



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

T E S I S

**COMPARACIÓN DEL MÉTODO CONO DE ARENA Y
MÉTODO NUCLEAR PARA DETERMINAR DENSIDAD
DE CAMPO EN AFIRMADO - ACCESO
POLVORÍN QUELLAVECO 2020**

**PRESENTADA POR
BACHILLER VIANCA VALERIA BARRERA RAMOS**

**ASESOR:
MGR. RUTH MERCEDES JINES CABEZAS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

**MOQUEGUA – PERÚ
2022**

CONTENIDO

| | Pág. |
|------------------------------|-------------|
| Página de Jurado..... | i |
| Dedicatoria..... | ii |
| Agradecimientos..... | iii |
| Contenido..... | iv |
| CONTENIDO DE TABLAS | vii |
| CONTENIDO DE FIGURAS | viii |
| CONTENIDO DE ECUACIONES..... | ix |
| CONTENIDO DE APÉNDICES | x |
| RESUMEN..... | xi |
| ABSTRACT..... | xii |
| INTRODUCCIÓN | xiii |

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

| | |
|--|----------|
| 1.1.Descripción de la realidad del problema..... | 1 |
| 1.2.Definición del problema..... | 2 |
| 1.2.1. Problema general..... | 2 |
| 1.2.2. Problemas específicos | 2 |
| 1.3.Objetivos de la investigación | 2 |
| 1.3.1. Objetivo general..... | 2 |
| 1.3.2. Objetivos específicos | 2 |
| 1.4.Justificación | 3 |

| | |
|--|---|
| 1.5. Alcances y limitaciones | 3 |
| 1.6. Variables | 4 |
| 1.6.1. Operacionalización de variables | 4 |
| 1.7. Hipótesis de la investigación..... | 5 |
| 1.7.1. Hipótesis general..... | 5 |
| 1.7.2. Hipótesis específicas | 5 |

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

| | |
|---|---|
| 2.1. Antecedentes de la investigación | 6 |
| 2.1. Bases Teóricas..... | 6 |
| 2.2. Definición de términos..... | 8 |

CAPÍTULO III

MÉTODO

| | |
|--|----|
| 3.1. Tipo de la investigación | 31 |
| 3.2. Diseño de la investigación | 31 |
| 3.3. Población y muestra..... | 32 |
| 3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos | 32 |

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

| | |
|---------------------------------------|----|
| 4.1. Presentación de resultados | 34 |
| 4.2. Contrastación de hipótesis | 41 |

| | |
|-----------------------------------|----|
| 4.3. Discusión de resultados..... | 44 |
|-----------------------------------|----|

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | |
|-------------------------|----|
| 5.1. Conclusiones | 47 |
|-------------------------|----|

| | |
|---------------------------|----|
| 5.2. Recomendaciones..... | 48 |
|---------------------------|----|

| | |
|---------------------------------|----|
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 50 |
|---------------------------------|----|

| | |
|----------------|----|
| APÉNDICES..... | 53 |
|----------------|----|

| | |
|------------------------------|-----|
| MATRIZ DE CONSISTENCIA | 127 |
|------------------------------|-----|

CONTENIDO DE TABLAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Tabla 1. Operacionalización de variables | 4 |
| Tabla 2. Requisitos de calidad para afirmado | 8 |
| Tabla 3. Ensayos y frecuencias | 9 |
| Tabla 4. Métodos de ensayo – Proctor Modificado | 11 |
| Tabla 5. Valores mínimos del hoyo – método cono de arena | 18 |
| Tabla 6. Grado de Compactación – Cono de arena y Densímetro nuclear | 35 |
| Tabla 7. Variación del Grado de compactación del Densímetro nuclear con respecto al cono de arena | 36 |
| Tabla 8. Duración de ensayos – Cono de arena y Densímetro nuclear..... | 39 |
| Tabla 9. Presupuesto Ensayo Cono de arena | 40 |
| Tabla 10. Presupuesto Ensayo Densímetro nuclear | 40 |
| Tabla 11. Prueba de normalidad – Grado de Compactación..... | 41 |
| Tabla 12. Prueba de Mann Whitney Estadísticos de prueba ^a - Grado de Compactación..... | 41 |
| Tabla 13. Prueba de normalidad – Tiempo | 42 |
| Tabla 14. Prueba de Mann Whitney Estadísticos de prueba ^a – Tiempo . | 42 |

CONTENIDO DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 1. Curva de compactación – Prueba de Proctor modificada / estándar | 10 |
| Figura 2. Molde cilindrico – 4 pulgadas | 10 |
| Figura 3. Molde cilindrico – 6 pulgadas | 11 |
| Figura 4. Tipos de medición – Transmisión directa y Retrodispersión | 22 |
| Figura 5. Grado de Compacatación Cono de arena – Densímetro nuclear | 37 |
| Figura 6. Correlación Cono de arena – Densímetro nuclear | 38 |
| Figura 7. Curva de costo Método del Cono de arena y método nuclear | 43 |

CONTENIDO DE ECUACIONES

| | Pág. |
|---|-------------|
| Ecuación 1. Volumen del hoyo y de prueba | 19 |
| Ecuación 2. Masa seca del material extraído del hoyo de prueba..... | 19 |
| Ecuación 3. Densidad húmeda del material ensayado. | 20 |
| Ecuación 4. Densidad seca del material ensayado | 20 |
| Ecuación 5. Verificación de estandarización | 24 |

CONTENIDO DE APÉNDICES

| | Pág. |
|---|-------------|
| Apéndice A. Ensayos de laboratorio a material afirmado - cantera Reg. 740 | 53 |
| Apéndice B. Ensayos de laboratorio a material afirmado - cantera Reg. 741 | 63 |
| Apéndice C. Ensayos de laboratorio a material afirmado – campo Reg. 745..... | 73 |
| Apéndice D. Ensayos de laboratorio a material afirmado – campo Reg. 746 | 79 |
| Apéndice E. Ensayos por el método cono de arena en afirmado - Acceso a Almacenamiento Polvorín..... | 85 |
| Apéndice F. Ensayos por el método nuclear en afirmado - Acceso a Almacenamiento Polvorín..... | 104 |
| Apéndice G. Galería Fotográfica..... | 121 |

RESUMEN

La investigación “Comparación del método cono de arena y método nuclear para determinar densidad de campo en afirmado – Acceso Polvorín Quellaveco 2020” tuvo como objetivo determinar que método entre el cono de arena o método nuclear es el óptimo en parámetros de densidad para obtener el grado de compactación, así como el tiempo y costo. El tipo de investigación que se aplicó es de tipo experimental, se realizó 38 ensayos por ambos métodos a lo largo del Acceso a Almacenamiento Polvorín. La investigación determinó que el método del cono de arena es óptimo para cumplir con el grado de compactación en superficies afirmadas, el método nuclear es óptimo respecto a los periodos de tiempo y en términos de costo ambos son óptimos para rangos determinados de cantidad de ensayos.

Palabras clave: Método cono de arena, método nuclear, densidad de campo, grado de compactación, tiempo, costo.

ABSTRACT

The research "Comparison of the sand cone method and the nuclear method to determine field density in affirmed - Acceso Polvorín Quellaveco 2020" had the objective of determining which method between the sand cone or nuclear method is the optimal in density parameters to obtain the degree compaction, as well as time and cost. The type of investigation that was applied is of an experimental type, 38 tests were carried out by both methods throughout the Access to the Polvorín Storage. The investigation shows that the sand cone method is optimal to comply with the degree of compaction on affirmed surfaces, the nuclear method is optimal with respect to time periods and in terms of cost both are optimal for determined ranges of number of tests.

Keywords: Sand cone method, nuclear method, field density, degree of compaction, time, cost.

INTRODUCCIÓN

Un factor importante y vital en el proceso de construcción es la densidad in situ, empleado para poder encontrar el porcentaje de compactación de un suelo, ya que con ello se asegura un adecuado soporte a las estructuras (camino, edificios, puentes, etc.) y se evita futuros asentamientos, deterioros, etc.; es por eso que se debe llevar a cabo un control de calidad eficiente; lo mencionado implica realizar diversos ensayos que puedan determinar las propiedades de los materiales (granulometría, contenido de humedad, límites de Atterberg, ensayo de compactación Proctor, etc.); para el caso de carpetas granulares y rellenos controlados, es decir rellenos constituidos por materiales seleccionados y controlados, es necesario establecer el porcentaje de compactación idóneo determinando la densidad del suelo in situ.

La norma E.050 Suelos y Cimentaciones establece diversos métodos de ensayo para obtención de la densidad de suelos in situ, esta investigación realizará un contraste en resultados de ensayos, tiempo y costo; del método cono de arena y método nuclear detallado en la norma precisada líneas arriba.

Este estudio busca beneficiar a las pequeñas, medianas y grandes empresas que pertenecen al rubro de la construcción, ya que según los resultados evidenciaremos determinar la metodología adecuada para desarrollar la colocación de afirmado en un acceso.

La investigación tiene como objetivo principal establecer cuál de los dos métodos en estudio sea el cono de arena o métodos nucleares, es decir haciendo uso del equipo densímetro nuclear, es el óptimo para relleno de afirmado en un acceso,

para ello es necesario determinar los grados de compactación y comparar los valores obtenidos, así como el tiempo que se demoró realizando cada ensayo, y por ende analizar que método es el más rentable (desde logística, transporte al proyecto, recursos indispensables para el uso de los equipos, etc.), debido a que comprendiendo esos tres aspectos se podrá ver que es lo más conveniente para el trabajo que se está realizando.

Esta investigación se realizará en unos de los proyectos más importantes de la región Moquegua, como es la construcción del Proyecto Quellaveco, desarrollado por la minera Anglo American S.A., el cual tiene a su mando diversas empresas contratistas que son quienes van a llevar a cabo los trabajos de construcción.

El Consorcio Cosapi – Epsa tiene como alcance la ejecución de Movimiento masivo de Tierras, el cual incluye en su mayoría la realización de caminos, es por ello que se procederá a realizar los ensayos que establece la norma y el comparativo entre los dos métodos de estudio para encontrar la densidad in situ en el camino denominado Acceso a Almacenamiento Polvorín, camino que conectará a la plataforma donde se almacenaran todos los recursos para explotación de la mina; este camino comprende 1+109.08 km, y deberá tener una capa de afirmado de 0.15m de espesor en el cual se procederá a ensayar, para ver si cumple con los estándares del proyecto y lo que establece la norma E-050 Suelos y Cimentaciones.

La investigación contiene V capítulos: Capítulo I Problema de la Investigación, Capítulo II Marco teórico, Capítulo III Método, Capítulo IV Análisis e Interpretación de resultados y Capítulo V Conclusiones y Recomendaciones.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad del problema

Flores (2014), menciona que en el rubro de la construcción existen métodos para poder determinar la densidad in situ, el método más utilizado y tradicional es el cono de arena, pero existen otros métodos que no son muy conocidos y empleados, uno de ellos es el método nuclear que consiste en la utilización de un equipo denominado densímetro nuclear el cual funciona a través de la emisión de radiación ionizante (p. 1).

En los proyectos de construcción es importante avanzar los trabajos según la programación establecida para evitar retrasos y que estos pueden llevar a pérdidas económicas para el proyecto, pero siempre garantizando los controles de calidad en el proceso de producción.

Es por ello que surge la problemática para determinar el método a utilizar en el desarrollo de los controles (establecidos en los procedimientos, especificaciones técnicas, normas y/o otros), pero teniendo en cuenta la magnitud del proyecto para evitar lo mencionado líneas arriba, para ello es necesario considerar el costo, tiempo u otros factores, para obtener los mejores resultados en el proyecto.

1.2. Definición del problema

1.2.1. Problema general.

¿Cuál método entre el cono de arena y nuclear es óptimo para el relleno de afirmado en el acceso a Polvorín – Quellaveco 2020?

1.2.2. Problemas específicos.

¿Cuál es el grado de compactación según el método de cono de arena y nuclear en el acceso a Polvorín – Quellaveco 2020 respecto a las especificaciones técnicas generales para construcción (EG-2013)?

¿Qué método entre el cono de arena y nuclear se adecua rápidamente a la operación en términos de tiempo en el acceso a Polvorín – Quellaveco 2020?

¿Qué método entre el cono de arena y nuclear es menos costoso para el acceso a Polvorín – Quellaveco 2020?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general.

Establecer cuál método entre el cono de arena y nuclear es óptimo para el relleno de afirmado en el acceso a Polvorín – Quellaveco 2020.

1.3.2. Objetivos específicos.

Determinar el grado de compactación por el método del cono de arena y nuclear en el acceso a Polvorín – Quellaveco 2020 respecto a las especificaciones técnicas generales para construcción (EG-2013).

Calcular que método entre el cono de arena y nuclear se puede realizar en un menor tiempo en el acceso a Polvorín – Quellaveco 2020.

Determinar que método entre el cono de arena y nuclear es menos costoso para el acceso a Polvorín – Quellaveco 2020.

1.4. Justificación

En la actualidad los proyectos de construcción están orientados a la generación de valor económico, social y ambiental sustentados con altos estándares de controles de calidad, por lo cual es importante determinar el método óptimo para estimar la densidad de un acceso definitivo, teniendo en consideración la cantidad de ensayos que establece la norma por metro cuadrado (m²) o metro lineal (ml) además del tiempo y costo que son determinantes para el presente estudio de investigación del relleno de afirmado en el Acceso a Almacenamiento Polvorín.

1.5. Alcances y limitaciones

El presente estudio de investigación es un conjunto de ensayos de laboratorio de suelos y campo, que permite comparar dos métodos establecidos en la norma E-050 Suelos y Cimentaciones; para determinar la densidad de compactación del suelo en un material de afirmado a colocar en el Acceso a Almacenamiento Polvorín, el cual comprende de 0+0 a 1+109.08 km.; este acceso conecta la plataforma de almacenamiento de recursos de explotación de la mina Quellaveco – Moquegua con el campamento Quellaveco.

Las limitaciones del presente estudio de investigación son el tiempo y costo, factores determinantes e importantes en los procesos de construcción y proyectos en general, asimismo, del presente documento se desprende el análisis detallado de los factores influyentes para el caso de estudio que complementan los resultados obtenidos de manera experimental.

1.6. Variables

Para el presente trabajo de investigación se determinaron variables independientes: método cono de arena, método nuclear y variables dependientes: grado de compactación, costo y tiempo, los cuales fueron medidos y analizados a lo largo del estudio.

1.6.1. Operacionalización de variables.

Tabla 1

Operacionalización de variables

| Variable | Dimensión | Indicador | Unidad de medida | Instrumentos de medición | Tipo de Variable |
|---------------|-----------------------|--|------------------------|---|-----------------------|
| Independiente | Método cono de arena | Realización de ensayos in situ | Adimensional | Cono de arena | Cualitativa binaria |
| | Método nuclear | Realización de ensayos in situ | Adimensional | Densímetro Nuclear | Cualitativa binaria |
| Dependiente | Grado de Compactación | Realización de ensayos in situ y laboratorio. Evaluar el costo de alquiler de ambos métodos. | % | Ensayos auxiliares in situ y laboratorio. | Cuantitativa continua |
| | Costo | Evaluar el tiempo de ensayo entre los dos métodos desde el inicio hasta el final del ensayo | Nuevo sol (S/) | Recursos por naturaleza de gasto | Cuantitativa continua |
| | Tiempo | | Horas (h) Min (min) | Cronómetro | Cuantitativa continua |

1.7. Hipótesis de la investigación

1.7.1. Hipótesis general.

El método del cono de arena es óptimo a comparación del método nuclear en relleno de afirmado para el acceso a Polvorín – Quellaveco 2020.

1.7.2. Hipótesis específicas.

El método cono de arena brinda valores de grado de compactación confiables en comparación al método nuclear respecto a las especificaciones técnicas para construcción (EG-2013).

El método del cono de arena brinda resultados en menor tiempo en relación con el método nuclear.

El método del cono de arena es menos costoso que el método nuclear.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Guerrón (2013), en su tesis denominada “Comparación de resultados de densidad de campo por los métodos cono de arena, volumétrico y densímetro nuclear” propone realizar ensayos con la finalidad de obtener la densidad en campo con distintos métodos en 6 vías diferentes y así comparar y determinar que valores se identifican como los más confiables. La conclusión que arribó fue que el método del cono de arena es más práctico para poder encontrar la densidad en campo sin ninguna restricción para suelos finos y gruesos, también menciona que en el método volumétrico se obtuvo valores convenientes y el método del densímetro nuclear denota inconvenientes superficiales al equipo que intervienen cuando este realiza la medida de los resultados provocando datos erróneos y absurdos (p. 152).

Flores (2014), en su tesis titulada “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 de arena, aspira evidenciar la similitud que reflejan los valores de humedad y densidad adquiridos con el densímetro eléctrico y poder comparar dichos resultados

con la misma información lograda utilizando el densímetro nuclear y cono de arena; la metodología aplicada fue experimental seleccionando 25 puntos aleatorios en el tramo de carretera para obtener los resultados. Como resultado obtuvo que los valores obtenidos con el densímetro eléctrico tales como densidad y humedad no mantiene ninguna relación con los valores del densímetro nuclear y cono de arena (p. 105).

Zeta (2019), en su tesis titulada “Análisis comparativo de la utilización del método del cono de arena y densímetro nuclear para determinar densidades en campo en suelos cohesivos para terraplenes procedente de la cantera Ramírez ubicada en el km. 7+000 de la carretera Piura – Paita, Perú 2019”, persigue comparar la utilización de ambos métodos para poder obtener las densidades en campo, la metodología aplicada fue experimental, realizando ensayos en 40 puntos del terraplén. La conclusión que arribó fue que el método utilizando el cono de arena presenta mayor confiabilidad en contraste con el densímetro nuclear, debido a que se encontró una menor desviación estándar con dicho método; sin embargo, ambos métodos están normados en el Perú según la NTP339.143 (ASTM D1556) y NTP 339.144 (ASTM D6938) por lo tanto pueden ser utilizados independientemente de las ventajas y desventajas que presenten el uno del otro (p. 43).

Cruz (2020), en su tesis denominada “Comparación técnica – económica entre el densímetro nuclear y el método de cono de arena en la determinación de la densidad in situ”, pretende obtener ventajas y desventajas económicas y técnicas entre los dos métodos para encontrar la densidad en campo. La conclusión a la que arribó fue que el ensayo del cono de arena arroja mejores resultados, pero en

términos de tiempo el densímetro nuclear da resultados al instante; sin embargo, ambos métodos son aptos para la utilización en campo (p. 54).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Afirmado granular para accesos.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013) definen el afirmado granular como “materia granulosa procedentes de un exceso de excavaciones, yacimientos, canteras o residuos metálicos” (p.113).

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014) afirma que “el afirmado es una capa compactada de material granular procesada o natural, con granulometría específica para tolerar de manera directa cargas y esfuerzo de tránsito; funciona como superficie de carreteras no pavimentadas y rodadura en caminos” (p. 25).

2.2.1.1. Requisitos de calidad para afirmado.

Los requisitos de calidad para el material de afirmado se deben adaptar a lo indicado en tabla 2.

Tabla 2

Requisitos de calidad para afirmado

| Tamiz | Porcentaje que pasa |
|--|----------------------------|
| 50 mm (2") | 100 |
| 37,50 mm (1 ½") | 100 |
| 25 mm (1") | 90-100 |
| 19 mm (¾") | 65-100 |
| 9,5 mm (3/8") | 45-80 |
| 4,75 mm (#4) | 30-65 |
| 2 mm (#10) | 22-52 |
| 0,425 mm (#40) | 15-35 |
| 0,075 mm (#200) | 5-20 |
| Límite Líquido | 35% máx. |
| Índice de Plasticidad | 4% - 9% |
| Desgaste Los Angeles | 50% máx. |
| CBR (referido al 100% de la máxima densidad seca y penetración de carga de 0,1" (2,5mm)) | 40% mín. |

Nota: Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes, 2017

2.2.1.2. Compactación.

El material se deberá compactar hasta que se asiente y estabilice en su totalidad, consiguiendo un nivel de densificación mínimo del 95% del Proctor modificado (American Society for Testing and Materials, 2012) o el 80% de densidad relativa.

2.2.1.3. Ensayos y frecuencias.

De acuerdo al volumen previsto se realizará la frecuencia de ensayos como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3

Ensayos y frecuencias

| Material o producto | Método de ensayo | Frecuencia | Lugar de muestreo |
|---------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------|
| Afirmado | Granulometría | 1 cada 750 m ³ | Cantera |
| | Límites de Consistencia | 1 cada 750 m ³ | Cantera |
| | Abrasión Los Ángeles | 1 cada 2,000 m ³ | Cantera |
| | CBR | 1 cada 2,000 m ³ | Cantera |
| | Densidad - Humedad | 1 cada 750 m ² | Pista |
| | Compactación | 1 cada 250 m ² | Pista |

Nota: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013

2.2.2. Compactación de suelos.

Guerrón (2013) define la compactación de un suelo como un proceso artificial para reducir el índice de vacíos, empleando factores mecánicos, traducándose a un mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas; todo ello con el fin de aumentar la resistencia y disminuir la deformación del suelo al someterlo a diversas técnicas que son provechosas para aumentar el peso específico y disminución de vacíos (p.3).

Das (2013) indica que “el Proctor es el ensayo de laboratorio utilizado para determinar los pesos específicos secos máximos y contenido de humedad óptimo” (p. 723).

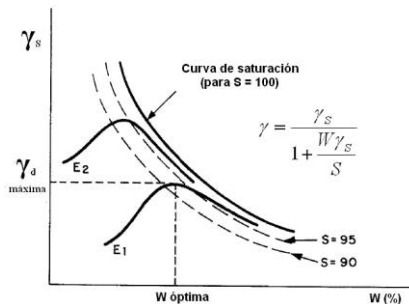
2.2.3. Prueba Proctor Modificada.

La prueba de Proctor modificada es realizada en laboratorio, Das (2013) indica que “el contenido de humedad y peso específico seco máximo que un material puede conseguir va a permitir dar conformidad o rechazo al trabajo de compactación in situ (grado de compactación)” (p. 724).

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016) indica que “es una prueba para obtener la relación entre el peso unitario seco y el contenido de humedad de un suelo (curva de compactación, ver Fig. 1) lo que genera una energía de compactación de 2,700 KN-m/m³ (56,000 pie-lbf/pie³)” (p. 105).

Figura 1

Curva de compactación – Prueba de Proctor modificada / estándar

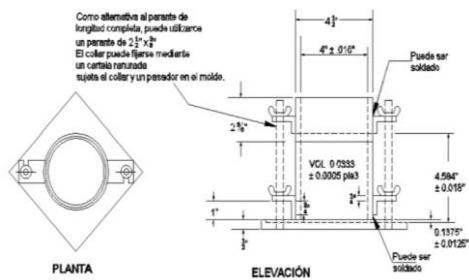


Nota: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016) “La prueba en mención se puede desarrollar en moldes de 4 o 6 pulgadas” (p. 105).

Figura 2

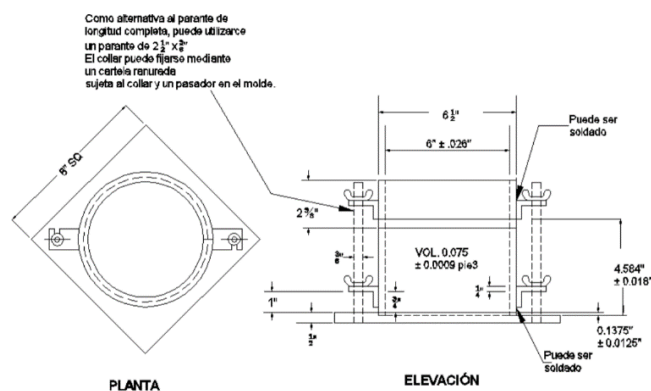
Molde cilíndrico – 4 pulgadas



Nota: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016

Figura 3

Molde cilíndrico – 6 pulgadas



Nota: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016

2.2.3.1. Métodos de ensayo para Prueba de Proctor Modificado.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016) “Presenta 03 métodos alternativos para realizar la prueba de Proctor Modificada” (p. 105).

Tabla 4

Métodos de ensayo – Proctor Modificado

| Método | Características | Aplicación |
|--------|--|---|
| A | - Molde $\phi 4''$ - Material pasante por tamiz 4,75mm (#4) - 5 capas - 25 golpes en cada capa | Si el material retenido en el tamiz 4,75 mm (#4) representa un peso del 20% o menos. Cuando el método no haya sido detallado, el material que cumple esta gradación se puede ensayar usando los métodos B o C. |
| | - Molde $\phi 4''$ - Material pasante por el tamiz 9,5mm (3/8") - 5 capas - 25 golpes en cada capa | Si el material retenido en el tamiz 4,75mm (#4) tiene un peso mayor al 20% y el material retenido en el tamiz 9,5mm (3/8") representa un peso del 20% o menos. Cuando el método no haya sido detallado y el material cumple con la gradación, se puede ensayar usando el método C. |
| C | - Molde $\phi 6''$ - Material pasante por el tamiz 19,0mm (3/4") - 5 capas - 56 golpes en cada capa | Si el material retenido en el tamiz 9,5mm (3/8") tiene un peso mayor al 20% y el tamiz 19,0mm (3/4") retiene un peso menor al 30%. No usar métodos A y B con el molde $\phi 6''$. |

2.2.3.2. Equipos y Materiales.

El MTC (2016) establece los siguientes equipos para el desarrollo de la prueba:

Molde de $\phi 4''$ o $\phi 6''$: Deben presentar características con requerimientos mínimos tal como se muestra en la Fig. 2 y Fig. 3 respectivamente.

Pisón o martillo: Puede ser pisón manual o mecánico circular.

Extractor de muestras (opcional): Puede ser gata u otro dispositivo adecuado o ajustado para extraer el espécimen compactado en el molde.

Balanza: Debe presentar aproximación de 1 gramo.

Horno: Debe presentar temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

Regla: No menor a 10 pulg., tolerancia de $\pm 0,1\text{mm}$ ($\pm 0,005$ pulg.).

Instrumentos de mezcla: Tales como mortero, cucharas, espátula, etc.

2.2.3.3. Muestra.

El MTC (2016) indica que “se requiere una muestra aproximada de 16 kg. para el método de ensayo A y B, y de 29 kg. para el método C, es por ello que se debe poseer una muestra en campo con peso húmedo mínimo de 23 kg. y 45 kg. respectivamente” (p.108).

2.2.3.4. Procedimiento.

El MTC (2016) establece el procedimiento que se muestra a continuación:

A. Preparación de equipos.

Utilizar el molde de compactación idóneo, según los métodos A, B o C, luego se debe obtener y apuntar la masa; el molde, base y collar de extensión deben ser ensamblados y finalmente se debe verificar que el collar de extensión y la pared interior del molde estén alineados.

Se debe revisar el ensamblado del pisón, ajustar o reparar de ser necesario,

de ser así, el martillo se volverá a calibrar.

Antes de su utilización inicial calibrar los equipos, si hubiera reparación u otros factores que impacten los valores de ensayo para un rango no mayor que 1,000 especímenes ensayados o cada año, para los equipos: Pisón manual, pisón mecánico balanza y moldes.

B. Preparación de ensayo.

a. Suelos.

- i. Un suelo compactado con anterioridad en laboratorio no puede volver a utilizarse.
- ii. Debe usarse el método de preparación húmeda para suelos que presentan hallosita hidratada o suelos que puedan ser modificados por secarse al aire.
- iii. Preparar las muestras del suelo según el método de preparación húmeda o método de preparación en seco.

b. Método de preparación húmeda.

- i. Antes de secar la muestra, pasarla por los tamices 4,72mm (#4), 9,5mm (3/8”), dependiendo de los métodos A, B o C. Obtener la cantidad de agua en el suelo procesado.
- ii. Habilitar un mínimo de 4 muestras (5 de preferencia) con valores de contenido de agua cercanos al óptimo estimado. El espécimen con el valor de contenido de humedad más cercano se debe preparar primero adicionando al cálculo mezcla y agua. Para las otras muestras el contenido de agua se debe presentar de tal manera que se tenga dos especímenes secos y dos húmedos acordes al óptimo contenido de agua, los cuales varían en torno al 2%, todo ello para conseguir la curva de compactación exacta. Los contenidos de agua no sobrepasarán el 4%.

iii. Se usará alrededor de 2,3 kg. de suelo tamizado en cada muestra que se va a compactar ya sea utilizando el método A o B y para el método C utilizar alrededor de 5,9 kg. Para obtener el contenido de agua, a lo largo de la mezcla se debe adicionar el agua al suelo en reducidas cantidades, se debe dejar secar el suelo al aire o en un aparato de secado que no supere 60°C.

c. Método de preparación en seco.

i. Comprobar si la muestra está con exceso de humedad, de ser así disminuir la cantidad de agua en el material secándolo al aire hasta que se pueda disgregar. También se puede utilizar un aparato de secado que no supere 60 °C. Separar los grumos y pasar por el tamiz adecuado: 4,75mm (#4); 9,5mm (3/8") o 19,0mm (3/4"), en el proceso de preparar el material que pasará por el tamiz 3/4" (método C), se debe separar los agregados que pasen por la malla 9,5 mm (3/8") para poder favorecer el reparto de agua en la posterior mezcla.

ii. Considerar mínimo 4 especímenes (5 de preferencia).

iii. La cantidad de suelo (a tamizar) en cada muestra será aproximadamente 2,3 kg. ya sea usando cualquiera de los métodos A o B y para el método C usar 5,9 kg. y adicionar el agua en las porciones requeridas (en torno al 2%, no mayor a 4%).

d. Compactación.

i. La masa del plato base y molde se debe obtener y anotar.

ii. El collar y el molde se debe ensamblar y asegurar al plato base, para ello el molde debe ser apoyado sobre una superficie homogénea que soporte un cilindro de masa mayor a 91 kg.

iii. La muestra debe ser compactada en cinco capas, después de ello todas las capas deben presentar igual espesor. Colocar el suelo suelto dentro del molde y

extender de manera uniforme, apisonar suavemente el suelo con el pisón manual para evitar un estado suelto. Después de haber compactado las primeras 4 capas, todo material en la pared del molde que no fueron compactadas deberá ser retiradas con cuchillo u otro recurso disponible. La totalidad del suelo usado será de tal manera que para compactar la quinta capa el material debe extenderse levemente dentro del collar sin haber excedido más de 6 mm (1/4") de la zona superior del molde ya que de ser así el espécimen debe ser desechado. Si al compactar la capa cinco la muestra termina debajo de la zona superior del molde, el espécimen debe ser desechado.

- iv. Para utilizar el molde de $\phi 4''$ las cinco capas deben ser compactadas con 25 golpes y si se usa el molde de $\phi 6''$ compactar con 56 golpes.
- v. Cuando se utilice el pisón manual, tener cuidado con la guía al momento que sube el pisón para evitar la elevación. Para ello se debe conservar la guía firme y la vertical en el rango de cinco grados. Realizar 25 golpes por minuto para brindar un espécimen con superficie pareja y completa.
- vi. Terminando el proceso de compactado, quitar del molde el plato base y collar, utilizar un cuchillo para arreglar y/o ajustar al collar el suelo adyacente, soltar del collar el suelo y remover no permitiendo que se desgarre del suelo bajo la zona superior del molde.
- vii. Se enrasa la muestra compactada con cuidado, con una regla tanto en la zona inferior y superior del molde. Luego se rellena algún orificio de la superficie con suelo no utilizado o cortado de la muestra presionando con los dedos y volviendo a enrasar en la zona inferior o superior del molde. Repetir estos procesos (en la zona inferior) cada que se obtenga sin el volumen del molde (sin plato base).

Cuando el suelo sea muy seco o muy húmedo, va a perder agua o suelo si se remueve el plato base, en estas condiciones se deja el plato base asegurado al molde y el volumen debe calibrarse considerando plato base adherido al molde.

viii. Determinar y registrar la masa del molde y muestra aproximándose al gramo.

ix. Del molde remover el material y conseguir una muestra para determinar la cantidad de agua utilizando todo el espécimen o cantidad representativa, siguiendo proceso de normativa.

2.2.4. Métodos de ensayo para determinación de densidad in situ.

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2018) establece métodos para determinar la densidad in situ y obtener el grado de compactación de un suelo: Método de ensayo para determinación de densidad y peso unitario in situ mediante el cono de arena y Método de ensayo para determinar densidad in situ del suelo por métodos nucleares (p. 9).

2.2.4.1. Método del cono de arena.

El MTC (2016), describe la finalidad y alcance del ensayo como el método que determina la densidad del suelo compactado como rellenos de carretera, capas de rodadura, terraplenes y estructuras de contención. La utilización del método se limita solo para suelos en estado no saturado, suelos suaves o que se desmoronen con facilidad (p. 133).

A. Equipos y materiales.

EL MTC (2016) establece los siguientes materiales para el desarrollo del método:

Instrumento de densidad - cono de arena: Es un contenedor de arena que se puede desacoplar; un dispositivo desarmable que comprende una válvula en forma de cilindro con agujero de $\phi 1/2''$ (13 mm) unido a un embudo metálico en el otro extremo del instrumento; un plato metálico que tenga un agujero en el centro y borde para contener embudo del cono, la placa debe ser plana, cuadrado y grueso para mantenerse rígido. Los detalles del aparato son aceptables para ensayar suelos con TM 2''.

Balanzas: Con 20 kg. de capacidad mínima y 5,0 g. de sensibilidad.

Equipo de secado: Apto para conservar $110 \pm 5^\circ\text{C}$ de temperatura.

Equipo diverso: Cincel, espátula, cuchillo, pico pequeño cucharas para excavar el hoyo; costales plásticos, recipientes para que la humedad y densidad de la muestra sean retenidos; termómetro para obtener temperatura del agua.

Arena: Limpia, uniforme, seca que discurra libremente, debe tener un coeficiente de uniformidad ($C_u = D_{60}/D_{10}$) menor de 2, el TM de las partículas será menor que 2,0 mm (#10) y menor en peso al 3% que el tamiz de 250 μm (#60).

B. Procedimiento.

El MTC (2016) describe como se procede a realizar el ensayo, el cual está basado en Indecopi (2019) y American Society for Testing and Materials (2015).

Ubicar un área que represente la zona que se pondrá a prueba, seguir el proceso de ensayo de la siguiente manera:

- i. Verificar el estado del cono, que la válvula tenga una correcta rotación, ver que la funcionalidad del plato sea la adecuada. Con la arena que se indica en los materiales, llenar el frasco del cono (instrumento de densidad) y determinar la masa total.

- ii. Se debe preparar la superficie del lugar que se va a ensayar, ya que tiene que ser una zona nivelada. El plato debe usarse como removedor para tener un plano liso en la superficie.
- iii. Colocar sobre la superficie nivelada el plato, marcar el borde del plato para cerciorarse que no haya movimiento de este durante el ensayo, si es posible asegurarlo con clavos insertados en el suelo.
- iv. En los suelos donde no se haya realizado una correcta nivelación debido a que presente vacíos, se deberá efectuar un ensayo inicial con el fin de determinar el volumen expulsado de forma horizontal y que se limita por el plato, embudo y terreno (superficie).
- v. Excavar un orificio de prueba por medio del agujero central del plato base, los volúmenes no debe ser inferior a los indicados en la tabla 5, colocar todo el suelo excavado en un contenedor hermético, tener cuidado en perder cualquier porción de material, protegerlo hasta que se haya determinado la cantidad de humedad y masa la muestra.

Tabla 5

Valores mínimos del hoyo – método cono de arena

| Tamaño máximo de la partícula | | Volumen Mínimo del hoyo de Ensayo | |
|-------------------------------|------|-----------------------------------|-------------------|
| Pulgada | mm | cm ³ | pies ³ |
| ½ | 12,5 | 1,420 | 0,05 |
| 1 | 25,0 | 2,120 | 0,075 |
| 2 | 50,0 | 2,830 | 0,1 |

Nota: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016

- vi. Limpiar los bordes del hoyo del plato base, luego se precede al voltear el cono de arena con el embudo y se coloca en el orificio excavado, abrir la válvula y dejar caer la arena hasta que el hoyo este lleno, si la arena ya no cae la válvula debe cerrarse.

- vii. Determinar la masa del equipo con la arena que quedo en el contenedor, la arena empleada debe ser calculada.
- viii. Obtener y registrar del material extraído del hoyo de prueba la masa de la materia húmeda, si fuera el caso que se necesite corregir el mayor tamaño del material, determinar su masa en el tamiz adecuado y registrarlo, evitar perder humedad. Cuando se den estas correcciones se debe seguir el procedimiento que establece American Society for Testing and Materials (2015).
- ix. El material debe ser mezclado y se debe obtener una muestra que sea representativa, para determinar la cantidad de humedad o utilizar un espécimen completo.
- x. Obtener la cantidad de humedad.

C. Cálculos.

El MTC (2016) detalla los cálculos necesarios para el método:

- i. Calcular el volumen del hoyo de prueba

$$V=(M1-M2)/\rho_1 \dots\dots\dots [Ecuación 1]$$

Donde:

V = volumen del hoyo de prueba (en cm³)

M1 = masa de arena usada para llenar hoyo de prueba, plato base y embudo (en g)

M2 = masa de la arena utilizada para llenar el plato y embudo (en g)

ρ_1 = densidad del volumen de arena en (en g/cm³)

- ii. Calcular la masa seca del material extraído del hoyo de prueba

$$M4=(100*M3)/(W+100) \dots\dots\dots [Ecuación 2]$$

Donde:

W = contenido de humedad del material extraído del hoyo de prueba (en %)

M3 = masa húmeda del material del hoyo de ensayo (en g)

M4 = masa seca del material del hoyo de ensayo (en g)

iii. Calcular in situ la densidad húmeda y seca del material ensayado

$$\rho_m = M3/V \dots\dots\dots [Ecuación 3]$$

$$\rho_d = M4/V \dots\dots\dots [Ecuación 4]$$

Donde:

V = volumen del hoyo de prueba (en cm)

M3 = masa húmeda del material del hoyo de prueba (en g)

M4 = masa seca del material del hoyo de prueba (en g)

ρ_m = densidad húmeda de material probado, o peso unitario húmedo γ_m (en g/cm³)

ρ_d = densidad seca del material probado, o su peso unitario seco γ_d (en g/cm³)

iv. La densidad en campo se recomienda representar como porcentaje de otra densidad, para lograr este vínculo se realiza la división de la densidad en campo entre la densidad de laboratorio y multiplicarla por 100. La densidad relativa obtener de acuerdo con normativa.

2.2.4.2. Métodos Nucleares.

A. Definición y tipos de medición.

El MTC (2016) describe la finalidad y alcance de este método de ensayo como “un método no destructivo y rápido para poder encontrar la densidad en campo de una

roca o suelo; al ser estas pruebas no destructivas permite realizar mediciones en un solo lugar de prueba” (p. 175).

Guerrón (2013), menciona los dos tipos de mediciones más usados para desarrollar el método con densímetro nuclear, como son Transmisión directa y retrodispersión los cuales son definidos y además hace una descripción del procedimiento de los mismos de la siguiente manera (p. 44).

a. Transmisión directa.

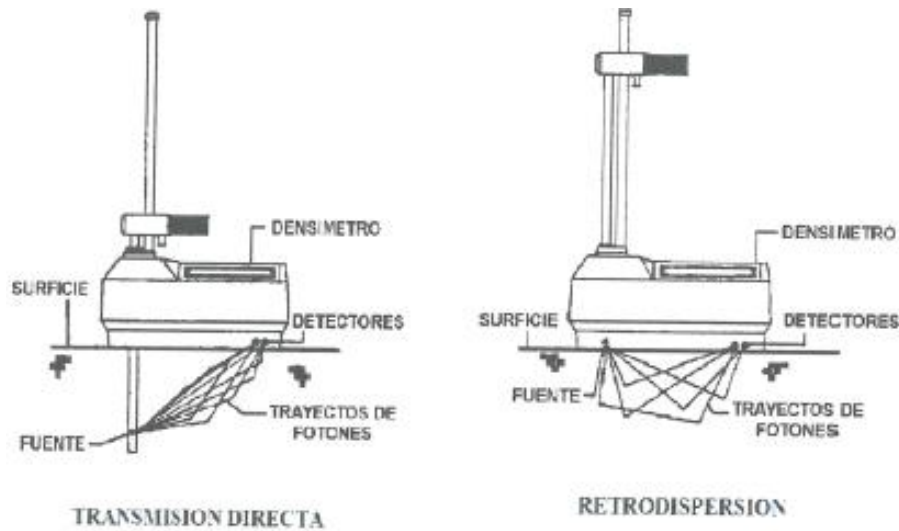
Tipo de medición que implica más riesgo puesto que la fuente radiactiva sale del equipo. A una profundidad específica se ubica la fuente gamma, en las capas del material que se está evaluando, mediante su inserción a través de un orificio que se ha realizado con la varilla para perforar. Estas transmisiones gamma son emitidas por medio del material en dirección a los detectores que están en el equipo (densímetro). Esta medición reduce la inseguridad provocada cuando se tiene una superficie rugosa y material evaluado con contenido químico, obteniendo mediciones con exactitud.

b. Retrodispersión.

En este tipo de medición los fotones gamma son dispersados mínimamente una vez, antes que el detector en la sonda sea alcanzado. A fin de desarrollar el procedimiento, se debe colocar la varilla de tal modo que los detectores y la fuente estén en el mismo plano llamado retrodispersión. El material en análisis es penetrado por los fotones que vienen de la fuente, los fotones dispersados se miden por el detector para impedir que estos accedan directamente al detector sin ser dispersados del material; entre los detectores y la fuente la sonda dispone de blindajes.

Figura 4

Tipos de medición – Transmisión directa y Retrodispersión



Nota: Guerrón, 2013.

B. Equipos y materiales.

El MTC (2016) detalla los equipos y materiales para el desarrollo del método:

- i. Equipo para medición nuclear: Es un dispositivo que cuenta electrónicamente, puede colocarse en una superficie del lugar donde se realizará la prueba; este comprende radiación gamma de energía alta (radio y cesio) que proviene de una fuente cubierta y/o sellada; también contiene un detector gamma de cualquier tipo tal como tubo(s) Geiger – Mueller.
- ii. Referencia estándar: Utilizado para corroborar la intervención del dispositivo de medición nuclear y definir la condición para una velocidad referencial contable reproducible.
- iii. Instrumento para acondicionamiento del lugar: Para nivelar el lugar a la condición requerida utilizar una herramienta (placa) que tenga filos rectos, si el método de transmisión directa es utilizado, guiar la varilla de transmisión para poder preparar el agujero perpendicular.

- iv. Varilla de transmisión: Es una clavija que presenta un grosor (diámetro) levemente superior a la varilla usando el método de transmisión directa, se prepara el orificio en el lugar de ensayo e insertar la varilla.
- v. Extractor de varilla de transmisión: Instrumento utilizado para trasladar la varilla en sentido vertical de tal manera que el orificio realizado por la clavija no se vea alterado al momento de extraerla.

C. Riesgos.

El MTC (2016) menciona que “al ser un equipo radiactivo puede ser peligroso para la salud, sin embargo, pueden tomarse medidas de prevención y evitar los daños, es por eso necesario que los usuarios conozcan los procedimientos de seguridad y regulaciones de estado para su uso” (p. 176).

D. Calibración.

El MTC (2016) menciona que “la calibración del equipo debe realizarse cada 12 a 18 meses o cuando se hará efectuado reparaciones importantes que perjudican la geometría del instrumento” (p.181).

E. Estandarización y verificación de referencia.

El MTC (2016) indica el procedimiento para estandarización del dispositivo, basado en Indecopi (2019) y American Society for Testing and Materials (2015):

Se debe estandarizar al inicio de cada jornada laboral y se tiene que registrar la información, la medición localizada debe ser mínimo a una distancia de 8 m. (25 pies) de otras fuentes radiactivas, alejar las masas de gran tamaño que consigan perjudicar la velocidad de conteo referencial.

- i. Utilizando la referencia estándar, efectuar mínimo cuatro lecturas repetitivas en periodos habituales de medición y obtener la medida. De ser posible el

instrumento te permite un periodo de medición de cuatro o más veces que el periodo normal, lo que viene a ser una verificación de estandarización.

- ii. Si el valor determinado líneas arriba está en los parámetros permitidos, el dispositivo de medición es considerado en condición satisfactoria y por ende el valor es posible utilizar en el día para la relación de conteo, pero si por el contrario el valor obtenido supera los parámetros establecidos, tiene que adicionarse un tiempo para que se estabilice el dispositivo; se debe tener ciertas consideraciones como una área libre de toda fuente de interferencias, para volver a repetir el proceso, si en la segunda verificación de estandarización cumple los parámetros, se puede utilizar el dispositivo, caso contrario éste tiene que ser reparado, adecuado y ajustado. Los parámetros se muestran a continuación:

$$| N_s - N_o | \leq \sqrt{(N_o/F)} \dots \dots \dots [Ecuación 5]$$

Donde:

N_s = valor de conteo de estandarización actual

N_o = promedio de los cuatro valores anteriores N_s , cogidos antes del uso

F = valor de pre escala (divisor que disminuye el valor real para la intención de exhibición. El fabricante proveerá este valor si fuera distinto de 1, 0)

F. Muestra.

El MTC (2016), menciona que el volumen de la muestra aproximada es 0,0028m³ (0,10 pies³) si se utiliza el procedimiento de Retrodispersión y 0,0057m³ (0,20 pies³) por transmisión directa, si el ensayo tiene una profundidad de 15cm (6”).

Entre mayor es la densidad menor el volumen será (p. 175).

G. Procedimiento.

Según el MTC (2016) se debe seguir el siguiente procedimiento para el uso en

campo:

- i. Estandarizar el equipo
- ii. Seleccionar la zona de ensayo, teniendo en cuenta que si el equipo está cercano a 250mm (10") de alguna masa vertical que varíe los resultados, se debe realizar un método establecido por el fabricante para poder corregir dichos valores y seguir con el método.
- iii. Remover el material suelto y adicional, al encontrar la profundidad del material que se removió se debe considerar la dispersión y el secado superficial.
- iv. La superficie horizontal se nivelará con el fin que exista un máximo contacto del equipo de medición y material a ensayar. La óptima condición es el contacto total de la superficie inferior del equipo y el material de ensayo, de no ocurrir, las irregularidades deben ser corregidas de la superficie, utilizando finos o arenas finas del lugar para poder rellenar los vacíos. Este relleno no puede sobrepasar aproximadamente los 3mm (1/8") y la zona total rellena no deberá ser superior al 10% de la zona inferior del dispositivo.
- v. Proceder con el ensayo ya sea por tipo de medición de transmisión directa o retrodispersión.
- vi. Si el volumen probado indicado en la muestra presenta excesivo material sobredimensionado en comparación de la forma operativa correcta, se debe corregir la cantidad de humedad y densidad húmeda (peso unitario), de acuerdo con lo que establece American Society for Testing and Materials (2015).
- vii. Si necesitamos muestras de material con el propósito de realizar otros métodos de ensayo y efectuar una correlación, se puede aproximar el volumen a medir a través de un cilindro de $\phi 200\text{mm}$ (8") ubicado de forma directa bajo la

línea central de la fuente radiactiva y detectores. La profundidad para la varilla-fuente será altitud del cilindro que va ser excavado si se utiliza el método de transmisión directa o aprox. 75mm (3”) si se utiliza el método de retrodispersión.

H. Almacenamiento, transporte y operación del densímetro nuclear.

Guerrón (2013) menciona las consideraciones de almacenamiento, transporte y operación del densímetro nuclear, que se describen a continuación:

a. Almacenamiento.

- i. El local o área donde se almacena el equipo deberá ser únicamente para ese fin.
- ii. El Bunker de almacenamiento será un contenedor metálico, el cual deberá estar separado 50m. a la redonda de alguna instalación en donde se encuentren personas trabajando u almacén de proyecto. Se debe colocar señalización de radiactividad y restringir el ingreso y salida de personal. Solo podrán ingresar a dicha área el personal autorizado.
- iii. El almacén no deberá de contener otros materiales peligrosos tales como productos químicos o gases comprimidos, debe ser seco y de ser posible ventilado.
- iv. Deberá tener señales de advertencia claras (atención de riesgo de radiación, prohibido el ingreso, solo personal autorizado).
- v. El almacén deberá permanecer cerrado con llave para prevenir el acceso de personas no autorizadas, debido a que hay una alta tasa de dosis en el interior, esta llave debe permanecer en un lugar seguro, solo podrá ingresar al lugar las personas que cuenten con su dosímetro personal.

b. Transporte.

- i. En todo momento, el traslado del equipo debe permanecer a cargo del personal

autorizado (personal capacitado por el IPEN (Instituto Peruano de Energía Nuclear) y tener acreditación de una licencia vigente por la OTAN (Oficina de la Autoridad Nacional), además de estar capacitado en protección radiológica y poseer experiencia en la manipulación de equipo radiactivo), este debe portar su dosímetro personal (tamaño bolsillo).

- ii. Se debe controlar que el equipo salga con un formato que garantice la revisión previa del equipo antes de iniciar el traslado al punto de ensayo y se debe realizar la verificación de almacenamiento en el lugar de entrega.
- iii. El vehículo encargado del traslado del equipo radiactivo, no deberá superar los límites establecidos de velocidad que figuran en el reglamento de tránsito en condiciones normales de vía; el vehículo debe contar con señalización (peligro de radiación) y debe tener las luces de emergencia encendidas.
- iv. El transporte del equipo con fuente radiactiva se debe realizar en una caja fija segura a la tolva del vehículo que garantice el liberarlo de daños, al igual que el cuidado del ambiente al emitir radiación.
- v. El conductor debe portar siempre su dosímetro personal (tamaño bolsillo).
- vi. El equipo se tiene que transportar apagado.
- vii. En caso de algún accidente, se debe reportar a la autoridad competente (OTAN).

c. Operación.

Personal autorizado:

- i. El personal y ayudante deben utilizar obligatoriamente durante las horas de operación y traslado su dosímetro personal (tamaño bolsillo). El dosímetro debe ser colocado en forma segura en la zona más representativa del cuerpo del

usuario (zona media del tórax).

- ii. Verificar que el lugar este limpio y desalojado de personas ajenas a la operación.
- iii. Las personas que están prohibidas de operar el equipo son personas menores de 18 años, personas que no posean licencia emitida por el IPEN, mujeres en etapa de gestación, personas que hayan superado los límites máximos de exposición.

Señalización:

- i. Aislar a una distancia de 10 m. el área de trabajo con una cinta amarilla con púrpura de seguridad indicando: “Peligro de Radiación no pasar”, además deben colocarse letreros a una altura de 1,5m en la que figure en ambos lados el símbolo radiactivo.

Limitación de la dosis:

Los trabajadores expuestos ocupacionalmente no deben exceder las dosis que se muestran a continuación:

- i. 20 mSv de dosis efectiva en un año, como promedio en un periodo de 5 años consecutivos.
- ii. 50 mSv de dosis efectiva en un año, siempre que no sobrepase 1000 mSv en 5 años.
- iii. 150 mSv de dosis equivalente en un año, en el cristalino.
- iv. 500 mSv equivalente en año, para la piel y extremidades.

2.3. Definición de términos

2.3.1. ASTM.

Sociedad Americana para Pruebas y Materiales

2.3.2. CBR.

Ensayo que determina la deformación y capacidad portante de un suelo.

(Zeta, 2019)

2.3.3. Calibración.

Ajustar, con la mayor exactitud, las instrucciones de un instrumento de medida de acuerdo con un patrón de referencia. (Real Academia Española, 2020).

2.3.4. Cono de Arena.

Método de ensayo destructivo para determinar la densidad de un material (Guerrón, 2013)

2.3.5. Correlación.

Relación mutua entre dos o más series de cosas. (Real Academia Española, 2020)

2.3.6. Densidad.

Magnitud que representa relación entre masa y volumen de un cuerpo el cual es expresado en unidades de kilogramo por metro cúbico. (Asociación de Academias de la Lengua Española, 2021)

2.3.7. Densímetro Nuclear.

Equipo que presenta un medidor nuclear con el objeto de obtener la densidad y contenido de humedad de un suelo in situ. (Flores, 2014)

2.3.8. Dosímetro.

Aparato para medir dosis, particularmente de radiactividad. (Asociación de Academias de la Lengua Española, 2021)

2.3.9. Estandarización.

Concertar algo para obtener un resultado concordante o que coincida con un patrón, modelo o referencia. (Zeta, 2019)

2.3.10. Fuente Gamma.

Radiación electromagnética compuesta por fotones emitidos por elementos radiactivos. (Zeta, 2019)

2.3.11. Granulometría.

Tamaño de las piedras, arena, granos que forman parte de un suelo. (Real Academia Española, 2020)

2.3.12. INDECOPI.

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual

2.3.13. IPEN.

Instituto Peruano de Energía Nuclear

2.3.14. MTC.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones

2.3.15. NTP.

Norma Técnica Peruana

2.3.16. OTAN.

Oficina Técnica de la Autoridad Nacional

2.3.17. Peso Unitario.

Representa el peso de un suelo por unidad de volumen (Das, 2013)

CAPITULO III

MÉTODO

3.1.Tipo de la investigación

Dieterich (2008), menciona que “en una investigación experimental el investigador interviene y activa el objeto de la investigación para producir los datos de interés” (p.142). Así mismo Hernández (2014), establece que “la investigación experimental presenta alcances correlacionales y explicativos” (p. 153). Por ello este trabajo presenta una investigación experimental, debido a que se organizó para tomar muestras aleatorias realizando los ensayos in situ con los dos métodos en estudio: método del cono de arena y método nuclear, así se corroboró que la muestra es representativa a la realidad y contrastó la hipótesis haciendo el uso del método científico.

3.2.Diseño de la investigación

Se usó la estadística deductiva, es decir, para determinar si existe una diferencia significativa entre los grupos se realizó una prueba de normalidad para identificar si se debe utilizar una prueba paramétrica (“t” de Student) en el caso que la distribución de las variables sea normal o una prueba no paramétrica

(Mann Whitney) en el caso la distribución de las variables sea no normal o al menos una de ellas sea no normal.

3.3.Población y muestra

3.3.1. Población.

Norma E.050 establece que “se debe realizar controles de compactación cada 250 m²”, por lo tanto, para el acceso Almacenamiento Polvorín de 1+109.08 km. la población son 38 controles de compactación.

3.3.2. Muestra.

Se analizó el 100% de la población, 38 ensayos tomados aleatoriamente in situ en la capa granular de afirmado en el acceso Almacenamiento Polvorín, con los dos métodos en estudio: método del cono de arena y método nuclear.

3.4.Descripción de instrumentos para recolección de datos

3.4.1. Directos.

Cono de arena $\phi 6''$: incluye cono de bronce con embudo, plato perforado y galón de plástico.

Densímetro nuclear Troxler 3440 Plus: incluye certificado de calibración, licencia de operación del IPEN, caja de transporte de fábrica, base para estandarización, placa guía metálica, extractor de varilla, varilla de perforación, cargador, señalización radiactiva para vehículo de transporte y monitor de radiación.

3.4.2. Indirectos.

Ensayos para analizar las características y propiedades del material de afirmado y otros complementarios y necesarios para obtener los resultados de los ensayos que

se realizarán utilizando los dos métodos en estudio, para ello se utilizarán los siguientes materiales y/o equipos:

Balanza de 30 kg. x 1 gr.

Tamices de $\phi 8''$ en bronce.

Horno en acero inoxidable (capacidad 90 l.).

Equipo de Proctor modificado: martillo de Proctor modificado, molde Proctor modificado $\phi 6''$.

Instrumentos para ensayo límites de Atterberg: copa Casagrande Humboldt, recipiente, espátula, mortero, pisón, vidrio esmerilado, ranurador metálico y plástico, plato de evaporación de porcelana, pesafiltros con tapa de aluminio, probeta de vidrio graduada de 25 ml.

Dosímetro.

3.4.3. Métodos de análisis de datos.

Los datos obtenidos por medio de los ensayos in situ y laboratorio fueron procesados haciendo uso del programa SPSS 26, así mismo se presentó una correlación lineal de los resultados.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados

El presente estudio de investigación considera una población muestral de 38 ensayos tanto para el método del cono de arena como método nuclear a razón de 250 m² de acuerdo con lo establecido en la Norma E.050 para el acceso a Almacenamiento Polvorín de 1+109.08 km de longitud. Los resultados se muestran a continuación:

4.1.1. Grado de Compactación.

De acuerdo con lo señalado en la teoría ambos métodos normados permiten determinar la densidad en campo siendo uno, un método destructivo (cono de arena) y el otro un método radiactivo, es importante controlar la homogeneidad en la colocación del material de afirmado para poder obtener resultados confiables para el grado de compactación, además de verificar que se realice una adecuada compactación con el equipo (rodillo).

Para garantizar una mayor confiabilidad en los resultados, se realizó los ensayos por ambos métodos en un mismo punto, primero el método radiactivo (densímetro nuclear) y luego el método destructivo (cono de arena) y de esa manera no alterar la muestra, obteniendo los resultados que se detallan en la tabla 6.

Tabla 6*Grado de Compactación – Cono de arena y Densímetro nuclear*

| Ítem | Fecha de ensayo | Progresiva | Fase inspeccionada | % de Compactación | |
|------|-----------------|------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | | | | Cono de arena | Densímetro Nuclear |
| 1 | 25-12-2020 | 0+000 | Afirmado | 99.2 | 102.1 |
| 2 | 25-12-2020 | 0+030 | Afirmado | 98.7 | 100.2 |
| 3 | 25-12-2020 | 0+060 | Afirmado | 98.0 | 99.8 |
| 4 | 25-12-2020 | 0+090 | Afirmado | 97.9 | 98.8 |
| 5 | 25-12-2020 | 0+120 | Afirmado | 95.6 | 97.5 |
| 6 | 25-12-2020 | 0+150 | Afirmado | 96.8 | 98.5 |
| 7 | 25-12-2020 | 0+180 | Afirmado | 95.9 | 97.4 |
| 8 | 25-12-2020 | 0+210 | Afirmado | 95.3 | 96.9 |
| 9 | 25-12-2020 | 0+240 | Afirmado | 97.0 | 98.6 |
| 10 | 25-12-2020 | 0+270 | Afirmado | 96.4 | 97.9 |
| 11 | 25-12-2020 | 0+300 | Afirmado | 96.0 | 97.6 |
| 12 | 25-12-2020 | 0+330 | Afirmado | 97.1 | 98.7 |
| 13 | 25-12-2020 | 0+360 | Afirmado | 97.2 | 99.1 |
| 14 | 25-12-2020 | 0+390 | Afirmado | 95.4 | 98.3 |
| 15 | 25-12-2020 | 0+420 | Afirmado | 96.6 | 98.2 |
| 16 | 25-12-2020 | 0+450 | Afirmado | 96.6 | 98.4 |
| 17 | 25-12-2020 | 0+480 | Afirmado | 96.0 | 97.5 |
| 18 | 27-12-2020 | 0+510 | Afirmado | 96.1 | 98.0 |
| 19 | 27-12-2020 | 0+540 | Afirmado | 96.5 | 98.2 |
| 20 | 27-12-2020 | 0+570 | Afirmado | 96.7 | 98.3 |
| 21 | 27-12-2020 | 0+600 | Afirmado | 96.1 | 97.7 |
| 22 | 27-12-2020 | 0+630 | Afirmado | 97.1 | 98.9 |
| 23 | 27-12-2020 | 0+660 | Afirmado | 97.7 | 99.3 |
| 24 | 27-12-2020 | 0+690 | Afirmado | 96.0 | 97.6 |
| 25 | 27-12-2020 | 0+720 | Afirmado | 96.4 | 97.9 |
| 26 | 27-12-2020 | 0+750 | Afirmado | 97.9 | 99.5 |
| 27 | 27-12-2020 | 0+780 | Afirmado | 98.3 | 100.3 |
| 28 | 28-12-2020 | 0+810 | Afirmado | 96.8 | 98.5 |
| 29 | 28-12-2020 | 0+840 | Afirmado | 97.3 | 99.2 |
| 30 | 28-12-2020 | 0+870 | Afirmado | 97.2 | 98.9 |
| 31 | 28-12-2020 | 0+900 | Afirmado | 97.0 | 98.6 |
| 32 | 28-12-2020 | 0+930 | Afirmado | 97.3 | 99.0 |
| 33 | 28-12-2020 | 0+960 | Afirmado | 97.5 | 99.3 |
| 34 | 28-12-2020 | 0+990 | Afirmado | 97.7 | 99.6 |
| 35 | 28-12-2020 | 1+020 | Afirmado | 96.7 | 98.4 |
| 36 | 28-12-2020 | 1+050 | Afirmado | 97.5 | 99.2 |
| 37 | 28-12-2020 | 1+080 | Afirmado | 96.3 | 98.1 |
| 38 | 28-12-2020 | 1+109 | Afirmado | 98.9 | 99.7 |

También se detalla la variación existente entre los resultados obtenidos para el grado de compactación por el método cono de arena y el método nuclear.

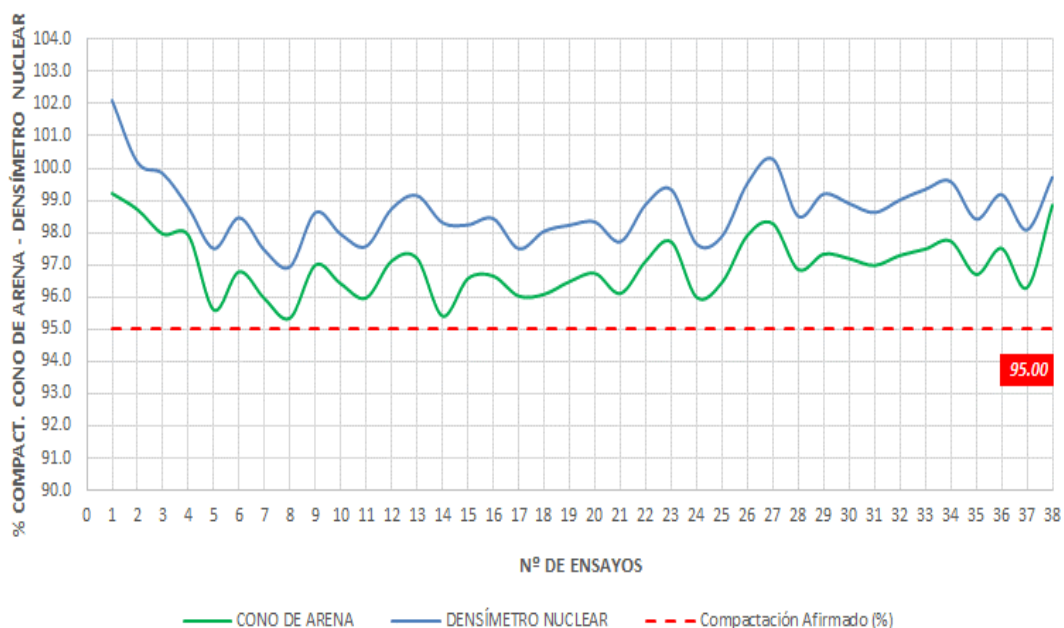
Tabla 7*Variación del Grado de Compactación del Densímetro nuclear con respecto al Cono de arena*

| Ítem | Fecha de ensayo | Progresiva | % de Compactación | | |
|------|-----------------|------------|-------------------|--------------------|----------|
| | | | Cono de arena | Densímetro Nuclear | Δ |
| 1 | 25-12-2020 | 0+000 | 99.2 | 102.1 | -3% |
| 2 | 25-12-2020 | 0+030 | 98.7 | 100.2 | -2% |
| 3 | 25-12-2020 | 0+060 | 98.0 | 99.8 | -2% |
| 4 | 25-12-2020 | 0+090 | 97.9 | 98.8 | -1% |
| 5 | 25-12-2020 | 0+120 | 95.6 | 97.5 | -2% |
| 6 | 25-12-2020 | 0+150 | 96.8 | 98.5 | -2% |
| 7 | 25-12-2020 | 0+180 | 95.9 | 97.4 | -2% |
| 8 | 25-12-2020 | 0+210 | 95.3 | 96.9 | -2% |
| 9 | 25-12-2020 | 0+240 | 97.0 | 98.6 | -2% |
| 10 | 25-12-2020 | 0+270 | 96.4 | 97.9 | -2% |
| 11 | 25-12-2020 | 0+300 | 96.0 | 97.6 | -2% |
| 12 | 25-12-2020 | 0+330 | 97.1 | 98.7 | -2% |
| 13 | 25-12-2020 | 0+360 | 97.2 | 99.1 | -2% |
| 14 | 25-12-2020 | 0+390 | 95.4 | 98.3 | -3% |
| 15 | 25-12-2020 | 0+420 | 96.6 | 98.2 | -2% |
| 16 | 25-12-2020 | 0+450 | 96.6 | 98.4 | -2% |
| 17 | 25-12-2020 | 0+480 | 96.0 | 97.5 | -2% |
| 18 | 27-12-2020 | 0+510 | 96.1 | 98.0 | -2% |
| 19 | 27-12-2020 | 0+540 | 96.5 | 98.2 | -2% |
| 20 | 27-12-2020 | 0+570 | 96.7 | 98.3 | -2% |
| 21 | 27-12-2020 | 0+600 | 96.1 | 97.7 | -2% |
| 22 | 27-12-2020 | 0+630 | 97.1 | 98.9 | -2% |
| 23 | 27-12-2020 | 0+660 | 97.7 | 99.3 | -2% |
| 24 | 27-12-2020 | 0+690 | 96.0 | 97.6 | -2% |
| 25 | 27-12-2020 | 0+720 | 96.4 | 97.9 | -2% |
| 26 | 27-12-2020 | 0+750 | 97.9 | 99.5 | -2% |
| 27 | 27-12-2020 | 0+780 | 98.3 | 100.3 | -2% |
| 28 | 28-12-2020 | 0+810 | 96.8 | 98.5 | -2% |
| 29 | 28-12-2020 | 0+840 | 97.3 | 99.2 | -2% |
| 30 | 28-12-2020 | 0+870 | 97.2 | 98.9 | -2% |
| 31 | 28-12-2020 | 0+900 | 97.0 | 98.6 | -2% |
| 32 | 28-12-2020 | 0+930 | 97.3 | 99.0 | -2% |
| 33 | 28-12-2020 | 0+960 | 97.5 | 99.3 | -2% |
| 34 | 28-12-2020 | 0+990 | 97.7 | 99.6 | -2% |
| 35 | 28-12-2020 | 1+020 | 96.7 | 98.4 | -2% |
| 36 | 28-12-2020 | 1+050 | 97.5 | 99.2 | -2% |
| 37 | 28-12-2020 | 1+080 | 96.3 | 98.1 | -2% |
| 38 | 28-12-2020 | 1+109 | 98.9 | 99.7 | -1% |

A continuación, se detalla gráficamente los resultados obtenidos para el grado de compactación por los métodos de estudio.

Figura 5

Grado de Compactación Cono de arena – Densímetro nuclear

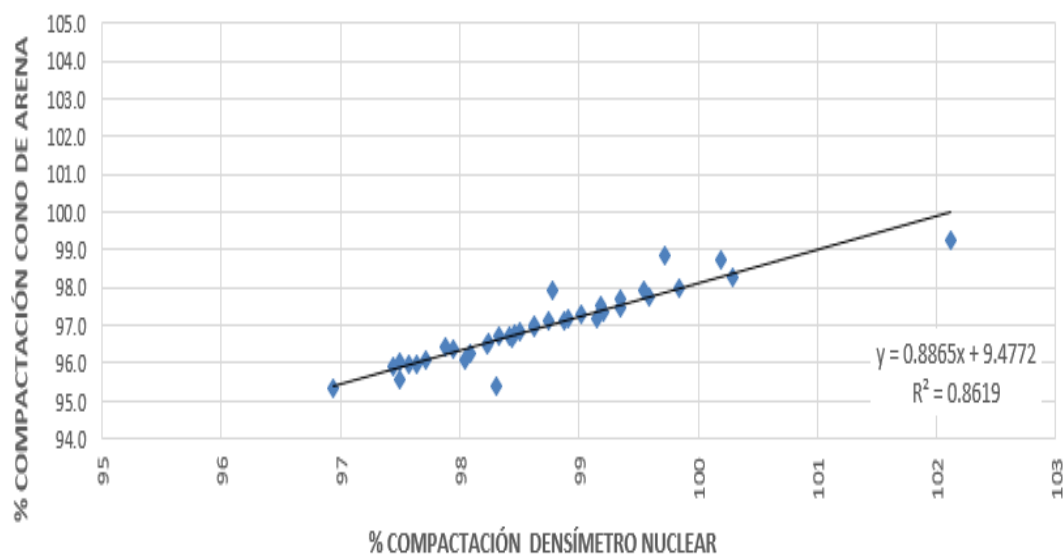


De la Tabla 7, considerando la población muestral de 38 ensayos para el grado de compactación, se obtiene el 95% de ensayos con variación mayor al $\pm 2\%$ y el 5% con diferencia menor a $\pm 1\%$, asimismo, la tendencia lineal mostrada para ambos métodos en la figura 5 está asociada directamente sin considerar altos y bajos erráticos estadísticos además de no mostrar resultados opuestos. Por otro lado, debido a la relación directa referencial de los resultados analizaremos la existencia de la correlación entre el método nuclear y cono de arena.

Correlación. Flores (2014), menciona el término correlación para saber que tan estrecha es la relación entre dos variables, indicando que el coeficiente de correlación r se encuentra entre los valores -1 y 1 siendo así que si r es cercano o igual a ± 1 la correlación se considera fuerte o perfecta, sin embargo si el valor r es igual o próximo a 0 la correlación se considera nula o débil, definiendo $r = \sqrt{R^2}$ (p.94).

Figura 6

Correlación Cono de arena y Densímetro nuclear



De la figura 6, Correlación del Grado de Compactación de Cono de arena y Densímetro nuclear se obtiene que R^2 es 0.8619, por lo cual, se desprende que; “r” tiene como valor 0.9283; resultado que representa una relación fuerte entre el grado de compactación obtenido tanto del cono de arena como del densímetro nuclear.

4.1.2. Duración de Ensayos.

En referencia al periodo de tiempo del desarrollo de los ensayos tanto para la metodología del cono de arena como el método nuclear, se presenta la tabla 8, así mismo es importante precisar que el tiempo registrado hace referencia a los ensayos in situ y no se considera análisis en laboratorio.

Los ensayos fueron realizados de manera consecutiva y en la misma área determinada como muestral, iniciando por el método nuclear y seguido el método del cono de arena, además indicar que los ensayos no se realizaron en condiciones climáticas adversas (presencia de lluvias) permitiendo se realice los ensayos de inicio a fin.

Tabla 8*Duración de ensayos – Cono de Arena y Densímetro Nuclear*

| Ítem | Fecha de ensayo | Progresiva | Fase inspeccionada | Tiempo (min) | |
|------|-----------------|------------|--------------------|---------------|--------------------|
| | | | | Cono de arena | Densímetro Nuclear |
| 1 | 25-12-2020 | 0+000 | Afirmado | 35 | 6 |
| 2 | 25-12-2020 | 0+030 | Afirmado | 33 | 6 |
| 3 | 25-12-2020 | 0+060 | Afirmado | 32 | 5 |
| 4 | 25-12-2020 | 0+090 | Afirmado | 32 | 5 |
| 5 | 25-12-2020 | 0+120 | Afirmado | 26 | 4 |
| 6 | 25-12-2020 | 0+150 | Afirmado | 28 | 5 |
| 7 | 25-12-2020 | 0+180 | Afirmado | 28 | 4 |
| 8 | 25-12-2020 | 0+210 | Afirmado | 27 | 4 |
| 9 | 25-12-2020 | 0+240 | Afirmado | 29 | 5 |
| 10 | 25-12-2020 | 0+270 | Afirmado | 26 | 4 |
| 11 | 25-12-2020 | 0+300 | Afirmado | 27 | 4 |
| 12 | 25-12-2020 | 0+330 | Afirmado | 30 | 5 |
| 13 | 25-12-2020 | 0+360 | Afirmado | 29 | 6 |
| 14 | 25-12-2020 | 0+390 | Afirmado | 28 | 6 |
| 15 | 25-12-2020 | 0+420 | Afirmado | 30 | 5 |
| 16 | 25-12-2020 | 0+450 | Afirmado | 31 | 5 |
| 17 | 25-12-2020 | 0+480 | Afirmado | 29 | 4 |
| 18 | 27-12-2020 | 0+510 | Afirmado | 31 | 5 |
| 19 | 27-12-2020 | 0+540 | Afirmado | 27 | 5 |
| 20 | 27-12-2020 | 0+570 | Afirmado | 32 | 6 |
| 21 | 27-12-2020 | 0+600 | Afirmado | 28 | 4 |
| 22 | 27-12-2020 | 0+630 | Afirmado | 33 | 5 |
| 23 | 27-12-2020 | 0+660 | Afirmado | 30 | 5 |
| 24 | 27-12-2020 | 0+690 | Afirmado | 28 | 4 |
| 25 | 27-12-2020 | 0+720 | Afirmado | 30 | 4 |
| 26 | 27-12-2020 | 0+750 | Afirmado | 34 | 6 |
| 27 | 27-12-2020 | 0+780 | Afirmado | 36 | 7 |
| 28 | 28-12-2020 | 0+810 | Afirmado | 30 | 5 |
| 29 | 28-12-2020 | 0+840 | Afirmado | 34 | 6 |
| 30 | 28-12-2020 | 0+870 | Afirmado | 32 | 6 |
| 31 | 28-12-2020 | 0+900 | Afirmado | 29 | 5 |
| 32 | 28-12-2020 | 0+930 | Afirmado | 33 | 6 |
| 33 | 28-12-2020 | 0+960 | Afirmado | 35 | 6 |
| 34 | 28-12-2020 | 0+990 | Afirmado | 35 | 6 |
| 35 | 28-12-2020 | 1+020 | Afirmado | 32 | 5 |
| 36 | 28-12-2020 | 1+050 | Afirmado | 29 | 6 |
| 37 | 28-12-2020 | 1+080 | Afirmado | 27 | 5 |
| 38 | 28-12-2020 | 1+109 | Afirmado | 32 | 5 |

4.1.3. Costo de Ensayos.

Otro factor que va a influir para determinar que método es el más conveniente, es

evaluar el costo, es decir que gastos tales como factores, recursos, equipos y demás implica utilizar el método cono de arena y método nuclear, y así realizar una correcta elección.

En ambos casos se realizará el mismo análisis, el cual se detalla a continuación.

Tabla 9

Presupuesto Ensayo cono de arena

| Descripción | Unidad | Cantidad | Precio Unitario S/ | Precio Total S/ |
|---|---------------|-----------------|---------------------------|------------------------|
| Alquiler Equipo Cono de arena | Mes | 1.00 | 80.00 | 80.00 |
| Alquiler Equipos de laboratorio complementarios | Mes | 1.00 | 655.00 | 655.00 |
| Transporte de equipos a Proyecto | Mes | 1.00 | 250.00 | 250.00 |
| Técnico de Laboratorio | Mes | 1.00 | 2,800.00 | 2,800.00 |
| Transporte en obra de personal | Mes | 1.00 | 5,000.00 | 5,000.00 |
| Total | | | | 8,785.00 |

Tabla 10

Presupuesto Ensayo Densímetro nuclear

| Descripción | Unidad | Cantidad | Precio Unitario S/ | Precio Total S/ |
|---|---------------|-----------------|---------------------------|------------------------|
| Alquiler Equipo Densímetro nuclear | Mes | 1.00 | 583.20 | 583.20 |
| Alquiler Equipos de laboratorio complementarios | Mes | 1.00 | 205.00 | 205.00 |
| Transporte Densímetro nuclear a Proyecto | Mes | 1.00 | 540.00 | 540.00 |
| Transporte equipos complementarios a Proyecto | Mes | 1.00 | 100.00 | 100.00 |
| Operador certificado para operación de equipo | Mes | 1.00 | 3,000.00 | 3,000.00 |
| Dosímetro | Mes | 5.00 | 71.98 | 359.90 |
| Bunker | Mes | 1.00 | 3,000.00 | 3,000.00 |
| Señalética | Mes | 10.00 | 35.00 | 350.00 |
| Unidad de traslado exclusivo de equipo | Mes | 1.00 | 5,000.00 | 5,000.00 |
| Total | | | | 13,138.10 |

De la tabla 9 y tabla 10 se puede apreciar que existe una diferencia significativa entre los presupuestos que son necesarios para realizar los ensayos por

los métodos del cono de arena y densímetro nuclear, considerando en ambos casos un periodo mensual.

4.2. Contrastación de hipótesis

4.2.1. Grado de compactación.

Tabla 11

Prueba de normalidad - Grado de Compactación

| Descripción | Kolmogorov - Smirnov | | | Shapiro-Wilk | | |
|-----------------------------------|----------------------|----|-------|--------------|----|------|
| | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| % Compactación cono de arena | ,072 | 38 | ,200* | ,978 | 38 | ,637 |
| % Compactación densímetro nuclear | ,083 | 38 | ,200* | ,942 | 38 | ,048 |

Nota: *. Esto es un límite inferior de la significancia verdadera.

Para analizar la distribución de los datos se realizó la prueba de Shapiro-Wilk debido a que la cantidad de datos es menor a 50. La variable del porcentaje de compactación cono de arena presenta una distribución normal y la variable del porcentaje de compactación densímetro nuclear presenta una distribución no normal. Por lo tanto, se trabajará con la Prueba de Mann-Whitney.

Tabla 12

Prueba de Mann Whitney Estadísticos de prueba - Grado de Compactación

| Descripción | % Compactación |
|-----------------------------|----------------|
| U de Mann-Whitney | 140,000 |
| W de Wilcoxon | 881,000 |
| Z | -6,049 |
| Sig. asintótica (bilateral) | ,000 |

El valor del Sig. (bilateral) es menor a 0.05. Por lo tanto, existe diferencia significativa entre el porcentaje de compactación cono de arena y el porcentaje de compactación densímetro nuclear, de donde muestra que el cono de arena brinda resultados con desviación estándar de 0.9393; lo que indica que la mayor parte de los datos de la muestra tienden a estar agrupados cerca de su media respecto a la

desviación estándar del densímetro nuclear con resultado de 0.9868; lo que indica que los datos se extienden sobre un rango de valores más amplio.

En efecto a lo descrito, el método del cono de arena obtiene resultados tanto para la desviación estándar (0.9393) y el Sig. bilateral menor a 0.05; lo que permite comprobar la validez de la hipótesis acerca del método cono de arena que brinda valores de grado de compactación confiables en comparación al método nuclear respecto a las especificaciones técnicas para construcción (EG-2013).

4.2.2. Periodo de Tiempo.

Tabla 13

Prueba de normalidad - Tiempo

| Descripción | Kolmogorov - Smirnov | | | Shapiro-Wilk | | |
|---------------------------|----------------------|----|------|--------------|----|------|
| | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| Tiempo densímetro nuclear | ,222 | 38 | ,000 | ,852 | 38 | ,000 |
| Tiempo cono de arena | ,121 | 38 | ,172 | ,956 | 38 | ,142 |

Para analizar la distribución de los datos se realizó la prueba de Shapiro-Wilk debido a que la cantidad de datos es menor a 50. La variable tiempo cono de arena presenta una distribución normal y la variable tiempo densímetro nuclear presenta una distribución no normal. Por lo tanto, se trabajará con la Prueba de Mann-Whitney.

Tabla 14

Prueba de Mann Whitney Estadísticos de prueba - Tiempo

| Descripción | Tiempo |
|-----------------------------|---------|
| U de Mann-Whitney | ,000 |
| W de Wilcoxon | 741,000 |
| Z | -7,563 |
| Sig. asintótica (bilateral) | ,000 |

El valor del Sig. (bilateral) es menor a 0.05. Por lo tanto, existe diferencia significativa entre el tiempo cono de arena y el tiempo densímetro nuclear, de donde muestra que el densímetro nuclear brinda resultados con desviación estándar de

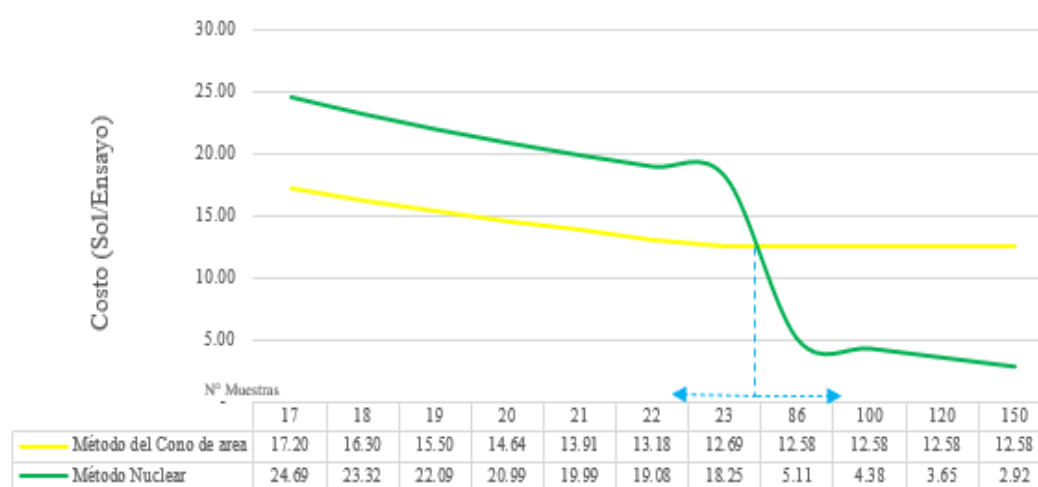
0.811; lo que indica que la mayor parte de los datos de la muestra tienden a estar agrupados cerca de su media respecto a la desviación estándar del cono de arena con resultado de 2.758; lo que indica que los datos se extienden sobre un rango de valores más amplio.

De la contrastación de la hipótesis analizada, se desprende que el método del densímetro nuclear obtiene resultados tanto para la desviación estándar (0.811) y el Sig. bilateral menor a 0.05; resultados que permiten comprobar la invalidez de la hipótesis acerca del método cono de arena que brinda resultados en menor tiempo en relación con el método nuclear.

4.2.3. Costo de Metodologías.

Figura 7

Curva de costo Método del Cono de arena y Método Nuclear



De la figura 7, muestra la comparación del costo por ensayo calculado tanto para el método del cono de área como para el método nuclear contrastado con la cantidad de muestras para cada método para un periodo de tiempo mensual; de donde obtenemos que el método nuclear es beneficioso realizarlo a partir de 86 ensayos y por el contrario el método del cono de arena es beneficio utilizarlo en menos de 23

ensayos respecto al método nuclear, cabe precisar que la comparación es en términos de costo para ambas metodologías.

En merito al análisis de la contrastación de la hipótesis realizado, se obtiene el método del densímetro nuclear es menos costoso realizarlo a partir de 86 ensayos y, por otro lado, el método del cono de arena es menos costoso realizarlo para menos de 23 ensayos; resultados que permiten comprobar la invalidez de la hipótesis acerca que el método del cono de arena es menos costoso que el método nuclear.

4.3.Discusión de resultados

El presente trabajo de investigación se enfoca en realizar ensayos de campo con análisis de resultados en el laboratorio de suelos para el parámetro del grado de compactación mediante la determinación de la densidad de campo utilizando el método del cono de arena y el método nuclear a través del densímetro nuclear.

Los ensayos se realizaron en la carpeta de afirmado del acceso de ingreso a Almacenamiento Polvorín ubicado en el km 1+109.08, complementariamente se cuantificaron los tiempos de duración de cada ensayo en ambas metodologías.

Los resultados obtenidos de los ensayos nos permiten cumplir con el objeto del presente estudio que es contrastar el uso del método del cono de arena y el método nuclear para determinar la densidad in situ de la carpeta de afirmado, asimismo, verificaremos las hipótesis planteadas en referencia a que el método del cono de arena es óptimo respecto al método nuclear debido a que tiene mayor grado de confiabilidad, es menos costoso además que el tiempo de ejecución y obtención de resultados es mucho menor respecto al método nuclear.

El desarrollo de los 38 ensayos se realizó en la carpeta de afirmado del acceso de ingreso a Almacenamiento Polvorín ubicado en el km 1+109.08,

considerando que primero se toma la medición de la densidad a través del densímetro nuclear y posteriormente en la misma zona se realiza la prueba del cono de área para poder realizar la comparación respectiva bajo las mismas condiciones físicas de campo.

De los resultados del grado de compactación obtenemos que todos los valores ensayados están por encima del 95% exigidos por las especificaciones técnicas generales para construcción (EG-2013).

De acuerdo con los resultados mostrados en el presente estudio de investigación, la Tabla 06 Grado de Compactación – Cono de arena y Densímetro nuclear, donde el método del cono de arena presenta variación en el rango de 95.3% a 99.2% con una media simple del orden del 97%, de donde todos los resultados cumplen con el grado de compactación requerido del 95% de acuerdo con las especificaciones técnicas generales para construcción (EG-2013), complementariamente el método nuclear presenta variación en el rango de 96.9% a 102.1% con una media simple del orden del 98.7%, de donde todos los resultados cumplen con el grado de compactación requerido del 95% de acuerdo con las especificaciones técnicas generales para construcción (EG-2013).

Respecto a los resultados de la desviación estándar para el grado de compactación se obtiene que el método del cono de arena tiene un valor de 0.9393 lo que representa indica que la población muestral tiene menor dispersión respecto al método nuclear que presenta un valor de 0.9898, de lo que podemos inferir que la metodología del cono de arena es óptima respecto al método nuclear.

Por otro lado, en referencia a los resultados de la desviación estándar de la medición de los periodos de tiempo obtenemos para el método del cono de arena

tiene un valor de 2.758 lo que indica que la población muestral tiene mayor dispersión respecto al método nuclear que presenta un valor de 0.811, infiriendo que la metodología nuclear es óptima respecto al método de cono de arena.

De la misma manera, en referencia a los resultados del costeo obtenemos que el método del cono de arena es menos costos hasta el límite de 23 ensayos, sin embargo, para el método nuclear es más beneficioso aplicarlo a partir de 83 ensayos, alineados con la figura 07 mostradas líneas arriba.

Es importante precisar, que ambas metodologías difieren ligeramente en el rango de +1% y -2% de variación en términos de resultados, por lo cual su aplicación dependerá de la necesidad y condiciones del proyecto, asimismo, se presenta una referencia importante respecto a la correlación donde ratificamos la relación fuerte en términos estadísticos.

Finalmente, los resultados obtenidos mostrados en el presente estudio de investigación ratifican la validez parcial de las hipótesis planteadas, de donde se confirma que el método del cono de arena es óptimo para cumplir con el grado de compactación en superficies afirmadas, sin embargo, el método nuclear es óptimo respecto a los periodos de tiempo y en términos de costeo ambos son óptimos para rangos determinados de cantidad de ensayos como se describió anteriormente, asimismo, ratificamos la validez de los estudios realizados por Guerrón (2013), en su tesis denominada Comparación de resultados de densidad de campo y Zeta (2019), en su tesis titulada Análisis comparativo de la utilización del método del cono de arena y densímetro nuclear para determinar densidades en campo en suelos cohesivos para terraplenes de donde se concluye que el método de cono de arena es óptimo para estimar el grado de compactación para diversos materiales.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Primera. Tanto la metodología del cono de arena como el método nuclear están validados en nuestro país a través de la norma NTP 339.143 (ASTM D1556) y NTP 339.144 (ASTM D6938) respectivamente; además ambos métodos sobrepasaron el valor del 95%, por lo cual los dos pueden ser utilizados (Perse).

Segunda. El método del cono de arena tiene; desviación estándar: 0.9393 y Sig. bilateral < 0.05 (Rango de población $<$ a método nuclear); lo que permite comprobar la validez de la hipótesis del método cono de arena que brinda valores de grado de compactación confiables respecto al método nuclear con especificaciones (EG-2013).

Tercera. El método del densímetro nuclear tiene: desviación estándar: 0.811 y Sig. bilateral < 0.05 (Valores de tiempo agrupados en rangos menores para el método nuclear); lo que permite comprobar la invalidez de la hipótesis acerca del método cono de arena que brinda resultados en menor tiempo en relación con el método nuclear.

Cuarta. Del costeo analizado se desprende que el método nuclear es menos costoso usarlo a partir de 86 ensayos, por otro lado, el método del cono de arena es menos costoso realizarlo para menos de 23 ensayos; resultados que ratifican la invalidez de la hipótesis acerca que el método del cono de arena es menos costoso que el método nuclear.

5.2.Recomendaciones

Primera. Controlar la colocación homogénea del afirmado y de esa manera asegurar resultados óptimos cuando se realice los ensayos por los métodos en estudio.

Segunda. Debido a la emisión de radiación ionizante del densímetro nuclear es necesario que el operador del equipo y todo el personal que participe del ensayo porte su dosímetro y así controlar la dosis de radiación percibida por la persona.

Tercera. Señalizar el área a una distancia de 10 metros de donde se va a realizar el ensayo por el método nuclear de tal forma que ninguna persona no autorizada ingrese al área de trabajo.

Cuarta. Verificar que los equipos a utilizar cuenten con su certificado de calibración vigente a fin de garantizar resultados confiables.

Quinta. Estandarizar al inicio de cada jornada laboral el equipo densímetro nuclear, considerando que este debe mantener una distancia mínima de 8 metros con otras fuentes radioactivas y evitar cualquier interferencia (alejar masas de gran tamaño).

Sexta. Mantener la distancia de 8 metros del densímetro nuclear en el momento que se realiza el disparo para la obtención de densidad.

Séptima. Realizar por lo menos 3 mediciones con el densímetro nuclear (rotando el densímetro en relación con el vástago) en materiales con granulometría variable y así evitar errores por la heterogeneidad del material.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society for Testing and Materials (2012). *Métodos de prueba estándar para determinar las características de compactación de un suelo usando energía modificada (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³))*. Recuperado de: <https://www.astm.org>
- American Society for Testing and Materials (2015). *Práctica estándar para Corrección de peso unitario y contenido de agua para suelos. Que contiene partículas de gran tamaño ASTM D4718*. Recuperado de: <https://www.astm.org>
- American Society for Testing and Materials (2015). *Método de prueba estándar para densidad y peso unitario del suelo in situ por el método cono de arena ASTM D1556*. Recuperado de: <https://www.astm.org>
- American Society for Testing and Materials (2017). *Métodos de prueba estándar para Densidad in situ y contenido de agua del suelo y del suelo Agregado por métodos nucleares ASTM D6938*. Recuperado de: <https://www.astm.org>
- Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (2017). *Materiales para agregados y suelos - capas de subbase, base y superficie de agregados*. Recuperado de: <https://www.transportation.org>
- Asociación de Academias de la Lengua Española (2021). *Las academias*. Recuperado de: <https://www.asale.org>
- Cruz, L. (2020). *Comparación técnica-económica entre el densímetro nuclear y el método de cono de arena en la determinación de la densidad in situ* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Piura. Recuperado de: <https://repositorio.unp.edu.pe/>

Das, B. (2013). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*. Recuperado de:
www.bibliocad.com

Dieterich, H. (2008). *Nueva guía para la investigación científica*. Recuperado de:
<https://repositorio.uch.edu.pe>

Flores, J. (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 de arena* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.puce.edu.ec/>

Guerrón, S. (2013). *Comparación de resultados de densidad de campo por los métodos cono de arena, volumétrico y densímetro nuclear* (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec>

Hernández, R. (2014). *Metodología de la investigación*. Recuperado de:
<https://academia.utp.edu.com>

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (2019) *Método de Ensayo Estándar para la densidad y peso unitario del suelo in situ mediante el método del cono de arena NTP 339.143*. Recuperado de: <https://es.scribd.com/>

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (2019) *Método de Ensayo Estándar para densidad in situ del suelo y suelo agregado por medio de métodos nucleares (Profundidad superficial) NTP 339.144*. Recuperado de: <https://www.udocz.com/>

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). *Especificaciones Técnicas Generales para Construcción*. Recuperado de: <https://portal.mtc.gob.pe/>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014). *Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Recuperado de: <https://portal.mtc.gob.pe/>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Recuperado de: <https://portal.mtc.gob.pe/>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2018). *Norma Técnica E.050 Suelos y Cimentaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones*. Recuperado de: <https://www.gob.pe/>
- Real Academia Española (2020). *Diccionario de la Lengua Española*. Recuperado de: <https://www.rae.es/>
- Zeta, D. (2019). *Análisis comparativo de la utilización del método de cono de arena y densímetro nuclear para determinar densidades de campo de suelos cohesivos para terraplenes procedente de la cantera Ramírez ubicada en el Km 7+000 de la carretera Piura-Paita, Perú 2019* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Piura. Recuperado de <http://repositorio.unp.edu.pe>