 200)	2 - 8	5 - 15	5 - 15	8 - 15

En caso que se mezcle dos o más materiales para lograr la Granulometría requerida, los porcentajes serán referidos en volumen. Además, se debe cumplir las siguientes características:

- C. B. R. mínimo 80 % en base, 30 % en sub base.
- Límite Líquido menor de 25 % en base y máximo 25 % en sub base.
- Índice de plasticidad menor de 5% en base y máximo 6% en sub base.
- Equivalencia de arena mínimo 50 % en base y 25 % en sub base.
- Desgaste de abrasión menor de 50% en base

2.2.2. Pavimentos

El pavimento es una estructura de varias capas construidas sobre la subrasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originales por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: base, sub base y capa de rodadura.

- a) Capa de Rodadura: Es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso(flexible) o de concreto de cemento Portland(rigido) o de adoquines, cuya función es sostener directamente el tránsito, además de actuar como capa impermeable para impedir la infiltración de agua en la estructura del pavimento.

- b) Base: Es la encargada de recibir los esfuerzos de la capa de rodadura y transmitirlo de forma adecuada a la sub-base y a la subrasante.
- c) Sub-base: Tiene la función de actuar como capa de transición entre la base y la subrasante, puesto que impide la penetración de materiales finos de la subrasante así como la ascensión capilar.

La división en capas en un pavimento responde a criterios económicos, ya que al determinar el espesor de cada capa, se busca darle el grosor mínimo necesario para disminuir los esfuerzos transmitidos a la capa inferior. La resistencia de estas capas no solo depende del material utilizado, sino también del proceso constructivo. Factores como la compactación y el control de la humedad son fundamentales, ya que un material mal compactado tiende a consolidarse bajo la acción de las cargas, lo que puede generar deformaciones permanentes.

2.2.2.1.Pavimento Flexible

Los pavimentos flexibles se caracterizan por estar conformados principalmente de una capa bituminosa, que se apoya de otras capas inferiores llamadas base y sub-base. Tiene un periodo de vida entre 10 y 15 años.

2.2.2.2.Pavimento Rígido

Los pavimentos rígidos son aquellos que se constituyen principalmente de una capa de concreto hidráulicos y de materiales seleccionados como aglomerantes, arenas y toda clase de material granular. Su periodo de vida varía entre 20 y 40 años.

2.3.Granulometría

La granulometría permite estudiar y conocer el tamaño de las partículas y sedimentos presentes en una muestra, y medir la importancia que tendrán según la fracción de suelo que representen.

Mediante el análisis granulométrico se puede obtener información importante como: su origen, propiedades mecánicas y el cálculo de la abundancia de cada uno de los granos según su tamaño dentro de la escala granulométrica, la cual se usa para clasificar los diámetros por tamaños de las partículas de un árido y se separan mediante tamices. Esta práctica es necesaria y fundamental antes de realizar una construcción sobre el suelo escogido para tal fin.

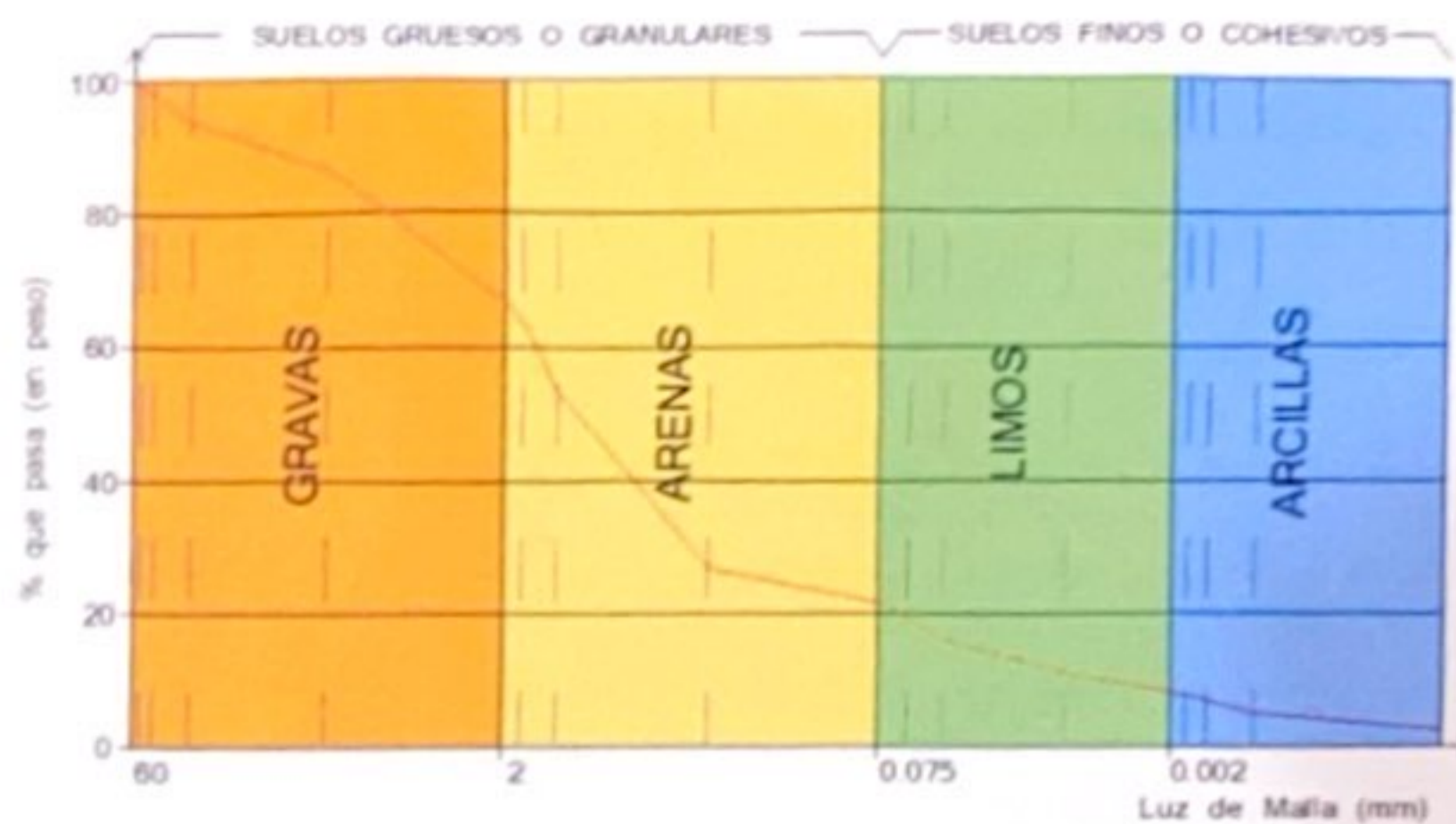
Tabla 3 Granulometría según su tamaño

TAMIZ (ASTM)	TAMIZ (NCH) (MM)	ABERTURA REAL (MM)	TIPO DE SUELO
3"	80	76.12	GRAVA
2"	50	50.8	
1 1/2"	40	38.1	
1"	25	25.4	
3/4"	20	19.05	
3/8"	10	9.52	
No. 4	5	4.76	ARENA GRUESA
No. 10	2	2	ARENA MEDIA
No. 20	0.9	0.84	
No. 40	0.5	0.42	
No. 60	0.3	0.25	ARENA FINA
No. 140	0.1	0.105	
No. 200	0.08	0.074	

Si se quiere analizar, la distribución granulométrica de la fracción fina de un suelo (partículas menores a 0,075mm) se debe recurrir al método de análisis por sedimentación (sedimentometría). Mientras que para conocer la distribución de la fracción gruesa se utiliza el tamizado (vía seca) y/o vía húmeda

La curva granulométrica de un suelo es una representación gráfica de los resultados obtenidos en un laboratorio cuando se analiza la estructura del suelo desde el punto de vista del tamaño de las partículas que lo forman. Las curvas granulométricas se usan para comparar diferentes suelos (COTECNO, s.f.).

Figura 1. Curva Granulométrica de un suelo



Esta prueba también va de la mano y es lo que permite a los ingenieros clasificar el suelo de una manera más objetiva, utilizando las dos nomenclaturas más conocidas: SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) y AASHTO (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes).

2.4. Sistemas de Clasificación de Suelos

2.4.1. Sistema de Clasificación de la AASHTO

Este es el sistema del Departamento de Caminos de U.S.A., introducido en 1.929. Es de uso especial para la construcción de vías, en especial para manejo de subrasantes y terraplenes.

El sistema describe un procedimiento para clasificar suelos en siete grupos principales; desde A-1 hasta A-7, basado en el tamaño del grano (análisis granulométrico), en la plasticidad (Límites de consistencia de Atterberg). Para evaluación cualitativa de la conveniencia de un suelo como material para subrasante de un camino, se desarrolló también un número denominado índice de grupo (IG).

Tabla 4. Clasificación AASHTO

Clasificación General		Materiales granulares 35% o menos pasan la malla 200							Materiales limosos y arcillosos más del 35% pasa la malla No 200					
Grupos		A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7			
		A-1-a	a-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6				A-2-7	A-7-5	A-7-6	
Análisis por mallas.	10	50 Max												
% que pasa la malla	40	30 Max	50 Max	51 Min										
No	200	15Max	25 Max	10 Max	35 Max	35 Max	35 Max	35 Max	36 Min	36 Min	36 Min	36 Min	36 Min	
Característica de la fracción que pasa la malla 40	LL			40 Max			41 Min		40 Max		41 Min		41 Min	
	LP	6 Max	6 Max	NP	10 Max	10Max	11 Min	11 Min	10 Max	10 Max	11 Min	11 Min	11 Min	11 Min
Índice de grupo		0	0	0	0	4 Max	8 Max	4 Max	8 Max	12 Max	16 Max	20 Max	20 Max	20 Max
Tipo usual de materiales constituyentes		Piedra Grava Arena		Arena	Arena limosa o arcillosa, arena			Suelos limosos		Suelos arcillosos				
Comportamiento general como subbase		EXELENTE A BUENO					ACEPTABLE A MALO							

Nota: En la división A-7, cuando IP > 30, el grupo A-7-5. Si el IP < 30 el grupo es A-7-6

2.4.2. Sistema de Clasificación Unificada SUCS

La forma original del sistema de clasificación de suelos fue desarrollada por Arthur Casagrande en el año 1,942, como una herramienta para ser usada en las construcciones diseñadas por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos durante la Segunda Guerra Mundial.

De inicio, los suelos se dividen en dos grandes grupos: gruesos y finos. Los suelos gruesos son aquellos en los que más del 50% de su peso queda retenido por el tamiz 200 (0.076 mm). Los suelos finos son aquellos en que más del 50% de su peso pasa el tamiz 200. Los gruesos a su vez se subdividen nuevamente, según su granulometría, atendiendo a que por ciento de la fracción gruesa se retiene en el tamiz No. 4 (4.76 mm). Si se retiene más del 50% en peso de la fracción mayor retenida en el tamiz 200, en el tamiz 4 se califica el suelo de gravoso, y en caso contrario se califica de arenoso

Tabla 5. Terminología del Sistema de Clasificación SUCS

	TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUFIJO
SUELO GRUESO	GRAVA	G	Bien Graduado	W
	ARENA	S	Pobremente Graduado	P
SUELO FINO	LIMO	M	Limoso	M
	ARCILLA	C	Arcilloso	C
	ORGANICO	O	Baja Plasticidad	L
			Alta Plasticidad	H

Tabla 6. Sistema de Clasificación SUCS

DIVISIONES MAYORES		SIMBOLO DE GRUPO		NOMBRES TIPICO	CRITERIOS DE CLASIFICACION PARA SUELOS GRANULARES		
SUELOS DE GRANO GRUESO SI MENOS DEL 50% DEL MATERIAL PASA EL TAMIZ No. 200	Gravas (Si menos del 50% de la fricción gruesa pasa por el tamiz No. 4)	Gravas limpias (pocos o ningún fino)	GW		Gravas bien gradadas, mezclas gravosas, pocos o ningún fino	$Cu = D_{60}/D_{10} > 4$ $Cc = 1 < D_{30}^2/D_{10} * D_{60} < 3$	
			GP		Gravas pobremente gradadas, mezclas grava-arena, pocos o ningún fino		
		Gravas con finos (cantidad apreciable de finos)	GM	d/u	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo	Límites de Atterberg por debajo de la línea A o $IP < 4$ A los materiales sobre la línea A con $4 < IP < 7$ se considera de frontera y se les asigna doble símbolo	
			GC		Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcillosas		
		Arenas (Si mas del 50% de la fricción gruesa pasa por el tamiz No. 4)	Arenas limpias (pocos o ningún fino)	SW		Arena bien gradadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino	$Cu = D_{60}/D_{10} > 4$ $Cc = 1 < D_{30}^2/D_{10} * D_{60} < 3$
				SP		Arenas pobremente gradadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino	
	Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)		SM	d/u	Arenas limosas, mezclas arena-limo	Límites de Atterberg por debajo de la línea A o $IP < 4$ A los materiales sobre la línea A con $4 < IP < 7$ se considera de frontera y se les asigna doble símbolo	
			SC		Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla		

transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg. Normalmente se realiza este ensayo con la muestra de suelo que haya pasado a través del tamiz #40 (Santín, 2005).

- a) Límite Plástico. - Es el horizonte entre los estado semisólido y plástico. Al suelo se lo considera plástico cuando es moldeable y pierde su estado granular.
- b) Límite Líquido. - Es el horizonte entre los estados plásticos y líquidos. Es decir, cuando el suelo a perdido toda su consistencia y se ha convertido en un lodo prácticamente líquido.
- c) Índice de grupo: Todos los suelos que tienen un comportamiento similar se encuentran ubicados dentro de un mismo grupo y representados por un índice que es el llamado IG.

2.4.2.2. Índice de plasticidad

Numéricamente es la diferencia entre el límite líquido (L.L.) y el Límite plástico. El cual representa la variación de humedad que puede tener un suelo que se conserva en estado plástico. Tanto el límite líquido como el límite plástico dependen de la calidad y tipo de arcilla presente en la muestra.

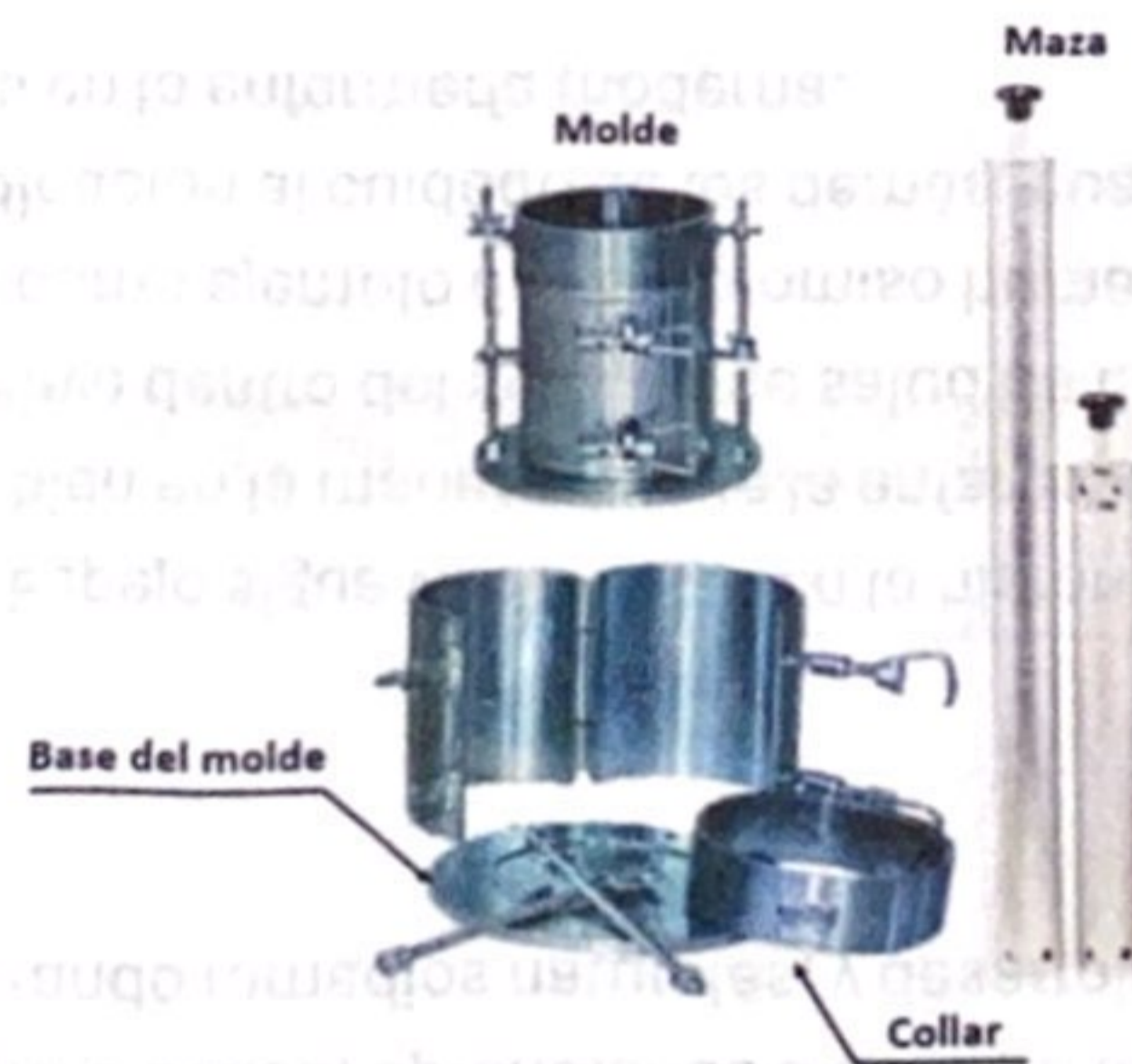
Tabla 8. Índice de Plasticidad

SI $IP=0$	Si no es posible determinar uno de los dos Límites (LL o LP), o si la diferencia es negativa (IP), el suelo se clasifica como NO PLÁSTICO (NP)
SI $IP < 7$	El suelo tiene una baja plasticidad
SI $7 < IP < 17$	El suelo es medianamente plástico
SI $IP > 17$	Suelo altamente plástico

2.5. Ensayo Proctor

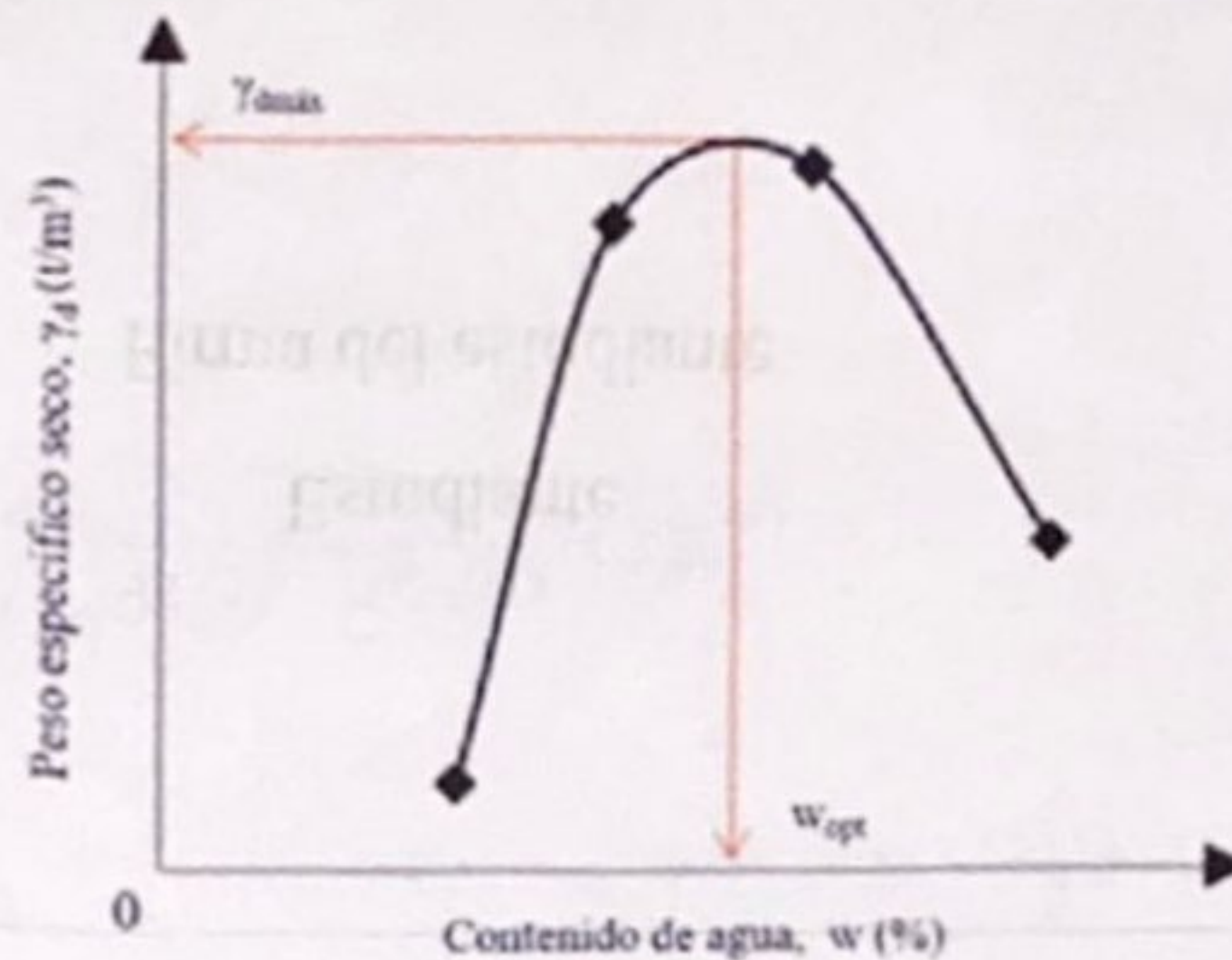
El ensayo Proctor se emplea para determinar la relación entre la densidad seca y la humedad de compactación de los materiales a utilizar tanto en explanadas como en capas granulares de firmes. Así, los resultados del ensayo serán utilizados como referencia para el control de calidad de la compactación en obra. Existen dos ensayos Proctor, el ensayo Proctor Normal que se rige por la norma UNE 103-500-94, y el ensayo Proctor Modificado que se rige por la norma UNE 103-501-94. El objeto de ambos ensayos es determinar, en un suelo o capa granular, la relación entre la densidad seca y la humedad para una energía de compactación dada (definida en la norma UNE correspondiente), y definir la densidad seca máxima y su humedad correspondiente, denominada óptima, que se puede conseguir con ese suelo en el laboratorio (Maldonado, s.f)

Figura 2. Equipo Proctor



Como afirma (Flores, 2014) “el objetivo de este ensayo es determinar la relación que existe entre el contenido de agua de un suelo o un material y su peso unitario seco a través de una curva de compactación”.

Figura 3. Curva de Compactación



2.5.1. Contenido de humedad

Es el peso del agua contenida en la muestra del suelo (libre, adsorbida, capilar o higroscópica), expresada como porcentaje del peso de la misma muestra secada al horno a 110° C., hasta que ella no registre variaciones en su peso. La humedad de la muestra de un suelo, es la relación que existe entre el peso de agua contenida en la muestra y el peso de la muestra después de ser secada al horno, expresada como un %.

Este es, sin duda alguna, el ensayo que se efectúa más a menudo en los laboratorios de suelos, pues es necesario para poder efectuar otras pruebas, tales como: el Proctor, el CBR, los límites de Atterberg, las densidades de campo, entre otros.

2.5.2. Densidad de Campo

La Densidad de Campo en caso de Ingeniería Civil y el porcentaje (%) de compactación.

La Densidad de Campo sirve para conocer y controlar la compactación de terraplenes y diferentes capas para la construcción de carreteras, también se usa para determinar la densidad "in situ" y porcentajes de contracción o hinchamiento de los materiales. Los pesos unitarios pueden expresarse en las siguientes unidades: gr/cm³, kg/m³, lb/pie³.

El objetivo principal de la práctica se centra en determinar mediante un ensayo (en el sitio donde se toma la muestra) la densidad o peso unitario del suelo usando los métodos del Cono de Arena, y Densímetro Nuclear.

La compactación de suelos es un proceso artificial en el cual las partículas de suelo son obligadas a estar más en contacto las unas con las otras, mediante una reducción de vacíos, empleando algún medio mecánico, esto se realiza para mejorar las propiedades ingenieriles del suelo.

La importancia de la compactación de suelos radica en el aumento de la resistencia y disminución en la capacidad de deformación que se obtiene al someter al suelo a técnicas, que aumenten el peso específico seco, disminuyendo los vacíos. Los métodos empleados para la compactación de suelos dependen del tipo de materiales con que se trabaje en cada caso; en los materiales puramente friccionantes como la arena, los métodos vibratorios son los más eficientes, en tanto que en suelos plásticos el procedimiento de carga estática resulta el más ventajoso. En la práctica, estas características se reflejan en el equipo disponible para el trabajo.

Se encuentra dos tipos de peso unitario:

- a) Peso unitario húmedo: es el peso del material húmedo, en el situ, por unidad de volumen.
- b) Peso unitario seco.: es el peso del material seco por unidad de volumen, en el sitio. Este es el que determina en la prueba de densidad de campo y el que se compara con el valor máximo obtenido en la prueba de Proctor modificado para obtener el % de compactación.

2.6. Métodos Utilizados

2.6.1. Método del Cono y Arena

El método de cono y arena o de Sand Cone, como se lo conoce en la norma ASTM D1556/D1556M, es una prueba que se realiza la toma en campo y los cálculos en el laboratorio. Sirve para determinar la densidad relativa de un suelo compactado, en base a una DSM y humedad óptima determinadas anteriormente con el Proctor; o sacando directamente de la norma, “This test method may be used to determine the in-place density and unit weight of soils using a sand cone apparatus.” (ASTM, Método de prueba estándar para la densidad y el peso unitario del suelo en el lugar mediante el método del cono de arena , 2015).

Figura 4. Prueba de Cono y Arena

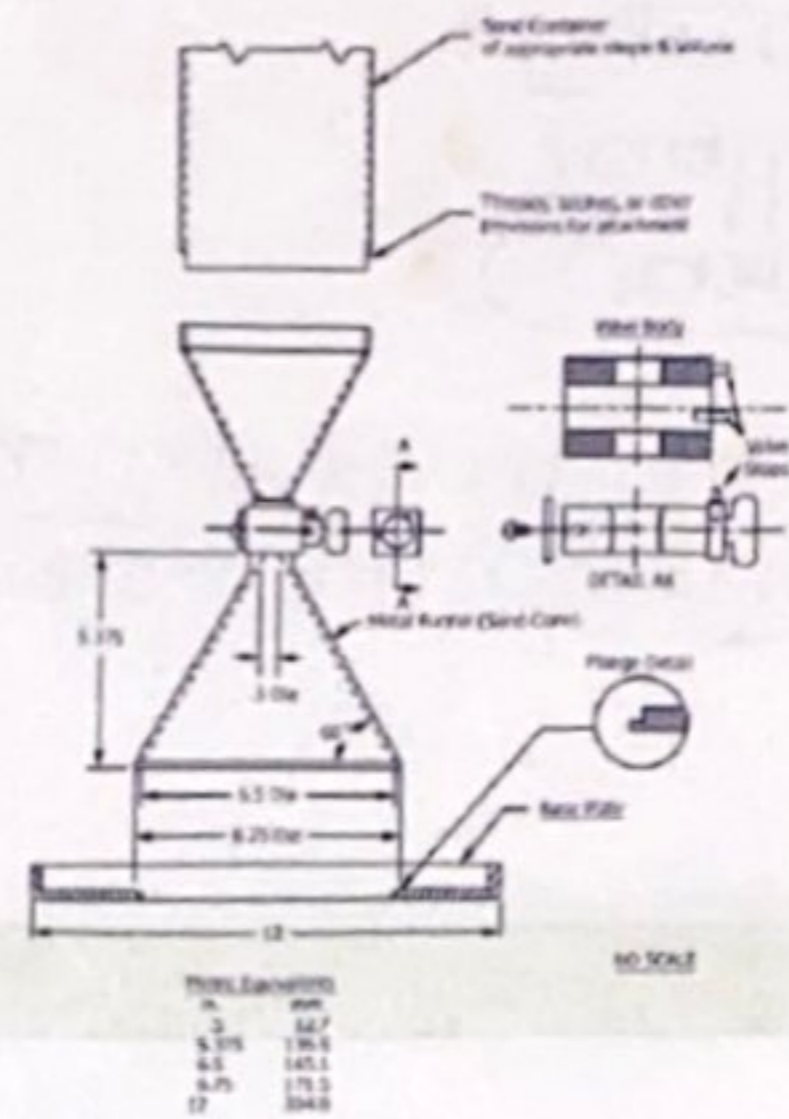


En otras palabras, “este método permite cuantificar la densidad seca de un suelo compactado por medio de la relación masa/volumen, donde el volumen se determina excavando una perforación en el terreno a ensayar, para luego llenar la perforación con una arena mono granular de densidad conocida por medio de un cono normalizado” (Soledad, 2006).

La herramienta principal de esta prueba está compuesta por una válvula con un hueco de 12.5mm ($\frac{1}{2}$ ”) de diámetro que está en la mitad de dos piezas metálicas; la parte superior es un embudo pequeño con un contenedor de arena, de entre 3 y 5 litros y la inferior es un embudo más

grande que va ubicado sobre el suelo. Es importante que las paredes del cono inferior formen un ángulo de aproximadamente 60° para que la arena fluya uniformemente.

Figura 5. Aparato de Cono y Arena



Lo mencionado anteriormente lo explica también el Ministerio de Obras Públicas de Chile, diciendo que “Es un aparato medidor de volumen, provisto de una válvula cilíndrica de 12,5mm de abertura, que controla el llenado de un cono de 6” de diámetro y 60° de ángulo basa. La válvula debe tener topes que permitan fijarles oposición completamente cerrada completamente abierta” (MOP Chile, 2014).

Algo importante sobre esta prueba es que “Este equipo permite el control de capas de suelo de espesor >20 cm y de hasta 150 mm de tamaño máximo absoluto de partículas”; es decir que no se puede utilizar esta prueba para capas con espesores mayores o partículas de suelo muy grandes.

2.6.1.1. Arena Ottawa (Arena especial para pruebas)

La arena de Ottawa significa sílice (SiO₂) de arena enteramente compuesto de granos rodeados de casi puro cuarzo, usados para preparar morteros y en la ejecución de pruebas del cemento hidráulico. Es un tipo de arena especial que se utiliza principalmente en ensayos de laboratorio, sobre todo para realizar pruebas en la industria de la construcción. Se llama así porque proviene de depósitos de arena cerca de Ottawa, Canadá. Esta arena es conocida por ser muy pura.

Una de las principales características de la Arena Ottawa es su granulometría uniforme, lo que significa que las partículas de arena tienen un tamaño consistente. Esta uniformidad es crucial en pruebas de laboratorio porque permite obtener resultados más precisos y reproducibles, ya que el tamaño de las partículas de arena puede influir en el comportamiento de los materiales que se están probando.

Fabricándola en el laboratorio. - Esto se hace mediante granulometría y filtros buscando arena "compuesta por partículas sanas, redondeadas, no cementadas y comprendidas entre 1 y 2 mm. Generalmente material que pasa el tamiz No. 20 (0.085mm) y ésta se encuentra retenida por el tamiz No. 30 (0.060mm). Debe estar lavada y seca en estufa a $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Para elegir la arena deben efectuarse previamente cinco determinaciones de su densidad aparente empleando la misma muestra representativa.

Comprándola directamente desde otro laboratorio. - Esto es más rápido, pero suele ser muy costoso y difícil de adquirir por la gran demanda que existe y por la poca oferta que hay. Además, como la mayoría de los laboratorios fabricantes están en el extranjero, hay que considerar tiempos y costos de importación

Al mismo tiempo, considerando que es difícil de fabricar o comprar, algo muy negativo de esta arena es que no es recomendable reusarla después de que ya se la utilizó en una prueba; ya que puede estar contaminada y ya no cumplir con la norma.

2.6.2. Método del Densímetro Nuclear

El método nuclear ha adquirido popularidad debido a su exactitud y rapidez, los resultados de la prueba se obtienen aproximadamente en 15 segundos, y es de considerar que es una prueba no destructiva. pero, tal como lo dice su nombre, lo hace mediante la utilización de señales radioactivas. Todo el proceso sobre cómo utilizar y hacer las pruebas con densímetro nuclear están

Prácticas de Laboratorio | Taller | Centro de Simulación



expuestas en la norma (ASTM, 2017). Además, opera bajo el principio “suelos densos absorben más radiación que suelos sueltos”

Figura 6. Densímetro Nuclear



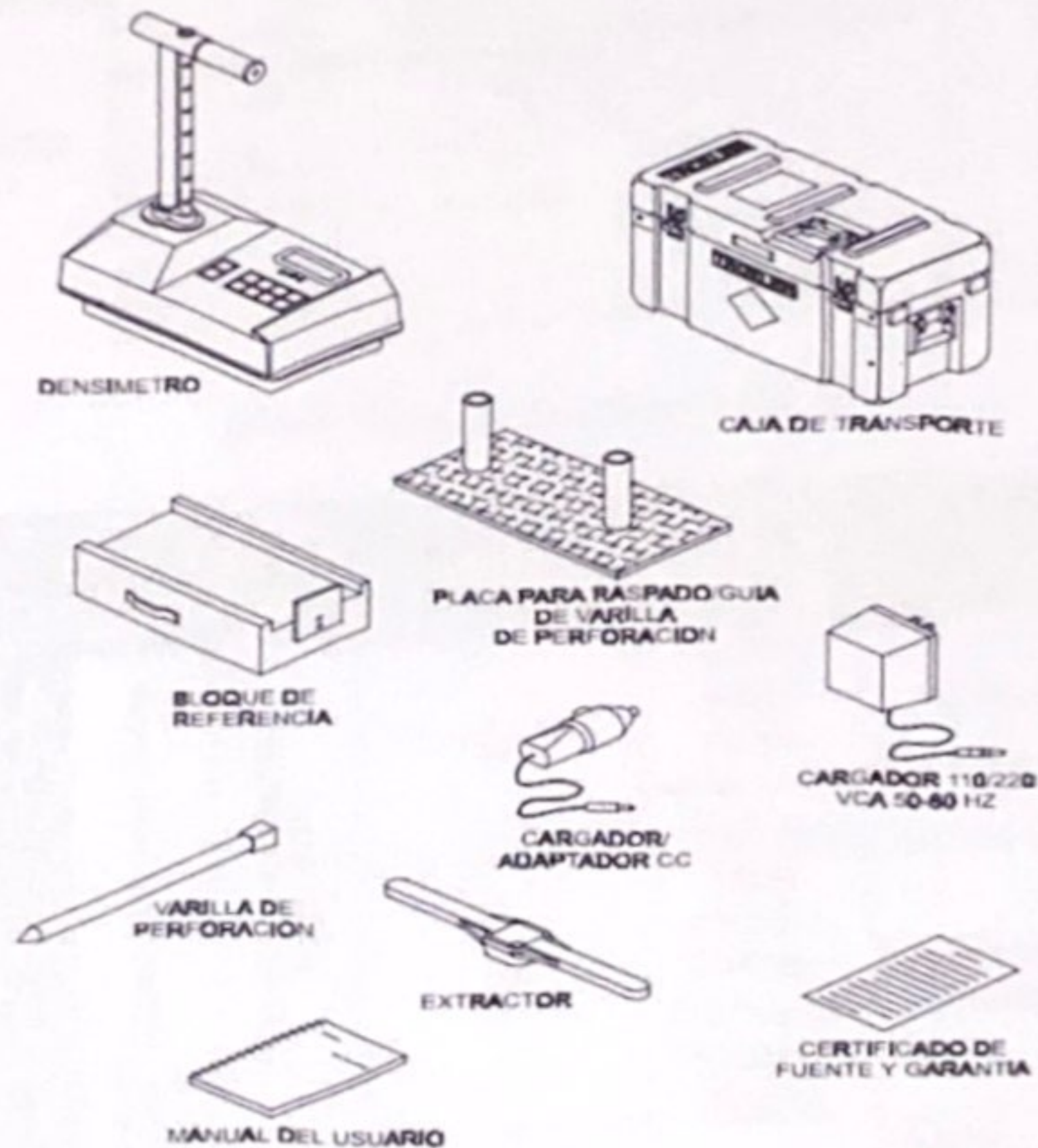
2.6.2.1. Partes del Densímetro Nuclear

1. **Densímetro** es un instrumento portátil que contiene todos los módulos electrónicos, bloques (conjuntos) de baterías recargables, detectores y fuentes radiactivas.
2. **Bloque de referencia** proporciona un material que sirve de referencia constante para efectuar los ajustes en la sonda, los cuales son necesarios para compensar la desintegración progresiva de la fuente.
3. **Placa para alisado/guía de la varilla de perforación** se utiliza para preparar el terreno de emplazamiento, o la porción de tierra sobre la cual se va a colocar el equipo, y para guiar la varilla al hacer la perforación.
4. **Varilla de perforación** se utiliza para preparar un orificio cuando se va a efectuar una medición de transmisión directa.
5. **Caja para la batería de repuesto** está incluida para uso con baterías alcalinas.
6. **Caja de transporte** es un contenedor diseñado para el transporte de la sonda y sus

partes asociadas.

7. **Extractor** es una herramienta para sacar la varilla de perforación del material probado

Figura 7. Accesorios del Densímetro Nuclear



“El ensayo consiste en introducir una varilla de metal en cuya punta posee una pastilla de Cesio y Americio, que viene con el equipo a una profundidad de 10 a 15 cm.” Esta fuente radioactiva es capaz de determinar la densidad del suelo debido a “la interacción de los rayos gamma provenientes de una fuente radiactiva y los electrones de las órbitas exteriores de los átomos del suelo, la cual es captada por un detector gamma situado a corta distancia de la fuente emisora, sobre, dentro o adyacente al material a medir”; mientras que la humedad del suelo se la puede determinar “como el número de electrones presente por unidad de volumen de suelo es proporcional a la densidad de éste, es posible correlacionar el número relativo de rayos gamma dispersos con el número de rayos detectados por unidad de tiempo, el cual es inversamente proporcional a la densidad húmeda del material.” (de León Monroy, 2002)

La ASTM obliga que el aparato debe ser calibrado diariamente y registrado los datos para tener un récord histórico del aparato y saber su eficacia y asegurar cumplimiento. Esta calibración se la puede hacer por dos métodos: Curva de Calibración o comparación con cono y Arena.

Este aparato suele usar dos tipos de fuente radioactiva, Cesio para medir la densidad y Americio para medir la humedad

2.6.3. Tipos de Medición

El densímetro nuclear se lo puede utilizar para realizar distintos tipos de mediciones, todas dependiendo del material que se está midiendo y de la profundidad de inserción de la varilla metálica. Existen 5 tipos:

- a) **Transmisión directa:** Este tipo de medición es la más riesgosa debido a que la fuente radiactiva sale del aparato. En este modo de operación la fuente gamma se posiciona a una profundidad específica, dentro de la capa del material a evaluar, mediante su inserción a través de un orificio de acceso hecho con la varilla de perforación. Las emisiones gamma son transmitidas a través del material, hacia los detectores, dentro del densímetro. Este tipo de operación minimiza la incertidumbre ocasionada por las superficies rugosas y la composición química del material evaluado, determinando una elevada exactitud en las mediciones. La transmisión directa es utilizada para la evaluación en capas con espesor de medio a grueso, de suelos, agregados, capas asfálticas losas de concreto hidráulico.
- b) **Retro Transmisión:** Es un método muy rápido, donde todos los elementos radioactivos se mantienen siempre dentro del equipo. En este método solo se deja el equipo en la superficie y se lo activa provocando que “las emisiones gamma

penetren en el material evaluado; las emisiones que son recibidas por los detectores son cuantificadas.

c) **Colchón de Aire:** A diferencia de los demás métodos, este se realiza separando al equipo del suelo con unos soportes. Esta se combina con la de retro transmisión para verificar la eficacia de los resultados y se debe leer el manual del fabricante para poder entender las lecturas. Esta y la de retro transmisión son las más seguras por no sacar nunca la fuente radioactiva.

d) **Humedad:** En este método también se mantiene la fuente dentro del equipo. Lo que hace es emitir neutrones a altas velocidades a la capa analizada y “son detenidas parcialmente por sus colisiones contra los átomos de hidrógeno dentro del material.

e) **Capa Delgada:** Este método está patentado y solo es realizado por los equipos de TROXLER ELECTRONIC INC. y permite determinar las densidades de capas asfálticas y losas de concreto delgadas de entre 1 a 4”.

2.6.3.1.Efectos de la radiación ionizante

En términos generales podemos afirmar que las radiaciones ionizantes pueden causar: daño celular, modificaciones genéticas, cáncer, leucemia, acortamiento de la vida, reacciones locales, depilación, atrofia, ulcera, esterilidad y hasta la muerte. Los efectos dependen de la dosis recibida, el tipo de radiación y la parte de cuerpo expuesta, entre otros factores.

3. CAPITULO III- DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de Investigación, Nivel de investigación y diseño de Investigación

3.1.1. Tipo de Investigación

El enfoque de la presente investigación es cuantitativo, porque se tomaron datos de los resultados de las pruebas de residencia de los ensayos ejecutados.

3.1.2. Nivel de Investigación

El nivel es descriptivo experimental.

Se utilizará el método inductivo: Se realizará distintos ensayos y a partir de ahí podemos inducir que los objetivos se cumplen. Se emplea la observación y la experimentación para llegar a las generalidades de hechos que se repiten una y otra vez.

Esta investigación se define como de tipo descriptivo ya que cuenta con la finalidad de recaudar información con ayuda de guías, libros y otros. Es decir, el objetivo de esta investigación es recolectar datos sobre la compactación del suelo utilizando el “densímetro nuclear” y “cono de arena”.

3.2. Ubicación de la vía

Figura 8. Ubicación de la Vía



Vía que une a la ciudadela manta 2000 con la ciudadela universitaria del cantón Manta, provincia de Manabí.

3.3. Ensayos de Control a utilizarse en la presente Investigación

3.3.1. Ensayos para determinar la clasificación general de la Muestra

3.3.1.1. Ensayo de Granulometría por Lavado

Materiales

- Balanza
- Agua
- Tamiz N4, N10, N40, N200
- Muestra de 200 gr
- Horno
- Tara

Procedimiento

1. Se extrajo una muestra del suelo de 200,00 g, se procede a colocarla en el horno para que el contenido de humedad desaparezca.
2. Luego se Saca la muestra del horno y la colocamos en el tamiz No. 200, se lava cuidadosamente el material a través del tamiz utilizando agua común, se debe evitar que pueda salpicar fuera del tamiz.
3. El proceso de lavado se realiza por un periodo de tiempo suficiente hasta lograr que el agua en la parte superficial de la suspensión se vuelva transparente.
4. Al día siguiente, pesar el residuo secado al horno. Hacer pasar la muestra a través de una serie de tamices tales como el N4, N10, N40 y el N200. Estos se proceden a agitar obteniendo así material retenido en cada tamiz.

5. Se procede a colocar el material retenido en una tara y se lo coloca por lo consiguiente en la balanza, obteniendo así el peso que quedó retenido. Si se tiene una pérdida más del dos por ciento con respecto al peso original se considera no satisfactorio.

Ilustración 1. Proceso de Lavado de la muestra por el Tamiz #200



Ilustración 2. Muestra secada y Tamizada.



a) Muestra Secada



b) Muestra Pasada por el Tamiz #40

3.3.1.2. Ensayo de Limite Líquido

Materiales

- Copa de Casagrande (ASTM D4318)
- Ranurador
- Tamiz No. 40.
- Balanza
- Espátula con hoja flexible
- Recipiente
- Taras
- agua
- Horno
- Muestra del Suelo 200 gr

Procedimiento

1. Tamizar por el tamiz # 40 una porción de muestra de suelo (previamente secada 24 horas) hasta obtener aproximadamente 200 gramos de material pasante.
2. Una vez pesados los 200 gramos de muestra que pasa el tamiz 40, se procede a ubicar en otro recipiente la mitad de la muestra y a esta se le empieza a agregar agua hasta formar una pasta suave.
3. Usando la espátula ubicar la muestra en la cuchara de casa grande procurando que el espesor de la capa sea uniforme y no sobrepase la altura del ranurador.
4. Usando el ranurador hacer un canal en la parte central de la muestra desde adelante hacia atrás, retirando el exceso de material con la espátula de punta redondeada.

5. Accionar la cuchara de casa grande girándola con sentido de las manecillas del reloj hasta que la muestra se cierre en aproximadamente 13mm.
6. Realizar el proceso anterior agregando agua o muestra seca, buscando que la ranura se cierre con una cantidad de golpes que esté dentro de las siguientes 3 series: 12-15, 15-25, 25-35.
7. Pesar 6 taras, apuntando sus códigos.
8. Retirar una porción de cada lado de la ranura y pesarlas en las taras previamente pesadas y codificadas, apuntando tanto los pesos, como el número de golpes. (hacer esto con cada una de las tres series).
9. Llevar las 6 taras con muestra al horno, dejando secar por 24 horas.
10. Pesar las muestras de suelo seco. (límite líquido se expresa en porcentaje).

Ilustración 3 Mezcla de la muestra con agua y accionar de la cuchara casa grande.



a) Formación de una pasta suave



b) Girando la cuchara casa grande

Ilustración 4. Equipo Cuchara casa Grande y Muestra de la Serie 12-15



a) Cierre de la ranura entre 12-15



b) Porción de la muestra de Serie

3.3.1.3. Ensayo de Limite Plástico

Materiales

- Vidrio Esmerilado
- Taras
- Muestra del Suelo sobrante del L.L
- Agua
- Balanza
- Horno

Procedimiento

1. Con el material seco sobrante del ensayo de limite líquido, agregar una mínima cantidad de agua para formar esferas consistentes con la palma de la mano.
2. Usando el vidrio esmerilado deslizar la esfera en forma ascendente y descendente (haciendo que la muestra pierda humedad) hasta formar cilindros alargados de aproximadamente 3 mm de diámetro.

3. Repetir el proceso anterior hasta que los cilindros se cuarteen o se agrieten en trozos de entre 5 y 15 mm.
4. Pesar 2 taras, apuntando sus códigos.
5. Ubicar en las 2 taras los cilindros cuarteados y pesar en la balanza.
6. Llevar las 2 taras con muestra al horno, dejando secar por 24 horas.
7. Pesar las muestras de suelo seco.
8. Calcular el límite plástico con las diferencias de humedades de las muestras secadas al horno expresándolo en porcentaje.

Ilustración 5. Muestra en forma de Cilindro agrietada y pesada en la balanza



a) Plasticidad

b) Tara con muestra pesada

3.3.2. Ensayos para el control de la compactación en los suelos

3.3.2.1. Ensayo de Contenido de Humedad

Materiales

- Balanza
- Horno

- Espátula
- Recipientes

Procedimiento

1. Primero se debe obtener el peso del recipiente con la ayuda de la balanza.
Luego se coloca la muestra en el recipiente y se pesa con la ayuda de la balanza. Este peso se registra en la hoja de datos como peso de tarro más la muestra húmeda.
2. Se coloca el recipiente con la muestra en el horno de manera que esta se seque.
3. Cuando ya ha secado la muestra se saca del horno y se deja enfriar hasta que regrese a su temperatura ambiente.
4. Se pesa el recipiente con la muestra y el dato se registra en la hoja de datos como peso de tarro más la muestra seca Si el peso del recipiente no ha sido obtenido.

Ilustración 6. Peso del Tarro más muestra húmeda y luego seca.



a) Muestra Húmeda



b) Muestra Seca

3.3.2.2. Ensayo de Proctor Modificado

Materiales

- Molde de compactación
- Pistón
- Horno
- Balanza.
- Bandeja
- Tamiz.
- Regla para enrasar
- Probeta Graduada
- Capsulas

Procedimiento

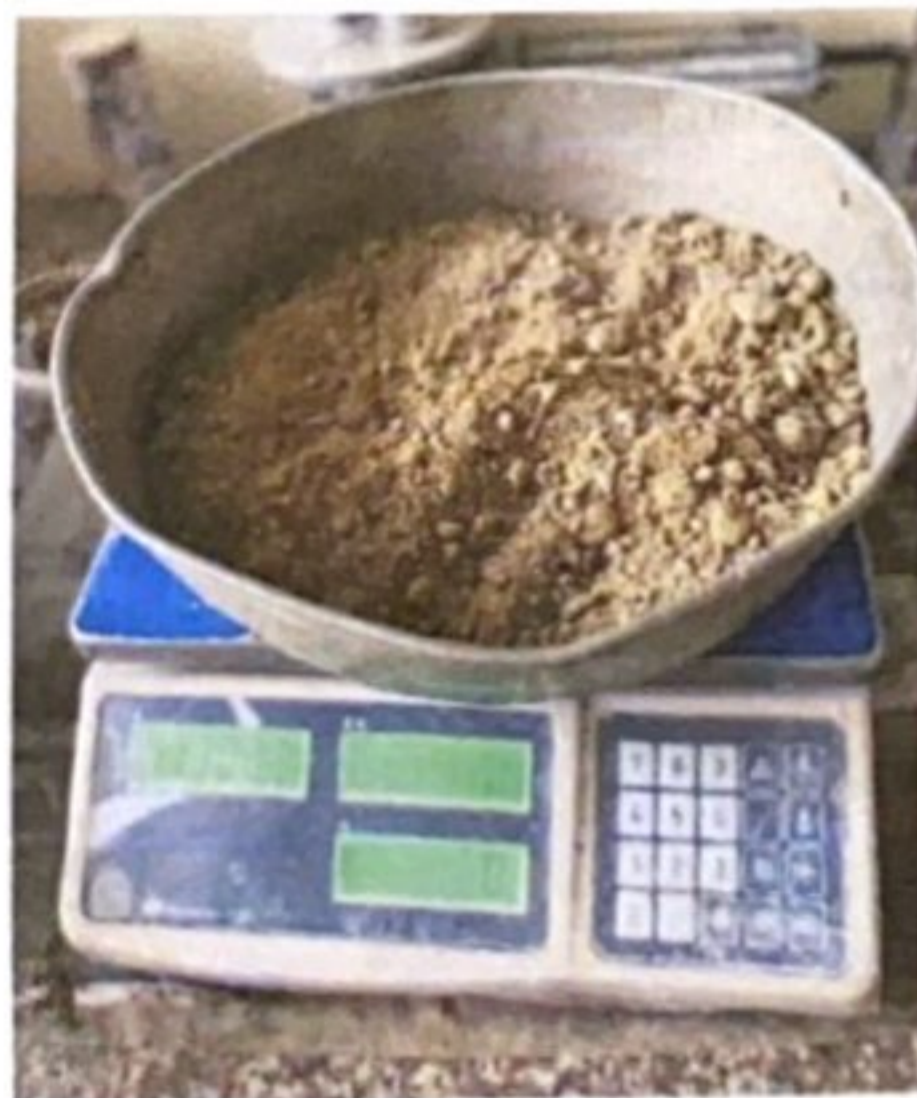
1. Con el material extraído de la vía se elige cierta cantidad para el ensayo, en este caso (7 kg) los mismos que fueron pasados a través del tamiz $\frac{3}{4}$ y la bandeja se la coloca en el horno.
2. Luego se toma la medida del diámetro y peso del molde al igual que la altura del martillo de compactación.
3. Luego de 24 horas retiramos el material del horno, lo pesamos y anotamos el dato.
4. Por lo consiguiente, le añadimos agua con la ayuda de la probeta graduada, iniciando con la cantidad de agua:

$$6620 * 0,08 = 529,6 \text{ ml de agua}$$

5. Se mezcla uniformemente.

6. Se introduce la mezcla en el molde por capas siendo estas 5 capas del mismo espesor
7. En cada capa se deben dar 56 golpes con el pistón, la última capa debe sobrepasar ligeramente la altura del molde y asegurarse que queda completamente llena.
8. Se procede a retirar la parte de arriba del molde y se enrasa luego con la ayuda de la regla.
9. Se pesa el molde con la muestra.
10. Luego se saca totalmente la muestra del molde y con cuidado se toman dos pequeñas partes representativa de la muestra para así conocer su humedad.
11. Pesar las capsulas vacías y luego con las muestras, por lo consiguiente, se llevan al horno durante 24 horas y se vuelve a pesar, y así con la diferencia obtener la cantidad de agua que poseía.
12. Se Repite el proceso del ensayo 5 o 6 veces añadiéndole un 2% de agua Y de esta manera se obtiene la densidad Seca para distintos valores de Humedad.

Ilustración 7. Peso de la muestra y mezcla uniforme con el 2% de agua



a) Peso de la muestra



b) Mezcla de la muestra con agua

Ilustración 8. Peso del molde más muestra compactada.



3.3.2.3. Ensayo de Cono y Arena

Materiales

- Balanza
- Aparato del Cono y Arena
- Cincel
- Brocha
- Horno
- Arena de Ottawa y de Mar
- Cucharon
- Placa metálica
- Clavos
- Martillo
- Cinta Métrica
- Recipiente

Procedimiento

1. Se debe pesar en una balanza todo el aparato cono y arena (Arena Ottawa) para determinar el peso inicial del aparato que servirá para los cálculos.
2. Luego se nivela el suelo utilizando la placa en la zona a ensayar.
3. Se verifica que la superficie del suelo esté en contacto con la placa en el centro donde se hará el hoyo.
4. Se asegura la placa con los clavos para que se mantenga estable durante el ensayo.
5. Se procede a hacer el hoyo con cincel y martillo. Se usa un cucharón para sacar la tierra. El hoyo debe tener exactamente el mismo diámetro que la placa metálica y su profundidad será de 15 cm. Hay que poner especial atención para que el hoyo tenga el mismo diámetro y profundidad en todo el ancho del círculo.
6. Se debe obtener el dato del peso del recipiente mediante la balanza.
7. Extraer el material del hoyo con un cucharón y colocarlo en el recipiente sin perder nada y proceder a pesarlo.
8. Se tomará una muestra de ello que será destinada para la obtención de la humedad.
9. Revisando que el hueco no tenga oquedades o partículas salientes, se coloca el aparato encima del hoyo y se abre la válvula para que la arena fluya libremente hacia el interior del hueco.
10. Luego que pare totalmente se cierra la válvula y se levanta el frasco con el cono y arena y se vuelve a pesar con la arena sobrante.

Ilustración 9. Realización del Hoyo con cincel y martillo.



Ilustración 10. Extracción del material del hoyo

Ilustración 11. Vaciado del cono y arena en el Hoyo



Ilustración 12. Peso del recipiente vacío



Ilustración 13. Peso del recipiente con material

Ilustración 14. Ensayo de Cono y Arena (Ottawa)



Ilustración 15. Ensayo de Cono y Arena (Mar)

3.3.2.4. Ensayo de Densímetro Nuclear

Materiales

- Densímetro
- Varilla lisa
- Extractor
- Bloque de referencia |
- Placa para alisado
- Maso o martillo

Procedimiento

1. Ubicar los puntos donde se van a hacer las pruebas y procurar que no haya ningún objeto en la superficie en un diámetro de 60cm del punto.
2. Se debe hacer un hueco en la tierra utilizando la varilla y el mazo. Este hueco debe ser de al menos 5cm más profundo de la capa que se quiera analizar.

3. Al momento de retirar la varilla de la perforación hacerlo con bastante cuidado para no causar un desmoronamiento del suelo al agujero o que se dañe la superficie.
4. Seguidamente se coloca el equipo en la superficie y se introduce el vástago al agujero hasta la profundidad deseada.
5. Se deben ingresar los datos obtenidos en el Proctor (DS y humedad óptima) para que el aparato, al tener el resultado pueda calcular directamente el % de variación en relación con el Proctor.
6. Una vez ingresada la información, se debe bajar la varilla metálica radioactiva al hueco y trabarla para que la fuente radioactiva trabaje.
7. Al momento en que la varilla baja por el hueco, todas las personas deben alejarse al menos 3m a la redonda para evitar radiación
8. Esperar 1 minuto, luego procede a cercarse al aparato para levantar la varilla y poder ver los resultados. Este proceso se lo debe repetir de acuerdo a los puntos escogidos.

Ilustración 16. Perforación con la varilla.



Ilustración 17. Ingreso de Datos en el Densimetro N

Ilustración 18. Densidad Seca y Porcentaje de Humedad en el Punto 1 con Densímetro N



4. CAPITULO IV - CÁLCULOS Y RESULTADOS

4.1.1. Resultado del Ensayo de granulometría por Lavado

Tamiz	Abertura	Peso Retenido	% Retenido	% Retenido acumulado	% Acumulado que pasa
Nº	mm	G	%	%	%
#4	4,76	3,37	1,69	1,69	98,32
#10	2,00	6,06	3,03	4,72	95,29
#40	0,43	20,52	10,26	14,98	85,03
#200	0,07	86,25	43,13	58,10	41,90
FONDO	0,00	83,80	41,90	100,00	0,00

Tabla 9. Resultado del Ensayo de Granulometría por lavado

TOTAL

200,00 g

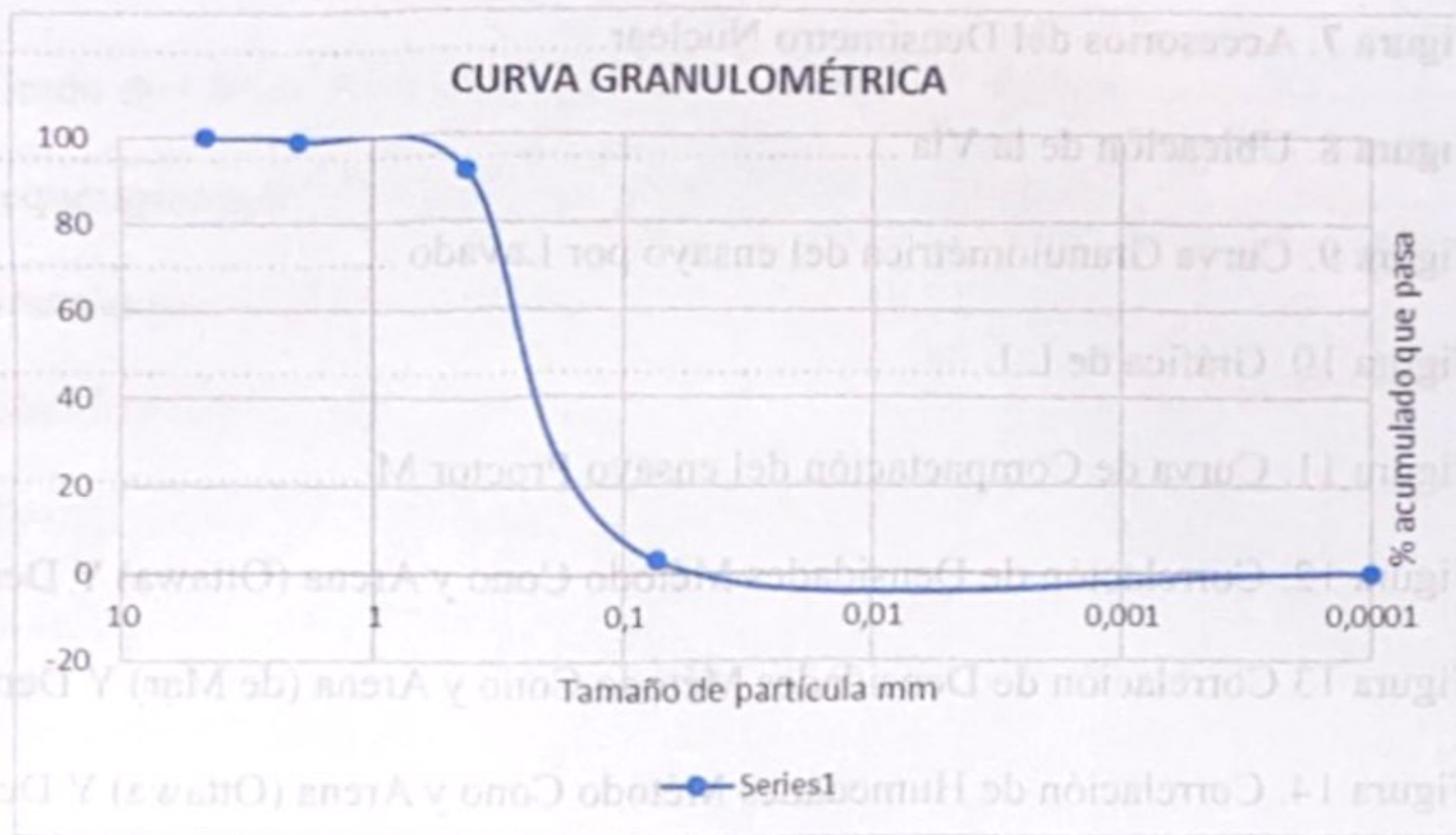


Figura 9. Curva Granulométrica del ensayo por Lavado

4.1.2. Resultado del Ensayo de Atterberg

2.- CONTENIDO DE HUMEDAD						
W Hum		63,00		75,60		
W Seco		56,80		68,00		
W Tara		7,40		8,40		
w %		12,55		12,75		
PROMEDIO:				12,65		
3.- LIMITE LIQUIDO						
GOLPES		13		20		34
W Hum		16,40	17,80	13,60	16,00	14,60
W Seco		14,20	15,00	12,00	14,00	12,80
W tara		7,80	6,80	6,80	8,00	6,80
w %		34,38	34,15	30,77	33,33	30,00
w prom %		34,26		32,05		28,64
4.- LIMITE PLASTICO						
W Hum		12,60	12,80	L. Liq =		30,94
W Seco		12,00	12,20	L. Plást =		22,25
W Tara		9,40	9,40	I. Plást =		8,69
w %		23,08	21,43	SUCS		
PROMEDIO:			22,25			

Tabla 10. Ensayo de Atterberg

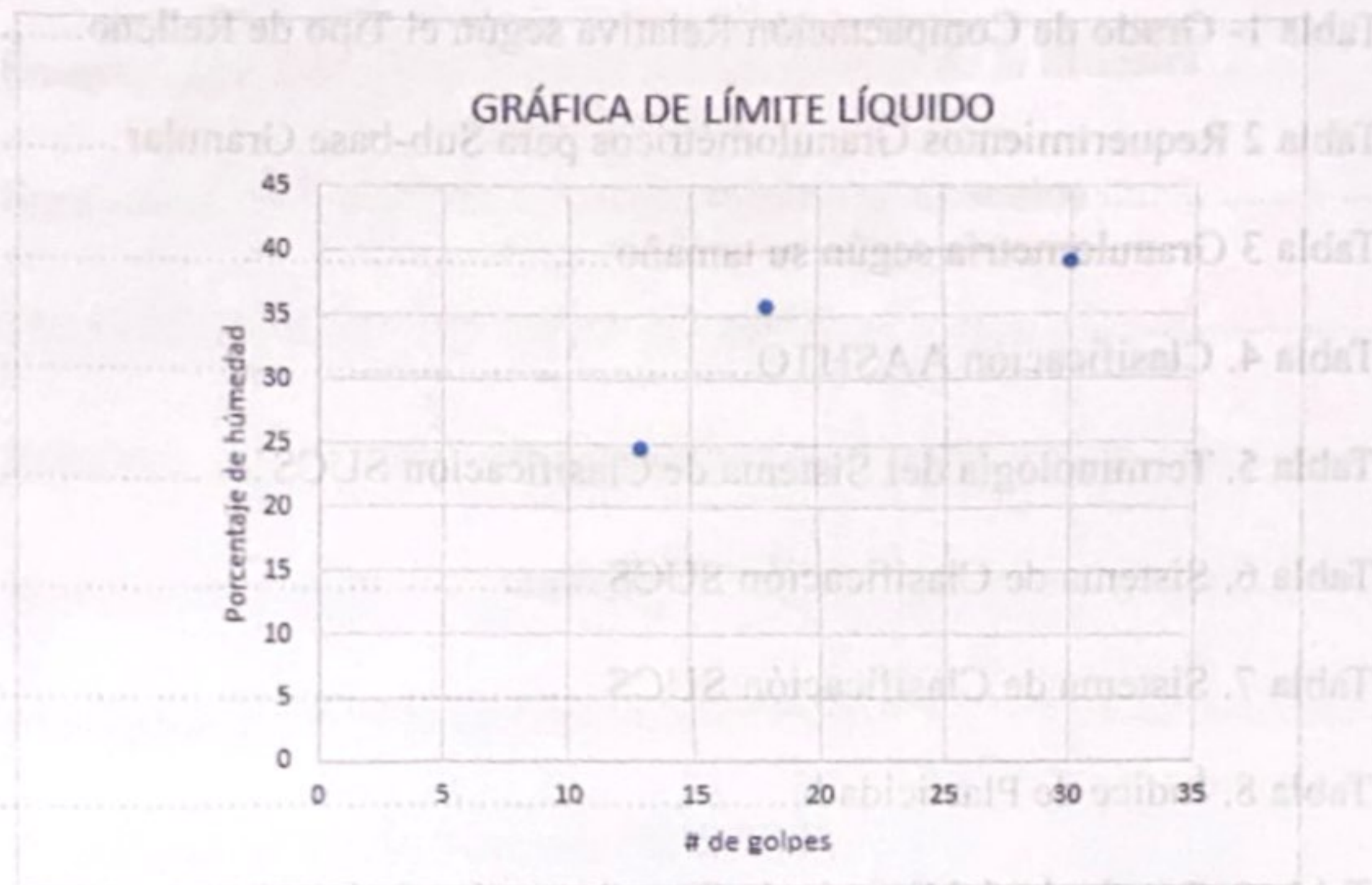


Figura 10. Gráfica de L.L

SUCS = Arcilla de Baja Plasticidad (CL)

4.1.3. Resultados del Ensayo de Proctor Modificado

RELACION DENSIDAD - HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO)												
DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD												
MUESTRA N°	1		2		3		4		5		6	
PESO DEL TARRO (grs)	6,80	7,00	6,40	8,40	8,40	6,20	6,20	7,80	7,40	7,00	7,60	8,40
PESO DEL TARRO+ MUESTRA HUMEDA	61,20	52,20	43,20	38,80	34,00	42,60	48,60	49,20	53,00	45,20	45,60	56,60
PESO DEL TARRO+ MUESTRA SECA (grs)	55,60	47,20	38,60	34,80	30,60	37,60	42,60	43,20	45,60	38,80	39,00	48,00
PESO DEL AGUA (grs)	5,60	5,00	4,60	4,00	3,40	5,00	6,00	6,00	7,40	6,40	6,60	8,60
PESO DEL MATERIAL SECO (grs)	48,8	40,2	32,2	26,4	22,2	31,4	36,4	35,4	38,2	31,8	31,4	39,6
CONTENIDO DE HUMEDAD (grs)	11,48	12,44	14,29	15,15	15,32	15,92	16,48	16,95	19,37	20,13	21,02	21,72
% PROMEDIO	11,96		14,72		15,62		16,72		19,75		21,37	
DETERMINACION DE LA DENSIDAD												
CONTENIDO DE HUMEDAD %	11,96		14,72		15,62		16,72		19,75		21,37	
PESO DEL SUELO+ MOLDE (grs)	10958,80		11116,80		11149,60		11152,80		11031,00		11003,00	
PESO DEL MOLDE (grs)	6835,20		6835,20		6835,20		6835,20		6835,20		6835,20	
PESO DEL SUELO (grs)	4123,60		4281,60		4314,40		4317,60		4195,80		4167,80	
DENSIDAD HUMEDA (grs/cm ³)	2,00		2,07		2,09		2,09		2,03		2,02	
DENSIDAD SECA (grs/cm ³)	1,78		1,8062		1,8059		1,79		1,70		1,66	
							Densidad Máxima (grs/cm ³)		1,806			
							Humedad Óptima %		14,7%			

Tabla 11. Resultado del Ensayo de Proctor Modificado

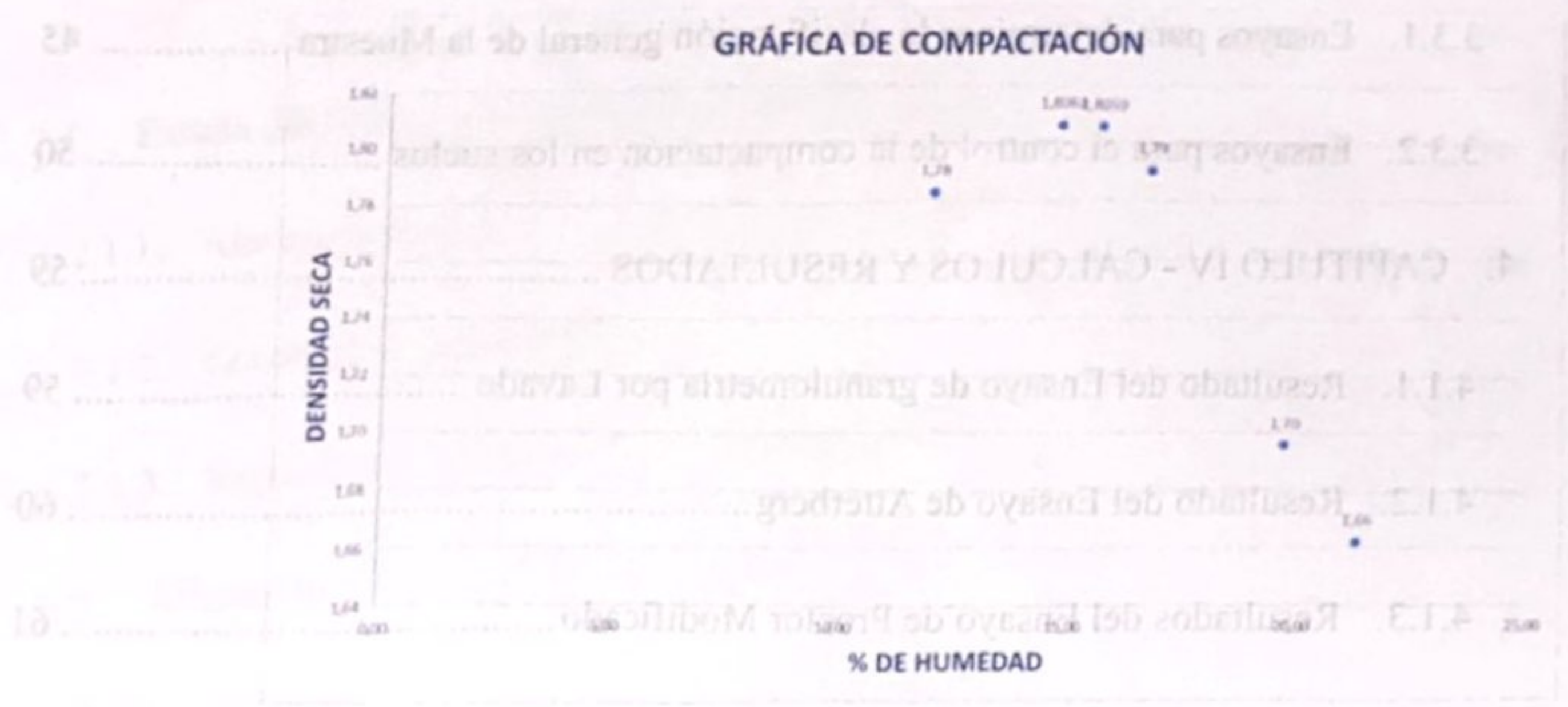


Figura 11. Curva de Compactación del ensayo Proctor M

4.1.4. Peso Específico de la Arena de Mar y Ottawa

$$V = \frac{\pi * r^2 * h}{4}$$

$$V = \frac{\pi * 10,13^2 * 11,63}{4} = 937,32 \text{ cm}^3$$

Arena de Ottawa

$$\gamma = \frac{1501,6 \text{ g}}{937,32 \text{ cm}^3} = 1,60 \text{ g/cm}^3$$

Arena de Mar

$$\gamma = \frac{1283,8 \text{ g}}{937,32 \text{ cm}^3} = 1,369 \text{ g/cm}^3$$

4.1.5. Ensayo de Cono y Arena

PUNTO 1

ARENA OTTAWA

$$V = \frac{10068 - 4988,2}{1,60} = 3174,875 \text{ g/cm}^3$$

$$DH = \frac{6876,2 - 480,2}{3174,875} = 2,014 \text{ g/cm}^3$$

$$Con. H = \left(\frac{(76,4 - 8,8) - (68,4 - 8,8)}{(68,4 - 8,8)} \right) * 100 = 13,423$$

$$Con. H = \left(\frac{(52,6 - 8,6) - (46,4 - 8,6)}{(46,4 - 8,6)} \right) * 100 = 16,402$$

$$Prom. Cont. H = \frac{13,423 + 16,402}{2} = 14,9125$$

$$DS = \left(\frac{2,014}{14,9125 + 100} \right) * 100 = 1,7525 \text{ g/cm}^3$$

ARENA DE MAR

$$V = \frac{7951,8 - 3503}{1,369} = 3249,671 \text{ g/cm}^3$$

$$DH = \frac{6876,2 - 480,2}{3249,671} = 1,968 \text{ g/cm}^3$$

$$DS = \left(\frac{1,968}{14,9125 + 100} \right) * 100 = 1,7126 \text{ g/cm}^3$$

PUNTO 2

ARENA DE OTTAWA

$$V = \frac{9907,4 - 3757}{1,60} = 3844 \text{ g/cm}^3$$

$$DH = \frac{7432 - 4258}{3844} = 1,822 \text{ g/cm}^3$$

$$Con. H = \left(\frac{(70,8 - 10,2) - (64,6 - 10,2)}{(64,6 - 10,2)} \right) * 100 = 11,397$$

$$\text{Con. H} = \left(\frac{(76,4 - 10,6) - (69,4 - 10,6)}{(69,4 - 10,6)} \right) * 100 = 11,9047$$

$$\text{Prom. Cont. H} = \frac{11,397 + 11,9047}{2} = 11,6508$$

$$\text{DS} = \left(\frac{1,822}{11,6508 + 100} \right) * 100 = 1,632 \text{ g/cm}^3$$

ARENA DE MAR

$$V = \frac{9907,4 - 3757}{1,369} = 4492,6223 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{DH} = \frac{7432 - 425,8}{4492,6223} = 1,968 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{DS} = \left(\frac{1,56}{11,6508 + 100} \right) * 100 = 1,397 \text{ g/cm}^3$$

PUNTO 3

ARENA DE OTTAWA

$$V = \frac{9796,4 - 4114,6}{1,60} = 3551,125 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{DH} = \frac{6984,2 - 482,2}{3551,125} = 1,831 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Con. H} = \left(\frac{(69,6 - 8,8) - (64,4 - 8,8)}{(64,6 - 8,8)} \right) * 100 = 9,3525$$

$$\text{Con. H} = \left(\frac{(65,6 - 8,4) - (61 - 8,4)}{(61 - 8,4)} \right) * 100 = 8,745$$

$$\text{Prom. Cont. H} = \frac{11,397 + 11,9047}{2} = 11,6508$$

$$DS = \left(\frac{1,831}{9,04875 + 100} \right) * 100 = 1,68 \text{ g/cm}^3$$

ARENA DE MAR

$$V = \frac{7832,6 - 2857}{1,369} = 3634,477 \text{ g/cm}^3$$

$$DH = \frac{6984,2 - 482,2}{3634,477} = 1,789 \text{ g/cm}^3$$

$$DS = \left(\frac{1,789}{9,04875 + 100} \right) * 100 = 1,640 \text{ g/cm}^3$$

PUNTO 4

ARENA DE OTTAWA

$$V = \frac{9779,6 - 4566,6}{1,60} = 3258,125 \text{ g/cm}^3$$

$$DH = \frac{6456,2 - 483}{3258,125} = 1,838 \text{ g/cm}^3$$

$$Con. H = \left(\frac{(57,2 - 5,8) - (51,8 - 5,8)}{(51,8 - 5,8)} \right) * 100 = 11,74$$

$$Con. H = \left(\frac{(54,2 - 7,4) - (49,2 - 7,4)}{(61 - 8,4)} \right) * 100 = 11,96$$

$$Prom. Cont. H = \frac{11,74 + 11,96}{2} = 11,85$$

$$DS = \left(\frac{1,838}{11,85 + 100} \right) * 100 = 1,638 \text{ g/cm}^3$$

ARENA DE MAR

$$V = \frac{7816,8 - 3248,2}{1,369} = 3337,1804 \text{ g/cm}^3$$

$$DH = \frac{6456,2 - 483}{3337,1804} = 1,789 \text{ g/cm}^3$$

$$DS = \left(\frac{1,789}{11,85 + 100} \right) * 100 = 1,59 \text{ g/cm}^3$$

PUNTO 5

ARENA DE OTTAWA

$$V = \frac{9679,6 - 3816,2}{1,60} = 3664,625 \text{ g/cm}^3$$

$$DH = \frac{7175 - 357}{3664,625} = 1,8604 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Con. H} = \left(\frac{(63 - 7,4) - (56,8 - 7,4)}{(56,8 - 7,4)} \right) * 100 = 12,55$$

$$\text{Con. H} = \left(\frac{(75,6 - 8,4) - (68 - 8,4)}{(68 - 8,4)} \right) * 100 = 12,75$$

$$\text{Prom. Cont. H} = \frac{12,55 + 12,75}{2} = 12,65$$

$$DS = \left(\frac{1,6604}{12,65 + 100} \right) * 100 = 1,474 \text{ g/cm}^3$$

ARENA DE MAR

$$V = \frac{7795 - 2622,4}{1,369} = 3778,378 \text{ g/cm}^3$$

$$DH = \frac{7175 - 357}{3778,378} = 1,8044 \text{ g/cm}^3$$

$$DS = \left(\frac{1,8044}{12,65 + 100} \right) * 100 = 1,6018 \text{ g/cm}^3$$

4.1.6. Resultados de los Ensayo con Densímetro Nuclear

Densímetro Nuclear			
Punto	Densidad S	% Humedad	Profundidad
1	1737 kg/m ³	9,80%	20 cm
2	1647 kg/m ³	9,70%	15 cm
3	1692 kg/m ³	11,80%	20 cm
4	1893 kg/m ³	8,80%	15 m
5	1646 kg/m ³	9,80%	20 cm

Tabla 12. Resultados de los ensayos con Densímetro Nuclear

4.1.7. Resultados de los grados de Compactación con ambos métodos.

Tabla 13. Resultados de Grado de Compactación

Densidad de Laboratorio		
1,806		
Compactación (%)		
97,038	94,828	96,218
90,354	129,277	91,207
93,023	90,808	93,688
90,698	88,040	104,817
81,617	88,693	91,141
Arena Ottawa	Arena de Mar	Densímetro N
90,546	98,329	95,414

4.2. Correlación de la densidad seca del suelo y del Porcentaje de Humedad usando el método Cono y arena vs Densímetro nuclear.

DENSIDAD SECA		
Ottawa	Arena de Mar	Densímetro N
1,7525	1,7126	1,7377
1,6318	1,397	1,6472
1,68	1,64	1,692
1,638	1,59	1,893
1,474	1,6018	1,646

Tabla 14. Resultados de Correlación de Densidad Seca del suelo usando ambos métodos

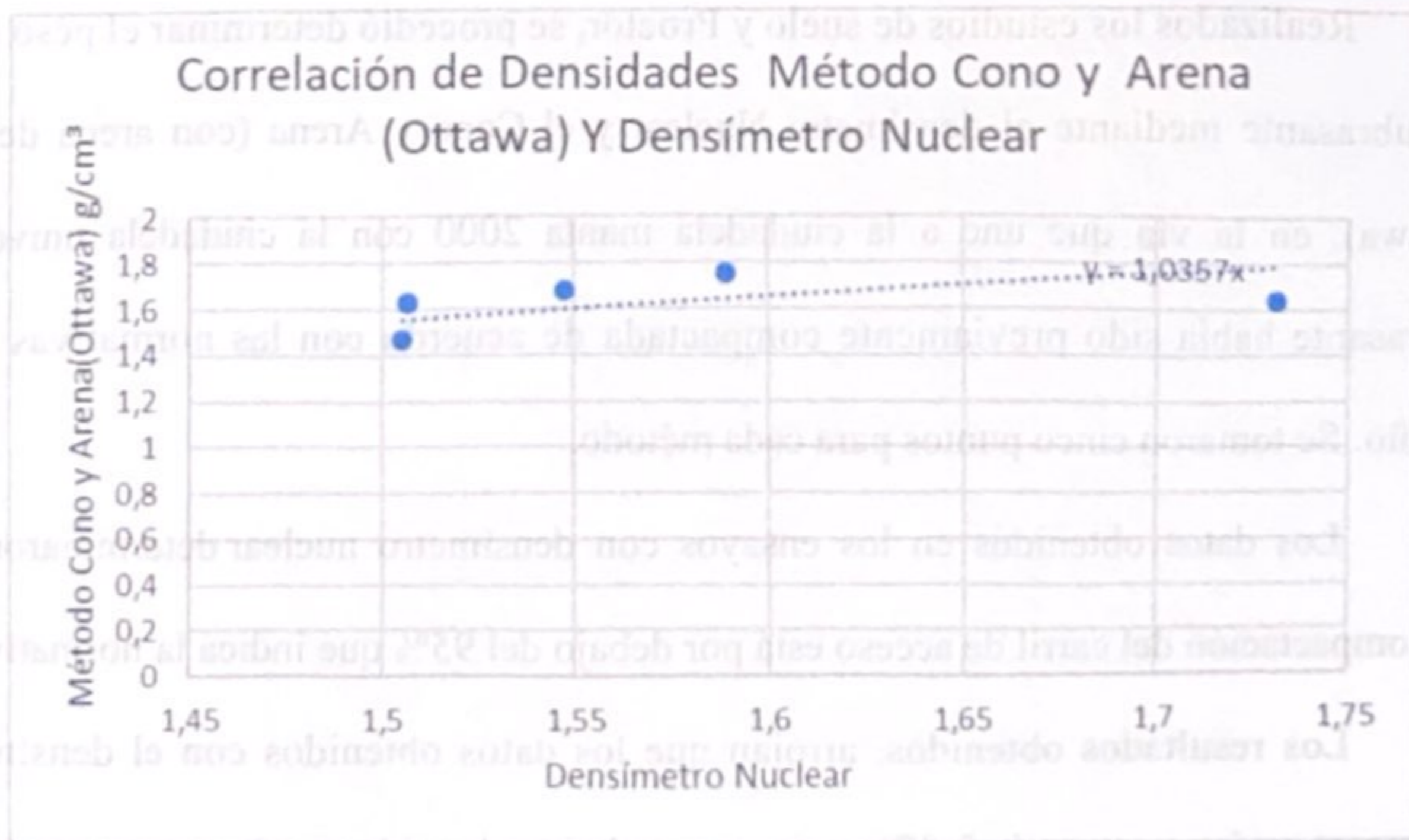


Figura 12. Correlación de Densidades Método Cono y Arena (Ottawa) Y Densímetro Nuclear

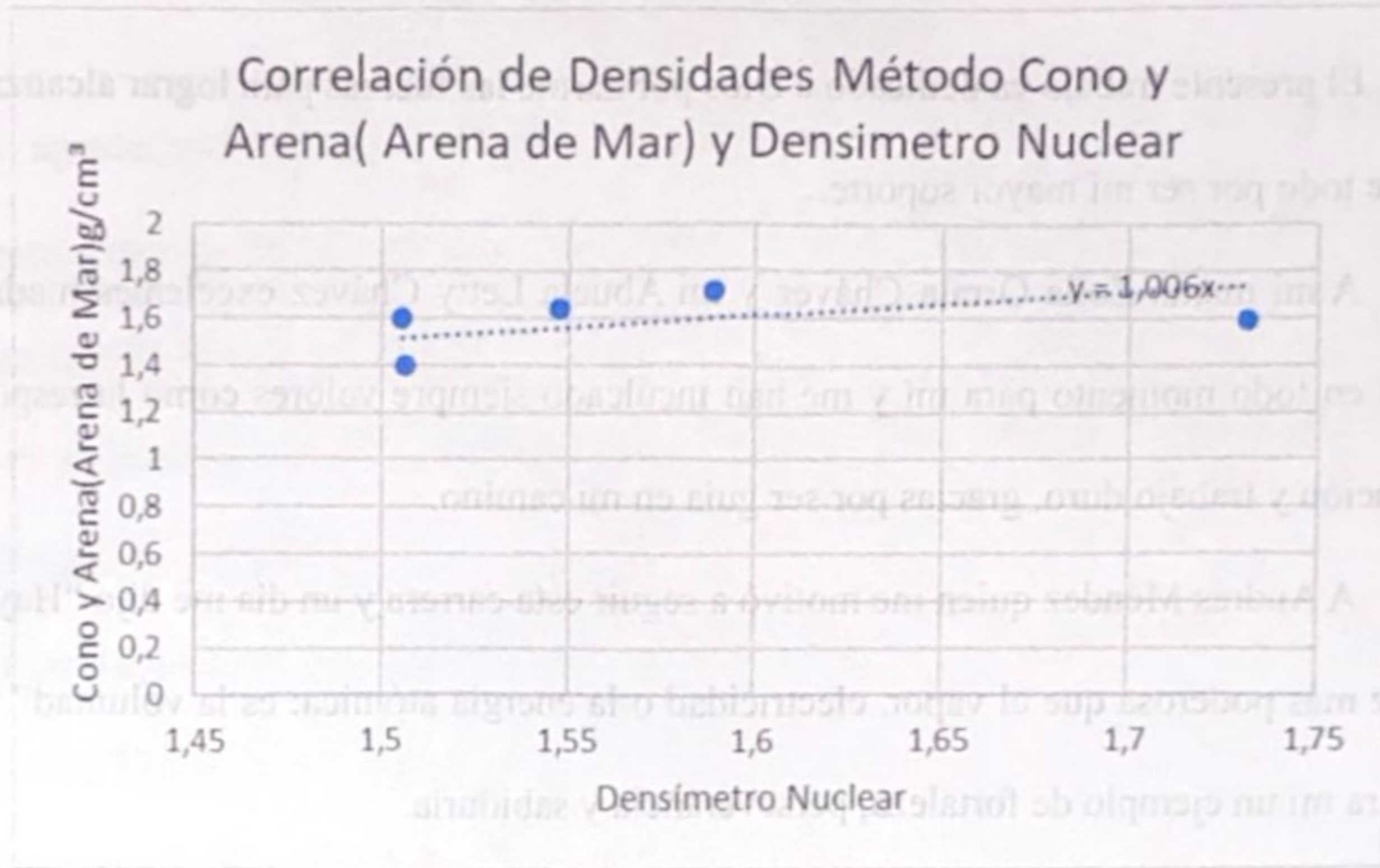


Figura 13 Correlación de Densidades Método Cono y Arena (de Mar) Y Densímetro Nuclear

% HUMEDAD		
Ottawa	Arena de Mar	Densímetro N
14,9125	14,9125	11,527
11,6508	11,6508	11,409
9,048	9,04875	13,880
11,85	11,85	10,3512
12,65	12,65	11,5274

Tabla 15. Resultado de Porcentaje de Humedad usando ambos métodos (Cono y Arena y Densímetro N)

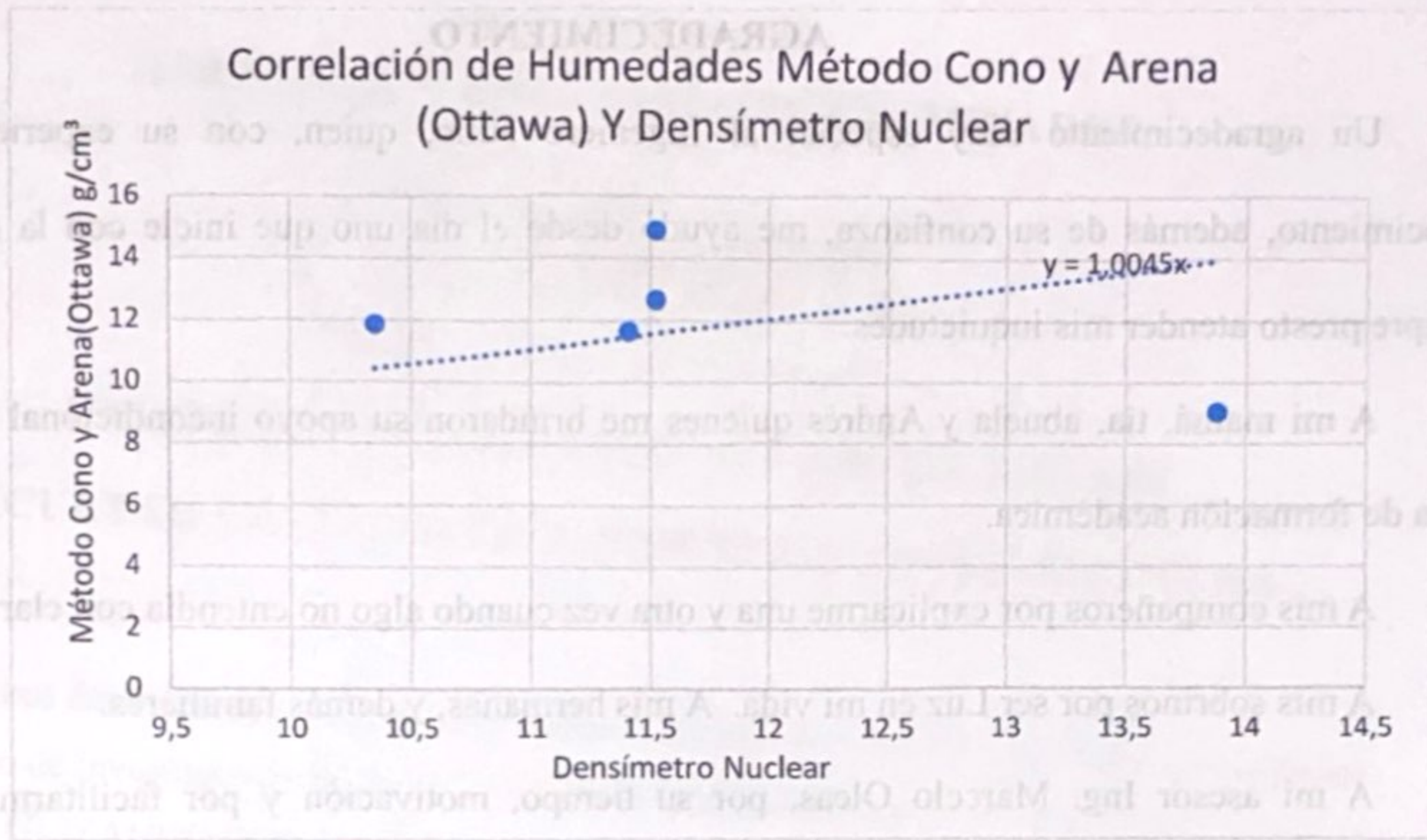


Figura 14. Correlación de Humedades Método Cono y Arena (Ottawa) Y Densímetro Nuclear.

4.3. Conclusiones y Recomendaciones

4.3.1. Conclusiones

1. Los datos obtenidos en los ensayos con densímetro nuclear y cono y Arena, tomados en campo mostraron densidades por debajo de la densidad máxima alcanzada en el ensayo Proctor, lo que ocasiona que el grado de compactación en 4 de los 5 puntos de estudio estén por debajo del 95% que indica la normativa, además se encontró que existe variación de hasta un 15.89 % en los datos de densidad in situ tomados en campo por el método de cono y arena (Ottawa) lo que denota un proceso de compactación poco eficaz.
2. Al comparar los resultados de grado de compactación obtenidos en cada punto de estudio se determinó que el densímetro nuclear arroja datos por encima de los

obtenidos mediante ensayo de cono y arena (Ottawa) con un incremento promedio de 5,37%.

3. Al emplear el método de correlación lineal mediante gráficos de dispersión se determinó que la densidad de campo utilizando el método de cono y arena con arena de Ottawa es igual a 0,96 veces la densidad obtenida con el densímetro nuclear. Así mismo la densidad seca utilizando el método de cono con arena de mar es igual a 0,92 veces la densidad utilizando el densímetro.
4. Una vez realizados los ensayos de cono y arena se concluye que la densidad seca promedio, usando arena de Ottawa es de $1,66 \text{ gr/cm}^3$, mientras que al utilizar arena de mar es de $1,59 \text{ gr/cm}^3$, teniendo como diferencia un 4,4% entre sí. Por el resultado obtenido se menciona que la arena de mar puede ser usada para fines de enseñanza académica puesto que, en su resultado se observó que tiene menos peso específico.
5. Realizando un promedio de la humedad utilizando el densímetro Nuclear se obtuvo un 9,98% en relación a la humedad del ensayo Proctor que fue de 14,7% existiendo así una notoria diferencia en el contenido de humedad, y esta probablemente pudo ser por falta de saturación del suelo.

4.3.2. Recomendaciones

- En futuras investigaciones considerar qué tipo de material se está colocando inferior a la capa de la estructura del pavimento que puede ser la sub-rasante o sub base, por motivos de la introducción del equipo en la capa.
- Tener cuidado con los factores externos que intervienen al momento de ejecutar los ensayos y realizar mediciones, ya que estos afectan al momento de ser pesados, al porcentaje de compactación y contenido de humedad, dando así datos erróneos que, al ser comparados los resultados presentados por el método de la arena y densímetro nuclear, se notó una variación en aquellos.
- Se recomienda utilizar la arena Normada para el ensayo de Cono y arena para mayor precisión en sus resultados.
- Verificar que los equipos a utilizar para los ensayos con Densímetro y Cono de arena estén funcionando adecuadamente y consten con su certificado de calibración.
- La persona que vaya a realizar el ensayo utilizando el densímetro Nuclear debe contar con licencia y estar capacitada de los riesgos que implica la manipulación del equipo.
- Debido a que la arena calibrada de Ottawa se rescata del agujero, luego de varios ensayos está altamente contaminada. Esto Teniendo en cuenta que la suciedad de la arena, también puede influir en los resultados.
- Se recomienda que el terreno sobre el cual se realizará el ensayo, debe encontrarse horizontalmente, libre de agujeros, sin vibraciones y sin capas de material suelto para que el ensayo se efectúe exitosamente.

4.4. Bibliografía

- ASTM. (2015). Obtenido de www.astm.com.ec: https://www.astm.org/d1556_d1556m-15e01.html
- ASTM. (2015). *Método de prueba estándar para la densidad y el peso unitario del suelo en el lugar mediante el método del cono de arena*. Obtenido de ASTM INTERNATIONAL: https://www.astm.org/d1556_d1556m-15e01.html
- ASTM. (2017). *Métodos de ensayo normalizados para determinar la densidad in situ y el contenido de agua del suelo y de los agregados del suelo mediante métodos nucleares*. Obtenido de ASTM INTERNATIONAL : <https://www.astm.org/d6938-17a.html>
- COTECNO. (s.f.). Obtenido de [www. Analisis granulometrico Suelos.com.ec](http://www.Analisis-granulometrico-Suelos.com.ec): <https://www.cotecno.cl/granulometria-analisis-granulometrico-suelos/#:~:text=La%20granulometr%C3%ADa%20permite%20estudiar%20y,las%20part%C3%ADculas%20es%20muy%20peque%C3%B1o.>
- Flores, C. (2014). *Análisis Comparativo de la Utilización del Método de Cono y Arena y Densímetro Nuclear para Determinar Densidades de Campo en Suelos*. Obtenido de Repositorio. UCSG: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/20000/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-460.pdf>
- Londoño, L. (2022). *Compactación de Suelos, toma de muestra para ensayos y suelos de fundación*. Obtenido de Studocu: <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-senor-de-sipan/diseno-y-rehabilitacion-de-pavimentos/grupo-3-compactacion-de-suelos-toma-de-muestra-para-ensayos-y-suelos-de-fundacion/35618171>
- Maldonado. (s.f). *Ensayo de compactación en Carreteras: Proctor Normal y Modificado*. Obtenido de Ingeniería e Infraestructuras de los transportes: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/139866/L%C3%B3pez%20%20Ensayos%20de%20compactaci%C3%B3n%20en%20carreteras%3A%20Proctor%20Normal%20y%20Modificado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ministerio de Obras Públicas, M. (2002). *Generalidad para la construcción de caminos y puentes*. Obtenido de [www. obras públicas.com.ec](http://www.obras-p%C3%BAblicas.com.ec): https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf

MOP Chile. (2014). *Especificaciones y métodos de muestreo*. Obtenido de Ministerio de Obras Públicas:

https://vialidad.mop.gob.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/Documents/Volumen_N%C2%B08_Jun.2020.pdf

Santín, P. (2005). *Limites de Consistencia de Atterberg*. Obtenido de www. Upcommons.com.ec:

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3282/53973-5.pdf>

Soledad. (diciembre de 2006). *Correlación entre Densímetro Nuclear y Cono de Arena para suelos Finos y no Cohesivos*. Obtenido de Escuela de Construcción Civil:

<https://www.redalyc.org/pdf/1276/127619380003.pdf>

Transportes, M. d. (2013). *Materiales de Afirmado*. Obtenido de www.Manual

_Suelos_Pavimentos: [\[web.construccion.org/normas/files/tecnicas/Manual_Suelos_Pavimentos.pdf\]\(https://web.construccion.org/normas/files/tecnicas/Manual_Suelos_Pavimentos.pdf\)](https://cdn-</p></div><div data-bbox=)

4.5. Anexos

Ilustración 19. Recolección de Muestra



Ilustración 20. Laboratorio de la Uleam



Ilustración 21. Muestra Seca

Ilustración 22. Cálculos en Laboratorio

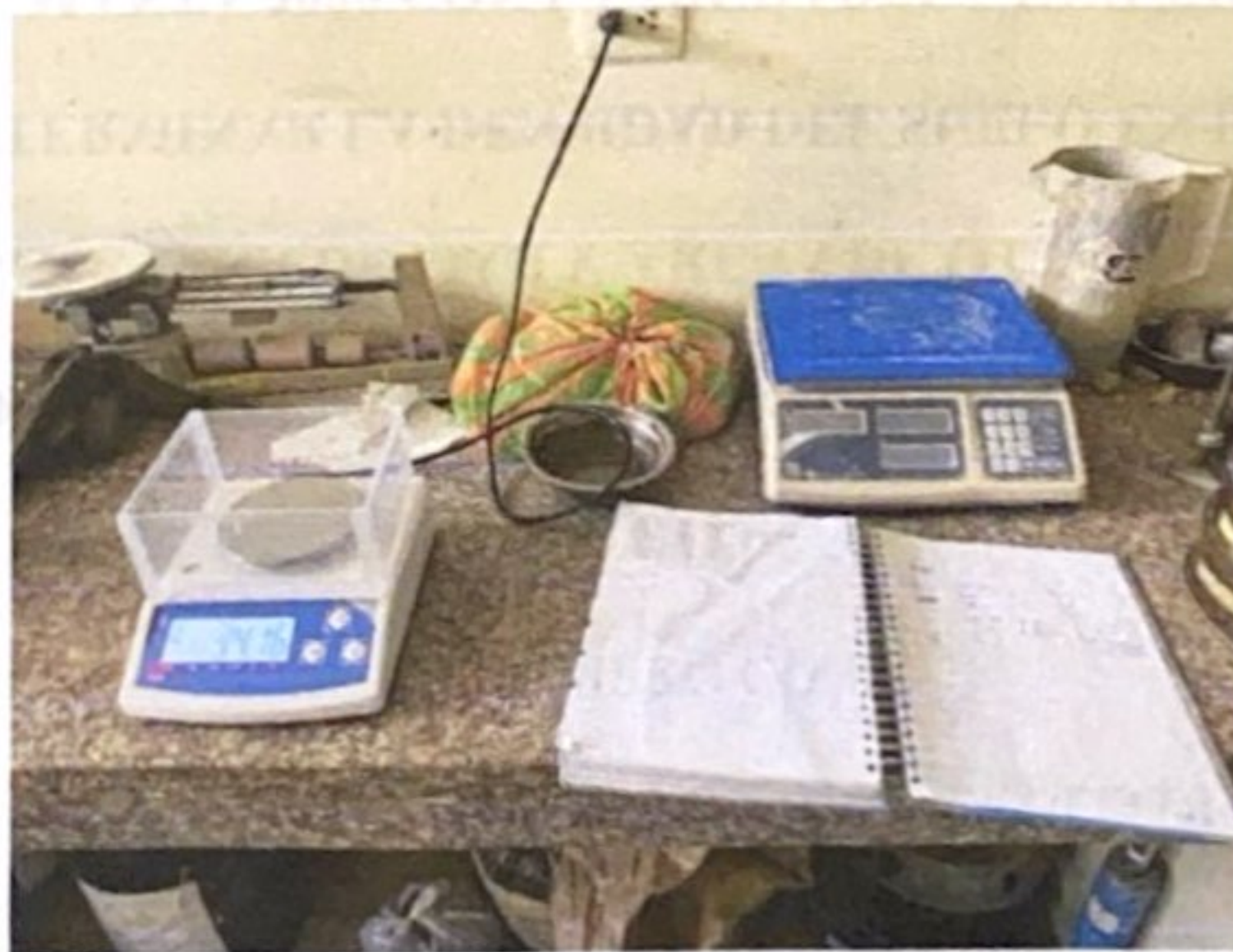


Ilustración 23. Toma de datos en Campo



Ilustración 24. Ensayo de Peso específico



Ilustración 25. Vía a utilizar para los ensayos