

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

Tema:

**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.**

Autor:

Valdivieso Crespo, Fausto Esteban

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO CIVIL**

Tutor

Ing. De La Pared Condo, Daniel Boanerges M.I.

Guayaquil – Ecuador

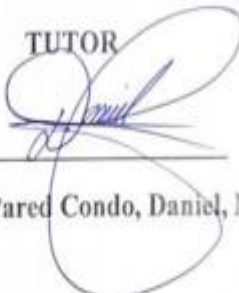
26 de septiembre del 2022



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Valdivieso Crespo, Fausto Esteban** como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniería Civil**.

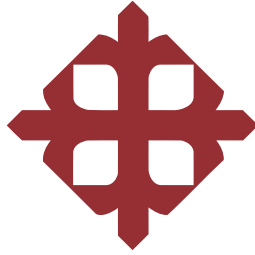
TUTOR
f. 
Ing. De La Pared Condo, Daniel, M.I.

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Alcívar Bastidas, Stefany, Msc.

Guayaquil, a los 26 del mes de septiembre del año 2022



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Valdivieso Crespo, Fausto Esteban

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **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.**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 26 del mes de septiembre del año 2022

f. 

Valdivieso Crespo, Fausto Esteban



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

AUTORIZACIÓN

Yo, Valdivieso Crespo, Fausto Esteban

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **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**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 26 del mes de septiembre del año 2022

f. 

Valdivieso Crespo, Fausto Esteban

REPORTE URKUND



Document Information

Analyzed document	fausto.valdivieso.pdf (D144245666)
Submitted	2022-09-17 00:48:00
Submitted by	
Submitter email	clara.glas@cu.ucsg.edu.ec
Similarity	5%
Analysis address	clara.glas.ucsg@analysis.orkund.com

Sources included in the report

SA	TESIS_CIVIL_SHSCH_V3.pdf Document TESIS_CIVIL_SHSCH_V3.pdf (D119683854)	7
W	URL: https://www.goconqr.com/en/note/5771320/rubros-viales Fetched: 2022-05-29 19:36:34	4
W	URL: https://docplayer.es/85219017-H-cl-li-t-Ing-nathaly-mora-hurtado-responsable-scan-cuenca.html Fetched: 2022-05-30 03:19:03	12
W	URL: https://doi.org/10.17632/jfg73tkzpf.1 Fetched: 2022-09-17 00:48:00	1

TUTOR

f. _____

Ing. De La Pared Condo, Daniel, M.L.

Dedicatoria

A Dios, mi mayor soporte, Quien es el único responsable de todos mis logros.

A la Virgen María Madre de la Unidad, por ser mi mentora y guía en la vida.

A mi esposa, que me acompañó en todo momento, y con su amor me motivó a seguir adelante.

A mi padre y abuelo, quienes fueron mi motor para seguir esta carrera y mi principal ejemplo de
fortaleza y perseverancia.

A mi madre y mis hermanas, por su amor incondicional, apoyo y por inculcarme siempre la
responsabilidad y trabajo duro.

A la familia Henríquez Baquerizo, que me impulsaron y motivaron para seguir esta carrera, y me
abrieron las puertas de una de las constructoras más prestigiosas e importantes de nuestro país.

A mis amigos, con quienes he compartido tantas risas y buenos momentos.

A mis profesores, quienes tan pacientemente me han transmitido sus enseñanzas.

Agradecimientos

A mis amigo y guía, Ing. Daniel De La Pared Condo, quien, con su experiencia y conocimiento, además de su apoyo y confianza, me han ayudado a sacar este proyecto adelante.

A la Constructora Thalía Victoria S.A., con Carlos Pablo Henríquez a su cabeza, por abrirme las puertas y brindarme toda la información y apoyo necesario para poder desarrollar este trabajo.

Fausto Esteban Valdivieso Crespo



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Alcívar Bastidas, Stefany, Msc.

DIRECTOR DE CARRERA

f. _____

Ing. Gilberto Martínez Rehpani, M.Sc.

DOCENTE DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Francisco Grau, M.Sc.

OPONENTE

ÍNDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. Antecedentes	3
1.2. Problemática	5
1.3. Justificación	5
1.4. Alcance	6
1.5. Objetivo General	6
1.6. Objetivos Específicos	6
1.7. Metodología.....	7
1.8. Hipótesis	7
CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE.....	8
2.1. Marco Teórico.....	8
2.1.1. Pruebas Granulométricas (AASHTO T-11 y T-27)	8
2.1.2. Límites de Consistencia de Atterberg (AASHTO T-89 y T-90)	10
2.1.3. Ensayo de Proctor Modificado (Densidad Seca Máxima y Humedad Óptima)	11
2.1.4. Compactación de Suelo	12
2.1.5. Métodos para toma de densidades de campo	13
2.2. Marco Conceptual.....	26
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	29
3.1. Resultados de Pruebas de Laboratorio Previas	29
3.1.1. Granulometría.....	29
3.1.2. Límites de Atterberg.....	30

3.1.3. Proctor	30
3.2. Métodos y Procedimientos.....	31
3.2.1. Toma de Densidades Mediante el Cono y Arena	31
3.2.2. Toma de Densidades Mediante el Densímetro Nuclear	33
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	35
4.1. Resultados.....	35
4.1.1. Resultados de Método de Cono y Arena	35
4.1.2. Resultados de Método de Densímetro Nuclear	35
4.1.3. Comparación de Resultados de Ambos Métodos.....	36
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	38
5.1. Discusión	38
5.1.1. Diferencia de Resultados entre cada Método	38
5.1.2. Ventajas y Desventajas de cada Método	39
5.2. Conclusiones y Recomendaciones	42
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
ANEXOS	46

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.- Ubicación de las pruebas; CostaSol, km. 19,5 Vía a la Costa	4
Ilustración 2.- Tamices y Máquina para Tomar Granulometría	8
Ilustración 3.- Tabla Granulométrica según Tamaño de Partícula	9
Ilustración 4- Límites de Atterberg	10
Ilustración 5.- Curva de Compactación Proctor	11
Ilustración 6.- Prueba de Cono y Arena	14
Ilustración 7.- Aparato de Cono y Arena.....	15
Ilustración 8.- Herramientas para excavar el hueco	16
Ilustración 9.- Herramientas de Cono y Arena 2	18
Ilustración 10 .- Perfil de Densímetro Nuclear.....	19
Ilustración 11.- Tipos de Medición con Densímetro Nuclear	23
Ilustración 12.- Granulometría Material.....	29
Ilustración 13.- Criterios para Seleccionar el Volumen del Hoyo.....	31
Ilustración 14.- Comparación de % de Densidad entre los Métodos.....	36
Ilustración 15.- Comparación de % de Humedad entre los Métodos	37
Ilustración 16.- Diferencia % en Densidad y Humedad entre los Métodos	37
Ilustración 17.- Muestra de Proctor	48
Ilustración 18.- Muestra de Densidades con Cono y Arena	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Grado de Compactación Relativa según el Tipo de Relleno	12
Tabla 2.- Dosis Máxima de Radiación para Personas Expuestas	26
Tabla 3.- Resultados de Densidad y Humedad según Cono y Arena	35
Tabla 4.- Resultados de Densidad y Humedad según Densímetro Nuclear	35
Tabla 5.- Comparación de Resultados de Densidad y Humedad entre Ambas Pruebas 1	36
Tabla 6.- Comparación de Resultados de Densidad y Humedad entre Ambas Pruebas 2	36
Tabla 7.- Cuadro de Detalles según Calificación	39
Tabla 8.- Ventajas y Desventajas del Uso del Método de Cono y Arena.....	40
Tabla 9.- Ventajas y Desventajas del Uso del Método del Densímetro Nuclear.....	41
Tabla 10.- Datso y Resultados Proctor Modificado 1	46
Tabla 11.- Datso y Resultados Proctor Modificado 2	47
Tabla 12.- Resultados Granulometría y Límites de Atterberg.....	49
Tabla 13.- Resultados de Densidades con Densímetro Nuclear.....	49
Tabla 14.- Resultados de Densidades con Cono y Arena.....	50

RESUMEN

Gracias a los avances tecnológicos, AASHTO y ASTM han podido desarrollar nuevos métodos para la toma de pruebas de campo, como ocurrió con la invención del *densímetro nuclear*, en detrimento del método tradicional del *cono y arena*, al momento de tomar densidades relativas de campo. En este trabajo se buscó determinar cuál de las dos pruebas es la ideal para cumplir los estándares de calidad, priorizando también los tiempos y costos. Para realizar este análisis se tomaron diez pruebas con cada método en una de las vías de la urbanización CostaSol, en el Km. 19 de Vía a la Costa, en Guayaquil, Ecuador, se realizaron gráficos comparativos de los resultados de densidad y humedad, y se hicieron comparaciones teórico-técnicas de los dos métodos, pudiendo confirmar que no existían mayores diferencias técnicas, pero que las ventajas en tiempo y costo son tan favorables para el densímetro nuclear, que definitivamente es la prueba más recomendable para todas las obras viales.

Palabras Claves: *Densímetro Nuclear, Cono y Arena, Densidad Seca Máxima, Densidad, Humedad, Granulometría, Plasticidad, Arena.*

ABSTRACT

Thanks to technological advances, AASHTO and ASTM have been able to develop new methods for taking field tests, as happened with the invention of the *nuclear densimeter*, to the detriment of the traditional *cone and sand* method, when taking relative field densities. In this work, we sought to determine which of the two tests is the ideal to meet quality standards, also prioritizing time and costs. To carry out this analysis, ten tests were taken with each method in one of the roads of the CostaSol urbanization, at Km. 19 of Vía a la Costa, in Guayaquil, Ecuador, comparative graphs of the results of density and humidity, and Theoretical-technical comparisons of the two methods were made, being able to confirm that there were no major technical differences, but that the advantages in time and cost are so favorable for the *nuclear densimeter*, that it is definitely the most recommended test for all road works.

Keywords: *Nuclear Density Meter, Cone and Sand, Maximum Dry Density, Density, Humidity, Granulometry, Plasticity, Sand.*

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

En un mundo donde el parque automotor es cada vez más grande; y, por lo tanto, las vías de transporte son cada vez más importantes, la ingeniería civil se encuentra con el gran desafío de mejorar cada vez más sus métodos, formas constructivas, procesos y controles de calidad. Y todo esto, no solo en el campo de la eficiencia técnica, sino también preocupándose por la parte económica, factibilidad y rapidez en la que los distintos proyectos se mueven para brindar un mejor servicio a la ciudadanía. Ya con el pasar de los años, y gracias a los esfuerzos de tantos ingenieros y laboratorios, se han podido ir mejorando y desarrollando nuevas técnicas para tomar pruebas en campo y determinar que los materiales a usarse son los correctos y los métodos de extracción, acarreo, tendido, humectación y compactación, son los adecuados para cada tipo de material encontrado. Y es justamente aquí donde, a través de los años, la ingeniería ha desarrollado tantas pruebas vitales para el desarrollo de cualquier vía de transporte; como son la granulometría, los límites de Atterberg, Proctor, CBR y la toma de densidades de campo. Todas estas pruebas, a excepción de la última mencionada, sirven para determinar si las características físico-mecánicas de los materiales a utilizar son las adecuadas para el proyecto, según el estudio de suelo y la estructura de pavimento determinada; al mismo tiempo, todas estas pruebas dependen enteramente de las condiciones naturales del material y no de un trabajo o intervención humana. Y es justamente por esto que la toma de densidades de campo es tan importante; ya que pone a prueba las maquinarias, procesos y trabajos realizados por las personas y los ingenieros encargados de la obra. Para la toma de densidades de campo se han venido desarrollando y optimizando las pruebas para tratar de que los resultados mostrados sean lo más reales posibles, disminuyan el margen de error, aumente la rapidez en la muestra de resultados y sean económicamente viables. Hoy, las pruebas más conocidas para esto son las del *Cono* y

Arena, el *Densímetro Nuclear*, y últimamente también se ha empezado a tomar pruebas con *Densímetro Eléctrico*. En este trabajo de título se busca analizar, comparar y determinar cuál de las dos pruebas mayormente usadas, como son el Cono y Arena y el Densímetro Nuclear, es la más recomendada para todo tipo de obra vial, especialmente para la ciudad de Guayaquil, Ecuador, con sus suelos variados y su urgente necesidad de estructura vial. Para realizar esto se harán ensayos en campo con ambas pruebas, para así ver las diferencias técnicas, económicas, de tiempo y de mayor cercanía a la realidad.

1.1. Antecedentes

El análisis de este trabajo se basa en los avances tecnológicos que han existido en el campo de la geotecnia para modernizar, agilizar y volver más reales las pruebas de campo, sin perder la eficiencia o realidad de los resultados. Por lo tanto, se quiere analizar los dos métodos más conocidos para la definición del grado de compactación y humedad real de los distintos tipos de suelos para así determinar cuál cumple con todos los requisitos técnicos, es más fiable, exacto y eficiente para las distintas obras y evitar la inversión de proyectos en un método que no sea el adecuado o no les convenga.

Las pruebas de campo se las realizará en la vía de entrada a la etapa 5 de la urbanización CostaSol, plan habitacional desarrollado por la Constructora Thalía Victoria S.A., ubicado en la ciudad de Guayaquil, Ecuador; puntualmente en el km. 19,5 de Vía a la Costa, sentido Salinas-Guayaquil, entre la Universidad Salesiana y la fábrica de sacos de yute REYSAC.



Ilustración 1.- Ubicación de las pruebas; CostaSol, km. 19,5 Vía a la Costa

Fuente: Google Earth, 2022

Elaboración: Propia

El procedimiento para la toma de estas pruebas cumplirá la norma explicada en el artículo 303-1.03 del documento del Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones del Ecuador MOP-001-F 2002.

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, en un tramo de la vía Collas-Tababela. Pero en Guayaquil no existe registro de haberse realizado este análisis, considerando que los suelos de esta ciudad son considerablemente diferentes a los de las ubicaciones antes mencionadas.

1.2. Problemática

El problema real para los constructores de hoy en día es el poder contar con pruebas de laboratorio fiables, pero al mismo tiempo económicas y rápidas, para que la obra no se paralice y pueda avanzar según el ritmo planificado. Y es justamente ahí donde aparece la contraposición entre la exigencia técnica normada y la exigencia de los constructores y promotores para no afectar sus negocios. Por lo tanto, la ingeniería civil, con sus distintas instituciones y laboratorios, pensando también en el correcto desarrollo económico de las empresas y de los países, debe evolucionar para poder estar a la vanguardia tecnológica y así tratar de ayudar a las empresas y profesionales, pero sin dejar a un lado o descuidar la excelencia técnica. En este estudio se contrapondrán dos tipos de prueba que buscan lo mismo, pero que son muy distintas entre sí; cada una con sus ventajas y desventajas, para así poder plantear a los constructores cuál de los dos ensayos es el mejor para sus pretensiones económicas, cronológicas y, sobre todo, técnicas.

1.3. Justificación

Con ya varios años de experiencia, el autor ha podido conocer de primera mano las diferencias importantes que tienen en cuanto a tiempo y dinero las dos pruebas de densidad planteadas en este estudio, pero no existe en Guayaquil ningún estudio ingenieril donde se analicen las diferencias técnicas entre estas. Por lo tanto, este estudio no solo servirá para dar una herramienta de análisis a los ingenieros del medio, sino también para tomar una decisión fundamentada en cuál de las dos pruebas es la mejor para su acometido, y así aplicarla siempre en la Constructora Thalía Victoria S.A., empresa en la que labora el autor de este estudio.

1.4. Alcance

El alcance de este estudio será determinar con argumentos técnicos, económicos y generales, cuál de las dos pruebas de campo es la más beneficiosa al momento de tomar densidades de campo apegadas a la realidad y a las necesidades de las empresas constructoras e ingenieros de Guayaquil, Ecuador. Se hará un comparativo completo en base a las densidades de campo que se tomarán en la Urbanización CostaSol, ubicada en Vía a la Costa de Guayaquil, Ecuador.

1.5. Objetivo General

Analizar y demostrar cuál de los dos métodos es más exacto, eficiente y adecuado para la obtención de resultados reales en cuanto a la densidad y a la humedad de los suelos probados.

1.6. Objetivos Específicos

- Realizar ensayos con densímetro nuclear en las vías del proyecto para determinar el grado de compactación y el porcentaje real de humedad según esta prueba.
- Realizar ensayos con el cono y arena en las vías del proyecto para determinar el grado de compactación y el porcentaje real de humedad según esta prueba.
- Comparar los resultados de ambos tipos de prueba, tomados relativamente en el mismo sitio, para determinar las diferencias en el grado de compactación y humedad de las pruebas.
- Determinar las ventajas y desventajas presentadas por cada uno de los dos tipos de pruebas.
- Hacer una comparación teórica y práctica de las pruebas para así poder determinar cuál de las dos es la más adecuada para ser realizada en el proyecto.

1.7. Metodología

Esta investigación se llevará a cabo en distintas partes:

1. Realización de todas las pruebas de laboratorio previas a la toma de densidades.

Estas son:

1.1. Granulometría - ASTM D6913

1.2. Límites de Atterberg – ASTM D4318

1.3. Clasificación SUCS – ASTM D2487

1.4. Proctor (DSM y Humedad Óptima) - ASTM D1557

2. Experimentación en sitio con materiales y condiciones reales; tanto con el cono y arena, como con el densímetro nuclear.
3. Comparación de resultados para determinar las diferencias en compactación y en humedad real.
4. Análisis de resultados.
5. Explicación y análisis teórico-técnico de las pruebas de densímetro nuclear y cono y arena, para explicar qué implica cada una y cómo se las debe realizar.
6. Análisis técnico-práctico para determinar cuál de las pruebas es la más adecuada para los proyectos constructivos en Ecuador y recomendaciones para la toma de estos.

1.8. Hipótesis

El método del densímetro nuclear es el más eficiente para las pruebas en campo debido a su rapidez, bajo costo y veracidad con la densidad y humedad real en campo.

CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Pruebas Granulométricas (AASHTO T-11 y T-27)

Las pruebas granulométricas se utilizan en ingeniería para determinar cómo está compuesto un suelo en base al tamaño de sus partículas. Y según esto, se puede obtener también el porcentaje de cada rango de tamaños que tiene el suelo analizado, y así poder determinar cuál es el tipo de suelo predominante en la muestra. Para este ensayo se deben utilizar los tamices o filtros con distinto tamaño de aberturas, y se lo puede realizar de forma mecánica, utilizando un equipo eléctrico para agitar los tamices y agilizar el paso de las partículas de un tamiz a otro; o únicamente con las manos, mediante movimientos giratorios y vibratorios. En este trabajo se lo realizará de forma mecánica con el aparato eléctrico.



Ilustración 2.- Tamices y Máquina para Tomar Granulometría

Fuente: El Autor

Normalmente el tamiz de mayor abertura que se utiliza es de 3" y el de menor abertura es de 0.074mm (conocido comúnmente como tamiz #200); y se utiliza la granulometría para dividir al suelo en 3 tamaños diferenciados: grava, arena y finos. En la siguiente tabla se explica mejor la subdivisión:

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	

Ilustración 3.- Tabla Granulométrica según Tamaño de Partícula

Fuente: (de León Monroy, 2002)

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). En este trabajo se utilizará la clasificación SUCS.

2.1.2. Límites de Consistencia de Atterberg (AASHTO T-89 y T-90)

Los límites de consistencia de Atterberg o también conocidos como “pruebas de plasticidad” son un ensayo de laboratorio que permite determinar el tipo de suelo que se tiene según el comportamiento de los suelos finos a medida que el contenido de agua va aumentando. Según este ensayo, el suelo puede tener cuatro estados: sólido, semi sólido, plástico y líquido. Entonces, lo que busca el ensayo es conocer el contenido de agua que se necesita en para pasar de un estado al otro. Normalmente se realiza este ensayo con la muestra de suelo que haya pasado a través del tamiz #40. Este ensayo fue creado por Albert Atterberg y determina al suelo según 3 límites:

1. Límite de Retracción o Contracción.- Esto ocurre mientras un cambio en el contenido de agua del suelo no conlleva también un cambio en el volumen. Este límite es el horizonte entre el estado sólido y semisólido.
2. 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.
3. 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.

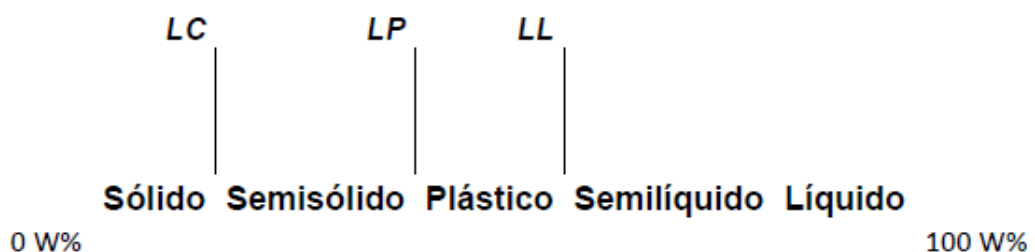


Ilustración 4- Límites de Atterberg

Fuente: (de León Monroy, 2002)

2.1.3. Ensayo de Proctor Modificado (Densidad Seca Máxima y Humedad Óptima)

Se conoce que existen dos tipos de métodos Proctor, el estándar y el modificado. Pero debido a que para el análisis de material granular en vías, la norma solo permite utilizar el Proctor modificado, entonces solo se hablará de dicho ensayo en este trabajo. De forma sencilla y resumida, lo que busca el ensayo del Proctor Modificado es determinar la Densidad Seca Máxima y la Humedad Óptima en una muestra de suelo; o como afirma Flores Cano (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”. El proceso para realizar este ensayo es ir compactando en un molde capas de entre 4 a 6”, mediante la caída libre de un peso (pistón) de 44.48N a 457.2mm de altura. Esta combinación genera un esfuerzo de compactación de $2700 \text{ kN} \frac{\text{m}}{\text{m}^3}$. Lo que hace la prueba, de forma general, es tomar un molde del material totalmente seco, ponerle una cantidad determinada de agua y compactarlo por capas mediante uno de los tres métodos aprobados por la ASTM, para así revisar hasta qué cantidad de golpes el material se sigue compactando, y cuando ya se empieza a descompactar; es de este análisis que sale la curva de compactación. Entonces, el valor más alto de la curva, el horizonte entre compactación y descompactación, se lo conoce como Densidad Seca Máxima. Es a estos valores con los que se comparará la densidad de campo para determinar si supera o no la prueba de compactación.

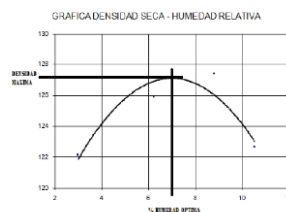


Ilustración 5.- Curva de Compactación Proctor

Fuente: (de León Monroy, 2002)

2.1.4. Compactación de Suelo

La compactación del suelo es el procedimiento mediante el cual se trata de reducir los espacios vacíos existentes en el suelo mediante la aplicación de agua y de fuerzas estáticas o dinámicas. Se utiliza el agua para cohesionar y unir de una mejor forma las partículas de suelo, llenando todos los espacios vacíos (que tienen aire). El método de compactación más común es mediante máquinas que tienen rodillos vibratorios, que pueden ser “rodillos pata de cabra, rodillos lisos en tandem de 2 o 3 ejes, o de tres ruedas, y rodillos neumáticos”(Ministerio de Obras Públicas MOP, 2002). 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 MOP, 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.

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas MOP, 2002)

En otros tipos de suelo como la base, es necesario llegar al 100% de compactación relativa para que se considere que la compactación ha sido efectiva. *“Esta densidad se compara con la densidad máxima de una prueba de proctor previamente realizada y se obtiene la densidad relativa del Proctor”* (de León Monroy, 2002)

2.1.5. Métodos para toma de densidades de campo

Una vez que se han explicado ya las pruebas necesarias para determinar las características físico-mecánicas de las muestras de suelo que son relevantes para este estudio, es momento de hablar de las pruebas que no se hacen en laboratorio y bajo ambientes controlados; sino en campo, y que comprueban si el trabajo realizado por los ingenieros a cargo de la obra fue el correcto o si es necesario corregir algún procedimiento y mejorar los controles de obra. Es decir, todas las pruebas antes mencionadas dependen única y enteramente del material o tipo de suelo; mientras que las pruebas que se explicarán a continuación ya reflejan un trabajo humano y determinan si las actividades realizadas han sido las correctas. *“El control de la densidad en la obra será llevado a cabo por el Fiscalizador, de acuerdo con los siguientes métodos:*

a) Método del Cono y Arena, según AASHTO 191-61;

c) Método nuclear debidamente calibrado” (Ministerio de Obras Públicas MOP, 2002)

La cantidad y ubicación de los puntos a probarse, según el MOP, quedan a decisión del fiscalizador de la obra o:

“a) Cada 500 m³ de relleno, o cada 100 m. lineales como promedio en cada capa colocada con excepción de la de subrasante; y,

b) Un promedio de cada 100 m. lineales para la capa de subrasante en terraplenes, rellenos y cortes” (Ministerio de Obras Públicas MOP, 2002)

2.1.5.1. Cono y Arena:

2.1.5.1.1. Información General

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, 2015).



Ilustración 6.- Prueba de Cono y Arena

Fuente: <https://www.macingenieriacivil.com/densidades-de-campo-por-el-metodo-del-cono-de-arena/>

Según la ASTM, la prueba consiste en excavar un hoyo a mano en el suelo, utilizando unas herramientas tipo cuchara especiales, y guardar todo el material extraído en un contenedor aparte. Luego de eso, se llena el hueco con una arena especial calibrada, de densidad y humedad óptima conocida, y se determina el volumen del hueco excavado. Con estos datos se procede a determinar la densidad húmeda del suelo de sitio dividiendo la masa del suelo extraído (masa húmeda) para el volumen del hueco. Después se lleva la muestra a laboratorio, se la seca y se calcula la cantidad de agua del material que estaba en el hoyo; y luego se calcula la masa y la densidad seca del material de sitio, utilizando

la masa húmeda, el contenido de agua y el volumen del hueco. 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 et al., 2006)

La herramienta principal de esta prueba está compuesta por una válvula con un hueco de 12.5mm (½”) 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.

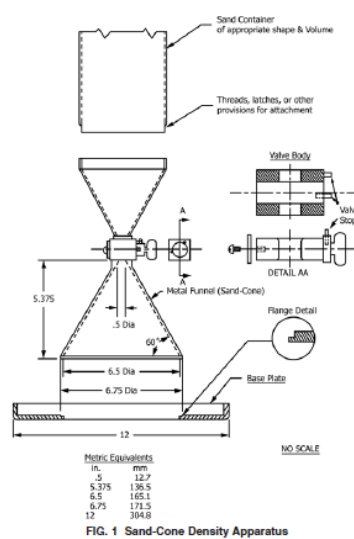


Ilustración 7.- Aparato de Cono y Arena

Fuente: (ASTM, 2015)

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 basal.... 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” (MOP Chile, 2014); es decir que no se puede utilizar esta prueba para capas con espesores mayores o partículas de suelo muy grandes.



Ilustración 8.- Herramientas para excavar el hueco

Fuente: (Bowles, 1980)

2.1.5.1.2. Arena Especial para Pruebas (Arena Ottawa)

Se podría decir que lo más importante y lo más difícil de lograr en esta prueba es tener la arena correcta con la densidad y humedad conocida. Generalmente se la conoce como Arena de Ottawa. Esta arena hay dos formas de conseguirla:

1. 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. Para su aceptación los resultados de dichas determinaciones deben tener una variación menor que el 1% entre sí”(de León Monroy, 2002). Es decir, la arena sirve siempre y cuando todas las partículas tengan un tamaño similar y esté dentro de un rango parecido, para evitar la segregación y evitar que la arena se comporte de forma distinta en cada cálculo de volumen. La ASTM la explica como *“Sand must be clean, dry, uniform in density and grading, uncemented, durable, and free-flowing. Any gradation may be used that has a coefficient of uniformity ($C_u = D_{60}/D_{10}$) less than 2.0, a maximum particle size smaller than the 2.0 mm [No. 10] sieve size, and less than 3 % by weight passing the 250 μm [No. 60] sieve size”* (ASTM, 2015). El problema de fabricar la arena es que toma mucho tiempo y mano de obra; además, que el ratio de arena que se recupera de los procesos de filtrado es muy poca; puesto que generalmente la arena es de río, fina, entonces la mayoría supera el tamiz #50.

2. 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. De todas formas, si se logra recuperar la arena del hueco, siempre se perderá una parte que está

pegada a las paredes del hoyo; entonces es un material que se pierde con el tiempo. La misma ASTM lo dice “*Sand shall not be re-used without removing any contaminating soil, checking the gradation, drying and redetermining the bulk-density... As a general rule, reclaiming sand after testing is not desirable*” (ASTM, 2015)

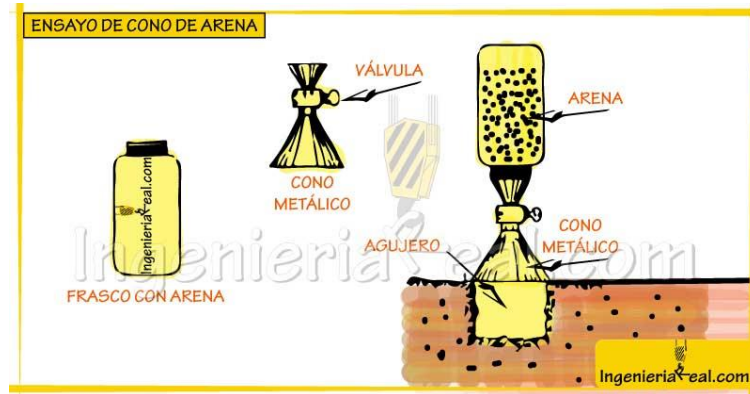


Ilustración 9.- Herramientas de Cono y Arena 2

Fuente: <https://ingenieriareal.com/como-realizar-ensayo-densidad-en-el-sitio-con-el-cono-de-arena/>

Más adelante se explicará el procedimiento de toma y cálculo más a detalle.

2.1.5.2. Densímetro Nuclear:

2.1.5.2.1. Información General

El densímetro nuclear, a diferencia del método de cono y arena explicado anteriormente, es un aparato tecnológico que simplifica el trabajo y los cálculos; 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 expuestas en la norma ASTM D6938-17a; puesto que “*La American Society for Testing Materials -ASTM- lo considera válido desde el año 1971*” (Soledad et al., 2006). Es decir, es un método relativamente nuevo y que, según propias palabras de la ASTM, “*is useful as a*

rapid, nondestructive technique for in-place measurements of wet density and water content of soil and soil-aggregate and the determination of dry density” (ASTM, 2017).

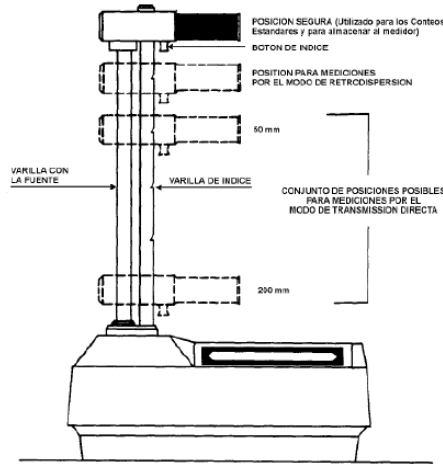


Ilustración 10 .- Perfil de Densímetro Nuclear

Fuente: (de León Monroy, 2002)

“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.” (Veintimilla Granda & Mata, 2016). 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”. (de León Monroy, 2002); 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). También lo explica la ASTM como “The

total or wet density of soil and soil-aggregate is measured by the attenuation of gamma radiation where, in direct transmission, the source is placed at a known depth up to 300 mm (12 in.) and the detector(s) remains on the surface”(ASTM, 2017). Explicado muy brevemente, suelos más densos absorben mayor radiación que los suelos sueltos; por lo tanto, si en un suelo existen muchos vacíos (menor densidad), más rayos gamma se reflejan y retornan a la superficie, indicando que hay una densidad menor en base a la cantidad de rayos gamma que regresaron.

Pero, por el simple hecho de ser un equipo automático, también requiere de calibraciones constantes, corrección de errores, y verificaciones diarias para estar seguro de que los resultados reflejen la realidad en campo. *“Nuclear moisture density gauges are subject to long-term aging of the radioactive sources, which may change the relationship between count rates and the material density and water content. To correct for this aging effect, gauges are calibrated as a ratio of the measurement count rate to a count rate made on a reference standard or to an air-gap count (for the backscatter/air-gap ratio method).”* (ASTM, 2017). 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:

- a) Curva de calibración: Se la realiza utilizando materiales con densidades conocidas, como granito, aluminio, calcio, etc.; siempre y cuando estos materiales tengan densidades cercanas o similares a los suelos que se van a medir. *“Estas se establecen determinando la razón de conteo nuclear de cada uno de varios materiales de densidades conocidas, trazando la razón de conteo contra densidad y ajustando una curva a través de los puntos resultantes”* (de León Monroy, 2002)

b) Comparación con cono y arena: Se realizan al menos 5 tomas con el método de cono y arena, y con el densímetro nuclear en exactamente los mismos puntos. Luego se determinan las densidades y humedades del cono y arena y se los comparan con los resultados del densímetro; *“si el promedio de las determinaciones de densidad por el cono y arena está a más de 0,032grs/cc por sobre o bajo del promedio de las mediciones nucleares, los ensayos siguientes deben ser ajustados en el monto de la diferencia de los promedios, trazando así una curva de calibración corregida, que será paralela a la original”* (de León Monroy, 2002).

Este aparato suele usar dos tipos de fuente radioactiva, Cesio para medir la densidad y Americio para medir la humedad. Esto se hace de la siguiente forma:

- a) Para medir la densidad: *“se utiliza una fuente radiactiva de 8 mCi Cesio-137 y 2 detectores de rayos gamma (Geiger-Muller). Algunos de los rayos gamma emitidos por la fuente de Cesio son transmitidos a través del material de prueba a los detectores y son medidos.”* (Veintimilla Granda & Mata, 2016) El Cesio 137 tiene un período de semidesintegración de 30 años y tiene una alta radiotoxicidad.
- b) Para medir la humedad: *“se realiza utilizando una fuente radiactiva de 40 mCi de Americio 241- Berilio, y un detector de neutrones lento de Hel io-3. La velocidad de los neutrones emitidos por la fuente de Americio 241-Berilio es reducida por hidrógeno en estado sólido. Los neutrones lentos son contados por el detector.* (Veintimilla Granda & Mata, 2016). El Americio 241 tiene un período de semidesintegración de 432 años y tiene una muy alta radiotoxicidad.

2.1.5.2.2. 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: Es la más comúnmente utilizada, y fue explicada anteriormente. Al mismo tiempo es la más “peligrosa” debido a que la fuente radioactiva sale del equipo. Es la más exacta y de mayor eficacia y se puede utilizar para capas medianas y gruesas, y para todo tipo de materiales.
- 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. La retrodispersión es usada principalmente en capas delgadas, sean asfálticas o losas de concreto hidráulico.”* (de León Monroy, 2002)
- 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. El detector de Helio en el densímetro cuenta la cantidad de neutrones termalizados (con velocidad disminuida); que correlaciona*

directamente con la cantidad de humedad en el material evaluado” (de León Monroy, 2002)

- 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”.

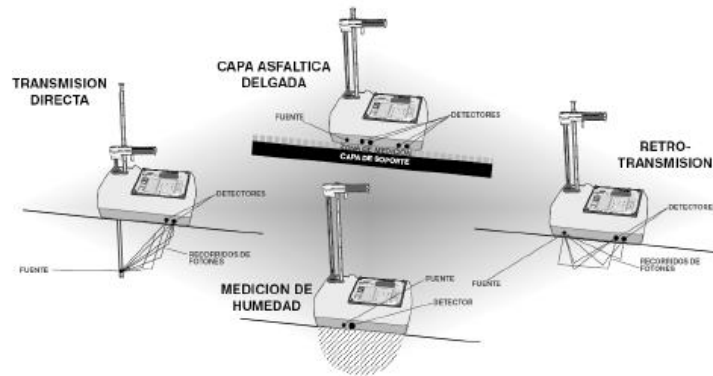


Ilustración 11.- Tipos de Medición con Densímetro Nuclear

Fuente: (de León Monroy, 2002)

2.1.5.2.3. Procedimiento para Uso Seguro del Densímetro

En todo el mundo, y puntualmente en Ecuador, se han desarrollado una serie de reglas y procedimientos de cumplimiento obligatorio para el uso seguro del densímetro nuclear; esto, debido al alto riesgo que implica el manipular y operar elementos radioactivos. Esta serie de exigencias, en Ecuador, fueron desarrolladas por el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables en el año 2016 y se lo conoce como MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE OPERACIÓN NORMAL Y DE EMERGENCIA RADIOLÓGICAS. En este manual se incluyen todo tipo de recomendaciones para evitar que sucedan fugas radioactivas y para poder controlarlas en caso de que ya hayan ocurrido. A continuación, se mencionará, de forma resumida, cuáles son los pasos que indica este manual para disminuir el riesgo al operar dicho aparato:

- Primero, se exige que el laboratorio que quiera utilizar este aparato deba contar con la *“licencia de operación de fuentes radioactivas y además que se lea el manual dado por el fabricante del equipo”* (Veintimilla Granda & Mata, 2016)
- Todos los operadores del equipo deben contar con dosímetros para medir la radiación del equipo *“para verificar que la fuente se encuentre en el equipo antes y después de su transporte al lugar de trabajo”* (Veintimilla Granda & Mata, 2016)
- *“En cada día de uso del equipo, el personal está obligado a utilizar el medidor Geiger Muller, el uso del dosímetro personal, el mismo que es enviado al M.E.E.R para su evaluación cada 2 meses”*(Veintimilla Granda & Mata, 2016)
- La dosis máxima permitida para cualquier operador del densímetro es de *“una dosis efectiva de 20 mSv anuales promediada durante cinco años consecutivos (100 mSv en 5 años), y de 50 mSv en un año”* (Veintimilla Granda & Mata, 2016)
- La dosis máxima permitida para cualquier persona ajena al densímetro es de *“una dosis efectiva de 1 mSv en un año”* (Veintimilla Granda & Mata, 2016)
- Los daños o afectaciones a la salud más comunes por exposición elevada a elementos radioactivos pueden ser (Veintimilla Granda & Mata, 2016):
 1. *“Daño celular*
 2. *Modificaciones genéticas*
 3. *Cáncer*
 4. *Leucemia*
 5. *Acortamiento de la vida*
 6. *Reacciones locales, depilación, atrofia, úlceras.*
 7. *Esterilidad*
 8. *Muerte”*

- Para el transporte del equipo, se deben contar con camiones o camionetas especiales, que cumplan las normas establecidas y *“se lo debe transportar en el balde de las camionetas y amarrado en la compuerta posterior, no debe ir detrás de la cabina del conductor.”* (Veintimilla Granda & Mata, 2016)
- El laboratorio debe contar con un punto de almacenamiento del densímetro nuclear *“ubicados en un bunker de hormigón, localizado en una plataforma exterior y posterior al laboratorio de suelos, destinado para su almacenamiento.”* (Veintimilla Granda & Mata, 2016)
- Ya en campo, el procedimiento es el siguiente:
 - a. Sacar el densímetro, con cuidado, de su caja de protección ya estando en el suelo.
 - b. Encerar el aparato y proceder a hacer los huecos con el combo y varilla.
 - c. Una vez escogido el sitio de prueba, se debe *“delimitar el área con conos de seguridad”*
 - d. Luego se procede a colocar todos los valores referenciales en el equipo y se baja la varilla metálica asegurándose que todas las personas estén un mínimo de 5m alejados del equipo. Las personas tienen un máximo de 20 segundos para alejarse los 5m del equipo.
 - e. *“Proceder al ensayo que tiene una duración de 60 segundos. Hay que tener cuidado ya que cuando empieza el proceso, la pastilla de Cesio que se encuentra en el vástago emite radiaciones gamma, el mismo que tiene un efecto a cinco metros a la redonda”* (Veintimilla Granda & Mata, 2016)
 - f. Terminadas las pruebas, subir el equipo al transporte y llevarlo al lugar de almacenamiento establecido.

Tabla 2.- Dosis Máxima de Radiación para Personas Expuestas

DOSIS MÁXIMA PERMISIBLE PARA PERSONAS OCUPACIONALMENTE EXPUESTAS*		
5,000	mrem	1 Año
400	mrem	1 Mes
100	mrem	1 Semana
20	mrem	1 Día
2.2	mrem	1 Hora

Fuente: (de León Monroy, 2002)

2.2. Marco Conceptual

Cantera: Es un yacimiento rocoso que requiere del uso de explosivos o maquinaria pesada *“para la explotación de materiales de construcción”*.(Ministerio de Obras Públicas MOP, 2002)

Compactación: *“Aumento de la "Densidad" de un determinado suelo”* (Ministerio de Obras Públicas MOP, 2002) mediante la utilización de maquinaria pesada o métodos mecánicos de compactación como rodillos vibratorios, etc.

Contenido de humedad: *“es el peso del agua contenida en la muestra del suelo (libre, adsorbida, capital 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”* (Ministerio de Obras Públicas MOP, 2002).

Densidad Seca máxima: *“"Peso Unitario Máximo" que se logra compactando en el laboratorio una muestra de suelos, o agregados, de acuerdo con un método de ensayo establecido (Proctor, Estándar o Modificado)”* (Ministerio de Obras Públicas MOP,

2002) utilizando agua en distintas cantidades; este índice será el que se use para comparar la compactación del mismo tipo de suelo en obra con las pruebas de densidad de campo.

Estructura del Pavimento: *“Combinación de capas de SUBBASE, BASE y de SUPERFICIE o RODADURA colocadas sobre una SUBRASANTE, para soportar las cargas del tránsito y distribuir los esfuerzos en la PLATAFORMA”.* (Ministerio de Obras Públicas MOP, 2002)

Fuente de Radiación (gamma, neutrones y electrones): Según la ASTM (2017) , es un compartimento sellado que contiene un material radioactivo, normalmente Cesio o Americio, que emite distintas radiaciones al descender en una superficie de suelo.

Dispersión Compton: Según la ASTM (2017), es la interacción entre los rayos gamma y los electrones, donde los rayos gamma pierden energía y rebotan en distintas direcciones para así, mediante fórmulas matemáticas, determinar la densidad relativa del suelo analizado.

Densímetro Nuclear: Es un aparato tecnológico y radiológico que utiliza materiales radioactivos para determinar el nivel de humedad grado de compactación de un tipo de suelo en relación con su densidad seca máxima.

Dosímetro. – Es un instrumento utilizado comúnmente para *“medir cualquier magnitud, que pueda estar relacionada con la determinación de las dosis”* radiológica absorbida por las personas que están en contacto con radioactividad; en este caso, con el densímetro nuclear (de León Monroy, 2002).

Arena: Material de suelo que proviene de la disgregación de rocas, el cual está compuesto por “*partículas cuyo tamaño varía entre 0,063 y 2 mm. Una partícula individual dentro de este rango es llamada grano de arena*”.(de León Monroy, 2002)

C.B.R: (California Bearing Ratio): Es una prueba de laboratorio que mide “*la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlada*” (de León Monroy, 2002). Este análisis se lo realiza únicamente para materiales que formen parte de una estructura de pavimentos, puesto que determina la “*relación de soporte*”(ASTM, 2017) del material. Esta prueba se hace con una parte del material que pasa el tamiz #50 y es retenido en el tamiz #20.

Granulometría: En geotecnia, es el estudio que se realiza a los suelos para determinar la distribución estadística del tamaño de granos que conforman la muestra, para así determinar en qué clasificación de suelo entra la muestra analizada (normalmente según AASHTO o SUCS). Determina el porcentaje de gravas, arenas y finos que tiene la muestra analizada.

Límites de Atterberg: También conocida como prueba de plasticidad, sirve para determinar el *Índice Plástico (IP)*, *Límite Líquido (LL)* y *Límite Plástico (LP)* de una muestra analizada. Esto permite determinar qué porcentaje de agua debe ingresar a la muestra para que pase de un estado seco, sólido y granular a un estado plástico-moldeable, luego a un estado plástico-deforme y finalmente, a un estado líquido.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Resultados de Pruebas de Laboratorio Previas

3.1.1. Granulometría

Según SUCS el material es una arena arcillosa. La muestra total fue de 9,945.00 gr. El material es prácticamente una arena gravosa con un 40.2% de arena y un 38.80% retenido en el tamiz No. 4. Además, tiene 21% de finos. Esto quiere decir que el material es una mezcla entre grava y arenas, mayoritariamente arenas, con una parte importante de finos. Se tienen los valores de $D_{60} = 4$, $D_{30} = 0.25$, $D_{10} = 0.01$. Con estos valores podemos sacar el coeficiente de curvatura, que es $CC = 1.5625$; y el coeficiente de uniformidad, que es $CU = 400$. Esto quiere decir que el material está bien gradado, puesto que el CC no está entre 1 y 3.

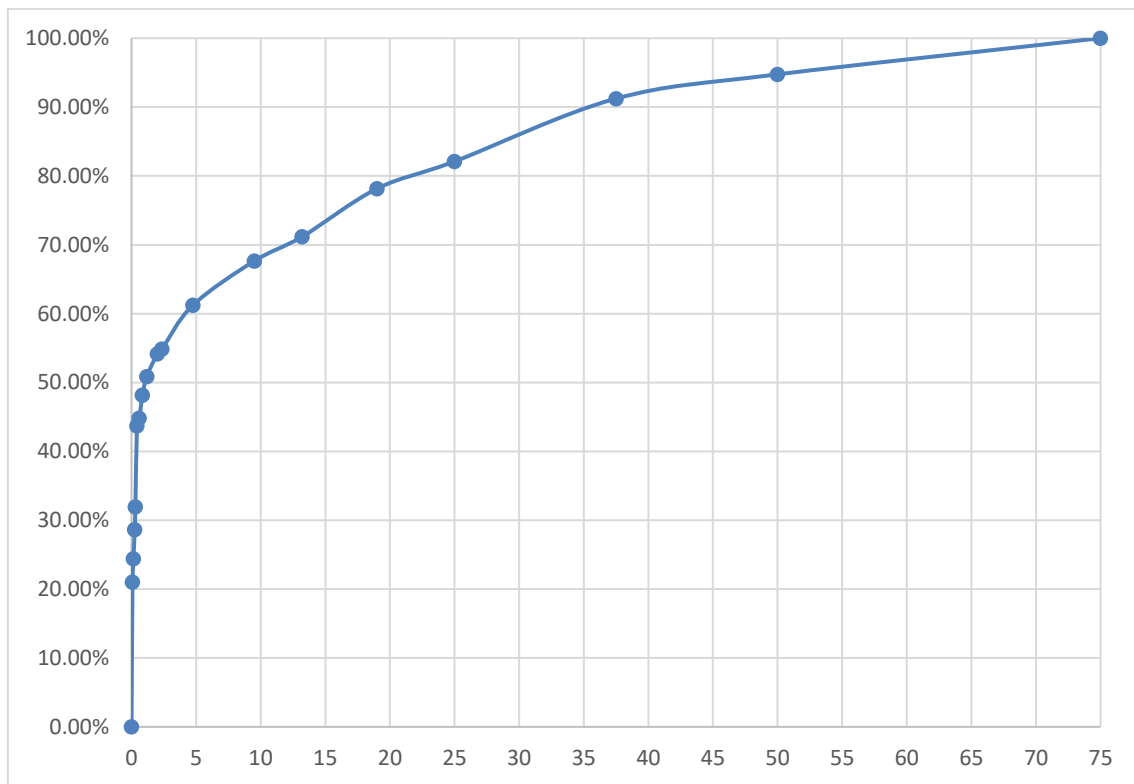


Ilustración 12.- Granulometría Material

Fuente: Construladesa S.A.

3.1.2. Límites de Atterberg

Tiene una humedad natural baja, con menos del 10%; esto quiere decir que es grava y/o arenas, tal como se pudo comprobar con la granulometría. Su límite líquido es del 22% en el golpe #25 y su límite plástico es del 14%; esto quiere decir que el índice plástico es del 8%. Esto quiere decir que la muestra, a pesar de que tiene principalmente gravas y arenas, si tiene cierta plasticidad, pero igual cumple con el máximo requerido del 9% según la estructura de pavimentos.

3.1.3. Proctor

El Proctor se lo sacó en 2 laboratorios, Construladesa S.A. y Borleti S.A. Y los resultados fueron los siguientes:

- Densidad Seca Máxima:
 - Borleti S.A. $1900 \frac{Kg}{m^3}$
 - Construladesa S.A. $1895 \frac{Kg}{m^3}$
- Humedad Óptima:
 - Borleti S.A. 11.90%
 - Construladesa S.A. 17.50%

Estos resultados tienen sentido, puesto que una DSM de 1900 indica que el material es principalmente arena y grava, y tiene poca plasticidad.

3.2. Métodos y Procedimientos

3.2.1. Toma de Densidades Mediante el Cono y Arena

3.2.1.1. Procedimiento y Herramientas

1. Primero, se debe pesar en una balanza todo el aparato explicado anteriormente, con los embudos y el contenedor de arena para determinar el peso inicial del aparato que servirá para los cálculos.
2. Luego se procede a barrer y limpiar superficialmente con una brocha un área cuadrada de entre 50-60cm para eliminar toda la basura y partículas sueltas que puedan desestabilizar la plancha metálica.
3. Ahora se procede a colocar la placa base en el suelo, y revisar que se encuentre bien nivelada y que ninguna parte de la placa se encuentre levantada. Se clava la placa al suelo utilizando clavos. *“Luego se aplana ligeramente el terreno a analizar para acomodar la placa base en posición firme y nivelada, para lo cual se utilizan varios clavos, los cuales sujetan dicha placa”* (de León Monroy, 2002).
4. Ya con la placa bien adherida al suelo, se procede a hacer el hoyo con cincel, martillo y unos cucharones para sacar la tierra. El hoyo debe tener exactamente el mismo diámetro que la placa metálica y debe tener 15cm de profundidad. Hay que poner especial atención para que el hoyo tenga el mismo diámetro y profundidad en todo el ancho del círculo. El volumen del hueco se lo debe determinar según la siguiente tabla:

CRITERIOS PARA SELECCIONAR EL VOLUMEN		
TAMAÑO MÁXIMO EN EL SUELO SEGÚN TAMIZ	VOLUMEN DEL AGUJERO PARA EL ENSAYO (cm ³)	TAMAÑO DE LA MUESTRA PARA CONTENIDO DE HUMEDAD (g)
No. 4 (4.75mm)	700	100
1/2plg (12.5mm)	1400	250
1plg (25.0mm)	2,100	500
2plg(50.0mm)	2,800	1,000

Ilustración 13.- Criterios para Seleccionar el Volumen del Hoyo

Fuente: (de León Monroy, 2002)

5. Todo el material extraído, sin perder ninguna partícula, se lo debe guardar en un contenedor para llevarlo al laboratorio. Este material debe ser pesado obteniendo así el peso húmedo del material de sitio.
6. Revisando que el hueco no tenga oquedades o partículas salientes; y que esté todo homogéneo, se coloca el aparato encima del hoyo y se abre la válvula para que la arena fluya libremente hacia el interior del hueco “*hasta que pare totalmente, para tener el valor de la arena remanente, para luego pesarlo nuevamente*” (de León Monroy, 2002). Luego se vuelve a pesar el aparato completo con la arena sobrante.
7. Finalmente, se recoge toda la arena de Ottawa que se pueda, siempre y cuando no esté contaminada para ser reutilizada.

Ya con todos estos valores, se pueden realizar los cálculos para definir las densidades y humedades de campo.

3.2.1.2. Cálculo de Resultados

En este punto ya se debe conocer de antemano la densidad de la arena de Ottawa (O_1) y la humedad óptima de esta. Además, como se indicó anteriormente, se tiene también ya el peso inicial del cono, incluyendo todas sus piezas y la arena (antes de ser usada) (M_1). Mientras que, durante el ensayo en campo, también se obtuvo el peso del cono, incluyendo todas sus piezas y la arena (después de ser usada) (M_2) y la masa del suelo húmedo (todo el material obtenido del hoyo) (M_3). Con estos valores se procede a obtener el volumen del hueco:

$$V = \frac{M_1 - M_2}{O_1}$$

Mientras se hacen los cálculos anteriores se debe dejar el suelo obtenido en sitio dentro del horno para sacarle toda la humedad; y al mismo tiempo, calcular también la

humedad del suelo de sitio (h). Luego se determina la masa seca del material que se sacó del hueco (M_4) realizando la siguiente división:

$$M_4 = \frac{M_3}{h + 100} \times 100$$

Para determinar la densidad húmeda del material de sitio (ρ_h) y la densidad seca del material (ρ_s), se hace lo siguiente:

$$\rho_h = \frac{M_3}{V}$$

$$\rho_s = \frac{M_4}{V}$$

Ya con estos valores, se divide la densidad seca para la densidad seca máxima obtenida en la prueba del proctor (ρ_p), y ya se tiene el porcentaje de compactación del punto analizado:

$$\% \text{ compactación} = \frac{\rho_s}{\rho_p} \times 100$$

Este proceso se debe repetir con todos los puntos tomados.

3.2.2. Toma de Densidades Mediante el Densímetro Nuclear

3.2.2.1. Procedimiento y Herramientas

Para hacer las pruebas con densímetro nuclear se necesita, a parte del equipo como tal, un mazo o martillo pesado y una varilla lisa para perforar el suelo. Ya con esto, se pueden tomar las pruebas de la siguiente forma:

- a. 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.
- b. Luego se procede a barrer y limpiar superficialmente con una brocha un área cuadrada de entre 50-60cm para eliminar toda la basura y partículas sueltas que puedan desestabilizar el equipo. La máxima separación entre suelo y equipo debe ser de hasta 3mm; en caso de que exista un punto con mayor separación, se le

debe colocar algo abajo para que sostenga el equipo firme y nivelado; pero el equipo debe estar asentado en un mínimo del 90% del suelo real del sitio para hacer la prueba.

- c. 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. Es decir, si se quiere analizar una capa de 15cm, se debe hacer una perforación de 20cm de profundidad. Este hueco debe ser lo más liso posible, puesto que cualquier partícula suelta puede afectar la medición.
- d. Colocar el aparato encima del área elegida y alinear la varilla metálica con el hueco. Aquí se deben ingresar los datos obtenidos en el Proctor (DSM y humedad óptima) para que el aparato, al tener el resultado, pueda calcular directamente el % de variación en relación con el Proctor. Una vez ingresada la información, se debe bajar la varilla metálica radioactiva al hueco y trabarla para que la fuente radioactiva trabaje. Al momento en que la varilla baja por el hueco, todas las personas deben alejarse al menos 5m a la redonda para evitar radiación.
- e. Esperar 1 minuto y acercarse al aparato para levantar la varilla y poder ver los resultados y anotarlos en un cuadro.
- f. Repetir esto las veces que sea necesario.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Resultados

4.1.1. Resultados de Método de Cono y Arena

Tabla 3.- Resultados de Densidad y Humedad según Cono y Arena

PUNTO	CONO DE ARENA	
	COMPACTACIÓN REAL	HUMEDAD
1	97%	11.59%
2	100%	12.91%
3	99%	9.63%
4	99%	11.54%
5	100%	11.88%
6	100%	8.66%
7	99%	11.63%
8	99%	9.88%
9	100%	9.31%
10	96%	9.40%

Fuente: El Autor

4.1.2. Resultados de Método de Densímetro Nuclear

Tabla 4.- Resultados de Densidad y Humedad según Densímetro Nuclear

PUNTO	DENSÍMETRO	
	COMPACTACIÓN	HUMEDAD
1	97.20%	13.40%
2	97.20%	13.60%
3	97.68%	12.40%
4	96.31%	14.30%
5	95.20%	12.90%
6	98.21%	12.90%
7	95.51%	14.90%
8	94.09%	13.20%
9	99.58%	13.30%
10	94.04%	15.30%

Fuente: El Autor

4.1.3. Comparación de Resultados de Ambos Métodos

Tabla 5.- Comparación de Resultados de Densidad y Humedad entre Ambas Pruebas 1

PUNTO	CONO DE ARENA		DENSÍMETRO		COORDENADAS		DIFERENCIA	
	COMPACTACIÓN REAL	HUMEDAD	COMPACTACIÓN	HUMEDAD	E	N	COMPACTACIÓN	HUMEDAD
1	96.76%	11.59%	97.20%	13.40%	606408	9756835	-0.44%	-1.81%
2	100.00%	12.91%	97.20%	13.60%	606416	9756838	2.80%	-0.69%
3	98.78%	9.63%	97.68%	12.40%	606425	9756841	1.10%	-2.77%
4	98.78%	11.54%	96.31%	14.30%	606431	9756842	2.47%	-2.76%
5	100.00%	11.88%	95.20%	12.90%	606435	9756843	4.80%	-1.02%
6	100.00%	8.66%	98.21%	12.90%	606428	9756846	1.79%	-4.24%
7	98.78%	11.63%	95.51%	14.90%	606420	9756843	3.27%	-3.27%
8	98.78%	9.88%	94.09%	13.20%	606413	9756841	4.69%	-3.32%
9	100.00%	9.31%	99.58%	13.30%	606404	9756839	0.42%	-3.99%
10	95.75%	9.40%	94.04%	15.30%	606400	9756835	1.71%	-5.90%

Fuente: El Autor

Tabla 6.- Comparación de Resultados de Densidad y Humedad entre Ambas Pruebas 2

PUNTO	DENSIDAD		HUMEDAD		COORDENADAS		DIFERENCIA	
	CONO DE ARENA	DENSÍMETRO	CONO DE ARENA	DENSÍMETRO	E	N	COMPACTACIÓN	HUMEDAD
1	96.76%	97.20%	11.59%	13.40%	606408	9756835	-0.44%	-1.81%
2	100.00%	97.20%	12.91%	13.60%	606416	9756838	2.80%	-0.69%
3	98.78%	97.68%	9.63%	12.40%	606425	9756841	1.10%	-2.77%
4	98.78%	96.31%	11.54%	14.30%	606431	9756842	2.47%	-2.76%
5	100.00%	95.20%	11.88%	12.90%	606435	9756843	4.80%	-1.02%
6	100.00%	98.21%	8.66%	12.90%	606428	9756846	1.79%	-4.24%
7	98.78%	95.51%	11.63%	14.90%	606420	9756843	3.27%	-3.27%
8	98.78%	94.09%	9.88%	13.20%	606413	9756841	4.69%	-3.32%
9	100.00%	99.58%	9.31%	13.30%	606404	9756839	0.42%	-3.99%
10	95.75%	94.04%	9.40%	15.30%	606400	9756835	1.71%	-5.90%

Fuente: El Autor

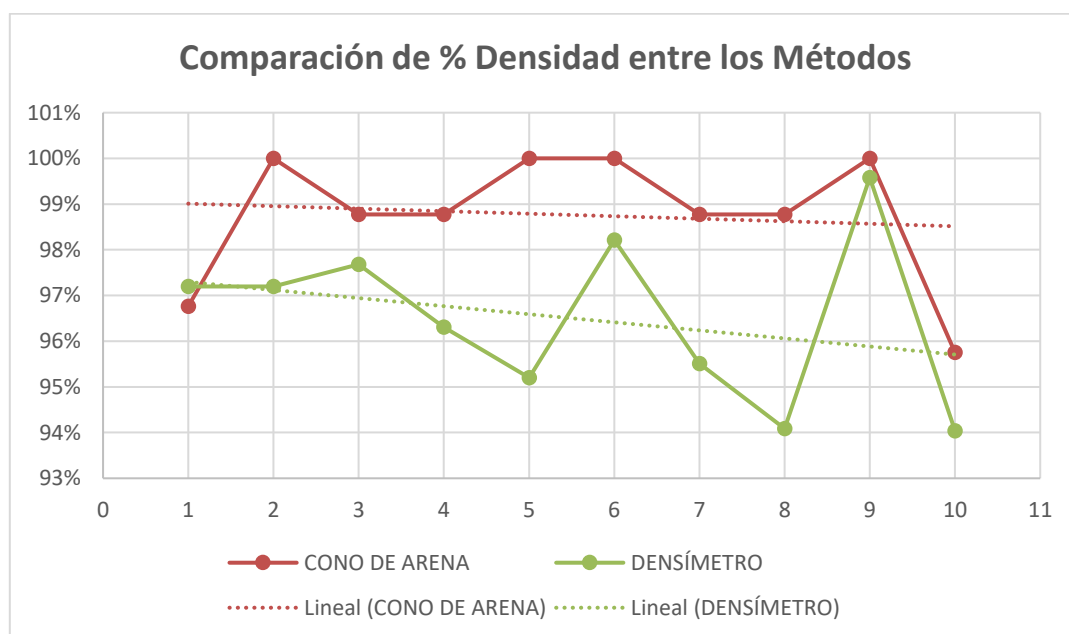


Ilustración 14.- Comparación de % de Densidad entre los Métodos

Fuente: El Autor

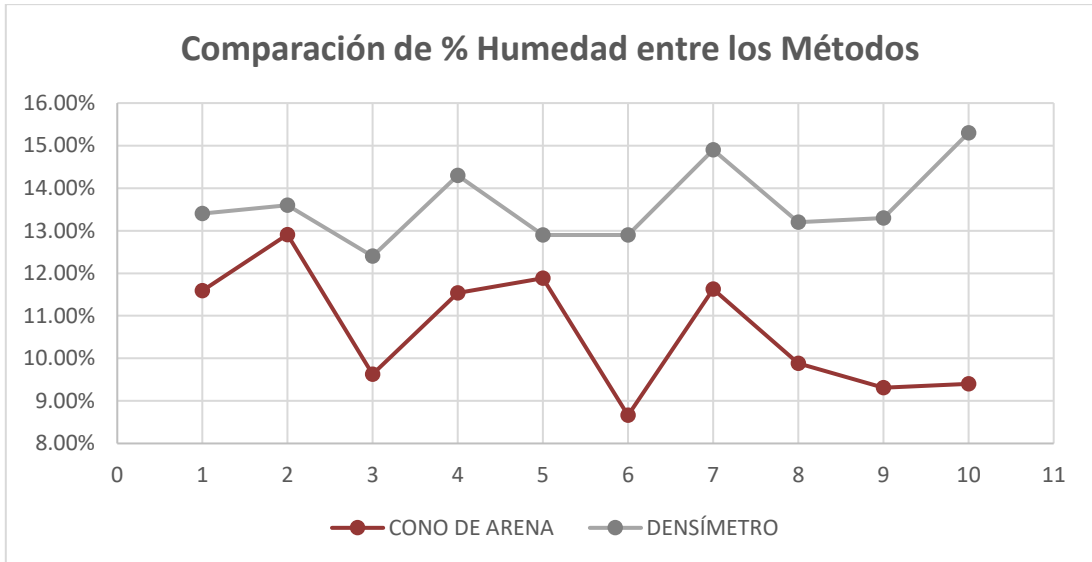


Ilustración 15.- Comparación de % de Humedad entre los Métodos

Fuente: El Autor

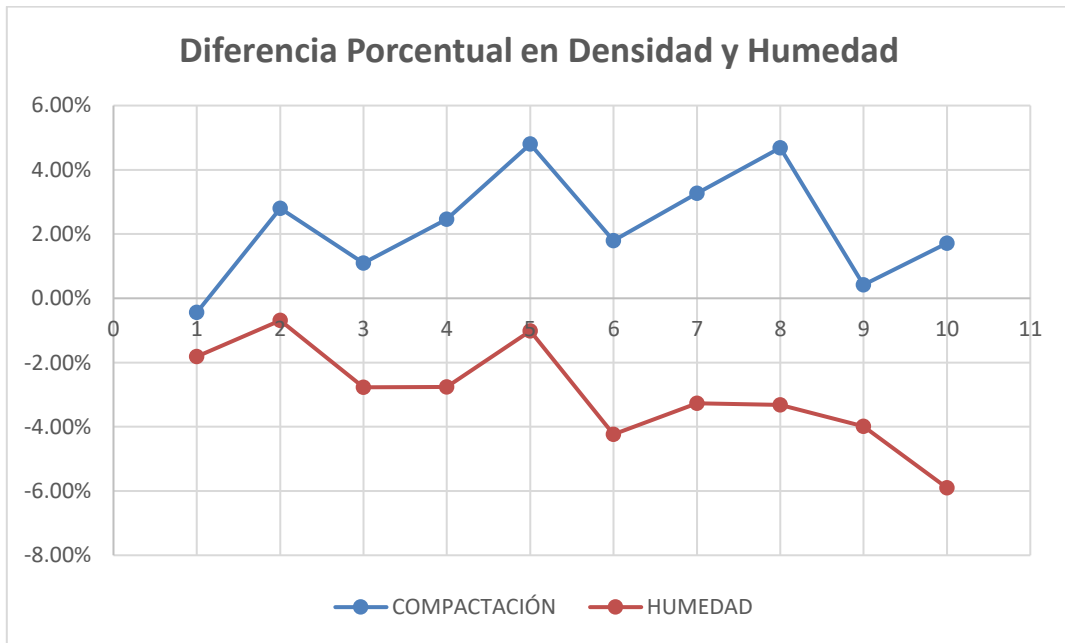


Ilustración 16.- Diferencia % en Densidad y Humedad entre los Métodos

Fuente: El Autor

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Discusión

5.1.1. Diferencia de Resultados entre cada Método

Como se puede ver en los resultados comparativos, en 9 de las 10 pruebas, el método del cono y arena dio una Densidad Relativa superior a la del densímetro nuclear; y al mismo tiempo, en las 10 pruebas, el cono y arena dio una humedad real inferior a la del densímetro nuclear. Esto demuestra que existe un comportamiento prácticamente lineal en las diferencias de estas pruebas, donde prácticamente siempre el cono y arena da una densidad mayor y una humedad menor que el densímetro nuclear. Esto permitiría asumir que así es el comportamiento y las diferencias normales entre dichas pruebas. Incluso, exceptuando solo la humedad #10, todas las diferencias están por debajo del 5%, lo cual es bastante bueno, porque las normas permiten variaciones de hasta 5% entre laboratorios; y con mucha más razón entre dos pruebas distintas. Por lo tanto, observando únicamente los resultados comparativos, las diferencias entre ambos métodos es bastante pequeña y cabe dentro del margen de error aceptado y tolerable por ser diferentes laboratorios y diferentes pruebas para determinar lo mismo. Incluso, yendo un poco más allá, y considerando que la norma indica que la compactación mínima aceptable para las capas de relleno es del 95%, solo en 2 pruebas ocurre que con un método supera el 95%, mientras que con el otro se queda por debajo del 95% (ambos en 94%); lo que quiere decir que incluso ahí, las diferencias no son tan importantes ni determinantes al momento de definir si se supera o no una prueba de compactación. Lo que sí permitiría asumir, es que el cono y arena suele dar una Densidad Relativa que tiende al alta, mientras que el densímetro nuclear da una Densidad Relativa que tiende a la baja.

5.1.2. Ventajas y Desventajas de cada Método

A continuación, se presenta un cuadro comparativo de ventajas y desventajas de cada uno de los métodos planteados. Esta comparación involucra aspectos técnicos, de seguridad, económicos, de tiempo, y generales. También se planteará un cuadro personal del autor, donde se calificará la importancia de cada ventaja (suma) y cada desventaja (resta) para así determinar cuál de los dos testeos es de mayor beneficio para el constructor o ingeniero:

Tabla 7.- Cuadro de Detalles según Calificación

CALIFICACIÓN	DETALLE
1 y -1	Mínima incidencia e importancia. No es realmente relevante para la obra, puesto que no afecta a tiempos ni costos.
2 y -2	Baja incidencia e importancia. Tiene poca relevancia para la obra, puede entrar en análisis comparativo.
3 y -3	Mediana incidencia e importancia. Empieza a tener relevancia para la obra, y en ciertos casos, puede afectar bastante a tiempos y costos.
4 y -4	Alta incidencia e importancia. Muy relevante para la obra, afecta mucho a tiempos y costos. Es determinante al momento de tomar una decisión.
5 y -5	Máxima incidencia e importancia. Aspectos que afectan directa y fuertemente a la obra, tanto en tiempos, como en costos. No es negociable; es un <i>deal breaker</i> .

Fuente: El Autor

Tabla 8.- Ventajas y Desventajas del Uso del Método de Cono y Arena

CONO Y ARENA			
VENTAJAS	IMPORTANCIA	DESVENTAJAS	IMPORTANCIA
No tiene elementos radioactivos, por lo que es más seguro para operadores y clientes.	4	Método destructivo, puesto que se hace un hueco en el suelo.	-2
No tiene ningún tipo de restricción gubernamental ni se requieren permisos especiales para realizarlo.	2	Demora mucho en dar resultados; mínimo 1 día por el secado. Normalmente entre 2-3 días.	-5
No depende de calibraciones complicadas, por lo que los resultados de humedad y densidad son más reales	3	Depende mucho del operador y sus buenas prácticas.	-4
Es de fácil transporte y operación desde el laboratorio hasta el sitio.	1	Si el suelo tiene muchos finos, no puede hacerse la prueba porque se desmoronan las paredes.	-2
Cualquier persona puede realizar la prueba, previa capacitación.	2	Más costoso que el densímetro nuclear, debido al costo de transporte y calibración de la arena Ottawa.	-4
Las herramientas, a parte de la arena, no son costosos y son fáciles de construir.	3	Se debe paralizar la obra y los rellenos hasta que se tengan resultados y saber si se superaron o no las pruebas para continuar o re compactar y retomar pruebas.	-5
Permite realizar inspección visual del estrato probado.	2	Requieren mucha capacitación para operadores sobre cómo realizar la prueba sin afectarla.	-2
La misma empresa constructora puede tener los implementos para realizar la toma del cono de arena y sacar sus propias densidades.	4	Se requiere comprar Arena Ottawa (calibrada) para tomar las pruebas; la misma que normalmente es importada, y no es tan fácil de conseguir.	-3
Los resultados tienden al alta.	5	Solo se pueden analizar los primeros 15cm de la capa.	-2
		Por la larga duración de cada testeo, no es posible tomar muchas pruebas en un solo día.	-4
SUMATORIA VENTAJAS	26	SUMATORIA DESVENTAJAS	-33
<u>RESULTADO FINAL = -7</u>			

Fuente: El Autor

Tabla 9.- Ventajas y Desventajas del Uso del Método del Densímetro Nuclear

DENSÍMETRO NUCLEAR			
VENTAJAS	IMPORTANCIA	DESVENTAJAS	IMPORTANCIA
Es de muy rápida ejecución y resultados inmediatos.	5	Requiere de muchos permisos y auditorías gubernamentales que no todos los laboratorios pueden cumplir.	-3
No requiere paralizar la obra, puesto que se conoce de inmediato si se supera la prueba o si debe proceder a re compactarse.	5	Solo puede ser adquirido y operado por laboratorios autorizados y con permisos que deben actualizarse cada año.	-3
Es menos costoso que el cono de arena.	4	Requieren de alta capacitación en seguridad industrial para dueños y operadores.	-2
Es un procedimiento muy fácil de ejecutar, sin necesidad de mucha capacitación técnica.	4	Requiere de un transporte y almacenamiento muy exigente, que a veces requiere inversiones grandes para laboratorios pequeños o que no cuentan con la infraestructura adecuada.	-2
Es un método no destructivo.	2	No puede ser tomado por las empresas constructoras, puesto que no cualquiera puede adquirir uno de estos aparatos.	-3
Por la corta duración del testeo, se pueden tomar muchas pruebas en un solo día.	4	Son muy propensos a robo por su alta demanda y cotización en el mercado.	-2
Se puede almacenar datos en la memoria del aparato y revisarlos cuando se necesite.	2	En caso de un accidente, se puede hasta suspender la licencia de la empresa que tiene el densímetro y se paraliza la toma de estas pruebas en el sitio.	-3
Depende mucho menos del operador, puesto que el aparato debe estar calibrado y estandarizado.	4	Por tener elementos radioactivos, son de alta peligrosidad y se deben cumplir muchas normas de seguridad industrial y radiológica.	-5
Al instante en el que se está tomando, las personas de la empresa constructora o ingenieros pueden estar presentes para asegurarse que no haya inconsistencias en la toma y que los resultados sean fidedignos.	3	Requiere de calibraciones constantes, que muchas veces se hace utilizando un cono de arena para comparación.	-3
No requiere de cálculos o mayor interferencia humana.	3	Es muy costoso y difícil comprar un densímetro nuclear por la cantidad de exigencias que se tienen.	-3
		No se puede analizar visualmente la capa testeada.	-1
		Los resultados tienden a la baja.	-5
SUMATORIA VENTAJAS	36	SUMATORIA DESVENTAJAS	-35
RESULTADO FINAL = 1			

Fuente: El Autor

5.2. Conclusiones y Recomendaciones

Basando este análisis en los resultados expuestos y también en otros estudios realizados, se puede afirmar que *“the sand replacement... is the traditional method for determining the in-situ density of the compacted embankment and pavement layers. These method is more accurate than the nuclear gauge method”* (Maregesi, 2021); e incluso, sus resultados son más favorables para el constructor, ya que tienden al alta. El problema de este tipo de pruebas es que requieren de mucho trabajo en campo y es muy difícil optimizar las pruebas y obtención de resultados debido a que son demasiado lentos, laboriosos, y dependen de otros procesos como el uso de hornos para secado y cálculos matemáticos manuales, que retrasan aún más la entrega de resultados; y es justamente *“esta lentitud en la obtención de los resultados que hace que el método comience a perder vigencia y que se intente explorar otros procedimientos”* (Soledad et al., 2006)

Lo que sí inclina la balanza a favor del cono y arena es que el densímetro nuclear *“utilize radioactive materials that may be hazardous to the health of the users unless proper precautions are taken”* (Maregesi, 2021) y que requieren de muchos reglamentos, exigencias, permisos e infraestructura. Pero teniendo controles adecuados y generando procedimientos claros, estos riesgos son fácilmente minimizados y los costos por permisos y demás, pasan a diluirse entre tantas pruebas que se solicitan semanalmente.

Incluso, habiendo realizado los cuadros comparativos de ventajas y desventajas, se puede ver que, según el autor, el método del cono y arena tiene una calificación de -7; mientras que el densímetro nuclear tiene una calificación de 1. Esto quiere decir que, habiendo sumado y restado todas las ventajas y desventajas, respectivamente, el cono y arena termina siendo hasta cierto grado “perjudicial” para el constructor, principalmente

debido a su lentitud para dar resultados, a la alta injerencia del error humano y al hecho de que se debe paralizar toda la obra y no se pueden colocar más capas de relleno hasta que se tengan los resultados y estar seguros de que la capa fue compactada satisfactoriamente. Mientras que la calificación del densímetro nuclear es positiva, principalmente debido a la rapidez para dar resultados, a su bajo costo, a la cercanía que tiene con la realidad, facilidad de manejo del equipo, el poco margen de error por interferencia humana, y a la capacidad que tiene el aparato para respuesta rápida y así no paralizar el mejoramiento de tierra, pudiendo recompactar las capas o continuando con el relleno de estas. Todo este análisis permite concluir que el método más adecuado para el constructor es el del densímetro nuclear.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM. (2015). *Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by Sand-Cone Method 1*. https://doi.org/10.1520/D1556_D1556M-15E01
- ASTM. (2017). *Designation: D6938 – 17a Standard Test Methods for In-Place Density and Water Content of Soil and Soil-Aggregate by Nuclear Methods (Shallow Depth)*. <https://doi.org/10.1520/D6938-17A>
- Bowles, J. E. (1980). *MANUAL DE LABORATORIO DE SUELOS EN INGENIERIA CIVIL*.
- de León Monroy, E. J. (2002). *VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DEL MÉTODO DE LA ARENA Y EL DENSÍMETRO NUCLEAR EN LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE CAMPO*.
- Flores Cano, J. M. (2014). *Validación de la Determinación de la Densidad In-situ de un tramo del proyecto “Collas-Tababela”, Utilizando un Densímetro Eléctrico y Comparando los Resultados con el Densímetro Nuclear y el Cono y arena*.
- Maregesi, G. (2021). *VALIDATION OF NUCLEAR GAUGE DENSITY-METER READINGS AGAINST SAND REPLACEMENT METHOD*. <https://doi.org/10.17632/jfg73tkzpf.1>
- Ministerio de Obras Públicas MOP. (2002). *ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES*.
- MOP Chile. (2014). *ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL MANUAL DE CARRETERAS*.

- Soledad, M., Lorenzini, G., & Vidal Arcos, S. (2006). Correlación entre Densímetro Nuclear y Cono y arena para Suelos Finos de Baja Plasticidad y no Cohesivos
Correlation between Nuclear Densimeter and Sand Cone Method por Low Plasticity and Non-Cohesive Fine Soils. En *Revista de la Construcción* (Vol. 5).
- Veintimilla Granda, J., & Mata, D. (2016). Manual de Procedimientos de Operación Normal y de Emergencias Radiológicas. *Universidad Técnica Particular de Loja*.

ANEXOS

A. RESULTADOS DE PRUEBA PROCTOR MODIFICADO (CONSTRULADESA S.A.)

Tabla 10.- Dato y Resultados Proctor Modificado 1



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

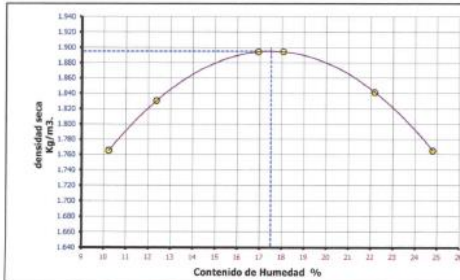
PRUEBA PROCTOR

NORMA A.S.T.M. D1557 TIPO - C

Material : Pasante tamiz 3/4	Fecha : Junio 10, 2022	Muestra # : 1
Volumen del cilindro : 0,002124 m ³ .	Contratista : ESTEBAN VALDIVIESO	
Peso del cilindro : 5,277 kg.	Solicitado por : ESTEBAN VALDIVIESO	
Diámetro cilindro : 6,00 pulg.	Obra : TESIS UCSG: Análisis comparativo de la utilización del método de cono de arena y densímetro nuclear para determinar densidades de campo	
Peso del martillo : 10,00 Lbs.	Fuente material : URB. COSTASOL - KM. 19 VÍA A LA COSTA	
# de golpes por capa : 56	Localiz. Obra : EXISTENTE ARENA FINA ARCILLOSA COLOR CAFÉ CLARO CON GRAVA	
# de capas : 5	Tipo de material : EXISTENTE	
Altura de caída : 18' pulg.	Fiscaliza :	

OBSERVACIÓN: MATERIAL PROPORCIONADO A ESTE LABORATORIO POR EL INTERESADO

Cantidad de Agua cm ³ .	Recipiente No.	Peso Tierra Humeda +recipiente gr.	Peso Tierra Seca + recipiente gr.	Peso del Recipiente gr.	Peso Agua gr.	Peso Seco gr.	Agua %	Peso Tierra Humeda + Cilindro Kg.	Peso Tierra Humeda W Kg.	1 + w/100	Peso de Tierra Seca WS Kg.	Densidad Seca Kg./m ³ .
H.L.	314	276,78	255,20	44,10	21,58	211,10	10,22	9,410	4,133	1,102	3,750	1,766
150	552	284,30	257,50	40,70	26,80	216,80	12,36	9,645	4,368	1,124	3,887	1,831
300	731	354,08	310,80	55,20	43,28	255,60	16,93	9,982	4,705	1,169	4,024	1,895
450	530	289,64	252,70	48,20	36,94	204,50	18,06	10,027	4,750	1,181	4,023	1,895
600	523	319,55	268,80	40,00	50,75	228,80	22,18	10,056	4,779	1,222	3,911	1,842
750	261	303,81	251,80	42,00	52,01	209,80	24,79	9,955	4,678	1,248	3,749	1,765



Contenido de Humedad Inicial %
10,22

Contenido Optimo de Humedad %
17,50

Densidad Seca Máxima Kg / m³.
1.895

Observaciones:
PROCTOR MODIFICADO

Revisión de formato: 01
Fecha: 04/01/18

Fuente: Construladesa S.A.

B. RESULTADOS DE PRUEBA PROCTOR MODIFICADO (BORLETI S.A.)

Tabla 11.- Dato y Resultados Proctor Modificado 2



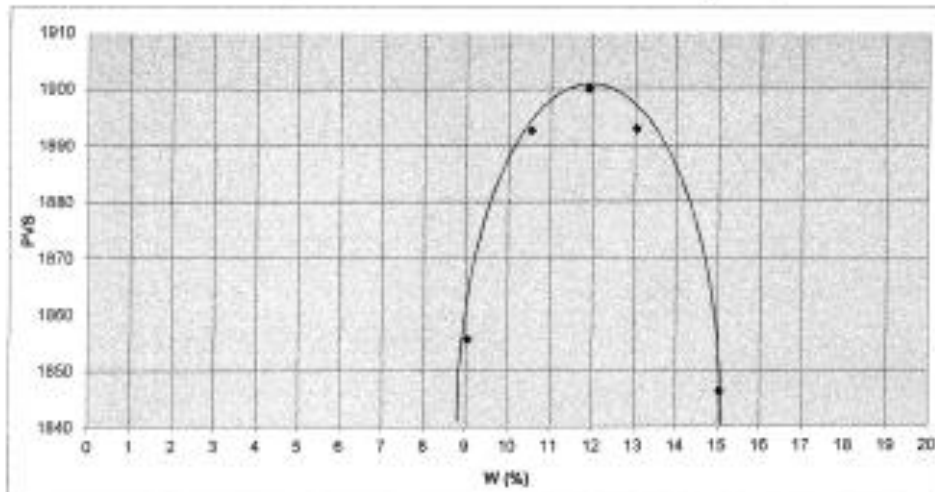
INGENIERIA DE SUELOS Y CONSTRUCCIONES ENSAYO DE PRUEBA PROCTOR

OBRA: URBANIZACION COSTA SOL
 PARA: CONSTRUCTORA THALIA VICTORIA
 ORDENA: ING. ESTEBAN VALDESO
 FISCALIZA: ING. MANUEL HIDAYAMAVE
 FECHA: 04-sep-2025
 MUESTRA: # 1 TRAJIDA AL LABORATORIO POR EL PERSONAL DEL ING. ESTEBAN VALDESO
 PROFUNDIDAD: MATERIAL DE MEJORAMIENTO ESTABILIZADO CON ARENA- VIA
 LOCALIZACION: Km. 19 VIA GUAYAQUIL - SALINAS
 MATERIAL: GRAVA, COLOR CAFÉ ALGO GRIS, CON PINTAS DE OXIDO
 METODO: AASHITO T-100 V. CILINDRO 944 cm³ P. CILINDRO 3,925 kg

E. No.	Cap. No.	Peso Hum. más Cap.	Peso Seco más Cap.	Peso de la Cap.	Peso Húmedo más Cón.	Peso de Agua	Peso Seco	W	Peso Húmedo	1 + W/100	Peso Seco	Peso Vol. Seco
-	-	grs.	grs.	grs.	grs.	grs.	grs.	%	grs.	-	grs.	kg./m ³
1		109,01	102,26	27,62	5835	6,75	74,64	9,04	1918	1,0964	1752	1856
2		117,42	110,53	45,18	5900	6,89	65,35	10,54	1975	1,1054	1787	1893
3		114,06	105,28	37,94	5945	8,78	67,34	13,04	2020	1,1304	1787	1893
4		106,85	96,47	27,47	5930	10,38	69,06	15,04	2005	1,1504	1743	1846
5												
6												

DSM: 1900 kg/m³

Humedad Óptima: 11,98 %



(Handwritten signature)
 ING. RECARLOS FERRER T.
 GERENTE

JAYWETA, SUCURSAL WARRINGTON, COOP. VILLA DE LOS HERMANOS FERRERES-CERRO COLORADO, ML. TERCER DE
 P.O. BOX 44444 - WARRINGTON, WYOMING, U.S.A.
 WARRINGTON - WYOMING

Fuente: Borleti S.A.



INGENIERIA DE SUELOS Y CONSTRUCCIONES

REGISTRO FOTOGRAFICO

OBRA	:	URBANIZACION COSTA SOL
PARA	:	CONSTRUCTORA THALIA VICTORIA
ORDENA	:	ING. ESTEBAN VALDIVIESO
FISCALIZA	:	ING. MANUEL HUAYAMAVE
UBICACIÓN	:	Km. 19 VIA GUAYAQUIL - SALINAS
FECHA DE MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	:	02-sep-2020
FECHA DE REPORTE	:	04-sep-2020

MUESTRA # 1 - MATERIAL DE MEJORAMIENTO ESTABILIZADO CON ARENA- VIA




ING. RICARDO JULIANA T.
GERENTE

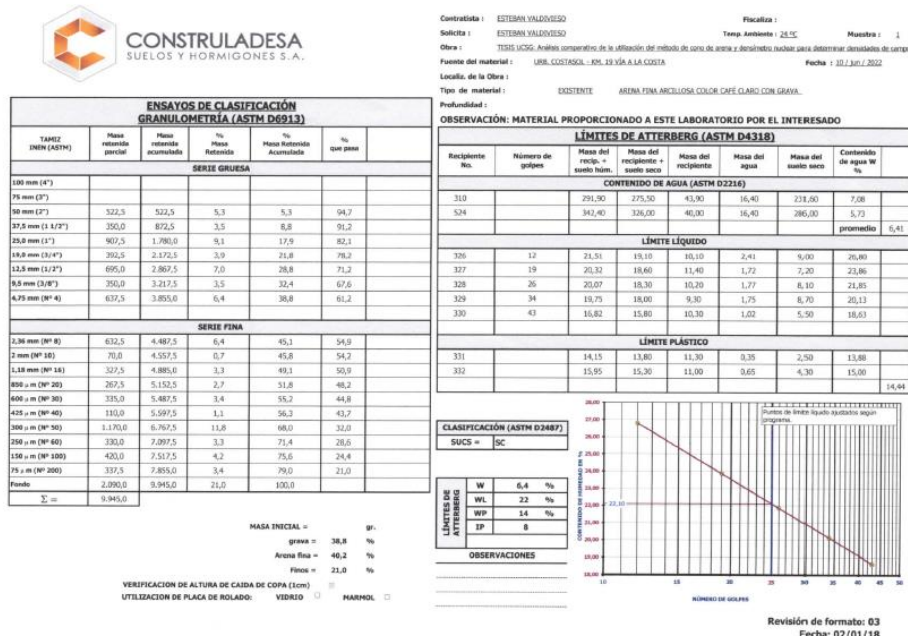
ALICATA TERMINAL TERRESTRE PASCUALES, CDOP VALLE DE LOS ORRINOS (VENEZLES-CERRO COLORADO) N2 L986 M. 34
PBR: 468864 - 024010@vtr.com
GUAYAQUIL - ECUADOR

Ilustración 17.- Muestra de Proctor

Fuente: Borletti S.A.

C. RESULTADOS GRANUOMETRÍA Y LÍMITES DE ATTERBERG

Tabla 12.- Resultados Granulometría y Límites de Atterberg



Fuente: Construladesa S.A.

D. RESULTADOS DE DENSIDADES DE CAMPO CON DENSÍMETRO NUCLEAR

Tabla 13.- Resultados de Densidades con Densímetro Nuclear

CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

DENSIDADES DE CAMPO MÉTODO NUCLEAR

CONSTRUCTORA THALIA VICTORIA			URB. COSTASOL		
CONTRATISTA			NOMBRE DE LA OBRA		
ING. ESTEBAN VALDIVIESO			KM. 19 VÍA A LA COSTA		
SOLICITADO POR			UBICACIÓN		
TROWLER 3430	28017	D-6938	FISCALIZADOR		junio 24, 2022
DENSÍMETRO	SERIE	NORMA ASTM	FISCALIZADOR		FECHA
Nº TOMAS (10)	HUMEDAD %	Densidad Seca Kg/m³	Proctor Kg/m³	Compactación %	OBSERVACIONES
1	13.40	1,842	1,895	97.20	VIA DE INGRESO MEJORAMIENTO 100
2	13.60	1,842	1,895	97.20	
3	12.40	1,851	1,895	97.68	
4	14.30	1,825	1,895	96.31	
5	12.90	1,804	1,895	95.20	
6	12.90	1,861	1,895	98.21	
7	14.90	1,810	1,895	95.51	
8	13.20	1,783	1,895	94.09	
9	13.30	1,887	1,895	99.58	
10	15.30	1,782	1,895	94.04	

Fuente: Construladesa S.A.

E. RESULTADOS DE DENSIDADES DE CAMPO CON MÉTODO CONO Y ARENA

Tabla 14.- Resultados de Densidades con Cono y Arena



INGENIERIA DE SUELOS Y CONSTRUCCIONES

ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO METODO CONO Y ARENA

OBRA	:	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA UTILIZACIÓN DEL MÉTODO DE CONO DE ARENA Y DENSÍMETRO NUCLEAR PARA DETERMINAR DENSIDADES DE CAMPO EN SUELOS COHESIVOS PARA TERRAPLENES Y VÍAS PROCEIDENTE DE LA CANTERA UBICADA EN EL KM 19.5 DE LA CARRETERA GUAYAQUIL-SALINAS
PARA	:	TUTOR - INGI. DANIEL DE LA PARED
ORDENA	:	SR. ESTERAN VALDESO
MUESTRA	:	TOMADA EN OBRA POR EL PERSONAL TECNICO DE BORLITI S.A.
FECHA	:	30-jun-2022
PRUEBAS TOMADAS EN	:	ULTIMA CAPA DE BELLINO
LOCALIZACION	:	KM 19.5 DE LA CARRETERA GUAYAQUIL-SALINAS
D. S. MAX.	:	1910 Kg/m ³
HUMEDAD OPTIMA	:	8.97%

	UBICACIÓN	COMPACTACION	HUMEDAD
		%	%
	VIA ETAPA 5		
	BASILERA		
1	0606408 E 9756835 N	96	11.59
2	0606416 E 9756838 N	100	12.91
3	0606425 E 9756841 N	98	9.63
4	0606431 E 9756842 N	98	11.54
5	0606435 E 9756843 N	100	11.88


 INGI. RICARDO TIJERINA T.
 GERENTE



INGENIERIA DE SUELOS Y CONSTRUCCIONES

ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO METODO CON CONO Y ARENA

OBRA	:	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA UTILIZACIÓN DEL MÉTODO DE CONO DE 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
PARA	:	TUTOR - ING. DANIEL DE LA PARED
ORDENA	:	SR. ESTEBAN VALDESO
MUESTRA	:	TOMADA EN OBRA POR EL PERSONAL TÉCNICO DE BORLETI S.A.
FECHA	:	01-jul-2012
PRUEBAS TOMADAS EN	:	ULTIMA CAPA DE RELLENO
LOCALIZACION	:	KM 19.5 DE LA CARRETERA GUAYAQUIL-SALINAS
D. S. MAX.	:	1910 Kg/m ³
HUMEDAD OPTIMA	:	8.93%

UBICACIÓN		COMPACTACIÓN	HUMEDAD
		%	%
FA ETAPA 3			
BASILERA			
6	0606428 E 9756846 N	100	8.66
7	0606420 E 9756843 N	98	11.63
8	0606413 E 9756841 N	98	9.88
9	0606404 E 9756839 N	100	9.31
10	0606400 E 9756835 N	95	9.40


ING. RICARDO TRUJANA T.
VERDUGO

AUTOPISTA TERMINAL TERRESTRE - PASAJE EL COOP. VALLES DE LOS GENAROS (PUEBLO) - CERRO COLONADO) Km #18.66 Solar 19
e-mail: borletti@borletti.com
GUAYAQUIL - ECUADOR

Fuente: Borletti S.A.



INGENIERIA DE SUELOS Y CONSTRUCCIONES REGISTRO FOTOGRAFICO

OBRA	:	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA UTILIZACIÓN DEL MÉTODO DE CONO DE ARENA Y DENSÍMETRO NUCLEAR PARA DETERMINAR DENSIDADES DE CAMPO EN SUELOS COHESIVOS PARA TERRAPLENES Y VÍAS
PARA	:	VIU08 - ING. DANIEL DE LA PARRA
ORDENA	:	SR. ESTEBAN VALDESO
MUESTRA	:	TOMADA EN OBRA POR EL PERSONAL TÉCNICO DE BORLET S.A.
FECHA	:	30-jun-2022
PROFUNDIDADES TOMADAS EN	:	ULTIMA CAPA DE RELLENO
LOCALIZACION	:	KM 19.3 DE LA CARRETERA GUAYAQUIL-SALINAS
D. S. MAX.	:	1910 Kg/m ³
HUMEDAD OPTIMA	:	8.93%

PUNTO #1



PUNTO #2



ING. EUGENIO TELLO Y
ASOCIADOS

AUTOVIA TERMINAL TERRETE - PASADAJE CON VALLES DE LOS GRANDES PISAGUAS - CERRO GARCERAN #1206 S/N - 14
www.borlet.com.ec
GUAYAQUIL - ECUADOR

Ilustración 18.- Muestra de Densidades con Cono y Arena

Fuente: Borlet S.A.



INGENIERIA DE SUELOS Y CONSTRUCCIONES

REGISTRO FOTOGRAFICO

OBRA	:	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA UTILIZACIÓN DEL MÉTODO DE CONO DE 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
PARA	:	TUTOR - ING. DANIEL DE LA PARED
ORDENA	:	SR. ESTEBAN VALDESO
MUESTRA	:	TOMADA EN OBRA POR EL PERSONAL TÉCNICO DE NORLETT S.A.
FECHA	:	30/06/2022
PRUEBAS TOMADAS EN	:	ÚLTIMA CAPA DE RELLENO
LOCALIZACIÓN	:	KM 19.5 DE LA CARRETERA GUAYAQUIL-SALINAS
D. S. MAX.	:	1910 Kg/m ³
HUMEDAD ÓPTIMA	:	8.93%

PUNTO #3



PUNTO #4



ING. RICARDO TITUS MACÍ
BERTINI

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE GUAYAQUIL - PASADAJE COPACABANA, VALLES DE LOS GUAYACOS (VEJES) - QUITO COLOMBIA # 96 # 1206 Salar 14
www.ingenieros.com
GUAYAQUIL - ECUADOR



INGENIERIA DE SUELOS Y CONSTRUCCIONES

REGISTRO FOTOGRAFICO

OBRA	:	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA UTILIZACIÓN DEL MÉTODO DE CONO DE ARENA Y DENSÍMETRO NUCLEAR PARA DETERMINAR DENSIDADES DE CAMPO EN SUELOS COHESIVOS PARA TERRAPLENES Y VÍAS
PARA	:	PROCEDENTE DE LA CANTERA UBICADA EN EL KM 19.5 DE LA CARRETERA GUAYAQUIL-SALINAS
ORDENA	:	TUTOR - ING. DANIEL DE LA PARED
MUESTRA	:	SR. ESTEBAN VALDESO
FECHA	:	TOMADA EN OBRA POR EL PERSONAL TÉCNICO DE BORLETI S.A.
PRUEBAS TOMADAS EN	:	31-jul-2022
LOCALIZACIÓN	:	ULTIMA CAVA DE HELLENO
D.S. M ₆₀	:	KM 19.5 DE LA CARRETERA GUAYAQUIL-SALINAS
HUMEDAD ÓPTIMA	:	1910 Kg/m ³
	:	8.44%

PUNTO #6



PUNTO #7




ING. RICARDO JULIANA T.
OCHOA



INGENIERIA DE SUELOS Y CONSTRUCCIONES REGISTRO FOTOGRAFICO

OBRA	1	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA UTILIZACIÓN DEL MÉTODO DE CONO DE ARENA Y DENSÍMETRO NUCLEAR PARA DETERMINAR DENSIDADES DE CAMPO EN SULCOS COHESIVOS PARA TERRAPLENES Y VÍAS PROCEDENTE DE LA CANTERA UBICADA EN EL KM 19.5 DE LA CARRETERA GUAYAQUIL-SALINAS
PARA	2	TUTOR - ING. DANIEL DE LA PARED
ORDENA	1	SR. ESTEBAN VALDESO
MUESTRA	1	TOMADA EN OBRA POR EL PERSONAL TÉCNICO DE BORLETI S.A.
FECHA	2	01-04-2022
PRUEBAS TOMADAS EN	2	ULTIMA CAVA DE RILLENTO
LOCALIZACION	1	KM 19.5 DE LA CARRETERA GUAYAQUIL-SALINAS
D.S. MAX.	2	1810 Kg/m ³
HUMEDAD OPTIMA	2	8.07%

PUNTO #8



PUNTO #9




ING. RICARDO ATENCIO
COORDINADOR

AUTORIZA TURBINAL TURBANTE - PARAGUAY, COOP. VILLAS BEGOS GUAYASOQUEÑAS - CERRO CIEBRADO (M. 4130) Solar 11
Email: ingenieria@turbinall.com
CERTASOL - COL-4000



INGENIERIA DE SUELOS Y CONSTRUCCIONES

REGISTRO FOTOGRAFICO

OBRA	:	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA UTILIZACIÓN DEL MÉTODO DE CONO DE 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
PARA	:	TUTOR - ING. DANIEL DE LA PARED
ORDENA	:	SR. ESTEBAN VALDESO
MUESTRA	:	TOMADA EN OBRA POR EL PERSONAL TÉCNICO DE IBBLETT S.A.
FECHA	:	01-jul-2022
PRUEBAS TOMADAS EN	:	ULTIMA CAPA DE BLENDO
LOCALIZACION	:	KM 19.5 DE LA CARRETERA GUAYAQUIL-SALINAS
D. S. MAX.	:	1910 Kg/m ³
HUMEDAD OPTIMA	:	8.95%

PUNTO #10



ING. RICARDO ZUÑIGA
GERENTE



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Valdivieso Crespo, Fausto Esteban**, con C.C: **#1717481794** autor del trabajo de titulación: **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**, previo a la obtención del título de **Ingeniería Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 26 de septiembre del 2022

f. 

Nombre: Valdivieso Crespo, Fausto Esteban
C.C: 1717481749

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	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.		
AUTOR(ES)	Valdivieso Crespo, Fausto Esteban		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. De La Pared Condo, Daniel Boanerges M.I.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	26 de septiembre del 2022	No. DE PÁGINAS:	56
ÁREAS TEMÁTICAS:	Ingeniería Civil, Geotecnia, Suelos		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Densímetro Nuclear, Cono y Arena, Densidad Seca Máxima, Densidad, Humedad, Granulometría, Plasticidad, Arena.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):	<p>Gracias a los avances tecnológicos, AASHTO y ASTM han podido desarrollar nuevos métodos para la toma de pruebas de campo, como ocurrió con la invención del <i>densímetro nuclear</i>, en detrimento del método tradicional del <i>cono y arena</i>, al momento de tomar densidades relativas de campo. En este trabajo se buscó determinar cuál de las dos pruebas es la ideal para cumplir los estándares de calidad, priorizando también los tiempos y costos. Para realizar este análisis se tomaron diez pruebas con cada método en una de las vías de la urbanización CostaSol, en el Km. 19 de Vía a la Costa, en Guayaquil, Ecuador, se realizaron gráficos comparativos de los resultados de densidad y humedad, y se hicieron comparaciones teórico-técnicas de los dos métodos, pudiendo confirmar que no existían mayores diferencias técnicas, pero que las ventajas en tiempo y costo son tan favorables para el densímetro nuclear, que definitivamente es la prueba más recomendable para todas las obras viales.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593980119925	E-mail: fausto.valdivieso@cu.ucsg.edu.ec	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Clara Glas Cevallos		
	Teléfono: +593-98-461-6792		
	E-mail: claglas@hotmail.com; clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			