

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS:**

**Optimización de la eficiencia en el uso de vibro compactadoras para mejorar el nivel de compactación en la ejecución de pavimentos en la provincia de Pasco 2017-2018**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero Civil.**

**Autor: Bach. Flor de Milagros MORALES ARIAS**

**Asesor: Arq. José German RAMÍREZ MEDRANO**

**Cerro de Pasco - Perú - 2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**Optimización de la eficiencia en el uso de vibro compactadoras para mejorar el nivel de compactación en la ejecución de pavimentos en la provincia de Pasco 2017-2018**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado**

---

**Mg. José Eli CASTILLO MONTALVÁN**  
**PRESIDENTE**

---

**Mg. Marco Antonio SURICHAQUI HIDALGO**  
**MIEMBRO**

---

**Mg. Ramiro SIUCE BONIFACIO**  
**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

A Dios por todas sus bendiciones y por haberme permitido llegar hasta este momento de mi formación profesional.

En memoria a mis padres por darme siempre las fuerzas para seguir ante lo adverso y sabiduría en momentos difíciles.

A mi esposo por haberme apoyado en todo momento, por su paciencia y motivación constante para lograr cumplir mis objetivos

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito optimizar la eficiencia en el uso de vibro compactadoras para mejorar el nivel de compactación. En el estudio se utilizó muestras de suelo arcilloso de alta plasticidad y suelo arcilloso de baja plasticidad, se realizaron ensayos generales de granulometría y plasticidad para clasificar al suelo mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, se efectuó el ensayo especial de compactación Proctor modificado para obtener la densidad seca máxima y el óptimo contenido de humedad. Los resultados se basan a los siguientes ensayos: Análisis granulométrico, pesos específicos, límite líquido, límite plástico y el ensayo de compactación de Proctor modificado, este último trabajado a diferentes energías de compactación aumentando en proporción de un golpe por cada ensayo. Obteniéndose una densidad seca máxima y un óptimo contenido de humedad del con una energía de compactación sugerida por las normas.

Para la aplicación de la presente tesis de investigación se ha realizado el análisis en varios proyectos de pavimento, la finalidad es que, en la mayoría de ejecución de este tipo de proyectos, el residente de obra desconoce la cantidad necesaria de pasadas del rodillo compactador para obtener el máximo valor de la densidad del material el cual estamos compactando.

**Palabras clave:** densidad, humedad.

## ABSTRACT

The purpose of the present investigation was to optimize the efficiency in the use of vibro compactors to improve the level of compaction. In the study samples of clay soil of high plasticity and clay soil of low plasticity were used, general tests of granulometry and plasticity were carried out to classify the soil through the Unified Soil Classification System, the modified special test of compaction was carried out. obtain the maximum dry density and the optimum moisture content. The results are based on the following tests: granulometric analysis, specific weights, liquid limit, plastic limit and the modified Proctor compaction test, the latter worked at different energies of compaction increasing in proportion to one stroke per test. Obtaining a maximum dry density and an optimum moisture content with a compaction energy suggested by the standards.

For the application of this research thesis has been carried out in several pavement projects, the purpose is that, in the majority of the execution of this type of project, the work resident does not know the necessary amount of passes of the roller compactor for obtain the maximum value of the density of the material which we are compacting.

**Keywords:** density, humidity.

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación estudió la forma de como optimizar el uso de tipo de vibro compactador mejorando así la compactación en el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca en los suelos granulares con cierto contenido de arcilla, del cual se formuló la siguiente pregunta: ¿Cómo Optimizamos la eficiencia en el uso de vibro compactadoras para mejorar el nivel de compactación en la ejecución de Pavimentos en la Provincia de Pasco 2017-2018? Uno de los factores más importantes que intervienen para este análisis es la energía de compactación, ya que de esto depende el tipo de maquinaria que se usara.

Para esta presente investigación se presentará todos los ensayos necesarios para garantizar que se está optimizando el uso de las maquinarias mencionadas, además se realizara recomendaciones para fututos proyectos de ingeniería vial, donde se construirá pavimentos flexibles o rígidos siendo las partidas más influyentes de movimiento de tierras el de la compactación.

El ensayo de compactación de suelos Proctor es utilizado para obtener índices para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasantes, capas de base y subbase a través de la compactación del suelo, mediante su densificación por medios mecánicos, disminuyendo la cantidad de vacíos, y manteniendo el contenido de humedad relativamente constante. El ensayo Proctor puede ser de dos tipos, dependiendo de la energía aplicada para la compactación del suelo, puede ser Proctor Estándar, que usa un pistón de compactación de 5 Kg y Proctor Modificado, que usa un pistón de compactación de 10Kg. Estos dos tipos

de ensayos están normados por ASTM (American Society for Testing and Materials) para el ensayo Proctor Estándar, la norma ASTM D-698 y para el Proctor Modificado, ASTM D-1557. Los resultados de este ensayo son utilizados para el mejoramiento del terreno, aumentar la resistencia a corte del suelo y disminuir la compresibilidad; por lo tanto, disminuir asentamientos y la relación de vacíos, para disminuir así la permeabilidad del suelo.

Durante el desarrollo del ensayo existen variables fuera del control humano, que pudieran influir en el resultado obtenido de peso específico seco máximo y porcentaje de humedad óptimo, como el clima durante el desarrollo del ensayo, el porcentaje de humedad en el ambiente, equipo utilizado y superficie donde se realice el ensayo.

## INDICE

DEDICATORIA

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

### CAPÍTULO I

#### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2.	DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	2
1.3.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	2
	1.3.1. <i>Problema principal</i> .....	2
	1.3.2. <i>Problemas específicos</i> .....	2
1.4.	FORMULACIÓN DE OBJETIVOS .....	3
	1.4.1. <i>Objetivo General</i> .....	3
	1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	3
1.5.	JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.6.	LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN .....	4

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO

2.1.	ANTECEDENTES DE ESTUDIO.....	5
2.2.	BASES TEÓRICAS – CIENTÍFICAS .....	9
	2.2.1. <i>Compactación de suelos</i> .....	9
	2.2.2. <i>¿Por qué se Debe Compactar el Suelo?</i> .....	12
	2.2.3. <i>Propósito y Método de la Compactación de Suelos</i> .....	13
	2.2.4. <i>Compactación de suelos Cohesivos</i> .....	14
	2.2.5. <i>Compactación de Suelos No Cohesivos</i> .....	14
	2.2.6. <i>Compactación de Suelos Arenosos o limosos, con Cohesión Moderada</i> .....	15
	2.2.7. <i>Compactación de Arcillas</i> .....	16
	2.2.8. <i>Compactación de Masas Naturales y Terraplenes Existentes</i> .....	17
	2.2.9. <i>Objetivos de la compactación</i> .....	18
	2.2.10. <i>La compactación en la construcción</i> .....	18
	2.2.11. <i>Ventajas</i> .....	21
	2.2.12. <i>Aplicación</i> .....	21
	2.2.13. <i>Factores que influyen en la compactación</i> .....	21
	2.2.13.1. <i>Tipo de suelos</i> .....	21
	2.2.13.2. <i>Energía Específica</i> .....	22
	2.2.13.3. <i>Método de Compactación</i> .....	22
	2.2.13.4. <i>La recompactación</i> .....	23

	2.2.13.5. <i>Humedad</i> .....	23
	2.2.13.6. <i>Sentido de recorrido de la escala de humedad</i> .....	23
	2.2.14. <i>Trabajo Mecánico o Energía De Compactación</i> .....	24
	2.2.15. <i>Implicancia de la variación de la energía de compactación</i> .....	25
	2.2.16. <i>Influencia de la energía de compactación</i> .....	26
	2.2.17. <i>Curva de compactación</i> .....	26
	2.2.18. <i>Factores que influyen en la compactación</i> .....	27
	2.2.19. <i>Propiedades de los Suelos Compactados</i> .....	28
	2.2.20. <i>Ensayo mediante Proctor Modificado</i> .....	28
	2.2.21. <i>Importancia y Uso</i> .....	29
2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	30
	2.3.1. <i>Abrasión</i> .....	30
	2.3.2. <i>Adhesión</i> .....	30
	2.3.3. <i>Adhesividad</i> .....	30
	2.3.4. <i>Agregado de gradación fina</i> .....	30
	2.3.5. <i>Agregado de gradación gruesa</i> .....	30
	2.3.6. <i>Agregado densamente gradado</i> .....	30
	2.3.7. <i>Agua absorbida</i> .....	31
	2.3.8. <i>Análisis mecánico</i> .....	31
	2.3.9. <i>Aparato de vicat</i> .....	31
	2.3.10. <i>Asfalto natural</i> .....	31
	2.3.11. <i>Compresión</i> .....	32
	2.3.12. <i>Compresión no confinada</i> .....	32
	2.3.13. <i>Consistencia</i> .....	32
	2.3.14. <i>Consolidación (ensayo)</i> .....	32
	2.3.15. <i>Contracción (factores)</i> .....	32
	2.3.16. <i>Humedad</i> .....	33
	2.3.17. <i>Módulo de finura</i> .....	33
	2.3.18. <i>Muestreadores</i> .....	33
2.4.	FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....	33
	2.4.1. <i>Hipótesis General</i> .....	33
	2.4.2. <i>Hipótesis Específicas</i> .....	33
2.5.	IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.....	34
	2.5.1. <i>Variables Independientes</i> .....	34
	2.5.2. <i>Variable Dependiente</i> .....	34
2.6.	DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES E INDICADORES.....	34

### CAPÍTULO III

#### METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACION

3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	36
3.2.	MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	36
3.3.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	36
3.4.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	37
	3.4.1. <i>Población</i> .....	37
	3.4.2. <i>Muestra</i> .....	37
3.5.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	37
3.6.	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	38

3.6.1.	<b>Muestreo de Suelos</b> .....	38
3.6.2.	<b>Análisis Granulométrico de suelos por tamizado</b> .....	39
	3.6.2.1. <b>Equipos Y Materiales</b> .....	39
	3.6.2.2. <b>Muestra</b> .....	40
	3.6.2.3. <b>Procedimiento</b> .....	42
	3.6.2.4. <b>Cálculos e Informe</b> .....	46
3.6.3.	<b>Compactación De Suelos En Laboratorio Utilizando Una Energía Modificada (Proctor Modificado)</b> .....	50
	3.6.3.1. <b>Finalidad y Alcance</b> .....	50
	3.6.3.2. <b>Equipos</b> .....	54
	3.6.3.3. <b>Materiales</b> .....	57
	3.6.3.4. <b>Muestra</b> .....	57
	3.6.3.5. <b>Procedimiento</b> .....	58
	3.6.3.6. <b>Preparación del ensayo</b> .....	59
	3.6.3.6.1. <b>Suelos</b> .....	59
	3.6.3.6.2. <b>Método De Preparación Húmeda (Preferible)</b> .....	59
	3.6.3.7. <b>Cálculos</b> .....	62
	3.6.3.8. <b>Informe</b> .....	64
	3.6.3.8.1. <b>Reportar la siguiente información</b> .....	64
3.6.4.	<b>Ensayo Para Determinar La Densidad Y Peso Unitario Del Suelo In situ Mediante El Método Del Cono De Arena</b> .....	66
	3.6.4.1. <b>Finalidad y Alcance</b> .....	66
	3.6.4.2. <b>Equipos</b> .....	67
	3.6.4.3. <b>Materiales</b> .....	70
	3.6.4.4. <b>Procedimiento</b> .....	73
	3.6.4.5. <b>Cálculos</b> .....	77
	3.6.4.6. <b>Informe</b> .....	79
3.7.	<b>TRATAMIENTO ESTADÍSTICO</b> .....	80
3.8.	<b>SELECCIÓN, VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.</b> ....	81
3.9.	<b>ORIENTACIÓN ÉTICA</b> .....	81

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSION

4.1.	<b>DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO EN CAMPO</b> .....	82
	4.1.1 <b>DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO</b> .....	82
	4.1.2. <b>OBJETIVOS DEL PROYECTO</b> .....	83
	4.1.3. <b>METAS DEL PROYECTO</b> .....	84
	4.1.4. <b>UBICACIÓN</b> .....	85
	4.1.5. <b>CLIMA Y PRECIPITACIÓN PLUVIAL</b> .....	86
	4.1.6. <b>CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA VÍA</b> .....	87
	4.1.7. <b>PRESUPUESTO DE OBRA Y MODALIDAD DE EJECUCIÓN:</b> .....	89
	4.1.8. <b>CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES:</b> .....	90
4.2.	<b>PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.</b> .....	91
	4.2.1. <b>DENSIDAD SECA MÁXIMA EN EL SUELO</b> .....	91
	4.2.1.1. <b>Densidad Máxima Seca y Humedad Optima</b> .....	92
	4.2.1.2. <b>Evaluación N°1: Compactador Vibratorio Tipo Plancha 4Hp</b> .....	93
	4.2.1.3. <b>Evaluación N°2: Compactador Vibratorio Tipo Plancha 6Hp</b> .....	94

4.2.1.4. Evaluación N°3: <b>RODILLO LISO VIBRATORIO AUTO PROPULSADO 70-100 HP</b> .....	95
4.2.1.5. Evaluación N°4: <b>RODILLO LISO VIBRATORIO AUTO PROPULSADO 131 HP</b> .....	96
4.2.2. <b>COSTO DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS</b> .....	97
4.2.2.1. Evaluación N°1: <b>Compactador Vibratorio Tipo Plancha 4Hp</b> .....	97
4.2.2.2. Evaluación N°2: <b>Compactador Vibratorio Tipo Plancha 6Hp</b> .....	99
4.2.2.3. Evaluación N°3: <b>RODILLO LISO VIBRATORIO AUTO PROPULSADO 70-100 HP</b> .....	101
4.2.2.4. Evaluación N°4: <b>RODILLO LISO VIBRATORIO AUTO PROPULSADO 131 HP</b> .....	103
4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	105
4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	106

**CONCLUSIONES**  
**RECOMENDACIONES**  
**BIBLIOGRAFÍA**  
**ANEXOS**

## Índice De Tablas

Tabla 1: Definición operacional de variables e indicadores .....	34
Tabla 2: Serie de tamices empleados para el ensayo según norma ASTM D-422 .....	39
Tabla 3: Tamices necesarios para el ensayo según norma ASTM D-422 .....	40
Tabla 4: Masa mínima de la porción de suelo retenido en el tamiz N°4 .....	41
Tabla 5: Serie de tamices empleados para análisis de tamizado fracción retenida en el tamiz N°4.....	43
Tabla 6: Evaluación densidad máxima seca y humedad óptima para compactador vibratorio tipo plancha 4 Hp.....	93
Tabla 7: Evaluación densidad máxima seca y humedad óptima para compactador vibratorio tipo plancha 6 Hp.....	94
Tabla 8: Evaluación densidad máxima seca y humedad óptima para rodillo liso vibratorio autopropulsado 70-100 Hp.....	95
Tabla 9: Evaluación densidad máxima seca y humedad óptima para rodillo liso vibratorio autopropulsado 131 Hp.....	96
Tabla 10: Evaluación costo de equipos y maquinarias para compactador vibratorio tipo plancha 4Hp.....	97
Tabla 11: Evaluación costo de equipos y maquinarias para compactador vibratorio tipo plancha 6Hp.....	99

Tabla 12: Evaluación costo de equipos y maquinarias para rodillo liso autopropulsado 70-100 Hp. ....	101
Tabla 13: Evaluación costo de equipos y maquinarias para rodillo liso autopropulsado 131 Hp. ....	103

### **Índice De Gráficos**

Grafico 1: Curva de compactación .....	27
Grafico 2: Sección típica de sardinel .....	87
Grafico 3: Curva densidad máxima seca de los casos evaluados. ....	105

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

A nivel global siempre se ha tenido en cuenta en los proyectos en general la compactación, debido a que es una parte fundamental del desarrollo de los mismos, interviniendo generalmente en el mejoramiento de la capacidad del suelo al eliminar los vacíos que se presenten en él, tomando en cuenta que esta fase deberá ser correctamente realizada ya que podría causar daños que a largo plazo causarían déficit en el resto de los proyectos en general, es por eso que hoy en día existen normas técnicas que se aplican para el proceso de compactación de los materiales a usarse en cada zona (Sánchez, 1996).

En nuestro país generalmente se usa material de las canteras existentes en las diferentes zonas, en la cual a veces éstas no se adecuan a las características requeridas bajo los parámetros de las normas técnicas

referentes a la compactación, por lo que, al no adecuarse según lo descrito por las normas técnicas, no logran desempeñar sus funciones correctamente llevando a que presentan fallas en un tiempo temprano referente a su vida útil.

En nuestro medio se cuenta con diferentes canteras en la Ciudad de Pasco, siendo cada tipo de material diferente con respecto a sus características por lo que se optó hacer el análisis de la cantera más explotada en nuestra zona. Además, nunca se ha determinado cual es el uso correcto de las Vibro compactadoras.

## **1.2. Delimitación de la investigación**

La investigación se limitará a analizar suelos granulares por lo que se utilizará material de la cantera del lugar denominado "Cochamarca " en Provincia y Departamento de Pasco.

## **1.3. Formulación del problema**

### **1.3.1. Problema principal**

¿Cómo Optimizamos la eficiencia en el uso de vibro compactadoras para mejorar el nivel de compactación en la ejecución de Pavimentos en la Provincia de Pasco 2017-2018?

### **1.3.2. Problemas específicos**

- ¿Optimizamos la eficiencia en el uso de vibro compactadoras para mejorar la densidad seca máxima en el

suelo en la ejecución de Pavimentos en la Provincia de Pasco 2017-2018?

- ¿Cómo Optimizamos la eficiencia en el uso de vibro compactadoras para el Costo de Equipos y Maquinarias en la ejecución de Pavimentos en la Provincia de Pasco 2017-2018?

#### **1.4. Formulación de Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo General.**

Mejorar el Nivel de compactación optimizando la eficiencia en el uso de vibro compactadoras en la ejecución de pavimentos en la provincia de Pasco 2017-2018.

##### **1.4.2. Objetivos Específicos.**

- Mejorar la densidad seca máxima en el suelo optimizando la eficiencia en el uso de vibro compactadoras en la ejecución de pavimentos en la provincia de Pasco 2017-2018
- Mejorar el Costo de Equipos y Maquinarias optimizando la eficiencia en el uso de vibro compactadoras en la ejecución de pavimentos en la provincia de Pasco 2017-2018

#### **1.5. Justificación de la investigación**

Hoy en día los materiales utilizados con respecto a los proyectos en general no se adecúan con lo establecido por normas referentes a la compactación, siendo su comportamiento diferente a las NTP (Norma Técnica Peruana) y éstos difieren dependiendo del tipo de material a emplear, Generalmente no sabemos el numero correcto de veces que se

debe compactar sobre la superficie de relleno (base y sub base) con los equipos y maquinarias.

Por la razón expuesta se realizó la siguiente investigación con el fin de contribuir al análisis del material granular de la cantera seleccionada con respecto a los parámetros de densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad debido a que no se tiene en nuestro medio o se cuenta con algún tipo de investigación similar que conlleve al análisis de la cantera pudiendo así contribuir al conocimiento.

#### **1.6. Limitaciones de la investigación**

La investigación se limitará al análisis de suelos granulares por lo que se utilizará material de la cantera del lugar denominado "Cochamarca" en Provincia y Departamento de Pasco.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de estudio

Efecto De La Energía De Compactación En La Densidad Seca Máxima Y Contenido Óptimo De Humedad Del Suelo Granular De La Cantera El Gavilán, 2015

Autor: Juan Carlos Chirinos Quispe

La presente investigación tuvo la finalidad de analizar el material proveniente de la cantera El Gavilán con el objetivo de determinar la influencia de la energía de compactación con respecto a la densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad. Para el desarrollo de la investigación se realizó los ensayos generales para clasificar el suelo mediante el sistema AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), con los resultados del ensayo de granulometría se determinó el método C del tipo de compactación Proctor

Modificado para compactar el suelo; en el Proctor Modificado se varió la energía de compactación, empezando con 56 golpes por capa, establecido en la norma técnica ASTM D-1557, hasta los 61 golpes por capa haciendo esta variación de un golpe por cada capa en cada uno de los ensayos realizados. Se determinó que el material granular requiere de una mayor energía de compactación para obtener la densidad seca máxima y el óptimo contenido de humedad con respecto a lo mencionado por la norma técnica ASTM D-1557, determinándose una variación de 0.97 kg/cm<sup>2</sup> en la energía de compactación. Se concluye que la densidad seca máxima obtenida fue 2.18 gr/cm y el óptimo contenido de humedad de 3.5%, se obtiene con 28.24 kg/cm<sup>2</sup> de energía de compactación correspondiente a 58 golpes por capa.

Donde concluye:

Según los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, se observó que el comportamiento del suelo granular varía con respecto al trabajo mecánico realizado en cada ensayo de compactación que se desarrolló en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte, observando que un material granular difiere con respecto a un suelo cohesivo, el cual tiene una granulometría más uniforme, teniendo menor resistencia mecánica haciendo que su resistencia al corte del suelo sea menor, debido a la uniformidad de las partículas; mientras que un suelo granular debido a su granulometría tiene una mayor resistencia al corte del suelo. Por lo que necesita una mayor energía de compactación para poder lograr obtener su densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad, por lo cual se

realizó la investigación del suelo granular procedente de la cantera El Gavilán. Se hicieron los ensayos tomando como base la norma referente a compactación del Proctor Modificado (ASTM D1557), observando que el material granular al tener una mayor resistencia necesita mayor energía de compactación con respecto al trabajo mecánico entregado en cada ensayo realizado.

Se observó que el suelo granular difiere con respecto a la norma ASTM D-1557 con respecto al ensayo de Proctor Modificado, debido que al presentar mayor resistencia al corte fue necesario aumentar el trabajo mecánico, variando el número de golpes por cada, para alcanzar la densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad.

En el caso del Proctor Modificado, al aumentar la energía de compactación, la densidad seca máxima obtendrá su valor máximo al alcanzar el punto más alto de la curva al igual que su contenido de humedad, se puede observar en la Gráfica N° 23.

Incidencia De Resultados Del Ensayo Proctor Por La Influencia De Clima, Humedad, Equipo Y Superficie De Base De Compactación Durante Su Desarrollo

Autor: Fernando José Carlos Revolorio González

El ensayo de compactación de suelos Proctor es utilizado para obtener índices para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasantes, capas de base y subbase a través de la compactación del suelo, mediante su densificación por medios mecánicos, disminuyendo la

cantidad de vacíos, y manteniendo el contenido de humedad relativamente constante.

El ensayo Proctor puede ser de dos tipos, dependiendo de la energía aplicada para la compactación del suelo, puede ser Proctor Estándar, que usa un pistón de compactación de 5 Kg y Proctor Modificado, que usa un pistón de compactación de 10Kg. Estos dos tipos de ensayos están normados por ASTM (American Society for Testing and Materials) para el ensayo Proctor Estándar, la norma ASTM D-698 y para el Proctor Modificado, ASTM D-1557.

Los resultados de este ensayo son utilizados para el mejoramiento del terreno, aumentar la resistencia a corte del suelo y disminuir la compresibilidad; por lo tanto, disminuir asentamientos y la relación de vacíos, para disminuir así la permeabilidad del suelo.

Durante el desarrollo del ensayo existen variables fuera del control humano, que pudieran influir en el resultado obtenido de peso específico seco máximo y porcentaje de humedad óptimo, como el clima durante el desarrollo del ensayo, el porcentaje de humedad en el ambiente, equipo utilizado y superficie donde se realice el ensayo.

Donde concluye:

La variable que obtiene mayor error, en el resultado de peso específico seco máximo en el ensayo Proctor Modificado, es la del estado del equipo que se utiliza en su desarrollo, cuyo resultado es considerablemente más grande que el de las variables de clima, humedad en el ambiente y estado

de la base de compactación. La incerteza más grande en el resultado de la humedad óptima, la muestra la variable de dureza en la base de compactación.

El estado del equipo de compactación, proporciona un mayor coeficiente de sensibilidad en el resultado de peso específico seco máximo y humedad óptima del ensayo Proctor Modificado.

Las mejores condiciones en el desarrollo del ensayo Proctor Modificado, se obtienen con un mayor control de las variables de incidencia, una temperatura y humedad ambiente que no presente valores muy lejanos a los establecidos como promedio y mantener constante este valor durante el ensayo, un equipo en buen estado, que cumpla con especificaciones de códigos, que tenga un mantenimiento y calibración constante y una base de compactación firme.

## **2.2. Bases teóricas – Científicas**

### **2.2.1. Compactación de suelos**

Desde tiempos pre-históricos los constructores han reconocido el valor de la compactación del suelo para producir masas fuertes, libres de asentamiento y resistentes al agua. Por más de 2000 años la tierra ha sido aprisionada con maderos pesados, por las pisadas del ganado o compactada por cilindros o rodillos, pero el costo de este trabajo bruto era mayor, en muchos casos, que el valor de la compactación. Por otro lado, si la tierra se descarga meramente en el lugar, y no se

compacta, frecuentemente falla por efecto de las cargas y continúa asentándose por décadas. Fue R. R. Proctor quien indicó el camino de la compactación efectiva a bajo costo.

La compactación o reducción de la relación de vacíos se produce de varias maneras: reordenación de las partículas, fractura de los granos o de las ligaduras entre ellos seguida por reordenación y la flexión o distorsión de las partículas y sus capas absorbidas. La energía que se gasta en este proceso es suministrada por el esfuerzo de compactación de la máquina de compactar. La eficacia de la energía gastada depende del tipo de partículas que componen el suelo y de la manera como se aplica el esfuerzo de compactación.

El suelo, como cualquier elemento natural, posee un equilibrio entre los diversos factores que lo influyen. Un cambio de este equilibrio puede provocar una alteración física, química o biológica. La compactación es la principal causa de alteración del suelo.

Hay dos situaciones con elevado riesgo de compactación: áreas con fuerte tránsito de vehículos y personas, y áreas cercanas a lugares en construcción. Hay suelos con una tendencia más o menos acentuada a la compactación, en función de la composición, estructura y contenido de humedad. Las constructoras a menudo trabajan con maquinarias muy

pesadas, sin delimitar la zona en la que se encuentran y se plantarán árboles. Se desconocen cuál es la superficie que abarca el aparato radical, así como, se ignoran los efectos derivados de la compactación y dificultad que se encuentran para intentar resolverlo.

La compactación de suelos es el proceso artificial por el cual las partículas de suelo son obligadas a estar más en contacto las unas con las otras, mediante una reducción del índice de vacíos (aire), empleando medios mecánicos, lo cual se traduce en un mejoramiento de sus propiedades ingenieriles.

La compactación de suelos y materiales estabilizados es el proceso por el cual se obliga a las partículas a ponerse más en contacto unas con otras. Se realiza generalmente por medios mecánicos, produciéndose la expulsión del aire de los poros. La compactación se mide cuantitativamente por la densidad seca del suelo (peso de las partículas sólidas del suelo por unidad de volumen) Escario, 1989.

Proctor, 1933, propone un ensayo empírico de compactación en laboratorio. Para un determinado trabajo de compactación, relaciona la densificación de los suelos con el contenido de humedad. Actualmente tal ensayo se encuentra normalizado con algunas variantes. Permite obtener resultados reproducibles

que ofrecen la posibilidad de emplearlos como referencia de control de densificación en obra (Escario, 1989).

Existen varias definiciones para la compactación de los suelos: para Juárez Badillo la “compactación” de los suelos es el mejoramiento artificial de sus propiedades mecánicas por medios mecánicos (Badillo, 2014).

La compactación o reducción de la relación de vacíos se produce de varias maneras tales como la reordenación de las partículas, fractura de los granos o de las ligaduras entre ellos seguida por reordenación y la flexión o distorsión de las partículas y sus capas absorbidas. La energía que se gasta en este proceso es suministrada por el esfuerzo de compactación de la máquina de compactar. La eficacia de la energía gastada depende del tipo de partículas que componen el suelo y de la manera como se aplica el esfuerzo de compactación (Georges, 2004).

### **2.2.2. ¿Por qué se Debe Compactar el Suelo?**

Se debe compactar el suelo para lograr el aumento de la resistencia y disminución de la capacidad de deformación que se obtiene al someter el suelo a técnicas convenientes, que aumentan el peso específico seco, disminuyendo sus vacíos. Por lo general, las técnicas de compactación se aplican a rellenos artificiales tales como cortinas de presas de tierra,

diques, terraplenes para caminos y ferrocarriles, bordes de defensas, muelles, pavimentos, etc.

### **2.2.3. Propósito y Método de la Compactación de Suelos**

La compactación es un proceso fundamental a la hora de iniciar cualquier construcción, pues no es más que preparar el terreno para realizar las bases de nuestra edificación, vialidad o drenaje, este proceso nos permite obtener ciertos beneficios como lo son:

- Aumenta la capacidad para soportar cargas: Los vacíos producen debilidad del suelo e incapacidad para soportar cargas pesadas. Estando apretadas todas las partículas, el suelo puede soportar cargas mayores; debidas a que las partículas mismas que soportan mejor.
- Impide el hundimiento del suelo: Si la estructura se construye en el suelo sin afirmar o afirmado con desigualdad, el suelo se hunde dando lugar a que la estructura se deforme produciendo grietas o un derrumbe total.
- Reduce el escurrimiento del agua: Un suelo compactado reduce la penetración de agua. El agua fluye y el drenaje puede entonces regularse.
- Reduce el esponjamiento y la contracción del suelo: Si hay vacíos, el agua puede penetrar en el suelo y llenar estos vacíos. El resultado sería el esponjamiento del suelo durante

la estación de lluvias y la contracción del mismo durante la estación seca.

- Impide los daños de las heladas: El agua se expande y aumenta el volumen al congelarse. Esta acción a menudo causa que el pavimento se hinche, y a la vez, las paredes y losas del piso se agrieten. La compactación reduce estas cavidades de agua en el suelo.

#### **2.2.4. Compactación de suelos Cohesivos**

- Suelos Cohesivos: son suelos arcillosos y limosos o sea material de grano muy fino y la compactación se produce por la reorientación y por la distorsión de los granos y sus capas absorbidas. Esto se logra por una fuerza que sea lo suficientemente grande para vencer la resistencia de cohesión por las fuerzas entre las partículas.

#### **2.2.5. Compactación de Suelos No Cohesivos**

- Son suelos compuestos de rocas, piedras, Gravas y arenas, o sea suelos de granos gruesos. En el caso de suelos granulares el proceso de compactación más adecuado resulta el de la vibración, pero debe tenerse en cuenta, como ya se sabe, que el comportamiento de los suelos gruesos depende mucho de la granulometría. Se requiere una fuerza moderada aplicada en una amplia área, o choque y vibración. La compactación

eficiente en los suelos cohesivos requiere presiones más altas para los suelos secos que para los húmedos, pero el tamaño del área cargada no es crítico. La eficiencia se mejora aumentando la presión durante la compactación a medida que el peso específico y la resistencia aumentan.

#### **2.2.6. Compactación de Suelos Arenosos o limosos, con Cohesión Moderada**

- A medida que aumenta la cohesión, disminuye rápidamente la eficacia de las vibraciones como medio de compactación, pues por pequeña que sea la adherencia entre partículas, esta interfiere con su tendencia a desplazarse a posiciones más estables. Además, la baja permeabilidad de estos suelos hace inefectiva la inundación con agua. En cambio, la compactación por capes utilizando rodillos ha dado muy buenos resultados. Hay dos tipos de rodillos en uso general: neumáticos y patas de cabra. Los RODILLOS NEUMATICOS, se adaptan mejor para compactar los suelos arenosos ligeramente cohesivos, los suelos compuestos cuyas partículas se extienden desde el tamaño de las graves a la del limo y los suelos limosos no plásticos. Los RODILLOS PATA DE CABRA, tienen su máxima eficacia con los suelos plásticos. Los Rodillos Neumáticos consisten usualmente en una chata soportada por una única fila de 4 ruedas equipadas con neumáticos inflados

a presiones que oscilan entre 50 v 125 libras por pulgada cuadrada (3,5 a 9 kg/cm<sup>2</sup>). Las ruedas están montadas en tal forma que el peso que se trasmite desde la chata y se distribuye uniformemente entre las mismas, aun cuando la superficie del terreno no este nivelada.

### **2.2.7. Compactación de Arcillas**

- Si el contenido natural de humedad de una arcilla en el préstamo no está próximo al óptimo, puede resultar muy difícil llevarlo a dicho valor óptimo sobre todo si el contenido natural de humedad es demasiado alto. Por ello, el contratista puede verse obligado a utilizar la arcilla con un contenido de humedad no muy diferente del que tiene en la naturaleza. Las excavadoras extraen el material de los préstamos en pedazos o terrones. Ahora bien, un terrón o trozo individual de arcilla no puede compactarse con ninguno de los procedimientos mencionados previamente, pues tanto las vibraciones como las presiones de corta duración solo producen un cambio insignificante en su contenido de humedad. Los rodillos pata de cabra son, sin embargo, efectivos para reducir el tamaño de los espacios abiertos existentes entre los terrones. Se obtienen los mejores resultados cuando el contenido de humedad es ligeramente superior al límite plástico. Si es mucho mayor, la arcilla tiene

tendencia a pegarse al rodillo, o bien este a hundirse en el terreno. Si es mucho menor, los terrones no se deforman y los espacios quedan abiertos.

#### **2.2.8. Compactación de Masas Naturales y Terraplenes Existentes**

- Los estratos naturales y los terraplenes existentes no pueden compactarse en capas, hecho que excluye la aplicación de la mayoría de los métodos descritos previamente, ya que, para ser efectivo, el agente compactador debe actuar en el interior de la masa de suelo. El método de compactación más adecuado para una obra dada debe seleccionarse en función de la naturaleza del suelo. La forma más efectiva para compactar arena no cohesiva es por vibración. El método más simple para producir vibraciones a mucha profundidad consiste en hincar pilotes. Cuando se hincan pilotes en arena suelta, la superficie del terreno situado entre pilotes comúnmente se asienta, a pesar de la disminución de volumen producida por el desplazamiento de la arena por los pilotes.
- Los depósitos espesos de arena pueden también ser compactados por Vibro Flotación. El instrumento que produce la compactación consiste en un vibrador combinado con un dispositivo que inyecta agua en la masa de arena que lo rodea. Primero se introduce por inyección el vibrador dentro de la arena hasta la profundidad a que se desea compactar el estrato, y luego se lo levanta nuevamente. La compactación se

produce al levantar el vibro flotador, merced al efecto combinado de las vibraciones y de los inyectores de agua. La operación compacta, con un costo moderado, la arena situada dentro de un espacio cilíndrico de un diámetro comprendido entre 2,50 y 3,00 metros. El método da muy buenos resultados en arena limpia, pero si el material contiene limo o arcilla, su eficacia disminuye notablemente. Se ha obtenido también la compactación satisfactoria de gruesos estratos de arena muy suelta haciendo estallar pequeñas cargas de dinamita en muchos puntos del interior de su masa.

#### **2.2.9. Objetivos de la compactación**

- Debe tener suficiente resistencia para soportar con seguridad su propio peso y el de la estructura o las cargas de las ruedas.
- No debe asentarse o deformarse tanto, por efecto de la carga, que se dañe el suelo o la estructura que soporta.
- No debe ni retraerse ni expandirse excesivamente
- Debe conservar siempre su resistencia e incompresibilidad
- Debe tener la permeabilidad apropiada o las características de drenaje para su función.

#### **2.2.10. La compactación en la construcción**

La compactación del suelo es una parte vital del proceso de construcción. Se usa para dar soporte a entidades estructurales, como cimientos de edificios, caminos, pasillos y estructuras de

retención de tierra, por nombrar algunos. Para un tipo de suelo dado, ciertas propiedades pueden considerarlo más o menos deseable realizar adecuadamente para una circunstancia particular. En general, el suelo preseleccionado debe tener la resistencia adecuada, ser relativamente incompresible para que el asentamiento futuro no sea significativo, sea estable frente al cambio de volumen ya que el contenido de agua u otros factores varían, sea duradero y seguro contra el deterioro, y posea la permeabilidad adecuada

Cuando un área se va a llenar o rellenar, el suelo se coloca en capas llamadas elevadores. La capacidad de las primeras capas de relleno para compactarse adecuadamente dependerá de la condición del material natural que se cubra. Si el material inadecuado se deja en su lugar y se rellena, se puede comprimir durante un período prolongado bajo el peso del relleno de tierra, causando grietas de asentamiento en el relleno o en cualquier estructura soportada por el relleno. Para determinar si el suelo natural soportará las primeras capas de relleno, un área puede ser corregida. El rebobinado consiste en utilizar una pieza de equipo de construcción pesada (por lo general, equipo de compactación pesado o equipo de arrastre) para pasar por el sitio de llenado y observar si hay desvíos. Estas áreas estarán indicadas por el desarrollo de celosía, bombeo o tendido de tierra.

Para asegurar que se logre una compactación adecuada del suelo, las especificaciones del proyecto indicarán la densidad del suelo requerida o el grado de compactación que se debe lograr. Estas especificaciones generalmente son recomendadas por un ingeniero geotécnico en un informe de ingeniería geotécnica.

El tipo de suelo, es decir, las distribuciones granulométricas, la forma de los granos del suelo, la gravedad específica de los sólidos del suelo y la cantidad y tipo de minerales arcillosos presentes, tienen una gran influencia sobre el peso máximo de la unidad seca y el contenido óptimo de humedad. También tiene una gran influencia sobre cómo deben compactarse los materiales en situaciones determinadas. La compactación se logra mediante el uso de equipos pesados. En arenas y gravas, el equipo generalmente vibra, para causar la reorientación de las partículas del suelo a una configuración más densa. En limos y arcillas, se usa con frecuencia una apisonadora para crear pequeñas zonas de corte intenso, que expulsa el aire del suelo.

La determinación de la compactación adecuada se realiza determinando la densidad in situ del suelo y comparándolo con la densidad máxima determinada por una prueba de laboratorio. La prueba de laboratorio más utilizada es el ensayo de compactación Proctor y hay dos métodos diferentes para

obtener la densidad máxima. Son las pruebas Proctor estándar y Proctor modificado.

#### **2.2.11. Ventajas**

- Reducción de la compresibilidad
- Disminución de vacíos.
- Mejora el comportamiento esfuerzo-deformación del suelo.
- Incremento de estabilidad de taludes de terraplenes

#### **2.2.12. Aplicación**

- Terraplenes para caminos y ferrocarriles
- Cortinas para presas de tierra
- Diques
- Pavimentos
- Mejoramiento de terreno natural para cimentación

#### **2.2.13. Factores que influyen en la compactación**

##### **2.2.13.1. Tipo de suelos**

Tiene influencia la granulometría del suelo, forma de sus partículas, contenido de finos, cantidad y tipo de minerales arcillosos, gravedad específica, entre otros. De acuerdo a la naturaleza del suelo se aplicarán técnicas adecuadas en el proceso de compactación

En laboratorio, un suelo grueso alcanzará densidades secas altas para contenidos óptimos de humedad

bajos, en cambio los suelos finos presentan valores bajos de densidades secas máximas y altos contenidos óptimo de humedad.

### 2.2.13.2. Energía Específica

La energía específica es la presión aplicada al suelo por unidad de volumen, durante cualquier proceso de compactación. En laboratorio, la compactación por impacto queda definida por:

$$E_c = \frac{NnWh}{V}$$

- E : Energía Específica
- N : Número de golpes del pisón por capas
- n : Número de capas
- W : Peso del pisón compactador
- h : Altura de caída del pisón
- V : Volumen total del molde de compactación.
- Ensayo Próctor Modificado :  $E_e = 27.2 \text{ kg-cm/cm}$
- Ensayo Próctor Estándar :  $E_e = 6.1 \text{ kg-cm/cm}$

### 2.2.13.3. Método de Compactación

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

#### **2.2.13.4. La recompactación**

En laboratorio, a veces se acostumbra a utilizar un mismo espécimen para obtener todos los puntos de la curva, esto causa una deformación volumétrica de tipo plástico que causan las sucesivas compactaciones. La compactación muy intensa puede producir un fracturamiento de las partículas y originar un material susceptible al agrietamiento.

#### **2.2.13.5. Humedad**

La humedad que nos permite alcanzar una compactación óptima es el óptimo contenido de humedad, la cuál nos permitirá alcanzar la densidad seca máxima. Si el contenido de humedad está por debajo del óptimo, el suelo es rígido y difícil de comprimir, originando densidades bajas y contenidos de aire elevados. Cuando está por encima del óptimo, el contenido de aire se mantiene pero aumenta la humedad produciendo la disminución de la densidad seca.

#### **2.2.13.6. Sentido de recorrido de la escala de humedad**

En las pruebas de laboratorio, tiene influencia también el sentido en que se recorre la escala de humedades al efectuar la compactación, se obtienen curvas

diferentes si se compacta comenzando con un suelo húmedo y luego se va agregando agua, ó si se empieza con un suelo húmedo y luego se va secando.

En el primer caso se obtienen densidades secas mayores ya que al agregar el agua está tenderá a quedar en la periferia de los grumos, penetrando en ellos después de un tiempo, por lo tanto la presión capilar entre los grumos es pequeña favoreciendo la compactación. En el segundo caso se obtienen densidades secas menores, ya que al evaporarse el agua e irse secando el suelo, la humedad superficial de los grumos se hace menor que la interna, aumentando la presión capilar haciendo más difícil la compactación

#### **2.2.14. Trabajo Mecánico o Energía De Compactación**

La realización de ensayos de compactación, implica la entrega de un trabajo mecánico que comprende: número de golpes, altura de caída, peso del pisón, número de capas. Además, está en juego la forma de entrega de esa energía: amasado, presión estática, impacto. La entrega unitaria de trabajo, debe ser suficiente para vencer la resistencia al corte del suelo y por lo tanto, poder deformarlo de manera irreversible (Escario, 1989).

Este trabajo determina la orientación de las partículas con modificación de las características mecánicas de los suelos y materiales estabilizados. La representación gráfica de la relación densidad seca - humedad, da lugar a lo que habitualmente se denomina “curva de compactación” o “curva Proctor”. La primera parte ascendente se denomina “rama seca”. El punto máximo superior es un punto singular, del cual se obtiene el valor de la densidad seca máxima y la humedad óptima (Parano, 2012).

#### **2.2.15. Implicancia de la variación de la energía de compactación**

Dependiendo de la energía de compactación a utilizarse teniendo en cuenta el tipo de suelo sobre el cual se realizará el proceso de compactación mediante métodos establecidos por normas se tendrá en cuenta el tipo de material a ensayar ya que cada muestra de suelo dependiendo de su composición, necesitará más energía dependiendo su resistencia mecánica siendo el caso de los suelos que no presenten material granular éstos cumplirán con lo establecido por las normas ASTM siempre teniendo en cuenta la granulometría del material a emplear dependiendo de las características del suelo siendo suelos granulares o suelos finos (Ruíz, 2005).

### **2.2.16. Influencia de la energía de compactación**

Para un mismo suelo compactado con diferentes energías de compactación, los puntos correspondientes a las densidades máximas, se ordenan sobre una línea marcadamente paralela a la curva de saturación. Además, sus respectivas ramas húmedas, exhiben una considerable coincidencia y paralelismo con la curva de saturación (Sowers, 2014).

### **2.2.17. Curva de compactación**

De los ensayos de compactación en el laboratorio se obtienen las curvas de compactación, las mismas que serán distintivas de cada tipo de suelo estudiado. Estas curvas de compactación son el resultado de graficar, en el eje de las abscisas el contenido de humedad del suelo en porcentaje y en el eje de las ordenadas, la densidad seca, obtenida en los ensayos de compactación (Pérez, 2014).

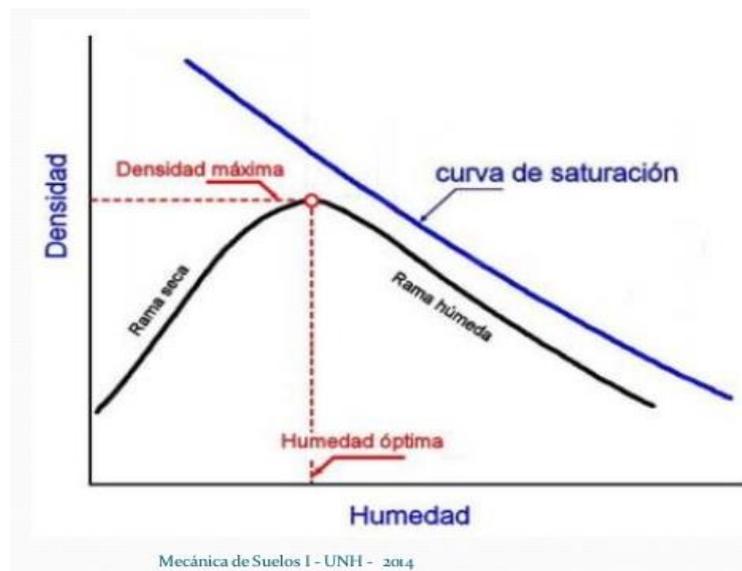


Grafico 1: Curva de compactación

Fuente: UNI- Mecánica de suelos-2014

En esta curva se puede observar que mientras aumenta el contenido de humedad, aumenta también el peso específico seco, hasta un punto en que empieza a decrecer. En este punto, el peso específico seco es el máximo ( $\gamma_{dmax}$ ) que se puede obtener en el ensayo de compactación. La abscisa correspondiente a este máximo, representa el contenido óptimo de humedad ( $w_{op}$ ) (Escario, 1989).

### 2.2.18. Factores que influyen en la compactación

De todos los factores que influyen e intervienen en la compactación de los suelos, los más importantes son el contenido de humedad y la energía de compactación aplicada en los ensayos (Georges, 2004).

### **2.2.19. Propiedades de los Suelos Compactados**

El suelo, al ser compactado, cambia y mejora en sus propiedades físicas y mecánicas, lo que es deseable puesto que la tierra suelta o los suelos sin compactar no son adecuados para soportar cargas y resistir otras condiciones requeridas por la obra (Sagués, 2008).

### **2.2.20. Ensayo mediante Proctor Modificado**

A partir de 1933, el Ing. Ralph Proctor dio inicio al estudio racional de la Compactación. Este investigador verificó, que un mismo suelo, conforme su Contenido de Humedad, reacciona de manera diferente a la Compactación, alcanzando valores diversos de densidad. Proctor compactó muestras de suelo en un recipiente cilíndrico, utilizando diferentes contenidos de humedad. Después de Compactar la muestra pudo obtener los valores referentes al contenido de humedad y densidad seca (González, 2013).

Según la norma ASTM-1557 el ensayo de Proctor Modificado se hará en un cilindro para determinar la densidad y contenido de humedad el cual a diferencia del Proctor estándar tendrá un mayor peso ya que el pistón será de 10 lb. Y para su realización dependiendo del ensayo granulometría se procederá a elegir el método a utilizar.

### **2.2.21. Importancia y Uso**

El suelo utilizado como relleno en Ingeniería (terraplenes, rellenos de cimentación, bases para caminos) se compacta a un estado denso para obtener propiedades satisfactorias de Ingeniería tales como: resistencia al esfuerzo de corte, compresibilidad o permeabilidad. También los suelos de cimentaciones son a menudo compactados para mejorar sus propiedades de Ingeniería. Los ensayos de compactación en Laboratorio proporcionan las bases para determinar el porcentaje de compactación y contenido de agua que se necesitan para obtener las propiedades de Ingeniería requeridas y para el control de la construcción para asegurar la obtención de la compactación requerida y los contenidos de agua (Escario, 1989).

La importancia de la compactación radica en tener un suelo apto para la construcción, compactamente homogéneo, firme, resistente y principalmente que cumpla con los parámetros de resistencia para las distintas cargas a las que este suelo sea sometido. Para esto es necesario aplicar al suelo a distintas técnicas de compactación, disminuir la presencia de vacíos y darle las características aptas para la construcción (Sánchez, 1996).

## **2.3. Definición de términos básicos.**

### **2.3.1. Abrasión**

Procedimiento de ensayo para determinar las pérdidas de peso para muestra de lechada asfáltica al someterlo a desgaste.

### **2.3.2. Adhesión**

Resistencia al corte entre el suelo y otro material cuando la presión que se aplica externamente es cero.

### **2.3.3. Adhesividad**

Grado de adherencia de los ligantes bituminosos a los áridos finos.

### **2.3.4. Agregado de gradación fina**

Agregado cuya gradación es continua desde tamaños gruesos hasta tamaños finos, y donde predominan estas últimas.

### **2.3.5. Agregado de gradación gruesa**

Agregado cuya gradación es continua desde tamaños gruesos hasta tamaños finos, y donde predominan los tamaños gruesos.

### **2.3.6. Agregado densamente gradado**

Agregado con una distribución de tamaños de partícula tal que cuando es compactado, los vacíos que resultan entre las

partículas, expresados como un porcentaje del espacio total ocupado, son relativamente pequeños.

#### **2.3.7. Agua absorbida**

Agua que es retenida mecánicamente en el suelo o roca.

#### **2.3.8. Análisis mecánico**

Sirve para determinar la granulometría en un material o la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños.

#### **2.3.9. Aparato de vicat**

Instrumento que sirve para determinar el tiempo de fraguado y la consistencia normal del cemento.

#### **2.3.10. Asfalto natural**

Se caracterizan por ser una mezcla de crudo, materiales inertes, materia orgánica y agua, en diferentes proporciones, en este caso el crudo es el bitumen que aflora a la superficie a causa de cambios de posición de los estratos geológicos debidos al tectonismo y que se mezcló con los materiales circundantes.

Es así como se encuentran fuentes de material en diferentes condiciones con porcentajes de crudo que van de muy escasa hasta lagos de asfalto con muy poca contaminación.

### **2.3.11. Compresión**

Acción de comprimir un material aplicando una carga que puede ser axial, existiendo variantes en ensayos como: no confinada, triaxial y entre estos el ensayo consolidado no drenado; el ensayo drenado, el ensayo no consolidado no drenado y que sirven para medir el ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) y la cohesión ( $c$ ), cuyos valores se emplean en análisis de estabilidad en estructuras (fundaciones), cortes, taludes, muros de contención, etc.

### **2.3.12. Compresión no confinada**

Procedimiento para determinar la resistencia al corte de un suelo.

### **2.3.13. Consistencia**

Relativa facilidad con que el suelo puede fluir y deformarse.

### **2.3.14. Consolidación (ensayo)**

Es una prueba en la cual el espécimen está lateralmente confinado en una arcilla y es comprimido entre dos superficies porosas.

### **2.3.15. Contracción (factores)**

Parámetros relativos a cambios de volumen de un suelo.

### **2.3.16. Humedad**

Porcentaje de agua en suelo o material.

### **2.3.17. Módulo de finura**

Parámetro que se obtiene de la suma de los porcentajes retenidos acumulados de la serie de tamices especificados que cumplan con la relación 1:2 desde el tamiz # 100 en adelante hasta el tamaño máximo presente y dividido en 100 , para este cálculo no se incluyen los tamices de 1" y ½"

### **2.3.18. Muestreadores**

Herramientas manuales que permiten extraer cantidades de sólidos o líquidos para realizar análisis o pruebas posteriores.

## **2.4. Formulación de Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis General**

Optimizando la eficiencia en el uso de vibro compactadoras mejora el nivel de compactación en la ejecución de pavimentos en la provincia de Pasco 2017-2018

### **2.4.2. Hipótesis Específicas**

- Optimizando la eficiencia en el uso de vibro compactadoras mejora la densidad seca máxima en el suelo en la ejecución de pavimentos en la provincia de Pasco 2017-2018

- Optimizando la eficiencia en el uso de vibro compactadoras mejora el Costo de Equipos y Maquinarias en la ejecución de pavimentos en la provincia de Pasco 2017-2018.

## 2.5. Identificación de Variables

### 2.5.1. Variables Independientes

- Densidad seca máxima en el suelo
- Costo de equipos y maquinarias

### 2.5.2. Variable Dependiente

Nivel de Compactación

## 2.6. Definición Operacional de variables e indicadores

Tabla 1: Definición operacional de variables e indicadores

Tipo	Variable	Indicadores	Técnicas e instrumentos
<b>DEPENDIENTE</b>	Nivel de compactación	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Análisis granulométrico</li> <li>✓ Peso específico</li> <li>✓ Limite liquido</li> <li>✓ Limite plástico</li> <li>✓ Ensayo de compactación</li> </ul>	Ensayos de laboratorio

		✓ proctor modificado	
<b>INDEPENDIENTE</b>	Densidad seca máxima	Muestreo de suelos	Ensayos de laboratorio
	Costo de equipo y maquinaria	Tiempo de uso	Costo por número de recorridos

Fuente: propia

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACION**

#### **3.1. Tipo de investigación**

##### Experimental:

Corresponde a las investigaciones experimentales o aplicadas dentro de las ciencias sociales.

Analizamos el efecto producido por la acción y manipulación de las variables Independientes sobre la dependiente.

#### **3.2. Métodos de investigación**

El método de investigación es Cuantitativo, pues la prueba de hipótesis se basa en mediciones numéricas y estadísticas, realizando pruebas y ensayos para la recolección de datos.

#### **3.3. Diseño de investigación**

El diseño es de tipo Experimental debido que las muestras serán sometidas a ensayos de laboratorio para determinar la densidad seca máxima y humedad optima del suelo a compactar y con ello determinar el número correcto de veces que debe compactar la maquinaria.

### **3.4. Población y Muestra**

#### **3.4.1. Población**

Proyectos de pavimentación en la provincia de Pasco en los años 2017-2018.

#### **3.4.2. Muestra**

Proyecto de pavimentación en el Distrito de Vicco.

### **3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Técnicas de recolección de información: El tipo de fuente es primario, utilizando un método directo el cual nos permite utilizar una técnica de observación y experimentación.

Los instrumentos de recolección de información:

- Extracción de muestras de suelos granulares de la cantera.
- Libreta de campo. - para anotar datos importantes, los cuales nos ayudarán al momento de procesar los datos en gabinete.
- Cámara Digital. - para tener un respaldo en imágenes que demuestre la veracidad de la investigación.

- Datos de Laboratorio. - Los datos a obtener son de los siguientes ensayos: Contenido de humedad, peso específico de la grava, granulometría, límite líquido, límite plástico y el ensayo de compactación. Una vez obtenidos esta información continuaremos con el procesamiento de datos.

### **3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

#### **3.6.1. Muestreo de Suelos**

El equipo requerido para una investigación por debajo de la superficie, depende de varios factores, tales como el tipo de material a investigar, profundidad de exploración, naturaleza del terreno, y utilización de la información. Entre ellos se indica los siguientes:

- Barrenos manuales, excavadoras y palas, para depósitos superficiales de suelo hasta profundidades de 3 -15 pies (1-5m).
- Equipos de percusión y lavado.
- Barrenos y taladros rotatorios motorizados, con formas adecuadas, muestreadores y tubos saca núcleos, para la investigación y muestreo tanto de rocas como de suelos.
- Frascos de cierre hermético, para humedad de muestras (aproximadamente de 4 a 8 onzas) de capacidad, de vidrio, metal o plástico, que puedan sellarse; además, recipientes herméticos o bolsas de tejido cerrado, libres de material

contaminante, de manera que no exista pérdida de partículas finas y que tengan una capacidad mínima de 16 kg (35 lb).

- Accesorios complementarios: Brújula, nivel de mano, cámara fotográfica, estacas y cinta métrica.

### 3.6.2. Análisis Granulométrico de suelos por tamizado

#### 3.6.2.1. Equipos Y Materiales

##### EQUIPOS

- Dos balanzas. Una con sensibilidad de 0,01 g para pesar material que pase el tamiz de 4,760 mm (Nº 4). Otra con sensibilidad de 0,1% del peso de la muestra, para pesar los materiales retenidos en el tamiz de 4,760 mm (Nº 4).
- Estufa. Capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta de  $110 \pm 5$  °C.

##### MATERIALES

- Tamices de malla cuadrada. Incluyen los siguientes:

Tabla 2: Serie de tamices empleados para el ensayo según norma ASTM D-422

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 1/2"	38,100
1"	25,400
3/4"	19,000
5/8"	9,500
Nº 4	4,760
Nº 10	2,000
Nº 20	0,840
Nº 40	0,425
Nº 60	0,260
Nº 140	0,106
Nº 200	0,075

Se puede usar, como alternativa, una serie de tamices que, al dibujar la gradación, dé una separación uniforme entre los puntos del gráfico; esta serie estará integrada por los siguientes tamices de malla cuadrada:

Tabla 3: Tamices necesarios para el ensayo según norma ASTM D-422

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
1 1/2"	38,100
3/4"	19,000
3/8"	9,500
N° 4	4,760
N° 8	2,360
N° 16	1,100
N° 30	0,590
N° 50	0,297
N° 100	0,149
N° 200	0,075

- Envases. Adecuados para el manejo y secado de las muestras.
- Cepillo y brocha. Para limpiar las mallas de los tamices.

### 3.6.2.2. Muestra

- Según sean las características de los materiales finos de la muestra, el análisis con tamices se hace bien con la muestra entera, o con parte de ella después de separar los finos por lavado. Si la necesidad del lavado no se puede determinar por examen visual, se seca en el horno una pequeña porción húmeda del

material y luego se examina su resistencia en seco rompiéndola entre los dedos. Si se puede romper fácilmente y el material fino se pulveriza bajo la presión de aquellos, entonces el análisis con tamices se puede efectuar sin previo lavado.

- Prepárese una muestra para el ensayo como se describe en la preparación de muestras para análisis granulométrico (MTC E 106), la cual estará constituida por dos fracciones: una retenida sobre el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) y otra que pasa dicho tamiz. Ambas fracciones se ensayarán por separado.
- El peso del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, como se indica en el modo operativo MTC E 106, será suficiente para las cantidades requeridas para el análisis mecánico, como sigue:

**Tabla 4: Masa mínima de la porción de suelo retenido en el tamiz N°4**

<b>Diámetro nominal de las partículas más grandes mm (pulg)</b>	<b>Peso mínimo aproximado de la porción (g)</b>
9,5 (3/8")	500
19,6 (3/4")	1000
25,7 (1")	2000
37,5 (1 ½")	3000
50,0 (2")	4000
75,0 (3")	5000

- El tamaño de la porción que pasa tamiz de 4,76<sup>o</sup> mm (N<sup>o</sup> 4) será aproximadamente de 115 g para suelos arenosos y de 65 g para suelos arcillosos y limosos.
- En el modo operativo MTC E 106 se dan indicaciones para la pesada del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, así como para la separación del suelo sobre el tamiz de 4,760 mm (N<sup>o</sup> 4) por medio del tamizado en seco, y para el lavado y pesado de las fracciones lavadas y secadas retenidas en dicho tamiz. De estos dos pesos, los porcentajes, retenido y que pasa el tamiz de 4,760 mm (N<sup>o</sup> 4),
- Se puede tener una comprobación de los pesos, así como de la completa pulverización de los terrones, pesando la porción de muestra que pasa el tamiz de 4,760 mm (N<sup>o</sup> 4) y agregándole este valor al peso de la porción de muestra lavada y secada en el horno, retenida en el tamiz de 4,760 mm (N<sup>o</sup> 4).

### **3.6.2.3. Procedimiento**

ANÁLISIS POR MEDIO DE TAMIZADO DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN EL TAMIZ DE 4,760 mm (N<sup>o</sup> 4).

- Sepárese la porción de muestra retenida en el tamiz de 4,760 mm (N° 4) en una serie de fracciones usando los tamices de:

Tabla 5: Serie de tamices empleados para análisis de tamizado fracción retenida en el tamiz N°4

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 ½"	38,100
1"	25,400
¾"	19,000
⅜"	9,500
N° 4	4,760

- O los que sean necesarios dependiendo del tipo de muestra, o de las especificaciones para el material que se ensaya.
- En la operación de tamizado manual se mueve el tamiz o tamices de un lado a otro y recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento sobre la malla. Debe comprobarse al desmontar los tamices que la operación está terminada; esto se sabe cuándo no pasa más del 1 % de la parte retenida al tamizar durante un minuto, operando cada tamiz individualmente. Si quedan partículas apresadas en la malla, deben separarse

con un pincel o cepillo y reunir las con lo retenido en el tamiz.

- Cuando se utilice una tamizadora mecánica, se pondrá a funcionar por diez minutos aproximadamente, el resultado se puede verificar usando el método manual.
- Se determina el peso de cada fracción en una balanza con una sensibilidad de 0,1 %. La suma de los pesos de todas las fracciones y el peso, inicial de la muestra no debe diferir en más de 1 %.

#### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA FRACCIÓN

##### FINA

- El análisis granulométrico de la fracción que pasa el tamiz de 4,760 mm (Nº 4), se hará por tamizado y/o sedimentación según las características de la muestra y según la información requerida.
- Los materiales arenosos que contengan muy poco limo y arcilla, cuyos terrones en estado seco se desintegren con facilidad, se podrán tamizar en seco.
- Los materiales limo-arcillosos, cuyos terrones en estado seco no rompan con facilidad, se procesarán por la vía húmeda.
- Si se requiere la curva granulométrica completa incluyendo la fracción de tamaño menor que el tamiz

de 0,074 mm (Nº 200), la gradación de ésta se determinará por sedimentación, utilizando el hidrómetro para obtener los datos necesarios. Ver Modo Operativo MTC E 109-2009.

- Se puede utilizar procedimientos simplificados para la determinación del contenido de partículas menores de un cierto tamaño, según se requiera.
- La fracción de tamaño mayor que el tamiz de 0,074 mm (Nº 200), se analizará por tamizado en seco, lavando la muestra previamente sobre el tamiz de 0,074 mm (Nº 200).
- Procedimiento para el análisis granulométrico por lavado sobre el tamiz de 0,074 mm (Nº 200).
- Se separan mediante cuarteo, 115 g para suelos arenosos y 65 g para suelos arcillosos y limosos, pesándolos con exactitud de 0,01 g.
- Humedad higroscópica. Se pesa una porción de 10 a 15 g de los cuarteos anteriores y se seca en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C. Se pesan de nuevo y se anotan los pesos.
- Se coloca la muestra en un recipiente apropiado, cubriéndola con agua y se deja en remojo hasta que todos los terrones se ablanden.

- Se lava a continuación la muestra sobre el tamiz de 0,074 mm N° 200), con abundante agua, evitando frotarla contra el tamiz y teniendo mucho cuidado de que no se pierda ninguna partícula de las retenidas en él.
- Se recoge lo retenido en un recipiente, se seca en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C y se pesa.

#### **3.6.2.4. Cálculos e Informe**

##### CALCULOS

- Valores de análisis de tamizado para la porción retenida en el tamiz de 4,760 mm (N°4):
- Se calcula el porcentaje que pasa el tamiz de 4,760 mm (N° 4), dividiendo el peso que pasa dicho tamiz por el del suelo originalmente tomado y se multiplica el resultado por 100. Para obtener el peso de la porción retenida en el mismo tamiz, réstese del peso original, el peso del pasante por el tamiz de 4,760 mm (N° 4).
- Para comprobar el material que pasa por el tamiz de 9,52 mm (3/8"), se agrega al peso total del suelo que pasa por el tamiz de 4,760 mm (N°4), el peso de la fracción que pasa el tamiz de 9,52 mm (3/8") y que queda retenida en el de 4,760 mm (N°4). Para los

demás tamices continúese el cálculo de la misma manera.

- Para determinar el porcentaje total que pasa por cada tamiz, se divide el peso total que pasa entre el peso total de la muestra y se multiplica el resultado por 100.
- Valores del análisis por tamizado para la porción que pasa el tamiz de 4,760 mm (Nº 4):
- Se calcula el porcentaje de material que pasa por el tamiz de 0,074 mm (Nº 200) de la siguiente forma:

$$\% \text{ Pasa } 0,074 = \frac{\text{Peso Total} - \text{Peso Retenido en el Tamiz de } 0,074}{\text{Peso Total}} \times 100$$

- Se calcula el porcentaje retenido sobre cada tamiz en la siguiente forma

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso Retenido en el Tamiz}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

- Se calcula el porcentaje más fino. Restando en forma acumulativa de 100 % los porcentajes retenidos sobre cada tamiz.

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido acumulado}$$

- Porcentaje de humedad higroscópica. La humedad higroscópica como la pérdida de peso de una

muestra secada al aire cuando se seca posteriormente al horno, expresada como un porcentaje del peso de la muestra secada al horno.

Se determina de la manera siguiente:

$$\% \text{ Humedad Higroscópica} = \frac{W - W_1}{W_1} \times 100$$

Donde:

W = Peso de suelo secado al aire

W1 = Peso de suelo secado en el horno

### INFORME

- El informe deberá incluir lo siguiente:
  - El tamaño máximo de las partículas contenidas en la muestra.
  - Los porcentajes retenidos y los que pasan, para cada uno de los tamices utilizados.
  - Toda información que se juzgue de interés.
- Los siguientes errores posibles producirán determinaciones imprecisas en un análisis granulométrico por tamizado
  - Aglomeraciones de partículas que no han sido completamente disgregadas. Si el material

contiene partículas finas plásticas, la muestra debe ser disgregada antes del tamizado.

- Tamices sobrecargados. Este es el error más común y más serio asociado con el análisis por tamizado y tenderá a indicar que el material ensayado es más grueso de lo que en realidad es. Para evitar eso, las muestras muy grandes deben ser tamizadas en varias porciones y las porciones retenidas en cada tamiz se juntarán luego para realizar la pesada.
- Los tamices han sido agitados por un período demasiado corto o con movimientos horizontales o rotacionales inadecuados. Los tamices deben agitarse de manera que las partículas sean expuestas a las aberturas del tamiz con varias orientaciones y así tengan mayor oportunidad de pasar a través de él.
- La malla de los tamices está rota o deformada; los tamices deben ser frecuentemente inspeccionados para asegurar que no tienen aberturas más grandes que la especificada.
- Pérdidas de material al sacar el retenido de cada tamiz.
- Errores en las pesadas y en los cálculos.

### **3.6.3. Compactación De Suelos En Laboratorio Utilizando Una Energía Modificada (Proctor Modificado)**

#### **3.6.3.1. Finalidad y Alcance**

- Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 101,6 ó 152,4 mm (4 ó 6 pulg) de diámetro con un pisón de 44,5 N (10 lbf) que cae de una altura de 457 mm (18 pulg), produciendo una Energía de Compactación de (2700 kN-m/m<sup>3</sup> (56000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>)).
- Nota 1. Los suelos y mezclas de suelos-agregados son considerados como suelos finos o de grano grueso o compuestos o mezclas de suelos naturales o procesados o agregados tales como grava, limo o piedra partida.
- Nota 2. Este ensayo se aplica sólo para suelos que tienen 30% ó menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 19,0 mm (¾" pulg).
- Nota 3. Para relaciones entre Peso Unitario y Contenido de Humedad de suelos con 30% ó menos en peso de material retenido en la malla 19,0 mm (¾ pulg) a Pesos Unitarios y contenido de humedad de

la fracción que pasa la malla de 19,0 mm ( $\frac{3}{4}$  pulg),  
ver ensayo ASTM D 4718

- Se proporciona 3 métodos alternativos. El método usado debe ser indicado en las especificaciones del material a ser ensayado. Si el método no está especificado, la elección se basará en la gradación del material.

#### METODO "A"

- Molde: 101,6 mm de diámetro (4 pulg)
- Material: Se emplea el que pasa por el tamiz 4,75 mm (Nº 4).
- Número de capas: 5
- Golpes por capa: 25
- Uso: Cuando el 20 % ó menos del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (Nº 4).
- Otros Usos: Si el método no es especificado; los materiales que cumplen éstos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método B ó C.

#### METODO "B"

- Molde: 101,6 mm (4 pulg) de diámetro.
- Materiales: Se emplea el que pasa por el tamiz de 9,5 mm ( $\frac{3}{8}$  pulg).
- Número de Capas: 5

- Golpes por capa: 25
- Usos: Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (Nº4) y 20% ó menos de peso del material es retenido en el tamiz 9,5 mm ( $\frac{3}{8}$  pulg).
- Otros Usos: Si el método no es especificado, y los materiales entran en los requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método C.

#### METODO "C"

- Molde: 152,4 mm (6 pulg) de diámetro.
- Materiales: Se emplea el que pasa por el tamiz 19,0 mm ( $\frac{3}{4}$  pulg).
- Número de Capas: 5
- Golpes por Capa: 56
- Uso: Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 9,5 mm ( $\frac{3}{8}$  pulg) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz 19,0 mm ( $\frac{3}{4}$  pulg).
- El molde de 152,4 mm (6 pulg) de diámetro no será usado con los métodos A ó B.
- Si el espécimen de prueba contiene más de 5% en peso de un tamaño (fracción gruesa) y el material no será incluido en la prueba se deben hacer correcciones al Peso Unitario y Contenido de Agua del espécimen de ensayo ó la densidad de campo

apropiada usando el método de ensayo ASTM D 4718.

- Este método de prueba generalmente producirá un Peso Unitario Seco Máximo bien definido para suelos que no drenan libremente. Si el método de ensayo se utiliza para suelos que drenan libremente, no se definirá bien el Peso Unitario Seco máximo y puede ser menor que la obtenida usando el Método de Prueba ASTM D 4253 (NTP 339.137).
- El suelo utilizado como relleno en Ingeniería (terraplenes, rellenos de cimentación, bases para caminos) se compacta a un estado denso para obtener propiedades satisfactorias de Ingeniería tales como: resistencia al esfuerzo de corte, compresibilidad ó permeabilidad. También los suelos de cimentaciones son a menudo compactados para mejorar sus propiedades de Ingeniería. Los ensayos de Compactación en Laboratorio proporcionan las bases para determinar el porcentaje de compactación y contenido de agua que se necesitan para obtener las propiedades de Ingeniería requeridas, y para el control de la construcción para asegurar la obtención de la compactación requerida y los contenidos de agua.

- Durante el diseño de los rellenos de Ingeniería, se utilizan los ensayos de corte consolidación permeabilidad u otros ensayos que requieren la preparación de especímenes de ensayo compactado a algún contenido de agua para algún Peso Unitario. Es práctica común, primero determinar el óptimo contenido de humedad ( $w_o$ ) y el Peso Unitario Seco máximo ( $\mu_{dm\acute{a}x}$ ) mediante un ensayo de
- compactación. Los especímenes de compactación a un contenido de agua seleccionado ( $w$ ), sea del lado húmedo o seco del óptimo ( $w_o$ ) ó al óptimo ( $w_o$ ) y a un Peso Unitario seco seleccionado relativo a un porcentaje del Peso Unitario Seco máximo ( $\mu_{dm\acute{a}x}$ ). La selección del contenido de agua ( $w$ ), sea del lado húmedo o seco del óptimo ( $w_o$ ) ó al óptimo ( $w_o$ ), y el Peso Unitario Seco ( $\mu_{dm\acute{a}x}$ ) se debe basar en experiencias pasadas, o se deberá investigar una serie de valores para determinar el porcentaje necesario de compactación.

#### **3.6.3.2. Equipos**

- Ensamblaje del Molde. - Los moldes deben de ser cilíndricos hechos de materiales rígidos. Las paredes del molde deberán ser sólidas, partidas o ahusadas. El tipo “partido” deberá tener dos medias secciones

circulares, o una sección de tubo dividido a lo largo de un elemento que se pueda cerrar en forma segura formando un cilindro que reúna los requisitos de esta sección. El tipo “ahusado” debe tener un diámetro interno tipo tapa que sea uniforme y no mida más de 16,7 mm/m (0,200 pulg/pie) de la altura del molde. Cada molde tiene un plato base y un collar de extensión ensamblado, ambos de metal rígido y contruidos de modo que puedan adherir de forma segura y fácil de desmoldar. El ensamblaje collar de extensión debe tener una altura que sobrepase la parte más alta del molde por lo menos 50,8 mm (2,0 pulg) con una sección superior que sobrepasa para formar un tubo con una sección cilíndrica recta de por lo menos 19,0 mm (0,75 pulg), por debajo de ésta. El collar de extensión debe de alinearse con el interior del molde, la parte inferior del plato base y del área central ahuecada que acepta el molde cilíndrico debe ser plana

- Molde de 4 pulgadas. - Un molde que tenga en promedio  $101,6 \pm 0,4$  mm ( $4,000 \pm 0,016$  pulg) de diámetro interior, una altura de  $116,4 \pm 0,5$  mm ( $4,584 \pm 0,018$  pulg) y un volumen de  $944 \pm 14$  cm<sup>3</sup> ( $0,0333 \pm 0,0005$  pie<sup>3</sup>).

- Molde de 6 pulgadas. - Un molde que tenga en promedio  $152,4 \pm 0,7$  mm ( $6,000 \pm 0,026$  pulg) de diámetro interior, una altura de:  $116,4 \pm 0,5$ mm ( $4,584 \pm 0,018$  pulg) y un volumen de  $2\,124 \pm 25$  cm<sup>3</sup> ( $0,075 \pm 0,0009$  pie<sup>3</sup>).
- Pisón ó Martillo. - El pisón debe caer libremente a una distancia de  $457,2 \pm 1,6$  mm ( $18 \pm 0,05$  pulg) de la superficie de espécimen. La masa del pisón será  $4,54 \pm 0,01$  kg ( $10 \pm 0,02$  lb-m), salvo que la masa pisón mecánico se ajuste al descrito en el Método de Ensayo ASTM D 2168. La cara del pisón que golpea deberá ser plana y circular, excepto el nombrado en 4.1.2.3 de este ensayo con un diámetro de  $50,80 \pm 0,13$  mm ( $2,000 \pm 0,005$  pulg), (Figuras 1 y 2). El pisón deberá ser reemplazado si la cara que golpea se desgasta ó se deforma al punto que el diámetro sobrepase los  $50,800 \pm 0,25$  mm ( $2,000 \pm 0,01$  pulg).
- Extractor de Muestras (opcional).- Puede ser una gata, estructura u otro mecanismo adaptado con el propósito de extraer los especímenes compactados del molde.
- Balanza. - Una balanza de tipo GP5 que reúna los requisitos de la Especificación ASTM D 4753, para una aproximación de 1 gramo.

- Horno de Secado. - Con control termostático preferiblemente del tipo de ventilación forzada, capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110 \pm 5$  °C a través de la cámara de secado.

### **3.6.3.3. Materiales**

- Regla. - Una regla recta metálica, rígida de una longitud conveniente pero no menor que 254 mm (10 pulgadas). La longitud total de la regla recta debe ajustarse directamente a una tolerancia de  $\pm 0,1$  mm ( $\pm 0,005$  pulg). El borde de arrastre debe ser biselado si es más grueso que 3 mm (1/8 pulg).
- Tamices ó Mallas. - De 19,0 mm ( $\frac{3}{4}$  pulg), 9,5 mm ( $\frac{3}{8}$  pulg) y 4,75mm (Nº 4), conforme a los requisitos de la especificación ASTM E11.
- Herramientas de Mezcla. - Diversas herramientas tales como cucharas, morteros, mezclador, paleta, espátula, botella de spray, etc. ó un aparato mecánico apropiado para la mezcla completo de muestra de suelo con incrementos de agua

### **3.6.3.4. Muestra**

- La masa de la muestra requerida para el Método A y B es aproximadamente 16 kg (35 lbm) y para el

Método C es aproximadamente 29 kg (65 lbm) de suelo seco. Debido a esto, la muestra de campo debe tener un peso húmedo de al menos 23 kg (50 lbm) y 45 kg (100 lbm) respectivamente.

- Determinar el porcentaje de material retenido en la malla 4,75mm (Nº 4), 9,5mm ( $\frac{3}{8}$  pulg) ó 19.0mm ( $\frac{3}{4}$ pulg) para escoger el Método A, B ó C. Realizar esta determinación separando una porción representativa de la muestra total y establecer los porcentajes que pasan las mallas de interés mediante el Método de Análisis por tamizado de Agregado Grueso y Fino (NTP 339.128 ó ASTM C 136). Sólo es necesario para calcular los porcentajes para un tamiz ó tamices de las cuales la información que se desea.

#### **3.6.3.5. Procedimiento**

- Seleccionar el molde de compactación apropiado de acuerdo con el Método (A, B ó C) a ser usado. Determinar y anotar su masa con aproximación a 1 gramo. Ensamblar el molde, base y collar de extensión. Chequear el alineamiento de la pared interior del molde y collar de extensión del molde. Ajustar si es necesario.
- Revise que el ensamblado del pisón esté en buenas condiciones de trabajo y que sus partes no estén

- flojas ó gastado. Realizar cualquier ajuste ó reparación necesaria. Si los ajustes ó reparaciones son hechos, el martillo deberá volver a ser calibrado.
- Calibración de los siguientes aparatos antes del uso inicial, después de reparaciones u otros casos que puedan afectar los resultados del ensayo, en intervalos no mayores que 1 000 muestras ensayadas o anualmente, cualquiera que ocurra primero; para los siguientes aparatos.

### **3.6.3.6. Preparación del ensayo**

#### **3.6.3.6.1. Suelos**

- No vuelva a usar el suelo que ha sido compactado previamente en Laboratorio.
- Utilice el método de preparación húmedo y cuando se ensaye con suelos que contienen hallosita hidratada o donde la experiencia con determinados suelos indica que los resultados pueden ser alterados por el secado al aire.

#### **3.6.3.6.2. Método De Preparación Húmeda (Preferible)**

- Sin secado previo de la muestra, pásela a través del tamiz 4,75mm (Nº 4); 9,5mm ( $\frac{3}{8}$ )

pulg) ó 19,0 mm ( $\frac{3}{4}$  pulg), dependiendo del Método a ser usado (A, B ó C). Determine el contenido de agua del suelo procesado.

- Prepare mínimo cuatro o cinco especímenes con contenidos de agua de modo que éstos tengan un contenido de agua lo más cercano al óptimo estimado. Un espécimen que tiene un contenido de humedad cercano al óptimo deberá ser preparado primero, añadiendo al cálculo agua y mezcla. Seleccionar los contenidos de agua para el resto de los especímenes de tal forma que resulten por lo menos dos especímenes húmedos y dos secos de acuerdo al contenido óptimo de agua, que varíen alrededor del 2%. Como mínimo es necesario dos contenidos de agua en el lado seco y húmedo del óptimo para definir exactamente la curva de compactación del peso seco unitario. Algunos suelos con muy alto óptimo contenido de agua ó una curva de compactación relativamente plana requieren grandes incrementos de contenido de agua para obtener un Peso

Unitario Seco Máximo bien definido. Los incrementos de contenido de agua no deberán excederán de 4%.

- Usar aproximadamente 2,3 kg (5 lbm) del suelo tamizado en cada espécimen que se compacta empleando el Métodos A ó B; ó 5,9 kg (13 lbm) cuando se emplee el Método C. Para obtener los contenidos de agua del espécimen que se indica en 6.2.2.2 del MTC de este ensayo, añada o remueva las cantidades requeridas de agua de la siguiente manera: Añada poco a poco el agua al suelo durante la mezcla; para sacar el agua, deje que el suelo se seque en el aire a una temperatura de ambiente o en un aparato de secado de modo que la temperatura de la muestra no exceda de 60°C (140°F).
- Mezclar el suelo continuamente durante el proceso de secado para mantener la distribución del contenido agua en todas partes y luego colóquelo aparte en un contenedor con tapa. Para seleccionar un tiempo de espera, el suelo debe ser

clasificado o seleccionado mediante el método de ensayo NTP 339.134, la práctica ASTM D 2488 o mediante datos de otras muestras del mismo material de origen. Para ensayos de determinación, la clasificación deberá ser por Método de ensayo NTP 339.134 (ASTM D 2487)

### **3.6.3.7. Cálculos**

- Calcule el Peso Unitario Seco y Contenido de Agua para cada espécimen compactado, plasme los valores y dibuje la curva de compactación como una curva suave a través de los puntos. Plasme el Peso Unitario Seco con aproximación 0,2 kN/m<sup>3</sup> (0,1 lbf/pie<sup>3</sup>) y contenido de agua aproximado a 0,1%. En base a la curva de compactación, determine el Óptimo Contenido de Agua y el Peso Unitario Seco Máximo. Si más de 5% en peso del material sobredimensionado (tamaño mayor) fue removido de la muestra, calcular el Peso unitario seco máximo y óptimo contenido de Humedad corregido del material total usando la Norma ASTM D 4718. Esta corrección debe realizarse en el espécimen de ensayo de densidad de campo, más que al espécimen de ensayo de laboratorio.

- Plotear la curva de saturación al 100%.
- Contenido de Agua, w.- Calcular de acuerdo con Método de Ensayo NTP 339.127.
- Peso Unitario Seco. - Calcular la densidad húmeda, la densidad seca y luego el Peso Unitario Seco como sigue:

$$\rho_m = 1000 \times \frac{(M_t - M_{md})}{V}$$

Donde:

$\rho_m$	=	Densidad Húmeda del espécimen compactado
$M_t$	=	Masa del espécimen húmedo y molde (kg)
$M_{md}$	=	Masa del molde de compactación (kg)
$V$	=	Volumen del molde de compactación ( $m^3$ )

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{w}{100}}$$

Donde:

$\rho_d$	=	Densidad seca del espécimen compactado ( $Mg/m^3$ )
$w$	=	contenido de agua (%)

$$\gamma_d = 62,43 \rho_d \text{ en } \text{ lbf/pe}^3 \quad (3)$$

$$\gamma_d = 9,807 \rho_d \text{ en } \text{ kN/m}^3$$

- En el cálculo de los puntos para el ploteo de la curva de 100% de saturación o curva de relación de vacíos cero del peso unitario seco, seleccione los valores correspondientes de contenido de agua a la condición de 100% de saturación como sigue

$$W_{sat} = \frac{(\gamma_w)(G_s) - \gamma_d}{(\gamma_d)(G_s)} \times 100$$

Donde:

$W_{sat}$	=	Contenido de agua para una saturación completa (%).
$\gamma_w$	=	Peso unitario del agua 9,807kN/m <sup>3</sup> ó (62,43 lbf/ pie <sup>3</sup> ).
$\gamma_d$	=	Peso unitario seco del suelo.
$G_s$	=	Gravedad específica del suelo.

### 3.6.3.8. Informe

#### 3.6.3.8.1. Reportar la siguiente información

- Procedimiento usado (A, B o C).
- Método usado para la preparación (húmedo ó seco).
- El contenido de agua recibida, si se determinó.
- El óptimo Contenido de Agua Modificado, con aproximación al 0,5 %.
- El Peso Unitario Seco Máximo, con aproximación a 0,5 lbf/pie<sup>3</sup>.

- Descripción del Pisón (Manual ó Mecánico).
- Datos del tamizado del suelo para la determinación del procedimiento (A, B ó C) empleado.
- Descripción o Clasificación del material usado en la prueba (ASTM D 2488, NTP 339.134).
- Gravedad Específica y Método de Determinación.
- Origen del material usado en el ensayo, por ejemplo, proyecto, lugar, profundidad, etc.
- Ploteo de la Curva de Compactación mostrando los puntos de compactación utilizados para establecerla y la curva de compactación y la curva de 100% saturación, el punto de Peso Unitario Seco Máximo y Optimo Contenido de Agua.
- El dato de Corrección por Fracción Sobredimensionada si es usado, incluyendo la fracción sobredimensionada (Fracción Gruesa),  $P_c$  en %.

### **3.6.4. Ensayo Para Determinar La Densidad Y Peso Unitario Del Suelo In situ Mediante El Método Del Cono De Arena**

#### **3.6.4.1. Finalidad y Alcance**

- Este método es usado para determinar la densidad de suelos compactados que se encuentran en el lugar durante la construcción de terraplenes de tierra, capas de rodadura, rellenos de carreteras y estructuras de contención. Es comúnmente utilizado como base de aceptación para suelos compactados a una densidad específica o a un porcentaje de densidad máxima determinada por un método de ensayo normado.
- Este método puede ser usado para determinar la densidad in-situ de depósitos de suelos naturales, agregados, mezcla de suelos u otro material similar.
- Este método de ensayo se aplica a suelos que no contengan una cantidad excesiva de roca o materiales gruesos con un diámetro mayor a 1 ½ pulg (38 mm).
- Esta norma también puede utilizarse para determinar la densidad y el peso unitario de suelos inalterados o suelos in-situ, que contengan vacíos naturales o cuando los poros sean lo suficientemente

pequeños para prevenir que la arena usada en el ensayo penetre en los vacíos naturales. El suelo u otro material que esté sometido a prueba deberá tener la suficiente cohesión o atracción entre partículas para mantener estables los lados de un pequeño hoyo o excavación y debe estar lo suficientemente firme como para soportar la mínima presión ejercida al momento de cavar el orificio y colocar el equipo sobre él, sin que se deforme o rompa.

- Cuando los materiales que se van a someter a prueba contengan cantidades considerables de partículas mayores a 1 ½ pulg (38 mm), o cuando los volúmenes de los orificios de ensayo son mayores a 0,1 pie<sup>3</sup> (2830 cm<sup>3</sup>), se aplica el Método de Ensayo ASTM D 4914 o ASTM D 5030.

#### **3.6.4.2. Equipos**

- Aparato de Densidad de cono de arena, consiste en lo siguiente:
  - o Un frasco desarmable u otro contenedor de arena que tenga una capacidad de volumen que exceda el volumen requerido para llenar el orificio de prueba y el aparato durante la prueba.

- Un dispositivo desarmable que consiste en una válvula cilíndrica con un orificio de  $\frac{1}{2}$ " (13 mm) de diámetro, unido a un embudo de metal, un contenedor de arena con terminación en punta conectado y a un embudo largo de metal (cono de arena) en el otro extremo. La válvula debe tener un freno (seguro) para prevenir la rotación de una posición completamente abierta a otra completamente cerrada. El dispositivo se construirá de un metal suficientemente rígido para prevenir la distorsión o el cambio del volumen en el cono. Las paredes del cono formaran un ángulo de aproximadamente  $60^\circ$  con la base, para permitir un llenado uniforme de la arena.
- Un plato de metal cuadrado ó rectangular, con un orificio central y un borde para recibir el embudo grande (cono) del aparato descrito en 4.1.1-B de este ensayo. La placa debe ser plana y cuadrada en la base y será como mínimo 3" (75 mm) más largo que el embudo (cono de arena) y será lo suficientemente grueso como para mantenerse rígido, con un espesor de  $\frac{3}{8}$ " a  $\frac{1}{2}$ " (10 a 13mm).
- Cuando el material a ensayarse contiene un pequeño porcentaje de partículas

extradimensionadas y alargadas, el ensayo debe ser trasladado a una nueva ubicación. Se necesitan aparatos y volúmenes del orificio de prueba más grandes cuando prevalecen las partículas mayores que 2" (50 mm).

- Balanzas: Una balanza de capacidad mínima de 20 kg con una sensibilidad de 5,0 g de lectura es aceptable para determinar la masa de la arena y el suelo excavado cuando se utiliza el aparato con las dimensiones normalizadas
- Equipo de Secado: Controlado termostáticamente, capaz de mantenerse a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , para determinar el contenido de humedad de la muestra extraída del hoyo.
- Equipo Diverso: Cuchillo, pico pequeño, cincel, espátula pequeña, destornillador o cucharas para excavar el hoyo del ensayo, cubos con tapa, latas de estaño sin costuras laterales ó de aluminio con tapa, costales plásticos u otro recipiente adecuado para retener la densidad y humedad de la muestra y la densidad de la arena; termómetro para la determinación de la temperatura del agua, brocha pequeña, calculadora, libreta de apuntes, etc.

### 3.6.4.3. Materiales

- Arena: Deberá ser limpia, uniforme, seca, no cementada, durable y que discurra libremente. Tener un coeficiente de uniformidad ( $C_u = D_{60}/D_{10}$ ) menor de 2 y el tamaño máximo de partículas menor que 2,0 mm (Malla N° 10) y menos del 3% en peso que pase la malla de 250  $\mu\text{m}$  (Malla N° 60).
- Debe estar libre de finos y partículas de arena fina para prevenir cambios significativos en la densidad de la masa por cambios diarios en la humedad atmosférica. Son deseable arenas naturales, redondeadas. Las arenas trituradas, partida o que tengan partículas angulares no son libres de escurrir en caída libre, por lo que esta condición puede causar una acción puente y estructuras inestables lo cual tendría resultados inadecuados y por lo tanto imprecisión en la determinación de la densidad. Para seleccionar la arena de una fuente o cantera potencial se debe efectuar una gradación y cinco (5) determinaciones de la densidad de masa por separado, las cuales deben ser hechas para cada recipiente o saco de arena. Para ser aceptable la arena, la variación de densidad-volumen entre cualquier determinación y el promedio no debe ser

mayor de 1% del promedio. Antes de usar la arena en determinaciones de densidad, esta debe ser secada, luego se deja que tome la humedad del aire del sitio donde va a ser usada (véase Nota 3). La arena para ser nuevamente usada, deberá estar libre de cualquier suelo contaminante, verificarse su gradación y secarla y volver a determinar la densidad y el volumen (véase Nota 4). Las pruebas de densidad y volumen de la arena deben ser hechas a intervalos no mayores de 14 días, siempre después de cualquier cambio significativo de humedad atmosférica; antes de volver a usar la arena y antes de usar un nuevo material previamente aprobado (véase Nota 5).

- En áreas de alta humedad o donde la humedad cambia frecuentemente, la densidad y el volumen pueden necesitar ser determinados en un tiempo mayor a los 14 días de intervalo máximo indicados. La necesidad de revisiones más frecuentemente puede determinarse comparando los resultados de diferentes pruebas de densidad y volumen en la misma arena, hecha en diferentes condiciones de uso por encima de un periodo de tiempo

- Nota 2. Algunas arenas manufacturadas (partidas) como arenas producto de explosiones, se han utilizado exitosamente con buena reproducibilidad. La reproducibilidad de los resultados de ensayo que utilizan arena angular debe revisarse bajo situaciones de ensayo controladas en laboratorio antes de seleccionar una arena angulosa para su uso.
- Nota 3. Muchas organizaciones han encontrado beneficioso almacenar arenas en contenedores resistentes a la humedad. La arena debe almacenarse en áreas secas protegidas del clima. El empleo de una bombilla u otra fuente de calor dentro de o adyacente a los contenedores de almacenamiento también se ha encontrado beneficioso en áreas de alta humedad
- Nota 4. Como regla general, no es recomendable la arena con segundo uso.
- Nota 5. La mayoría de las arenas tiene tendencia a absorber la humedad de la atmósfera. Una muy pequeña cantidad de humedad absorbida puede hacer un cambio sustancial en la densidad y el volumen. En áreas de alta humedad o donde la humedad cambia frecuentemente, la densidad y el volumen pueden necesitar ser determinados en un

tiempo mayor a los 14 días de intervalo máximo indicado. La necesidad de revisiones más frecuentes puede determinarse comparando los resultados de diferentes pruebas de densidad y volumen en la misma arena, hecha en diferentes condiciones de uso por encima de un período de tiempo.

#### **3.6.4.4. Procedimiento**

- Seleccione una ubicación/elevación que sea representativa del área que se va a probar y determine la densidad del suelo in-situ de la siguiente manera:
  - Inspeccione el cono por si hubiera algún daño, la rotación libre de la válvula y cerciórese de que el plato de base funcione apropiadamente. Llene el contenedor del cono con la arena condicionada para la cual ya se ha determinado la densidad y determine la masa total.
  - Prepare la superficie del sitio que se va a ensayar de tal manera que sea un plano nivelado. El plato de base debe utilizarse como una herramienta para remover la superficie a un plano de nivel suave
  - Coloque el plato de base sobre la superficie plana, asegurándose de que existe contacto con la

superficie del terreno alrededor del borde del orificio central. Marque el contorno del plato de base para revisar el movimiento durante la prueba y, si es necesario, asegure el plato contra el movimiento que se cause utilizando clavos insertados dentro del suelo adyacente al filo del plato, o en otros términos, sin disturbar el suelo que se va a probar.

- En suelos donde la nivelación no es exitosa o la superficie presenta vacíos, el volumen que se expulsa horizontalmente y que está limitado por el embudo, el plato y la superficie del terreno debe determinarse mediante un ensayo preliminar. Llene el espacio con arena del aparato, determine la masa de la arena utilizada para llenar el espacio, rellene el aparato y determine una nueva masa inicial del mismo y de la arena antes de proceder con la prueba. Después de que se complete esta medida, limpie cuidadosamente con una brocha la arena que queda sobre la superficie preparada (véase Nota 6).
- Nota 6. Puede tomarse un segundo aparato calibrado para el campo cuando se anticipa esta condición (en vez de volver a llenar o hacer una

- segunda determinación). Para cada prueba cuando se desea la mayor producción donde se pueda obtener una superficie relativamente suave.
- Se excava el hoyo de prueba a través del orificio central en el plato de base, teniendo cuidado de evitar que se disturbe o se deforme el suelo que delimitará el orificio. Los volúmenes del orificio de prueba serán tan grandes como para que sean prácticos y minimicen los errores. Los lados del orificio deben inclinarse levemente hacia adentro, y la parte central debe ser razonablemente plana o cóncava. El orificio debe mantenerse lo más libre posible de vacíos, salientes y obstrucciones fluidas ya que esto afectaría la exactitud de la prueba. Los suelos que son esencialmente granulares requieren extremo cuidado y también requieren que se cave un orificio de prueba de forma cónica. Coloque todo el suelo excavado y cualquier otro suelo que se haya soltado durante la excavación, en un contenedor hermético que esté marcado para identificar el número de prueba. Tenga cuidado de evitar la pérdida de cualquier material. Proteja este material de cualquier pérdida de humedad hasta que se haya determinado la masa

y se haya obtenido la muestra para la determinación del contenido de agua.

- Limpie el borde del orificio del plato base, voltee el aparato de cono de arena y coloque el embudo del mismo en un orificio rebordeado en la misma posición que se marcó durante la calibración. Elimine o minimice en el área de prueba las vibraciones que pueda causar el personal que realiza la prueba o el equipo que se utiliza. Abra la válvula y deje que la arena llene el orificio, el embudo y el plato base. Trate de evitar que el aparato se sacuda o vibre mientras la arena está corriendo. Cuando la arena deje de fluir, cierre la válvula.
- Determine la masa del aparato con la arena restante, regístrela y calcule la masa de la arena utilizada.
- Determine y registre la masa del material húmedo que se extrajo del orificio de prueba. Cuando se requiera correcciones del material de mayor tamaño, determine la masa de este material en la malla apropiada y regístrela, teniendo cuidado de evitar pérdidas de humedad. Cuando se requiera

- Mezcle el material cuidadosamente y obtenga un espécimen representativo para determinar el contenido de húmedo o, en todo caso, utilice una muestra completa.
- Determine el contenido de humedad de acuerdo al Método de Ensayo MTC E 108. Se realizarán correlaciones para el método MTC E 108 cuando lo requieran otros métodos de ensayo.

#### **3.6.4.5. Cálculos**

- Los cálculos mostrados son en gramos para la masa y en centímetros cúbicos para el volumen. Se permite otras unidades siempre y cuando cuenten con los factores apropiados de conversión; esto es para mantener cuidadosamente la consistencia de las unidades de cálculo.
- Calcule el volumen del orificio de prueba de la siguiente manera:

$$V = \frac{(M_1 - M_2)}{\rho_1}$$

Donde:

- V = volumen del orificio de prueba, cm<sup>3</sup>.  
 M<sub>1</sub> = masa de la arena utilizada para llenar el orificio de prueba, embudo y plato de base, g (de 5.1.7).  
 M<sub>2</sub> = masa de la arena utilizada para llenar el embudo y el plato de base, (del anexo A1.2.2.3) g.  
 ρ<sub>1</sub> = densidad del volumen de la arena (del Anexo A2.3.5), g/cm<sup>3</sup>.

$$M_4 = \frac{100 \cdot M_3}{(W + 100)}$$

Donde:

- W = contenido de humedad del material extraído del orificio de prueba, % (de 6.1.2).  
 M<sub>3</sub> = masa húmeda del material del hueco de ensayo, g (de 5.1.8).  
 M<sub>4</sub> = masa seca del material del hueco de ensayo, g.

- Calcule la densidad húmeda y seca in-situ del material ensayado de la siguiente manera

$$\rho_m = M_3 / V$$

$$\rho_d = M_4 / V$$

Donde:

- V = volumen del orificio de prueba, cm<sup>3</sup> (de 6.1.2)  
 M<sub>3</sub> = masa húmeda del material del orificio de prueba, g (de 5.1.8)  
 M<sub>4</sub> = masa seca del material del orificio de prueba, g (de 6.1.3)  
 ρ<sub>m</sub> = densidad húmeda del material probado, o su peso unitario húmedo γ<sub>m</sub>, en g/cm<sup>3</sup>  
 ρ<sub>d</sub> = densidad seca del material probado, o su peso unitario seco γ<sub>d</sub>, en g/cm<sup>3</sup>.

- Es preferible expresar la densidad in-situ como un porcentaje de alguna otra densidad, por ejemplo, las densidades de laboratorio determinadas de acuerdo a los Métodos de Ensayo MTC E 115, MTC E 116, ASTM D 4253 ó ASTM D 4254. Esta relación puede

determinarse dividiendo la densidad insitu entre la densidad de laboratorio y multiplicándola por 100. Los cálculos para determinar la densidad relativa se dan en el Método de Ensayo ASTM D 4254. Las correcciones para el material de mayor tamaño pueden realizarse de acuerdo a la práctica ASTM D 4718, en caso sea requerido.

#### **3.6.4.6. Informe**

- Ubicación de la prueba, elevación, espesor del estrato probado u otros datos pertinentes para ubicar o identificar la prueba.
- Volumen del orificio de ensayo, en cm<sup>3</sup>.
- Densidad húmeda in-situ, en g/cm<sup>3</sup>.
- Densidad seca in-situ,  $\rho_d$ , en g/cm<sup>3</sup>.
- Peso unitario seco in-situ, en kN/m<sup>3</sup> ( $\rho_d \times 9,807$ ), expresado lo más cercano posible a 0,1 kN/m<sup>3</sup>.
- Contenido de agua del suelo in-situ, expresado como un porcentaje de masa seca, y el método de ensayo utilizado.
- Identidad del aparato de prueba y volumen calibrado.
- Densidad del volumen de la arena utilizada, en g/cm<sup>3</sup>.

- Descripción visual del suelo o designación del material.
- Masa y porcentaje de las partículas de mayor tamaño y el tamaño de la malla utilizada, en caso se hay empleado una.
- Comentarios acerca del ensayo, si se da el caso.
- Si la densidad sea in-situ o el peso está expresado como un porcentaje de otro valor, incluya lo siguiente:
  - o El método de ensayo de laboratorio utilizado.
  - o La densidad seca comparativa o el valor del peso unitario y el contenido de agua utilizado.
  - o La corrección del material de mayor tamaño y detalles, si se diera el caso.
  - o El porcentaje comparativo del material in-situ para el valor de comparación.
- Si la densidad in-situ, el peso unitario o el contenido de humedad van a utilizarse para una aceptación, incluya los criterios de aceptación que se aplican al ensayo.

### **3.7. Tratamiento Estadístico**

Para la investigación experimental se utiliza la metodología de los ensayos: análisis granulométrico (ASTM D-422), proctor modificado (ASTM D-1557), densidad y peso unitario del suelo in situ “método del cono de arena” (ASTM D-1556).

### **3.8. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.**

La validación y la confiabilidad de nuestra investigación se muestra mediante los resultados del análisis granulométrico de las muestras estudiadas, la densidad seca máxima que puede alcanzar un suelo, así como la humedad óptima con el que debe compactarse, la densidad y peso unitario de las muestras, todos estos datos obtenidos mediante ensayos de campo o en laboratorio.

### **3.9. Orientación ética.**

Los ensayos de laboratorio y de campo realizados para esta investigación se realizaron según las normas antes mencionadas cumpliendo el procedimiento marcado y los cálculos que deben efectuarse.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSION**

#### **4.1. Descripción del trabajo en campo**

##### **4.1.1 Descripción del proyecto**

El presente estudio es la elaboración de los documentos técnicos de ingeniería socio-económicos y ambientales que permitan ejecutar la obra “MEJORAMIENTO DE LAS CALLES EN EL JR. CAJAMARCA CDRA. 01, JR. HUANCVELICA CDRAS. 1-3, JR. AREQUIPA CDRAS. 1-2, JR. APURIMAC CDRAS 1-2, JR. ANDRES A. CACERES CDRAS. 1-3 JR. PUNO CDRAS. 1-3 Y R. CERRO DE PASCO CDRAS. 1-4 EN EL CENTRO POBLADO DE COCHAMARCA, DISTRITO DE VICCO – PASCO – PASCO”. Con la finalidad de convertirla esencialmente en una vía central urbana, con pavimento rígido, cunetas, veredas, sardineles y obras ornamentales con áreas verdes que contrarresten el impacto ambiental dentro de la

localidad de Cochamarca, distrito de Vicco, posibilitando un tránsito cómodo y fluido al servicio de los usuarios, vehicular y peatonal interurbano.

#### **4.1.2. Objetivos del Proyecto**

Son objetivos del presente estudio:

- Dotar a los pobladores aledaños a esta vía urbana y área de influencia del proyecto, con pavimento rígido, cunetas, veredas, sardineles y obras ornamentales con áreas verdes.
- Mejorar el tránsito vehicular, posibilitando un tránsito cómodo y fluido en el Jr. Cajamarca Tramo Jr. Ayacucho –Jr. Huancavelica, Jr. Arequipa Tramo Jr. Ayacucho –Jr. Libertad, Jr. Apurímac Tramo Jr. Ayacucho –Jr. Libertad, Jr. Huancavelica Tramo Jr. Cajamarca –Av. 12 de Mayo, Jr. Cerro de Pasco Tramo Av. 12 de Mayo –Jr. Andrés A. Cáceres, Jr. Puno tramo Av. 12 de Mayo – Carretera Pasco Huayllay y Jr. Andrés A. Cáceres tramo Av. 12 de Mayo – Jr. Cerro de Pasco. reduciendo la producción de Polución.
- Mejorar el tránsito peatonal, posibilitando un tránsito cómodo y fluido, reduciendo la producción de Polución.
- Disminuir la contaminación ambiental dentro de la Localidad de Cochamarca, distrito de Vicco, Provincia y Región Pasco.
- Aliviar la situación de pobreza de los sectores más deprimidos de la ciudad a través de la generación de empleos temporales.

- Contribuir a la reactivación y modernización del sector urbano dentro de la Región Pasco.
- Mejorar la seguridad en el transporte de peatones.
- Aumento en el valor de los predios (plusvalía) de la zona.
- Ahorro de costos de operación vehicular.
- Estimular una dinámica de revitalización de los centros urbanos como parte de una reestructuración de espacios, que tienda a una utilización más racional de las vías existentes mediante el uso del transporte colectivo.
- Estimular la economía y desarrollo de los centros comerciales.
- Mejorar los accesos de locomoción colectiva, debido a la presencia de la vía vehicular y peatonal con niveles definidos.
- Reducción de la incidencia de enfermedades respiratorias y trasmisibles; al disminuir drásticamente las partículas de polvo en suspensión en la avenida.

#### **4.1.3. Metas del proyecto**

- Construcción de Pavimento de Concreto  $e=20$  cm,  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> con un área de 18,780.32 m<sup>2</sup>. Las cuales están asentados en una base granular de 20 cm. Debidamente compactado y nivelado.
- Demolición de veredas de concreto existentes construidas artesanalmente y mal estado de conservación, las cuales suman en total 714.75 m<sup>2</sup>.

- Construcción de Veredas de concreto  $e=10$  cm,  $f'c=175$  kg/cm<sup>2</sup> con un área de 8935.60 m<sup>2</sup>. Asentados en una base granular de 10cm. Debidamente nivelado y compactado.
- Construcción de 2704.04 ml. De cunetas con un espesor de 0.30 cm de la cual tiene una forma trapezoidal, esta cuneta está diseñada con un concreto de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>.
- Construcción de Sardineles de concreto de  $f'c=175$  kg/cm<sup>2</sup> en todos los bordes de las veredas y jardineras.
- Creación de Jardineras y Áreas Verdes en los bordes de veredas en un área total de 1387.05 m<sup>2</sup>, en las cuales realizara el sembrado de Grass en Champa y plantación de especies ornamentales.
- La plantación de Especies ornamentales de arbustos serán cada 3.00m. ascendiendo a un total de 281 unidades, respetando la cultura ambiental trazado por esta gestión.
- Construcción de Rampas de Minusválidos en todas las Intersecciones involucradas en dicho proyecto.
- Colocación de una correcta señalización horizontal en el pavimento con pintura de tráfico. El pintado de los sardineles con pintura amarilla e instalación de señalización vertical (señalización tipo reglamentaria, señales tipo Preventivas e Informativas).

#### **4.1.4. Ubicación**

El Distrito de Vicco está situado en la vertiente de los andes sudamericanos, en la zona central del Perú, en la llanura intra montaña de la meseta de Bombón.

#### Ubicación General

- Localidad : Cochamarca.
- Distrito : Vicco.
- Provincia : Pasco.
- Región : Pasco

#### **4.1.5. Clima y Precipitación Pluvial**

De acuerdo a la evaluación climatológica, se determinan que los factores más importantes del clima están dados por la latitud y la altitud, las que definen las características particulares del clima, el efecto orográfico y las amplias oscilaciones de temperaturas de los vientos.

La zona presenta un clima frígido, la temperatura media anual oscila entre los 0°C y 7°C, con máximas de 15°C a 22°C, registradas entre los meses de setiembre y abril; y las mínimas entre los meses de mayo y agosto que llega a 9°C y menos. Por las noches la temperatura desciende a menos de 0°C. Hay presencia de lluvias (con granizo) durante las estaciones de otoño, primavera y verano.

Las precipitaciones varían según la temporada, siendo más intenso en los meses de noviembre a marzo, pudiendo

excederse en los meses más lluviosos los 169.30 mm y durante una fuerte lluvia puede caer en una hora 41 mm o más.

#### 4.1.6. Características geométricas de la vía

##### Vereda:

Las secciones están definidas por un módulo de 1.20 m para la sección más angostas, y de 2.00 m en las partes más amplias. Su altura o espesor es de 10 cm apoyada sobre terreno compactado, fabricada con concreto  $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$ .

##### Sardinel:

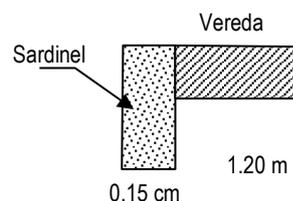


Grafico 2: Sección típica de sardinel

El Sardinel es una estructura de concreto simple de  $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$  con un espesor de 15 cm, sirve de protección a las aceras o veredas y protege al terreno para evitar deslizamientos hacia el pavimento. Es una estructura de confinamiento que forma parte de las vedas o los jardines de las áreas verdes.

##### Cuneta:

Es una estructura diseñada para la evacuación de aguas pluviales, que recoge la escorrentía de la lluvia sobre el pavimento. Su dimensión para este proyecto es de 30 cm de ancho, por 15 cm de peralte en la parte que coincide con el sardinel y 25 cm. La cara adyacente al pavimento, fabricada con concreto  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ . Su forma geométrica es trapezoidal.

#### Calzada:

La calzada viene a ser el pavimento específicamente, representado por la carpeta de rodadura fabricada a partir de concreto  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ , con un  $MR = 45 \text{ Kg/cm}^2$  y que es por donde circularán los vehículos que transiten por estas calles. Su geometría está definida por una plataforma de 20 cm de alto y 7.40 m de ancho en todas las vías, con un peralte de 2 cm al centro para facilitar la escorrentía de las aguas pluviales. Esta losa se encuentra apoyada sobre una sub base granular de 20 cm de espesor y adecuadamente compactada para soportar las cargas transmitidas por los vehículos hacia el terreno. Presentan juntas longitudinales y transversales de acuerdo al diseño presentado en los planos y adecuadamente reforzadas con acero liso de  $\varnothing 1/2''$  entre las juntas, pintadas y engrasadas, los cuales ayudarán a la transmisión homogénea de las cargas hacia el terreno. La sección puede verse complementada en las progresivas que tengan estacionamiento, con la construcción de bermas de concreto  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  adyacentes a la calzada.

### Jardineras:

Son elementos ornamentales que se añaden al diseño principal como parte del diseño geométrico de la vía, donde se colocarán las áreas verdes. Su dimensión es de 1.20 m.; en dichas jardineras se colocarán especies ornamentales y se realizara la colocación de Grass en Champa.

#### **4.1.7. Presupuesto de Obra y Modalidad de Ejecución:**

La Modalidad de Ejecución del Proyecto “mejoramiento de las calles en el jr. Cajamarca Cdra. 01, Jr. Huancavelica Cdras. 1-3, Jr. Arequipa Cdras. 1-2, Jr. Apurimac Cdras 1-2, jr. Andres A. Caceres Cdras. 1-3 Jr. Puno Cdras. 1-3 y r. Cerro de Pasco Cdras. 1-4 en el centro poblado de cochamarca, distrito de vicco – pasco – pasco” lo ha definido la Municipalidad Distrital de Vicco, el cual será por el sistema de Contrato a Suma Alzada.

El desagregado de los presupuestos de cada etapa es la siguiente:

<b>Costo Directo</b>	:	<b>S/. 3, 673,311.52</b>
Gastos Generales (6.5%)	:	238,765.25
<hr/>		
Utilidad (6.00%)	:	<u>220,398.69</u>
<b>Sub Total</b>	:	<b>S/. 4, 132,475.46</b>
Impuesto General a las Ventas (18%)	:	<u>743,845.58</u>
<b>Presupuesto Total Del Proyecto</b>	:	<b>S/. 4, 876,321.04</b>
Supervisión 4%	:	<u>121,908.03</u>
<b>Costo Total de Inversión</b>	:	<b>S/. 4, 998,229.07</b>

son: cuatro millones novecientos noventa y ocho mil doscientos veintinueve con 07/100 soles.

#### 4.1.8. Cronograma de Actividades:

El proyecto “mejoramiento de las calles en el jr. Cajamarca Cdra. 01, Jr. Huancavelica Cdras. 1-3, Jr. Arequipa Cdras. 1-2, Jr. Apurimac Cdras 1-2, jr. Andres A. Caceres Cdras. 1-3 Jr. Puno Cdras. 1-3 y r. Cerro de Pasco Cdras. 1-4 en el centro poblado de cochamarca, distrito de vicco – pasco – pasco”, se ejecutará en 120 días calendario (4 meses); considerándose la fecha de inicio real de obra cuando se cumplan con las condiciones definidas en el Reglamento de Contrataciones y Adquisiciones del Estado aprobado mediante D.S. N° 184-2008-EF.

## **4.2. Presentación, análisis e interpretación de los resultados.**

### **4.2.1. Densidad seca máxima en el suelo**

En mecánica de suelos, el ensayo de compactación Proctor es uno de los más importantes procedimientos de estudio y control de calidad de la compactación de un terreno. A través de él es posible determinar la densidad seca máxima de un terreno en relación con su grado de humedad, a una energía de compactación determinada.

Existen dos tipos de ensayo Proctor normalizados; el "Ensayo Proctor Standard", y el "Ensayo Proctor Modificado". La diferencia entre ambos se encuentra en la energía utilizada, la cual se modifica según el caso variando el número de golpes, el pisón (cambia altura y peso), el molde y el número de capas. La razón de que haya dos ensayos distintos no es más que la modernización de uno con respecto al otro. El origen del ensayo del Próctor Modificado se remonta a la Segunda Guerra Mundial, cuando estadounidenses y británicos debían realizar ensayos sobre la calidad de los pavimentos de obras aeroportuarias, y estos debían estar adaptados a los aviones de la época de una carga muy superior a la de vehículos terrestres. Por ello, se "actualizo" el ensayo del Próctor exigiéndole una mayor cantidad de energía, con lo que se pasó denominar ensayo Próctor Estándar al original y Ensayo Próctor Modificado al más reciente.

Ambos ensayos se deben al ingeniero que les da nombre, Ralph R. Proctor (1933), y determinan la máxima densidad que es posible alcanzar para suelos, en determinadas condiciones de humedad y energía.

El ensayo consiste en compactar una porción de suelo en un cilindro con volumen conocido, haciéndose variar la humedad para obtener la curva que relaciona la humedad y la densidad seca máxima a determinada energía de compactación. El punto máximo de esta curva corresponde a la densidad seca máxima en ordenadas y a la humedad óptima en abscisa

#### **4.2.1.1. Densidad Máxima Seca y Humedad Optima**

Para la presente investigación se realizó las pruebas con el ensayo de Proctor Modificado, determinando una densidad máxima seca de 2.125 kg/cm<sup>3</sup> en promedio, de la cantera Cochamarca que pertenece al distrito de Vicco.

La Humedad Optima para el agregado que se ha utilizado es de 6.98%, considerando un promedio del total de todos los ensayos que se ha realizado.

#### 4.2.1.2. Evaluación N°1: Compactador Vibratorio Tipo Plancha 4Hp

- Maquinaria : COMPACTADOR VIBRATORIO  
TIPO PLANCHA 4HP
- Distancia Evaluada: 10m
- Espesor : 1m
- Elemento : Vereda

Tabla 6: Evaluación densidad máxima seca y humedad óptima para compactador vibratorio tipo plancha 4 Hp.

Evaluación	Densidad Máxima	Humedad Optima	Numero de Pasadas	Densidad de Campo	Nivel de Compactación
#1	2.125	6.98%	22	2.012	94.68%
#2	2.125	6.98%	23	2.015	94.82%
<b>#3</b>	<b><u>2.125</u></b>	<b><u>6.98%</u></b>	<b><u>24</u></b>	<b><u>2.102</u></b>	<b><u>98.92%</u></b>
#4	2.125	6.98%	25	2.11	99.29%
#5	2.125	6.98%	26	2.127	100.09%
#6	2.125	6.98%	27	2.129	100.19%
#7	2.125	6.98%	28	2.129	100.19%
#8	2.125	6.98%	29	2.13	100.24%
#9	2.125	6.98%	30	2.131	100.28%
#10	2.125	6.98%	31	2.132	100.33%
#11	2.125	6.98%	32	2.133	100.38%
#12	2.125	6.98%	33	2.134	100.42%
#13	2.125	6.98%	34	2.135	100.47%
#14	2.125	6.98%	35	2.136	100.52%
#15	2.125	6.98%	36	2.137	100.56%
#16	2.125	6.98%	37	2.138	100.61%
#17	2.125	6.98%	38	2.139	100.66%
#18	2.125	6.98%	39	2.14	100.71%
#19	2.125	6.98%	40	2.141	100.75%
#20	2.125	6.98%	41	2.142	100.80%

Fuente: Elaboración propia

### 4.2.1.3. Evaluación N°2: Compactador Vibratorio Tipo Plancha 6Hp

- Maquinaria : COMPACTADOR VIBRATORIO  
TIPO PLANCHA 6HP

- Distancia Evaluada : 10m

- Espesor : 1m

- Elemento : Vereda

Tabla 7: Evaluación densidad máxima seca y humedad óptima para compactador vibratorio tipo plancha 6 Hp.

Evaluación	Densidad Máxima	Humedad Optima	Numero de Pasadas	Densidad de Campo	Nivel de Compactación
#1	<u>2.125</u>	<u>6.98%</u>	<u>22</u>	<u>2.113</u>	<u>99.44%</u>
#2	2.125	6.98%	23	2.116	99.58%
#3	2.125	6.98%	24	2.207	103.86%
#4	2.125	6.98%	25	2.216	104.28%
#5	2.125	6.98%	26	2.233	105.08%
#6	2.125	6.98%	27	2.235	105.18%
#7	2.125	6.98%	28	2.235	105.18%
#8	2.125	6.98%	29	2.237	105.27%
#9	2.125	6.98%	30	2.238	105.32%
#10	2.125	6.98%	31	2.239	105.36%
#11	2.125	6.98%	32	2.24	105.41%
#12	2.125	6.98%	33	2.241	105.46%
#13	2.125	6.98%	34	2.242	105.51%
#14	2.125	6.98%	35	2.243	105.55%
#15	2.125	6.98%	36	2.244	105.60%
#16	2.125	6.98%	37	2.245	105.65%
#17	2.125	6.98%	38	2.246	105.69%
#18	2.125	6.98%	39	2.247	105.74%
#19	2.125	6.98%	40	2.248	105.79%
#20	2.125	6.98%	41	2.249	105.84%

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.1.4. Evaluación N°3: RODILLO LISO VIBRATORIO AUTO PROPULSADO 70-100 HP.

- Distancia Evaluada : 50
- Espesor : 6 m
- Elemento : Pavimento

Tabla 8: Evaluación densidad máxima seca y humedad óptima para rodillo liso vibratorio autopulsado 70-100 Hp.

Evaluación	Densidad Máxima	Humedad Óptima	Numero de Pasadas	Densidad de Campo	Nivel de Compactación
#1	2.125	6.98%	27	1.944	91.48%
#2	2.125	6.98%	28	1.947	91.62%
#3	2.125	6.98%	29	1.95	91.76%
#4	2.125	6.98%	30	1.958	92.14%
<b>#5</b>	<b>2.125</b>	<b>6.98%</b>	<b>31</b>	<b>2.054</b>	<b>96.66%</b>
#6	2.125	6.98%	32	2.056	96.75%
#7	2.125	6.98%	33	2.056	96.75%
#8	2.125	6.98%	34	2.058	96.85%
#9	2.125	6.98%	35	2.059	96.89%
#10	2.125	6.98%	36	2.06	96.94%
#11	2.125	6.98%	37	2.061	96.99%
#12	2.125	6.98%	38	2.062	97.04%
#13	2.125	6.98%	39	2.063	97.08%
#14	2.125	6.98%	40	2.064	97.13%
#15	2.125	6.98%	41	2.064	97.13%
#16	2.125	6.98%	42	2.065	97.18%
#17	2.125	6.98%	43	2.066	97.22%
#18	2.125	6.98%	44	2.067	97.27%
#19	2.125	6.98%	45	2.068	97.32%
#20	2.125	6.98%	46	2.069	97.36%

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.1.5. Evaluación N°4: RODILLO LISO VIBRATORIO AUTO PROPULSADO 131 HP.

- Distancia Evaluada : 50
- Espesor : 6 m
- Elemento : Pavimento

Tabla 9: Evaluación densidad máxima seca y humedad óptima para rodillo liso vibratorio autopulsado 131 Hp.

Evaluación	Densidad Máxima	Humedad Óptima	Numero de Pasadas	Densidad de Campo	Nivel de Compactación
#1	2.125	6.98%	27	1.983	93.32%
#2	2.125	6.98%	28	1.986	93.46%
#3	2.125	6.98%	29	1.989	93.60%
#4	2.125	6.98%	30	1.997	93.98%
#5	2.125	6.98%	31	2.01	94.59%
#6	<b>2.125</b>	<b>6.98%</b>	<b>32</b>	<b>2.052</b>	<b>96.56%</b>
#7	2.125	6.98%	33	2.097	98.68%
#8	2.125	6.98%	34	2.099	98.78%
#9	2.125	6.98%	35	2.1	98.82%
#10	2.125	6.98%	36	2.101	98.87%
#11	2.125	6.98%	37	2.102	98.92%
#12	2.125	6.98%	38	2.103	98.96%
#13	2.125	6.98%	39	2.104	99.01%
#14	2.125	6.98%	40	2.105	99.06%
#15	2.125	6.98%	41	2.105	99.06%
#16	2.125	6.98%	42	2.106	99.11%
#17	2.125	6.98%	43	2.107	99.15%
#18	2.125	6.98%	44	2.108	99.20%
#19	2.125	6.98%	45	2.109	99.25%
#20	2.125	6.98%	46	2.11	99.29%

Fuente: Elaboración propia

## 4.2.2. Costo de Equipos y Maquinarias

### 4.2.2.1. Evaluación N°1: Compactador Vibratorio Tipo Plancha 4Hp

- Maquinaria : COMPACTADOR VIBRATORIO TIPO PLANCHA 4HP
- Distancia Evaluada : 10m
- Espesor : 1m
- Elemento : Vereda

Tabla 10: Evaluación costo de equipos y maquinarias para compactador vibratorio tipo plancha 4Hp.

Evaluación	Numero de Pasadas	Costo Hora Maquina	Tiempo en cada Circuito	Tiempo Total	Costo por el Total del Circuito	Costo por 30 Pasadas Normal	Ahorro
#1	22	S/. 19.00	00:00:50	00:18:20	S/. 5.81	S/. 7.92	S/. 2.11
#2	23	S/. 19.00	00:00:50	00:19:10	S/. 6.07	S/. 7.92	S/. 1.85
<b>#3</b>	<b>24</b>	<b><u>S/.</u></b> <b><u>19.00</u></b>	<b><u>00:00:50</u></b>	<b><u>00:20:00</u></b>	<b><u>S/. 6.33</u></b>	<b><u>S/.</u></b> <b><u>7.92</u></b>	<b><u>S/.</u></b> <b><u>1.58</u></b>
#4	25	S/. 19.00	00:00:50	00:20:50	S/. 6.60	S/. 7.92	S/. 1.32
#5	26	S/. 19.00	00:00:50	00:21:40	S/. 6.86	S/. 7.92	S/. 1.06
#6	27	S/. 19.00	00:00:50	00:22:30	S/. 7.13	S/. 7.92	S/. 0.79
#7	28	S/. 19.00	00:00:50	00:23:20	S/. 7.39	S/. 7.92	S/. 0.53

#8	29	S/. 19.00	00:00:50	00:24:10	S/.	7.65	S/. 7.92	S/. 0.26
#9	30	S/. 19.00	00:00:50	00:25:00	S/.	7.92	S/. 7.92	S/. -
#10	31	S/. 19.00	00:00:50	00:25:50	S/.	8.18	S/. 7.92	-S/. 0.26
#11	32	S/. 19.00	00:00:50	00:26:40	S/.	8.44	S/. 7.92	-S/. 0.53
#12	33	S/. 19.00	00:00:50	00:27:30	S/.	8.71	S/. 7.92	-S/. 0.79
#13	34	S/. 19.00	00:00:50	00:28:20	S/.	8.97	S/. 7.92	-S/. 1.06
#14	35	S/. 19.00	00:00:50	00:29:10	S/.	9.24	S/. 7.92	-S/. 1.32
#15	36	S/. 19.00	00:00:50	00:30:00	S/.	9.50	S/. 7.92	-S/. 1.58
#16	37	S/. 19.00	00:00:50	00:30:50	S/.	9.76	S/. 7.92	-S/. 1.85
#17	38	S/. 19.00	00:00:50	00:31:40	S/.	10.03	S/. 7.92	-S/. 2.11
#18	39	S/. 19.00	00:00:50	00:32:30	S/.	10.29	S/. 7.92	-S/. 2.38
#19	40	S/. 19.00	00:00:50	00:33:20	S/.	10.56	S/. 7.92	-S/. 2.64
#20	41	S/. 19.00	00:00:50	00:34:10	S/.	10.82	S/. 7.92	-S/. 2.90

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.2.2. Evaluación N°2: Compactador Vibratorio Tipo Plancha 6Hp

- Maquinaria : COMPACTADOR VIBRATORIO TIPO PLANCHA 6HP
- Distancia Evaluada : 10m
- Espesor : 1m
- Elemento : Vereda

Tabla 11: Evaluación costo de equipos y maquinarias para compactador vibratorio tipo plancha 6Hp.

Evaluación	Numero de Pasadas	Costo Hora Maquina	Tiempo en cada Circuito	Tiempo Total	Costo por el Total del Circuito	Costo por 30 Pasadas Normal	Ahorro
#1	22	S/. 20.00	00:00:50	00:18:20	S/. 6.11	S/. 8.33	S/. 2.22
#2	23	S/. 20.00	00:00:50	00:19:10	S/. 6.39	S/. 8.33	S/. 1.94
#3	24	S/. 20.00	00:00:50	00:20:00	S/. 6.67	S/. 8.33	S/. 1.67
#4	25	S/. 20.00	00:00:50	00:20:50	S/. 6.94	S/. 8.33	S/. 1.39
#5	26	S/. 20.00	00:00:50	00:21:40	S/. 7.22	S/. 8.33	S/. 1.11
#6	27	S/. 20.00	00:00:50	00:22:30	S/. 7.50	S/. 8.33	S/. 0.83
#7	28	S/. 20.00	00:00:50	00:23:20	S/. 7.78	S/. 8.33	S/. 0.56

#8	29	S/. 20.00	00:00:50	00:24:10	S/. 8.06	S/. 8.33	S/. 0.28
#9	30	S/. 20.00	00:00:50	00:25:00	S/. 8.33	S/. 8.33	S/. -
#10	31	S/. 20.00	00:00:50	00:25:50	S/. 8.61	S/. 8.33	-S/. 0.28
#11	32	S/. 20.00	00:00:50	00:26:40	S/. 8.89	S/. 8.33	-S/. 0.56
#12	33	S/. 20.00	00:00:50	00:27:30	S/. 9.17	S/. 8.33	-S/. 0.83
#13	34	S/. 20.00	00:00:50	00:28:20	S/. 9.44	S/. 8.33	-S/. 1.11
#14	35	S/. 20.00	00:00:50	00:29:10	S/. 9.72	S/. 8.33	-S/. 1.39
#15	36	S/. 20.00	00:00:50	00:30:00	S/. 10.00	S/. 8.33	-S/. 1.67
#16	37	S/. 20.00	00:00:50	00:30:50	S/. 10.28	S/. 8.33	-S/. 1.94
#17	38	S/. 20.00	00:00:50	00:31:40	S/. 10.56	S/. 8.33	-S/. 2.22
#18	39	S/. 20.00	00:00:50	00:32:30	S/. 10.83	S/. 8.33	-S/. 2.50
#19	40	S/. 20.00	00:00:50	00:33:20	S/. 11.11	S/. 8.33	-S/. 2.78
#20	41	S/. 20.00	00:00:50	00:34:10	S/. 11.39	S/. 8.33	-S/. 3.06

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.2.3. Evaluación N°3: RODILLO LISO VIBRATORIO AUTO PROPULSADO 70-100 HP.

- Distancia Evaluada : 50
- Espesor : 6 m
- Elemento : Pavimento

Tabla 12: Evaluación costo de equipos y maquinarias para rodillo liso autopropulsado 70-100 Hp.

Evaluación	Numero de Pasadas	Costo Hora Maquina	Tiempo en cada Circuito	Tiempo Total	Costo por el Total del Circuito	Costo por 40 Pasadas Normal	Ahorro
#1	27	S/. 205.00	01:25:00	14:15:00	S/. 7,841.25	S/. 11,616.67	S/. 3,775.42
#2	28	S/. 205.00	01:25:00	15:40:00	S/. 8,131.67	S/. 11,616.67	S/. 3,485.00
#3	29	S/. 205.00	01:25:00	17:05:00	S/. 8,422.08	S/. 11,616.67	S/. 3,194.58
#4	30	S/. 205.00	01:25:00	18:30:00	S/. 8,712.50	S/. 11,616.67	S/. 2,904.17
<b>#5</b>	<b>31</b>	<b>S/. 205.00</b>	<b>01:25:00</b>	<b>19:55:00</b>	<b>S/. 9,002.92</b>	<b>S/. 11,616.67</b>	<b>S/. 2,613.75</b>
#6	32	S/. 205.00	01:25:00	21:20:00	S/. 9,293.33	S/. 11,616.67	S/. 2,323.33
#7	33	S/. 205.00	01:25:00	22:45:00	S/. 9,583.75	S/. 11,616.67	S/. 2,032.92

#8	34	S/. 205.00	01:25:00	00:10:00	S/ 9,874.17	S/ 11,616.67	S/ 1,742.50
#9	35	S/. 205.00	01:25:00	01:35:00	S/ 10,164.58	S/ 11,616.67	S/ 1,452.08
#10	36	S/. 205.00	01:25:00	03:00:00	S/ 10,455.00	S/ 11,616.67	S/ 1,161.67
#11	37	S/. 205.00	01:25:00	04:25:00	S/ 10,745.42	S/ 11,616.67	S/ 871.25
#12	38	S/. 205.00	01:25:00	05:50:00	S/ 11,035.83	S/ 11,616.67	S/ 580.83
#13	39	S/. 205.00	01:25:00	07:15:00	S/ 11,326.25	S/ 11,616.67	S/ 290.42
#14	40	S/. 205.00	01:25:00	08:40:00	S/ 11,616.67	S/ 11,616.67	S/ -
#15	41	S/. 205.00	01:25:00	10:05:00	S/ 11,907.08	S/ 11,616.67	-S/ 290.42
#16	42	S/. 205.00	01:25:00	11:30:00	S/ 12,197.50	S/ 11,616.67	-S/ 580.83
#17	43	S/. 205.00	01:25:00	12:55:00	S/ 12,487.92	S/ 11,616.67	-S/ 871.25
#18	44	S/. 205.00	01:25:00	14:20:00	S/ 12,778.33	S/ 11,616.67	-S/ 1,161.67
#19	45	S/. 205.00	01:25:00	15:45:00	S/ 13,068.75	S/ 11,616.67	-S/ 1,452.08
#20	46	S/. 205.00	01:25:00	17:10:00	S/ 13,359.17	S/ 11,616.67	-S/ 1,742.50

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.2.4. Evaluación N°4: RODILLO LISO VIBRATORIO AUTO PROPULSADO 131 HP.

- Distancia Evaluada : 50
- Espesor : 6 m
- Elemento : Pavimento

Tabla 13: Evaluación costo de equipos y maquinarias para rodillo liso autopropulsado 131 Hp.

Evaluación	Numero de Pasadas	Costo Hora Maquina	Tiempo en cada Circuito	Tiempo Total	Costo por el Total del Circuito	Costo por 40 Pasadas Normal	Ahorro
#1	27	S/. 205.00	01:25:00	14:15:00	S/. 7,841.25	S/. 11,616.67	S/. 3,775.42
#2	28	S/. 205.00	01:25:00	15:40:00	S/. 8,131.67	S/. 11,616.67	S/. 3,485.00
#3	29	S/. 205.00	01:25:00	17:05:00	S/. 8,422.08	S/. 11,616.67	S/. 3,194.58
#4	30	S/. 205.00	01:25:00	18:30:00	S/. 8,712.50	S/. 11,616.67	S/. 2,904.17
#5	31	S/. 205.00	01:25:00	19:55:00	S/. 9,002.92	S/. 11,616.67	S/. 2,613.75
#6	<b>32</b>	<b>S/. 205.00</b>	<b>01:25:00</b>	<b>21:20:00</b>	<b>S/. 9,293.33</b>	<b>S/. 11,616.67</b>	<b>S/. 2,323.33</b>
#7	33	S/. 205.00	01:25:00	22:45:00	S/. 9,583.75	S/. 11,616.67	S/. 2,032.92
#8	34	S/. 205.00	01:25:00	00:10:00	S/. 9,874.17	S/. 11,616.67	S/. 1,742.50

#9	35	S/. 205.00	01:25:00	01:35:00	S/ 10,164.58	S/ 11,616.67	S/ 1,452.08
#10	36	S/. 205.00	01:25:00	03:00:00	S/ 10,455.00	S/ 11,616.67	S/ 1,161.67
#11	37	S/. 205.00	01:25:00	04:25:00	S/ 10,745.42	S/ 11,616.67	S/ 871.25
#12	38	S/. 205.00	01:25:00	05:50:00	S/ 11,035.83	S/ 11,616.67	S/ 580.83
#13	39	S/. 205.00	01:25:00	07:15:00	S/ 11,326.25	S/ 11,616.67	S/ 290.42
#14	40	S/. 205.00	01:25:00	08:40:00	S/ 11,616.67	S/ 11,616.67	S/ -
#15	41	S/. 205.00	01:25:00	10:05:00	S/ 11,907.08	S/ 11,616.67	-S/ 290.42
#16	42	S/. 205.00	01:25:00	11:30:00	S/ 12,197.50	S/ 11,616.67	-S/ 580.83
#17	43	S/. 205.00	01:25:00	12:55:00	S/ 12,487.92	S/ 11,616.67	-S/ 871.25
#18	44	S/. 205.00	01:25:00	14:20:00	S/ 12,778.33	S/ 11,616.67	-S/ 1,161.67
#19	45	S/. 205.00	01:25:00	15:45:00	S/ 13,068.75	S/ 11,616.67	-S/ 1,452.08
#20	46	S/. 205.00	01:25:00	17:10:00	S/ 13,359.17	S/ 11,616.67	-S/ 1,742.50

Fuente: Elaboración propia

### 4.3. Prueba de Hipótesis

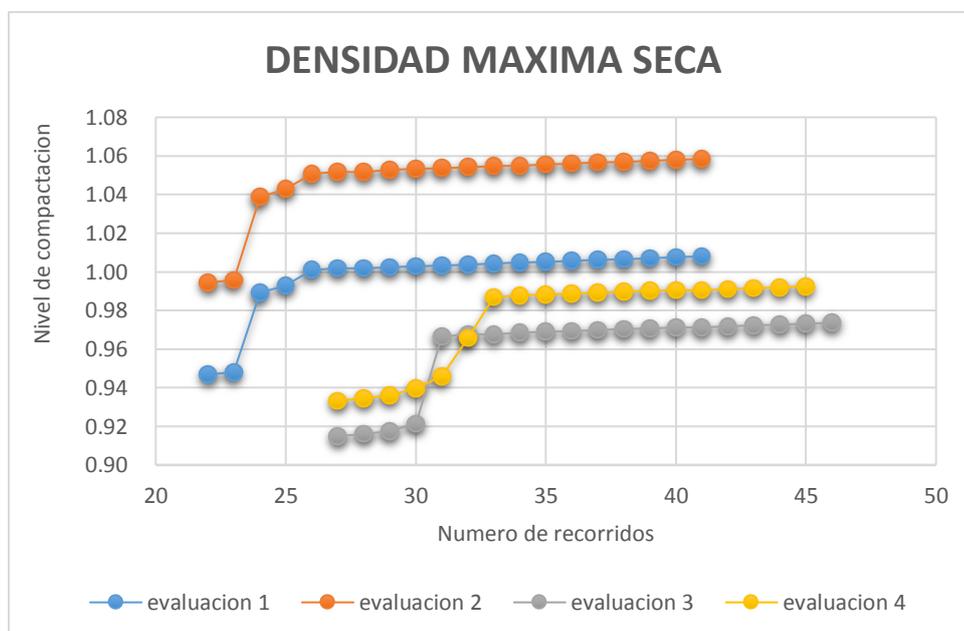
#### 4.2.3. Hipótesis general planteada.

Optimizando la eficiencia en el uso de vibro compactadoras mejora el nivel de compactación en la ejecución de pavimentos en la provincia de Pasco 2017-2018.

#### 4.2.4. Prueba de la hipótesis planteada

Mediante los ensayos de laboratorio proctor modificado obtenemos la densidad máxima seca que puede alcanzar el suelo, asimismo el porcentaje óptimo de humedad con el que debe realizarse la compactación, según el grafico mostrado a continuación nos muestra el numero correcto de veces a compactar es cuando se consigue la compactación mayor a 95% como nos recomienda el MTC.

Grafico 3: Curva densidad máxima seca de los casos evaluados.



Fuente: elaboración propia

#### **4.4. Discusión de resultados**

Las mejores condiciones en el desarrollo del ensayo Proctor Modificado, se obtienen con un mayor control de las variables de incidencia, una temperatura y humedad ambiente que no presente valores muy lejanos a los establecidos como promedio y mantener constante este valor durante el ensayo, un equipo en buen estado, que cumpla con especificaciones, que tenga un mantenimiento, calibración constante y una base de compactación firme. Actualmente vivimos en una etapa de competitividad en la construcción, donde el concepto de rendimiento y productividad va por delante en las empresas constructoras, el rendimiento o producción es la cantidad de trabajo que se realiza en la unidad de tiempo.

El propósito de la presente investigación fue determinar el número necesario de recorridos en campo de las maquinarias de compactación, ya que el residente de obra desconoce dicho valor que debe dar cada maquinaria en campo, es por ello que para un Compactador Vibratorio Tipo Plancha 4Hp el número de recorrido necesario es de 24, siendo necesario para llegar a la compactación óptima, para un Compactador Vibratorio Tipo Plancha 6Hp, el número de recorrido necesario es de 22, para un Rodillo Liso Vibratorio Auto Propulsado 70-100 HP el número de recorrido necesario es de 31, para un rodillo liso vibratorio auto propulsado 131 HP el número de recorrido necesario es de 32 veces, por lo tanto, como conclusión general podemos indicar que Optimizando la eficiencia en el uso de vibro compactadoras mejora el nivel de

compactación en la ejecución de pavimentos en la provincia de Pasco  
2017-2018.

## **CONCLUSIONES**

Al ejecutar el proyecto: MEJORAMIENTO DE LAS CALLES EN EL JR. CAJAMARCA CDRA. 01, JR. HUANCVELICA CDRAS. 1-3, JR. AREQUIPA CDRAS. 1-2, JR. APURIMAC CDRAS 1-2, JR. ANDRES A. CACERES CDRAS. 1-3 JR. PUNO CDRAS. 1-3 Y R. CERRO DE PASCO CDRAS. 1-4 EN EL CENTRO POBLADO DE COCHAMARCA, DISTRITO DE VICCO – PASCO – PASCO, se emanan las siguientes conclusiones secundarias:

- En el proceso de la compactación de suelos el agua es de suma importancia, las características físicas de cada tipo definen como reacciona con la humedad. Por cada material hay un contenido de humedad que maximiza sus propiedades para diseñar cierta compactación. En general, mientras más pequeñas sean las partículas, mayor influirá el agua sobre la compactación. Cuando hablamos de compactación de suelos en nuestro medio utilizamos las normas vigentes que indica el Ministerio de transportes y comunicaciones, para nuestro caso los manuales del MTC nos recomendaban que el Nivel de compactación debe superar como mínimo el 95%, se ha visto que optimizando el uso de las vibro compactadoras se ha determinado el número mínimo de recorridos mencionado en la conclusión anterior, es por ello que Optimizando la eficiencia en el uso de vibro compactadoras mejora la densidad seca

máxima en el suelo en la ejecución de pavimentos en la provincia de Pasco 2017-2018

- En ingeniería geotécnica, la compactación del suelo es el proceso por el cual un esfuerzo aplicado a un suelo causa densificación a medida que el aire se desplaza de los poros entre los granos del suelo. Cuando se aplica un esfuerzo que causa la densificación debida al agua (u otro líquido) que se desplaza entre los granos del suelo, se produce la consolidación, no la compactación. Normalmente, la compactación es el resultado de maquinaria pesada que comprime el suelo, pero también puede ocurrir, por ejemplo, debido al paso de animales, en el sector construcción la compactación influye económicamente para determinar el presupuesto del proyecto, los retos del contratista es construir todas las partidas a un costo menor que indica el proyecto, es por ello que se ha determinado en las diferentes evaluaciones el ahorro que genera optimizar el uso de las equipos de compactación teniendo un aproximado de S/. 2,323.33 (dos mil trescientos veinte tres con 33/100 soles) por cada recorrido utilizado el rodillo liso de 131P, por lo tanto, se concluye que Optimizando la eficiencia en el uso de vibro compactadoras mejora el Costo de Equipos y Maquinarias en la ejecución de pavimentos en la provincia de Pasco 2017-2018.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar investigaciones sobre la influencia de energía de compactación en otros suelos granulares, así como también en suelos cohesivos.
- El laboratorista o encargado de laboratorio, donde se realice el ensayo debe tomar las mediciones de clima y humedad ambiental, en el momento de su desarrollo, por medio de lecturas de temperatura y humedad relativa en el ambiente.
- El personal del laboratorio debe verificar el estado del equipo de compactación cada vez que se utilice, y renovarlo cuando este ya no cumpla con las especificaciones de los códigos que rigen el ensayo, así como la calibración del resto del equipo, como las balanzas y hornos
- La persona encargada o laboratorista que realice el ensayo debe respetar cada una de las especificaciones que establecen los códigos para el control en el desarrollo del ensayo, como el tiempo, altura y método de compactación con el martillo, tiempo y forma de preparación de la muestra, entre otros.

## BIBLIOGRAFÍA

- Sowers, G. (2014). Introducción a la Mecánica de los Suelos y Cimentación. Madrid: Limusa-Wiley.
- Jorajuria, D. (2004). Resistencia mecánica del suelo como parámetro mecánico del suelo. Buenos Aires: Lumen.
- Yepes, V. (2004). Compactación Dinámica y control con ensayos de penetración Dinámica. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Badillo, J. (2014). Fundamentos de la Mecánica de Suelos. México: Limusa.
- Escario, U. (1989). Terraplenes y pedraplenes. Madrid: Ministerio de Obras Públicas y Transporte.
- Escobar, C. (2007). Mecánica de Suelos. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Georges, A. (2004). Compactación en carreteras y aeropuertos. Barcelona: Tecnicos Asociados.
- González, J. C. (2013). Incidencia de Resultados del ensayo Proctor Modificado por la Influencia del Clima. México: UNAM.
- López, W. (2011). slideshare. Recuperado el 15 de 09 de 2016, de <http://es.slideshare.net/wlopezalmarza/compactacion-de-suelos>
- Parano, J. (2012). Compactación de Suelos y Materiales Estabilizados. México: UNAM.
- Pérez, J. (2014). Introducción a la Mecánica de Suelos. La Coruña: Universidad La Coruña.

- Ruíz, C. (2005). Mecanismo de Compactación de Suelos. Mar de Plata: EUBEDA.
- Sagués, P. (2008). Propiedades de los Suelos Compactados. Buenos Aires: LMS-FIUBA.

# **ANEXOS**

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	METODOLOGIA
<p>A nivel global siempre se ha tenido en cuenta en los proyectos en general la compactación, debido a que es una parte fundamental del desarrollo de los mismos, interviniendo generalmente en el mejoramiento de la capacidad del suelo al eliminar los vacíos que se presenten en él, tomando en cuenta que esta fase deberá ser correctamente realizada ya que podría causar daños que a largo plazo causarían déficit en el resto de los proyectos en general, es por eso que hoy en día existen normas técnicas que se aplican para el proceso de compactación de los materiales a usarse en cada zona (Sánchez, 1996).</p> <p>En nuestro país generalmente se usa material de las canteras existentes en las diferentes zonas, en la cual a veces éstas no se adecuan a las características requeridas bajo los parámetros de las normas técnicas referentes a la compactación, por lo que, al no adecuarse según lo descrito por las normas técnicas, no logran desempeñar sus funciones correctamente llevando a que presentan fallas en un tiempo temprano referente a su vida útil.</p>	<p><b>Objetivo General</b></p> <p>Mejorar el Nivel de compactación optimizando la eficiencia en el uso de vibro compactadoras en la ejecución de pavimentos en la provincia de Pasco 2017-2018.</p> <p><b>Objetivos Específicos</b></p> <p>-Mejorar la densidad seca máxima en el suelo optimizando la eficiencia en el uso de vibro compactadoras en la ejecución de pavimentos en la provincia de Pasco 2017-2018</p> <p>-Mejorar el Costo de Equipos y Maquinarias optimizando la eficiencia en el uso de vibro compactadoras en la ejecución de pavimentos en</p>	<p><b>Hipótesis General</b></p> <p>Optimizando la eficiencia en el uso de vibro compactadoras mejora el nivel de compactación en la ejecución de pavimentos en la provincia de Pasco 2017-2018</p> <p><b>Hipótesis Específicas</b></p> <p>-Optimizando la eficiencia en el uso de vibro compactadoras mejora la densidad seca máxima en el suelo en la ejecución de pavimentos en la provincia de Pasco 2017-2018</p> <p>-Optimizando la eficiencia en el uso de vibro compactadoras mejora el Costo de Equipos y Maquinarias en la ejecución de pavimentos</p>	<p><b>Tipo de investigación</b></p> <p><u>Experimental:</u></p> <p>Corresponde a las investigaciones experimentales o aplicadas dentro de las ciencias sociales.</p> <p>Analizamos el efecto producido por la acción y manipulación de las variables Independientes sobre la dependiente.</p> <p><b>Métodos de la investigación</b></p> <p>El método de investigación es Cuantitativo, pues la prueba de hipótesis se basa en mediciones numéricas y estadísticas, realizando pruebas y ensayos para la recolección de datos.</p> <p><b>Diseño de la investigación</b></p> <p>El diseño es de tipo Experimental debido que las muestras serán sometidas a ensayos de laboratorio para determinar la densidad seca máxima y humedad optima del suelo a compactar y con ello determinar el número</p>

<p>En nuestro medio se cuenta con diferentes canteras en la Ciudad de Pasco, siendo cada tipo de material diferente con respecto a sus características por lo que se optó hacer el análisis de la cantera más explotada en nuestra zona. Además, nunca se ha determinado cual es el uso correcto de las Vibro compactadoras.</p>	<p>la provincia de Pasco 2017-2018.</p>	<p>en la provincia de Pasco 2017-2018.</p>	<p>correcto de veces que debe compactar la maquinaria.</p> <p><b>Población</b></p> <p>Proyectos de pavimentación en la provincia de Pasco en los años 2017-2018.</p> <p><b>Muestra</b></p> <p>Proyecto de pavimentación en el Distrito de Vicco.</p>
--	---	--	--



## ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

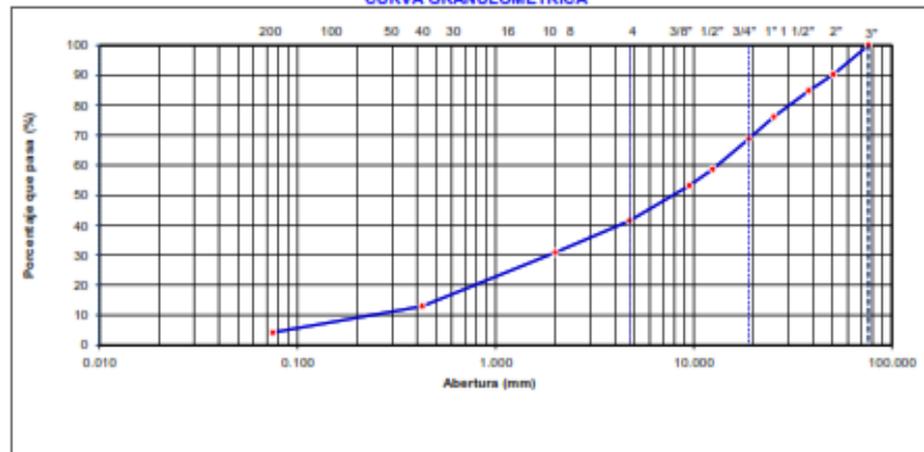
### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (NORMA MTC E-107, E-108 AASHTO T-27, ASTM D422)

<b>OBRA</b>	<b>CERTIFIC.</b> :
<b>MATERIAL</b> : RELLENO	<b>TECNICO</b> : W.G.A.
	<b>ING. RESPON</b> : W.M.L
	<b>FECHA</b> :

DATOS DE LA MUESTRA	
<b>MUESTRA</b> : M-00	<b>TAMAÑO MAXIMO</b> : 3"
	<b>Peso inicial seco</b> : 12868 g
	<b>Peso lavado seco</b> : 12780.8 g

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
4"	101.600						
3"	76.200				100.0		Contenido de Humedad (%): 6.8
2"	50.800	1252	9.7	9.7	90.3		Límite Líquido (LL): 19
1 1/2"	38.100	701	5.4	15.2	84.8		Límite Plástico (LP): 15
1"	25.400	1118.0	8.7	23.9	76.1		Índice Plástico (IP): 4
3/4"	19.000	941.0	7.3	31.2	68.8		Clasificación (SUCS): GP
1/2"	12.500	1303.0	10.1	41.3	58.7		Clasificación (AASHTO): A-1-a
3/8"	9.500	706.0	5.5	46.8	53.2		Índice de Grupo: (0)
Nº 4	4.750	1511.0	11.7	58.5	41.5		Descripción (AASHTO): BUENO
Nº 6	2.360						Descripción (SUCS): Grava pobremente gradada con arena
Nº 10	2.000	223.0	10.6	69.2	30.8		
Nº 16	1.180						Módulo de Firmeza: 2.8
Nº 20	0.840						Materia Orgánica: NP
Nº 30	0.600						
Nº 40	0.425	376.0	17.9	87.1	12.9		<b>OBSERVACIONES :</b>
Nº 50	0.300						
Nº 80	0.177						Grava 2" - Nº 4: 48.8
Nº 100	0.150						Arena Nº4 - Nº 200: 37.3
Nº 200	0.075	182.0	8.7	95.8	4.2		Fines + Nº 200: 4.2
+ Nº 200	FONDO	86.0	4.2	100.0	0.0		

#### CURVA GRANULOMETRICA



<b>Laboratorio</b>	D:	<b>Ing. QA/QC-Producción</b>	D:	<b>Ing. Residente</b>	D:	<b>Supervision Control Calidad</b>	D:
Nombre:		Nombre:		Nombre:			
Fecha:	M:	Fecha:	M:	Fecha:	M:	Fecha:	M:
	A:		A:		A:		A:

## ENSAYO DE DESIDAD DE CAMPO

(NORMA ASTM D - 1556)

### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

OBRA :		CERTIFICADO:	
EQUIPO :	COMPACTADOR VIBRATORIO TIPO PLANCHA 4HP	ENSAYADO POR:	FMMA
UBICACIÓN :		REVISADO POR:	EMCR
		FECHA:	

#### DENSIDAD HUMEDA

NUMERO DE ENSAYO		1	2	3	4	5	6
Peso del frasco + arena	g	6062	6131	6021	6027	6065	6006
Peso del frasco + arena que queda	g	3326	3305	3376	3437	3405	3393
Peso de arena empleada	g	4754	4826	4645	4590	4597	4613
Peso de arena en el cono	g	1615	1615	1615	1615	1615	1615
Peso de arena en la excavación	g	2939	3011	2830	2775	2762	2796
Densidad de la arena	g/cm <sup>3</sup>	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46
Volumen del material extraído	cm <sup>3</sup>	1966	2034	1912	1875	1880	1891
Peso del recipiente + suelo + grava	g	5003	4973	4841	5120	5126	5074
Peso del recipiente	g	205	205	205	205	205	205
Peso del suelo + grava	g	4798	4768	4636	4915	4923	4869
Peso referido en la malla 3/4"	g	1350	1179	1426	1396	1462	1261
Peso específico de la grava	g/cm <sup>3</sup>	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Volumen de la grava	cm <sup>3</sup>	519	453	548	536	570	485
Peso de finos	g	3448	3569	3210	3517	3441	3605
Volumen de finos	cm <sup>3</sup>	1467	1561	1364	1337	1310	1406
<b>Densidad Húmeda</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>2.138</b>	<b>2.138</b>	<b>2.237</b>	<b>2.267</b>	<b>2.270</b>	<b>2.283</b>

#### CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso recipiente + suelo húmedo	g						
Peso recipiente + suelo seco	g						
Peso de agua	g						
Peso de recipiente	g	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY
Peso de suelo seco	g						
<b>Contenido de humedad</b>	<b>%</b>	<b>6.2</b>	<b>7.1</b>	<b>6.4</b>	<b>7.4</b>	<b>6.7</b>	<b>7.2</b>

#### RESULTADOS

Densidad húmeda	g/cm <sup>3</sup>	2.138	2.138	2.237	2.267	2.270	2.283
Contenido de humedad	%	6.2	7.1	6.4	7.4	6.7	7.2
Densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	2.012	2.015	2.102	2.110	2.127	2.129
Máxima densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	2.125	2.125	2.125	2.125	2.125	2.125
Óptimo contenido de humedad	%	6.96	6.96	6.96	6.96	6.96	6.96
<b>Grado de compactación</b>	<b>%</b>	<b>94.66%</b>	<b>94.82%</b>	<b>98.92%</b>	<b>99.29%</b>	<b>100.09%</b>	<b>100.19%</b>

<b>Laboratorio</b>	<b>D:</b>	<b>Ing. QA/QC-Producción</b>	<b>D:</b>	<b>Ing. Residente</b>	<b>D:</b>	<b>Supervision Control Calidad</b>	<b>D:</b>
Nombre:		Nombre:		Nombre:		Nombre:	
Firma:	<b>M:</b>	Firma:	<b>M:</b>	Firma:	<b>M:</b>	Firma:	<b>M:</b>
	<b>A:</b>		<b>A:</b>		<b>A:</b>		<b>A:</b>

## ENSAYO DE DESIDAD DE CAMPO

(NORMA ASTM D - 1556)

### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

OBRA :		CERTIFICADO:
EQUIPO :	COMPACTADOR VIBRATORIO TIPO PLANCHA 4HP	ENSAYADO POR: FMMA
UBICACIÓN :		REVISADO POR: EMCR
		FECHA:

#### DENSIDAD HUMEDA

NUMERO DE ENSAYO		7	8	9	10	11	12
Peso del frasco + arena	g	8124	8104	8114	8135	8009	8119
Peso del frasco + arena que queda	g	3380	3469	3323	3405	3358	3350
Peso de arena empleada	g	4744	4635	4791	4730	4651	4769
Peso de arena en el cono	g	1815	1815	1815	1815	1815	1815
Peso de arena en la excavación	g	2929	2820	2976	2915	2836	2954
Densidad de la arena	g/cm <sup>3</sup>	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48
Volumen del material extraído	cm <sup>3</sup>	1979	1905	2011	1970	1916	1996
Peso del recipiente + suelo + grava	g	4980	4859	4826	5016	4963	4961
Peso del recipiente	g	205	205	205	205	205	205
Peso del suelo + grava	g	4775	4654	4621	4811	4758	4756
Peso retenido en la malla 3/4"	g	1215	1157	1112	1297	1093	1203
Peso específico de la grava	g/cm <sup>3</sup>	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Volumen de la grava	cm <sup>3</sup>	467	445	428	499	420	493
Peso de finos	g	3560	3497	3509	3514	3665	3473
Volumen de finos	cm <sup>3</sup>	1512	1460	1503	1471	1496	1502
<b>Densidad Húmeda</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>2.278</b>	<b>2.264</b>	<b>2.309</b>	<b>2.289</b>	<b>2.316</b>	<b>2.320</b>

#### CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso recipiente + suelo húmedo	g						
Peso recipiente + suelo seco	g						
Peso de agua	g						
Peso de recipiente	g	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY
Peso de suelo seco	g						
<b>Contenido de humedad</b>	<b>%</b>	<b>7.0</b>	<b>6.3</b>	<b>8.4</b>	<b>7.4</b>	<b>8.6</b>	<b>8.7</b>

#### RESULTADOS

Densidad húmeda	g/cm <sup>3</sup>	2.278	2.264	2.309	2.289	2.316	2.320
Contenido de humedad	%	7.0	6.3	8.4	7.4	8.6	8.7
Densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	2.129	2.130	2.131	2.132	2.133	2.134
Máxima densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	2.125	2.125	2.125	2.125	2.125	2.125
Óptimo contenido de humedad	%	6.98	6.98	6.98	6.98	6.98	6.98
<b>Grado de compactación</b>	<b>%</b>	<b>100.19%</b>	<b>100.24%</b>	<b>100.28%</b>	<b>100.33%</b>	<b>100.38%</b>	<b>100.42%</b>

<b>Laboratorio</b>	D:	<b>Ing. QA/QC-Producción</b>	D:	<b>Ing. Residente</b>	D:	<b>Supervisión Control Calidad</b>	D:
Nombre:		Nombre:		Nombre:		Nombre:	
Firma:		Firma:		Firma:		Firma:	
	M:		M:		M:		M:
	A:		A:		A:		A:

## ENSAYO DE DESIDAD DE CAMPO

(NORMA ASTM D - 1556)

### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

OBRA :		CERTIFICADO:
EQUIPO :	COMPACTADOR VIBRATORIO TIPO PLANCHA 4HP	ENSAYADO POR: FMMA
UBICACIÓN :		REVISADO POR: EMCX
		FECHA:

#### DENSIDAD HUMEDA

NUMERO DE ENSAYO		13	14	15	16	17	18
Peso del frasco + arena	g	8037	8110	8140	8150	8075	8108
Peso del frasco + arena que queda	g	3406	3451	3341	3460	3350	3312
Peso de arena empleada	g	4631	4659	4799	4690	4725	4796
Peso de arena en el cono	g	1815	1815	1815	1815	1815	1815
Peso de arena en la excavación	g	2816	2844	2984	2875	2910	2981
Densidad de la arena	g/cm <sup>3</sup>	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48
Volumen del material extraído	cm <sup>3</sup>	1903	1922	2016	1943	1966	2014
Peso del recipiente + suelo + grava	g	4830	5173	4902	5135	4926	5144
Peso del recipiente	g	205	205	205	205	205	205
Peso del suelo + grava	g	4625	4968	4697	4930	4721	4939
Peso retenido en la malla 3/4"	g	1453	1127	1437	1088	1475	1458
Peso específico de la grava	g/cm <sup>3</sup>	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Volumen de la grava	cm <sup>3</sup>	558	433	553	411	567	561
Peso de finos	g	3172	3841	3260	3862	3246	3481
Volumen de finos	cm <sup>3</sup>	1344	1458	1464	1532	1399	1453
<b>Densidad Húmeda</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>2.266</b>	<b>2.273</b>	<b>2.291</b>	<b>2.311</b>	<b>2.314</b>	<b>2.299</b>

#### CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso recipiente + suelo húmedo	g						
Peso recipiente + suelo seco	g						
Peso de agua	g						
Peso de recipiente	g	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY
Peso de suelo seco	g						
<b>Contenido de humedad</b>	<b>%</b>	<b>6.1</b>	<b>6.4</b>	<b>7.2</b>	<b>8.1</b>	<b>8.2</b>	<b>7.4</b>

#### RESULTADOS

Densidad húmeda	g/cm <sup>3</sup>	2.266	2.273	2.291	2.311	2.314	2.299
Contenido de humedad	%	6.1	6.4	7.2	8.1	8.2	7.4
Densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	2.135	2.136	2.137	2.138	2.139	2.140
Máxima densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	2.125	2.125	2.125	2.125	2.125	2.125
Óptimo contenido de humedad	%	6.98	6.98	6.98	6.98	6.98	6.98
<b>Grado de compactación</b>	<b>%</b>	<b>100.47%</b>	<b>100.52%</b>	<b>100.56%</b>	<b>100.61%</b>	<b>100.66%</b>	<b>100.71%</b>

<b>Laboratorio</b>	<b>D:</b>	<b>Ing. QA/QC-Producción</b>	<b>D:</b>	<b>Ing. Residente</b>	<b>D:</b>	<b>Supervisión Control Calidad</b>	<b>D:</b>
Nombre:		Nombre:		Nombre:		Nombre:	
Firma:	<b>M:</b>	Firma:	<b>M:</b>	Firma:	<b>M:</b>	Firma:	<b>M:</b>
	<b>A:</b>		<b>A:</b>		<b>A:</b>		<b>A:</b>

	<b>ENSAYO DE DESIDAD DE CAMPO</b>	
--	-----------------------------------	--

(NORMA ASTM D - 1556)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS			
OBRA :		CERTIFICADO:	
EQUIPO :	COMPACTADOR VIBRATORIO TIPO PLANCHA 4HP	ENSAYADO POR:	FMMA
UBICACIÓN :		REVISADO POR:	EMCR
		FECHA:	

DENSIDAD HUMEDA					
NUMERO DE ENSAYO		19	20		
Peso del frasco + arena	g	5125	5075		
Peso del frasco + arena que queda	g	3430	3343		
Peso de arena empleada	g	4695	4735		
Peso de arena en el cono	g	1815	1815		
Peso de arena en la excavación	g	2883	2920		
Densidad de la arena	g/cm <sup>3</sup>	1.48	1.48		
Volumen del material extraído	cm <sup>3</sup>	1948	1973		
Peso del recipiente + suelo + grava	g	5125	4838		
Peso del recipiente	g	205	205		
Peso del suelo + grava	g	4920	4633		
Peso referido en la malla 3/4"	g	1231	1271		
Peso específico de la grava	g/cm <sup>3</sup>	2.60	2.60		
Volumen de la grava	cm <sup>3</sup>	473	489		
Peso de finos	g	3689	3362		
Volumen de finos	cm <sup>3</sup>	1475	1484		
Densidad Húmeda	g/cm <sup>3</sup>	2.280	2.331		

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Peso recipiente + suelo húmedo	g				
Peso recipiente + suelo seco	g				
Peso de agua	g				
Peso de recipiente	g	SPEEDY	SPEEDY		
Peso de suelo seco	g				
Contenido de humedad	%	6.5	8.8		

RESULTADOS					
Densidad húmeda	g/cm <sup>3</sup>	2.280	2.331		
Contenido de humedad	%	6.5	8.8		
Densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	2.141	2.142		
Máxima densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	2.125	2.125		
Óptimo contenido de humedad	%	6.98	6.98		
Grado de compactación	%	100.75%	100.80%		

<b>Laboratorio</b>	D:	<b>Ing. QA/QC-Producción</b>	D:	<b>Ing. Residente</b>	D:	<b>Supervision Control Calidad</b>	D:
Nombre:		Nombre:		Nombre:		Nombre:	
Firma:	M:	Firma:	M:	Firma:	M:	Firma:	M:
	A:		A:		A:		A:

	<b>ENSAYO DE DESIDAD DE CAMPO</b>	
--	-----------------------------------	--

(NORMA ASTM D - 1556)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS			
OBRA :		CERTIFICADO:	
EQUIPO :	Compactador Vibratorio Tipo Plancha 6Hp	ENSAYADO POR:	FMMA
UBICACIÓN :		REVISADO POR:	EMCR
		FECHA:	

DENSIDAD HUMEDA							
NUMERO DE ENSAYO		1	2	3	4	5	6
Peso del frasco + arena	g	8138	8012	8130	8071	8046	8109
Peso del frasco + arena que queda	g	3393	3347	3379	3495	3352	3309
Peso de arena empleada	g	4745	4665	4751	4576	4694	4800
Peso de arena en el cono	g	1815	1815	1815	1815	1815	1815
Peso de arena en la excavación	g	2930	2850	2936	2761	2879	2955
Densidad de la arena	g/cm <sup>3</sup>	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48
Volumen del material extraído	cm <sup>3</sup>	1980	1926	1984	1866	1945	2017
Peso del recipiente + suelo + grava	g	4627	4925	4828	4926	5093	4916
Peso del recipiente	g	205	205	205	205	205	205
Peso del suelo + grava	g	4622	4720	4623	4721	4888	4711
Peso retenido en la malla 3/4"	g	1343	1345	1202	1159	1487	1420
Peso específico de la grava	g/cm <sup>3</sup>	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Volumen de la grava	cm <sup>3</sup>	517	517	462	446	572	546
Peso de finos	g	3279	3375	3421	3562	3401	3291
Volumen de finos	cm <sup>3</sup>	1463	1408	1521	1420	1373	1471
<b>Densidad Húmeda</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>2.268</b>	<b>2.270</b>	<b>2.400</b>	<b>2.405</b>	<b>2.424</b>	<b>2.387</b>

CONTENIDO DE HUMEDAD							
Peso recipiente + suelo húmedo	g						
Peso recipiente + suelo seco	g						
Peso de agua	g						
Peso de recipiente	g	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY
Peso de suelo seco	g						
<b>Contenido de humedad</b>	<b>%</b>	<b>7.3</b>	<b>7.3</b>	<b>8.8</b>	<b>8.5</b>	<b>8.6</b>	<b>6.8</b>

RESULTADOS							
Densidad húmeda	g/cm <sup>3</sup>	2.268	2.270	2.400	2.405	2.424	2.387
Contenido de humedad	%	7.3	7.3	8.8	8.5	8.6	6.8
Densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	2.113	2.116	2.207	2.216	2.233	2.235
Máxima densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	2.125	2.125	2.125	2.125	2.125	2.125
Óptimo contenido de humedad	%	6.98	6.98	6.98	6.98	6.98	6.98
<b>Grado de compactación</b>	<b>%</b>	<b>99.44%</b>	<b>99.58%</b>	<b>103.86%</b>	<b>104.28%</b>	<b>105.08%</b>	<b>105.18%</b>

<b>Laboratorio</b>	D:	<b>Ing. QA/QC-Producción</b>	D:	<b>Ing. Residente</b>	D:	<b>Supervisión Control Calidad</b>	D:
Nombre:		Nombre:		Nombre:		Nombre:	
Firma:	M:	Firma:	M:	Firma:	M:	Firma:	M:
	A:		A:		A:		A:

## ENSAYO DE DESIDAD DE CAMPO

(NORMA ASTM D - 1556)

### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

OBRA :		CERTIFICADO:	
EQUIPO :	Compactador Vibratorio Tipo Plancha 6Hp	ENSAYADO POR:	FMMA
UBICACIÓN :		REVISADO POR:	EMCR
		FECHA:	

#### DENSIDAD HUMEDA

NUMERO DE ENSAYO		7	8	9	10	11	12
Peso del frasco + arena	g	8072	8067	8105	8128	8137	8118
Peso del frasco + arena que queda	g	3306	3325	3367	3352	3318	3363
Peso de arena empleada	g	4766	4742	4718	4776	4819	4755
Peso de arena en el cono	g	1815	1815	1815	1815	1815	1815
Peso de arena en la excavación	g	2951	2927	2903	2961	3004	2940
Densidad de la arena	g/cm <sup>3</sup>	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48
Volumen del material extraído	cm <sup>3</sup>	1994	1978	1961	2001	2030	1986
Peso del recipiente + suelo + grava	g	5105	5172	4878	5114	5130	5101
Peso del recipiente	g	205	205	205	205	205	205
Peso del suelo + grava	g	4900	4967	4673	4909	4925	4896
Peso referido en la malla 3/4"	g	1239	1473	1156	1474	1461	1206
Peso específico de la grava	g/cm <sup>3</sup>	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Volumen de la grava	cm <sup>3</sup>	477	567	445	567	562	464
Peso de finos	g	3661	3494	3517	3435	3404	3690
Volumen de finos	cm <sup>3</sup>	1517	1411	1517	1434	1466	1523
<b>Densidad Húmeda</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>2.399</b>	<b>2.424</b>	<b>2.413</b>	<b>2.383</b>	<b>2.425</b>	<b>2.438</b>

#### CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso recipiente + suelo húmedo	g						
Peso recipiente + suelo seco	g						
Peso de agua	g						
Peso de recipiente	g	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY
Peso de suelo seco	g						
<b>Contenido de humedad</b>	<b>%</b>	<b>7.3</b>	<b>8.4</b>	<b>7.8</b>	<b>6.4</b>	<b>8.3</b>	<b>8.8</b>

#### RESULTADOS

Densidad húmeda	g/cm <sup>3</sup>	2.399	2.424	2.413	2.383	2.425	2.438
Contenido de humedad	%	7.3	8.4	7.8	6.4	8.3	8.8
Densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	2.235	2.237	2.238	2.239	2.240	2.241
Máxima densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	2.125	2.125	2.125	2.125	2.125	2.125
Óptimo contenido de humedad	%	6.98	6.98	6.98	6.98	6.98	6.98
<b>Grado de compactación</b>	<b>%</b>	<b>105.18%</b>	<b>105.27%</b>	<b>105.32%</b>	<b>105.36%</b>	<b>105.41%</b>	<b>105.46%</b>

<b>Laboratorio</b>	<b>D:</b>	<b>Ing. QA/QC-Producción</b>	<b>D:</b>	<b>Ing. Residente</b>	<b>D:</b>	<b>Supervision</b>	<b>D:</b>
Nombre:		Nombre:		Nombre:		Control Calidad	
Firma:	<b>M:</b>	Firma:	<b>M:</b>	Firma:	<b>M:</b>	Firma:	<b>M:</b>
	<b>A:</b>		<b>A:</b>		<b>A:</b>		<b>A:</b>

	<b>ENSAYO DE DESIDAD DE CAMPO</b>	
--	-----------------------------------	--

(NORMA ASTM D - 1556)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS			
OBRA :		CERTIFICADO:	
EQUIPO :	Compactador Vibratorio Tipo Plancha 6Hp	ENSAYADO POR:	FMMA
UBICACIÓN :		REVISADO POR:	EMCR
		FECHA:	

DENSIDAD HUMEDA							
NUMERO DE ENSAYO		13	14	15	16	17	18
Peso del frasco + arena	g	8020	8131	8045	8094	8077	8056
Peso del frasco + arena que queda	g	3404	3454	3335	3485	3342	3336
Peso de arena empleada	g	4616	4677	4710	4609	4735	4720
Peso de arena en el cono	g	1815	1815	1815	1815	1815	1815
Peso de arena en la excavación	g	2801	2832	2895	2794	2920	2905
Densidad de la arena	g/cm <sup>3</sup>	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48
Volumen del material extraído	cm <sup>3</sup>	1893	1914	1956	1888	1973	1963
Peso del recipiente + suelo + grava	g	4823	5177	4941	4914	5135	4885
Peso del recipiente	g	205	205	205	205	205	205
Peso del suelo + grava	g	4618	4972	4736	4709	4930	4680
Peso retenido en la malla 3/4"	g	1291	1008	1068	1098	1372	1409
Peso específico de la grava	g/cm <sup>3</sup>	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Volumen de la grava	cm <sup>3</sup>	497	388	411	422	528	542
Peso de finos	g	3327	3964	3868	3811	3558	3271
Volumen de finos	cm <sup>3</sup>	1396	1526	1545	1466	1445	1421
<b>Densidad Húmeda</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>2.412</b>	<b>2.420</b>	<b>2.413</b>	<b>2.392</b>	<b>2.391</b>	<b>2.444</b>

CONTENIDO DE HUMEDAD							
Peso recipiente + suelo húmedo	g						
Peso recipiente + suelo seco	g						
Peso de agua	g						
Peso de recipiente	g	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY
Peso de suelo seco	g						
<b>Contenido de humedad</b>	<b>%</b>	<b>7.6</b>	<b>7.9</b>	<b>7.5</b>	<b>6.6</b>	<b>6.5</b>	<b>8.8</b>

RESULTADOS							
Densidad húmeda	g/cm <sup>3</sup>	2.412	2.420	2.413	2.392	2.391	2.444
Contenido de humedad	%	7.6	7.9	7.5	6.6	6.5	8.8
Densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	2.242	2.243	2.244	2.245	2.246	2.247
Máxima densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	2.125	2.125	2.125	2.125	2.125	2.125
Óptimo contenido de humedad	%	6.98	6.98	6.98	6.98	6.98	6.98
<b>Grado de compactación</b>	<b>%</b>	<b>105.51%</b>	<b>105.55%</b>	<b>105.60%</b>	<b>105.65%</b>	<b>105.69%</b>	<b>105.74%</b>

<b>Laboratorio</b>	D:	<b>Ing. QA/QC-Producción</b>	D:	<b>Ing. Residente</b>	D:	<b>Supervisión Control Calidad</b>	D:
Nombre:		Nombre:		Nombre:		Nombre:	
Firma:	M:	Firma:	M:	Firma:	M:	Firma:	M:
	A:		A:		A:		A:

## ENSAYO DE DESIDAD DE CAMPO

(NORMA ASTM D - 1556)

### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

OBRA :		CERTIFICADO:
EQUIPO :	Compactador Vibratorio Tipo Plancha 6Hp	ENSAYADO POR: FMMA
UBICACIÓN :		REVISADO POR: EMCR
		FECHA:

#### DENSIDAD HUMEDA

NUMERO DE ENSAYO		19	20			
Peso del frasco + arena	g	8036	8038			
Peso del frasco + arena que queda	g	3379	3392			
Peso de arena empleada	g	4657	4647			
Peso de arena en el cono	g	1815	1815			
Peso de arena en la excavación	g	2842	2832			
Densidad de la arena	g/cm <sup>3</sup>	1.48	1.48			
Volumen del material extraído	cm <sup>3</sup>	1920	1914			
Peso del recipiente + suelo + grava	g	4840	5100			
Peso del recipiente	g	205	205			
Peso del suelo + grava	g	4635	4895			
Peso retenido en la malla 3/4"	g	1083	1154			
Peso específico de la grava	g/cm <sup>3</sup>	2.60	2.60			
Volumen de la grava	cm <sup>3</sup>	417	444			
Peso de finos	g	3552	3741			
Volumen de finos	cm <sup>3</sup>	1504	1470			
<b>Densidad Húmeda</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>2.392</b>	<b>2.422</b>			

#### CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso recipiente + suelo húmedo	g					
Peso recipiente + suelo seco	g					
Peso de agua	g					
Peso de recipiente	g	SPEEDY	SPEEDY			
Peso de suelo seco	g					
<b>Contenido de humedad</b>	<b>%</b>	<b>6.4</b>	<b>7.7</b>			

#### RESULTADOS

Densidad húmeda	g/cm <sup>3</sup>	2.392	2.422			
Contenido de humedad	%	6.4	7.7			
Densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	2.248	2.249			
Máxima densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	2.125	2.125			
Óptimo contenido de humedad	%	6.98	6.98			
<b>Grado de compactación</b>	<b>%</b>	<b>105.79%</b>	<b>105.84%</b>			

<b>Laboratorio</b>	D:	<b>Ing. QA/QC-Producción</b>	D:	<b>Ing. Residente</b>	D:	<b>Supervisión Control Calidad</b>	D:
Nombre:		Nombre:		Nombre:		Nombre:	
Firma:	M:	Firma:	M:	Firma:	M:	Firma:	M:
	A:		A:		A:		A:

<b>ENSAYO DE DESIDAD DE CAMPO</b>	
-----------------------------------	--

(NORMA ASTM D - 1556)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS			
OBRA :		CERTIFICADO:	
EQUIPO :	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTO PROPULSADO 70-100 HP	ENSAYADO POR:	FMMA
UBICACIÓN :		REVISADO POR:	EMCR
		FECHA:	

DENSIDAD HUMEDA							
NUMERO DE ENSAYO		1	2	3	4	5	6
Peso del frasco + arena	g	8130	8030	8062	8134	8045	8067
Peso del frasco + arena que queda	g	3371	3383	3336	3346	3429	3361
Peso de arena empleada	g	4759	4647	4726	4788	4616	4706
Peso de arena en el cono	g	1815	1815	1815	1815	1815	1815
Peso de arena en la excavación	g	2944	2832	2911	2973	2801	2891
Densidad de la arena	g/cm <sup>3</sup>	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48
Volumen del material extraído	cm <sup>3</sup>	1989	1914	1967	2009	1893	1953
Peso del recipiente + suelo + grava	g	5058	4987	4928	4891	4906	5173
Peso del recipiente	g	205	205	205	205	205	205
Peso del suelo + grava	g	4853	4782	4723	4686	4701	4968
Peso retenido en la malla 3/4"	g	1460	1451	1298	1472	1118	1255
Peso específico de la grava	g/cm <sup>3</sup>	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Volumen de la grava	cm <sup>3</sup>	562	555	499	566	430	483
Peso de finos	g	3393	3331	3425	3214	3583	3713
Volumen de finos	cm <sup>3</sup>	1428	1355	1468	1443	1463	1471
<b>Densidad Húmeda</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>2.070</b>	<b>2.082</b>	<b>2.120</b>	<b>2.125</b>	<b>2.231</b>	<b>2.197</b>

CONTENIDO DE HUMEDAD							
Peso recipiente + suelo húmedo	g						
Peso recipiente + suelo seco	g						
Peso de agua	g						
Peso de recipiente	g	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY
Peso de suelo seco	g						
<b>Contenido de humedad</b>	<b>%</b>	<b>6.5</b>	<b>7.0</b>	<b>8.7</b>	<b>8.5</b>	<b>8.6</b>	<b>6.9</b>

RESULTADOS							
Densidad húmeda	g/cm <sup>3</sup>	2.070	2.082	2.120	2.125	2.231	2.197
Contenido de humedad	%	6.5	7.0	8.7	8.5	8.6	6.9
Densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	1.944	1.947	1.950	1.958	2.054	2.056
Máxima densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	2.125	2.125	2.125	2.125	2.125	2.125
Óptimo contenido de humedad	%	6.98	6.98	6.98	6.98	6.98	6.98
<b>Grado de compactación</b>	<b>%</b>	<b>91.48%</b>	<b>91.62%</b>	<b>91.76%</b>	<b>92.14%</b>	<b>96.66%</b>	<b>96.75%</b>

Laboratorio	D:	Ing. QA/QC-Producción	D:	Ing. Residente	D:	Supervisión Control Calidad	D:
Nombre:		Nombre:		Nombre:		Nombre:	
Firma:	M:	Firma:	M:	Firma:	M:	Firma:	M:
	A:		A:		A:		A:

## ENSAYO DE DESIDAD DE CAMPO

(NORMA ASTM D - 1556)

### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

OBRA :		CERTIFICADO:
EQUIPO :	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTO PROPULSADO 70-100 HP	ENSAYADO POR: FMMA
UBICACIÓN :		REVISADO POR: EMCR
		FECHA:

#### DENSIDAD HUMEDA

NUMERO DE ENSAYO		7	8	9	10	11	12
Peso del frasco + arena	g	8076	8102	8002	8051	8071	8070
Peso del frasco + arena que queda	g	3390	3453	3386	3415	3416	3485
Peso de arena empleada	g	4686	4649	4616	4636	4655	4585
Peso de arena en el cono	g	1815	1815	1815	1815	1815	1815
Peso de arena en la excavación	g	2671	2634	2601	2621	2640	2770
Densidad de la arena	g/cm <sup>3</sup>	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48
Volumen del material extraído	cm <sup>3</sup>	1940	1915	1893	1906	1919	1872
Peso del recipiente + suelo + grava	g	5169	4886	4866	5099	4844	5101
Peso del recipiente	g	205	205	205	205	205	205
Peso del suelo + grava	g	4964	4681	4661	4894	4639	4896
Peso retenido en la malla 3/4"	g	1360	1040	1255	1178	1037	1218
Peso específico de la grava	g/cm <sup>3</sup>	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Volumen de la grava	cm <sup>3</sup>	523	400	483	453	399	466
Peso de finos	g	3604	3641	3406	3716	3602	3678
Volumen de finos	cm <sup>3</sup>	1417	1515	1410	1453	1520	1403
Densidad Húmeda	g/cm <sup>3</sup>	2.195	2.197	2.238	2.225	2.188	2.238

#### CONTENIDO DE HUMEDAD

DESCRIPCIÓN		7	8	9	10	11	12
Peso recipiente + suelo húmedo	g						
Peso recipiente + suelo seco	g						
Peso de agua	g						
Peso de recipiente	g	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY
Peso de suelo seco	g						
Contenido de humedad	%	6.8	6.7	8.7	8.0	6.2	8.5

#### RESULTADOS

Densidad húmeda	g/cm <sup>3</sup>	2.195	2.197	2.238	2.225	2.188	2.238
Contenido de humedad	%	6.8	6.7	8.7	8.0	6.2	8.5
Densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	2.056	2.056	2.059	2.060	2.061	2.062
Máxima densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	2.125	2.125	2.125	2.125	2.125	2.125
Óptimo contenido de humedad	%	6.98	6.98	6.98	6.98	6.98	6.98
Grado de compactación	%	96.75%	96.85%	96.89%	96.94%	96.99%	97.04%

Laboratorio	D:	Ing. QA/QC-Producción	D:	Ing. Residente	D:	Supervisión Control Calidad	D:
Nombre:	M:	Nombre:	M:	Nombre:	M:	Nombre:	M:
Firma:	A:	Firma:	A:	Firma:	A:	Firma:	A:

## ENSAYO DE DESIDAD DE CAMPO

(NORMA ASTM D - 1556)

### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

OBRA :		CERTIFICADO:	
EQUIPO :	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTO PROPULSADO 70-100 HP	ENSAYADO POR:	FMMA
UBICACIÓN :		REVISADO POR:	EMCR
		FECHA:	

#### DENSIDAD HUMEDA

NUMERO DE ENSAYO		13	14	15	16	17	18
Peso del frasco + arena	g	8075	8051	8011	8046	8015	8063
Peso del frasco + arena que queda	g	3318	3429	3462	3337	3379	3333
Peso de arena empleada	g	4757	4622	4549	4709	4636	4730
Peso de arena en el cono	g	1815	1815	1815	1815	1815	1815
Peso de arena en la excavación	g	2942	2807	2734	2894	2821	2915
Densidad de la arena	g/cm <sup>3</sup>	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48
Volumen del material extraído	cm <sup>3</sup>	1986	1897	1847	1955	1906	1970
Peso del recipiente + suelo + grava	g	5107	5022	4967	5150	4811	4956
Peso del recipiente	g	205	205	205	205	205	205
Peso del suelo + grava	g	4902	4817	4762	4945	4606	4753
Peso retenido en la malla 3/4"	g	1126	1093	1322	1230	1278	1005
Peso específico de la grava	g/cm <sup>3</sup>	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Volumen de la grava	cm <sup>3</sup>	433	420	508	473	492	387
Peso de finos	g	3776	3724	3440	3715	3328	3748
Volumen de finos	cm <sup>3</sup>	1555	1476	1339	1482	1415	1553
<b>Densidad Húmeda</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>2.248</b>	<b>2.202</b>	<b>2.241</b>	<b>2.229</b>	<b>2.231</b>	<b>2.244</b>

#### CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso recipiente + suelo húmedo	g						
Peso recipiente + suelo seco	g						
Peso de agua	g						
Peso de recipiente	g	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY
Peso de suelo seco	g						
<b>Contenido de humedad</b>	<b>%</b>	<b>9.0</b>	<b>6.7</b>	<b>8.6</b>	<b>7.9</b>	<b>8.0</b>	<b>8.6</b>

#### RESULTADOS

Densidad húmeda	g/cm <sup>3</sup>	2.248	2.202	2.241	2.229	2.231	2.244
Contenido de humedad	%	9.0	6.7	8.6	7.9	8.0	8.6
Densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	2.063	2.064	2.064	2.065	2.066	2.067
Máxima densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	2.125	2.125	2.125	2.125	2.125	2.125
Óptimo contenido de humedad	%	6.96	6.96	6.96	6.96	6.96	6.96
<b>Grado de compactación</b>	<b>%</b>	<b>97.08%</b>	<b>97.13%</b>	<b>97.13%</b>	<b>97.18%</b>	<b>97.22%</b>	<b>97.27%</b>

<b>Laboratorio</b> Nombre: Firma:	D: M: A:	<b>Ing. QA/QC-Producción</b> Nombre: Firma:	D: M: A:	<b>Ing. Residente</b> Nombre: Firma:	D: M: A:	<b>Supervisión Control Calidad</b> Nombre: Firma:	D: M: A:
---	----------------	---	----------------	--	----------------	---	----------------

## ENSAYO DE DESIDAD DE CAMPO

(NORMA ASTM D - 1556)

### LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

OBRA :		CERTIFICADO:	
EQUIPO :	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTO PROPULSADO 70-100 HP	ENSAYADO POR:	FMMA
UBICACIÓN :		REVISADO POR:	EMCP
		FECHA:	

#### DENSIDAD HUMEDA

NUMERO DE ENSAYO		19	20				
Peso del frasco + arena	g	8041	8039				
Peso del frasco + arena que queda	g	3425	3399				
Peso de arena empleada	g	4616	4640				
Peso de arena en el cono	g	1815	1815				
Peso de arena en la excavación	g	2801	2825				
Densidad de la arena	g/cm <sup>3</sup>	1.48	1.48				
Volumen del material extraído	cm <sup>3</sup>	1893	1909				
Peso del recipiente + suelo + grava	g	5076	5128				
Peso del recipiente	g	205	205				
Peso del suelo + grava	g	4871	4923				
Peso referido en la malla 3/4"	g	1399	1244				
Peso específico de la grava	g/cm <sup>3</sup>	2.60	2.60				
Volumen de la grava	cm <sup>3</sup>	527	476				
Peso de finos	g	3502	3679				
Volumen de finos	cm <sup>3</sup>	1366	1430				
Densidad Húmeda	g/cm <sup>3</sup>	2.210	2.221				

#### CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso recipiente + suelo húmedo	g						
Peso recipiente + suelo seco	g						
Peso de agua	g						
Peso de recipiente	g	SPEEDY	SPEEDY				
Peso de suelo seco	g						
Contenido de humedad	%	6.8	7.3				

#### RESULTADOS

Densidad húmeda	g/cm <sup>3</sup>	2.210	2.221				
Contenido de humedad	%	6.8	7.3				
Densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	2.068	2.069				
Máxima densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	2.125	2.125				
Óptimo contenido de humedad	%	6.98	6.98				
Grado de compactación	%	97.32%	97.36%				

Laboratorio	D:	Ing. QA/QC-Producción	D:	Ing. Residente	D:	Supervisión Control Calidad	D:
Nombre		Nombre		Nombre			
Firma	M:	Firma	M:	Firma	M:	Firma	M:
	A:		A:		A:		A:

## ENSAYO DE DESIDAD DE CAMPO

(NORMA ASTM D - 1556)

### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

OBRA :		CERTIFICADO:
EQUIPO :	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTO PROPULSADO 131 HP	ENSAYADO POR: FMMA
UBICACIÓN :		REVISADO POR: EMCR
		FECHA:

#### DENSIDAD HUMEDA

NUMERO DE ENSAYO		1	2	3	4	5	6
Peso del frasco + arena	g	8021	8004	8055	8054	8148	8008
Peso del frasco + arena que queda	g	3458	3312	3351	3447	3394	3332
Peso de arena empleada	g	4533	4692	4704	4607	4754	4676
Peso de arena en el cono	g	1815	1815	1815	1815	1815	1815
Peso de arena en la excavación	g	2718	2677	2669	2792	2939	2861
Densidad de la arena	g/cm <sup>3</sup>	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48
Volumen del material extraído	cm <sup>3</sup>	1836	1944	1952	1886	1986	1933
Peso del recipiente + suelo + grava	g	4908	5168	5099	4889	5163	4873
Peso del recipiente	g	205	205	205	205	205	205
Peso del suelo + grava	g	4703	4963	4894	4684	4958	4668
Peso referido en la malla 3/4"	g	1087	1175	1166	1357	1247	1123
Peso específico de la grava	g/cm <sup>3</sup>	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Volumen de la grava	cm <sup>3</sup>	418	452	448	522	460	432
Peso de finos	g	3616	3788	3726	3327	3711	3545
Volumen de finos	cm <sup>3</sup>	1410	1492	1504	1365	1506	1501
<b>Densidad Húmeda</b>	g/cm <sup>3</sup>	<b>2.114</b>	<b>2.129</b>	<b>2.166</b>	<b>2.177</b>	<b>2.178</b>	<b>2.202</b>

#### CONTENIDO DE HUMEDAD

		1	2	3	4	5	6
Peso recipiente + suelo húmedo	g						
Peso recipiente + suelo seco	g						
Peso de agua	g						
Peso de recipiente	g	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY
Peso de suelo seco	g						
<b>Contenido de humedad</b>	%	<b>6.6</b>	<b>7.2</b>	<b>8.9</b>	<b>9.0</b>	<b>8.3</b>	<b>7.3</b>

#### RESULTADOS

Densidad húmeda	g/cm <sup>3</sup>	2.114	2.129	2.166	2.177	2.178	2.202
Contenido de humedad	%	6.6	7.2	8.9	9.0	8.3	7.3
Densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	1.983	1.986	1.989	1.997	2.010	2.052
Máxima densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	2.125	2.125	2.125	2.125	2.125	2.125
Óptimo contenido de humedad	%	6.95	6.95	6.95	6.95	6.95	6.95
<b>Grado de compactación</b>	%	<b>93.32%</b>	<b>93.48%</b>	<b>93.60%</b>	<b>93.98%</b>	<b>94.59%</b>	<b>96.96%</b>

<b>Laboratorio</b>		<b>Ing. QA/QC-Producción</b>		<b>Ing. Residente</b>		<b>Supervisión Control Calidad</b>	
Nombre:	D:	Nombre:	D:	Nombre:	D:	Nombre:	D:
Firma:	M:	Firma:	M:	Firma:	M:	Firma:	M:
	A:		A:		A:		A:



## ENSAYO DE DESIDAD DE CAMPO

(NORMA ASTM D - 1556)

### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

OBRA :		CERTIFICADO:
EQUIPO :	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTO PROPULSADO 131 HP	ENSAYADO POR: FMMA
UBICACIÓN :		REVISADO POR: EMCR
		FECHA:

#### DENSIDAD HUMEDA

NUMERO DE ENSAYO		13	14	15	16	17	18
Peso del frasco + arena	g	8098	8002	8055	8084	8074	8146
Peso del frasco + arena que queda	g	3350	3488	3300	3430	3415	3399
Peso de arena empleada	g	4748	4514	4755	4654	4659	4747
Peso de arena en el cono	g	1815	1815	1815	1815	1815	1815
Peso de arena en la excavación	g	2933	2699	2940	2839	2844	2932
Densidad de la arena	g/cm <sup>3</sup>	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48
Volumen del material extraído	cm <sup>3</sup>	1982	1824	1986	1918	1922	1981
Peso del recipiente + suelo + grava	g	4875	4918	4802	5099	4848	4991
Peso del recipiente	g	205	205	205	205	205	205
Peso del suelo + grava	g	4670	4713	4597	4894	4643	4786
Peso referido en la malla 3/4"	g	1053	1233	1041	1236	1283	1186
Peso específico de la grava	g/cm <sup>3</sup>	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Volumen de la grava	cm <sup>3</sup>	417	474	400	475	493	456
Peso de finos	g	3567	3480	3556	3658	3360	3600
Volumen de finos	cm <sup>3</sup>	1565	1349	1586	1443	1428	1525
<b>Densidad Húmeda</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>2.274</b>	<b>2.232</b>	<b>2.294</b>	<b>2.279</b>	<b>2.277</b>	<b>2.274</b>

#### CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso recipiente + suelo húmedo	g						
Peso recipiente + suelo seco	g						
Peso de agua	g						
Peso de recipiente	g	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY	SPEEDY
Peso de suelo seco	g						
<b>Contenido de humedad</b>	<b>%</b>	<b>8.1</b>	<b>6.0</b>	<b>9.0</b>	<b>8.2</b>	<b>8.1</b>	<b>7.9</b>

#### RESULTADOS

Densidad húmeda	g/cm <sup>3</sup>	2.274	2.232	2.294	2.279	2.277	2.274
Contenido de humedad	%	8.1	6.0	9.0	8.2	8.1	7.9
Densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	2.104	2.105	2.105	2.106	2.107	2.108
Máxima densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	2.125	2.125	2.125	2.125	2.125	2.125
Óptimo contenido de humedad	%	6.98	6.98	6.98	6.98	6.98	6.98
<b>Grado de compactación</b>	<b>%</b>	<b>99.01%</b>	<b>99.06%</b>	<b>99.06%</b>	<b>99.11%</b>	<b>99.15%</b>	<b>99.20%</b>

Laboratorio	D:	Ing. QA/QC-Producción	D:	Ing. Residente	D:	Supervisión Control Calidad	D:
Nombre		Nombre		Nombre		Nombre	
Firma	M:	Firma	M:	Firma	M:	Firma	M:
	A:		A:		A:		A:

## ENSAYO DE DESIDAD DE CAMPO

(NORMA ASTM D - 1556)

### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

OBRA :		CERTIFICADO:	
EQUIPO :	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTO PROPULSADO 131 HP	ENSAYADO POR:	FMMA
UBICACIÓN :		REVISADO POR:	EMCR
		FECHA:	

#### DENSIDAD HUMEDA

NUMERO DE ENSAYO		19	20			
Peso del frasco + arena	g	8049	8023			
Peso del frasco + arena que queda	g	3397	3443			
Peso de arena empleada	g	4652	4580			
Peso de arena en el cono	g	1815	1815			
Peso de arena en la excavación	g	2837	2765			
Densidad de la arena	g/cm <sup>3</sup>	1.48	1.48			
Volumen del material extraído	cm <sup>3</sup>	1917	1668			
Peso del recipiente + suelo + grava	g	4857	5003			
Peso del recipiente	g	205	205			
Peso del suelo + grava	g	4652	4798			
Peso retenido en la malla 3/4"	g	1229	1180			
Peso específico de la grava	g/cm <sup>3</sup>	2.60	2.60			
Volumen de la grava	cm <sup>3</sup>	473	454			
Peso de finos	g	3423	3618			
Volumen de finos	cm <sup>3</sup>	1444	1414			
<b>Densidad Húmeda</b>	g/cm <sup>3</sup>	<b>2.292</b>	<b>2.239</b>			

#### CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso recipiente + suelo húmedo	g					
Peso recipiente + suelo seco	g					
Peso de agua	g					
Peso de recipiente	g	SPEEDY	SPEEDY			
Peso de suelo seco	g					
<b>Contenido de humedad</b>	%	<b>8.7</b>	<b>6.1</b>			

#### RESULTADOS

Densidad húmeda	g/cm <sup>3</sup>	2.292	2.239			
Contenido de humedad	%	8.7	6.1			
Densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	2.109	2.110			
Máxima densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	2.125	2.125			
Óptimo contenido de humedad	%	6.90	6.90			
<b>Grado de compactación</b>	%	<b>99.25%</b>	<b>99.29%</b>			

Laboratorio	D:	Ing. QA/QC-Producción	D:	Ing. Residente	D:	Supervisión Control Calidad	D:
Nombre:		Nombre:		Nombre:		Nombre:	
Firma:	M:	Firma:	M:	Firma:	M:	Firma:	M:
	A:		A:		A:		A: