

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**TESIS:**

**EFFECTOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN  
DURANTE EL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO  
EN UN MEJORAMIENTO VIAL EN LA  
PROVINCIA DE HUANCAYO**

**Autor:** Bach. Yonathan Yonny Porta Rutte.

**Asesor:** Ing. Christian Mallaupoma Reyes.

**Línea de Investigación Institucional:** Nuevas Tecnologías y Procesos

**Huancayo-Perú**

**Año: 2023**

**ASESOR**

**ING. CHRISTIAN MALLAUPOMA REYES**

## **DEDICATORIA**

A Dios por ser “la luz y guía en mi vida”. Asimismo, a mis padres por haber forjado en mí con amor incondicional todo lo que soy A mis hermanos por la inspiración en mi vida profesional.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Peruana Los Andes, por darme la oportunidad de ser parte ella y poder desarrollarme con la carrera que me apasiona: A la Escuela Profesional de Ingeniería Civil. Agradecer a los diferentes docentes que brindaron sus conocimientos y su apoyo para permitir que seguir adelante día a día. Del mismo modo agradecer a mi asesor de tesis por brindarme la oportunidad de compartir su experiencia y conocimiento científicos y sobre todo por haberme tenido toda la paciencia del mundo para guiarme durante todo el desarrollo del proyecto de tesis.

## CONSTANCIA DE SIMILITUD

N ° 0044 - FI -2023

La Oficina de Propiedad Intelectual y Publicaciones, hace constar mediante la presente, que la **TESIS**; Titulada:

### EFFECTOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DURANTE EL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO EN UN MEJORAMIENTO VIAL EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO

Con la siguiente información:

Con Autor(es) : **BACH. PORTA RUTTE YONATHAN YONNY**

Facultad : **INGENIERÍA**

Escuela Académica : **INGENIERÍA CIVIL**

Asesor(a) : **ING. MALLAUPOMA REYES CHRISTIAN**

Fue analizado con fecha **13/10/2023** con el software de prevención de plagio (Turnitin); y con la siguiente configuración:

**Excluye Bibliografía.**

X

**Excluye citas.**

X

**Excluye Cadenas hasta 20 palabras.**

X

Otro criterio (especificar)

El documento presenta un porcentaje de similitud de **22** %.

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentajes establecidos en el artículo N°15 del Reglamento de uso de Software de Prevención de Plagio Versión 2.0. Se declara, que el trabajo de investigación: **Si contiene un porcentaje aceptable de similitud.**

Observaciones:

En señal de conformidad y verificación se firma y sella la presente constancia.

Huancayo, 13 de Octubre de 2023.



MTRA. LIZET DORIELA MAÑTARI MINCAMI  
JEFA

Oficina de Propiedad Intelectual y Publicaciones

## HOJA DE CONFORMIDAD DE MIEMBROS DEL JURADO

---

DR. RUBEN DARIO TAPIA SILGUERA  
decano

---

MTRO.RICHARD JHONATHAN CONDORI CASTRO  
Jurado

---

MTRO.CARLOS ALBERTO GONZALES ROJAS  
Jurado

---

MTRO.GIANCARLO FERNANDO MEZA TERBULLINO  
Jurado

---

MG. LEONEL ULTIVEROS PEÑALOZA  
Secretario docente

## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA</b>	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b>	<b>xi</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xiii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>15</b>
<b>PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>15</b>
<b>1.1. Planteamiento del problema</b>	<b>15</b>
<b>1.2. Formulación y sistematización del problema</b>	<b>17</b>
1.2.1. Problema general	17
1.2.2. Problemas específicos	17
<b>1.3. Justificación</b>	<b>17</b>
1.3.1. Practica Social	17
1.3.2. Científica o Teórica	18
1.3.3. Metodológica	18
<b>1.4. Delimitación</b>	<b>18</b>
1.4.1. Espacial	18
1.4.2. Temporal	18
1.4.3. Económica	18
<b>1.5. Limitaciones</b>	<b>18</b>
<b>1.6. Objetivos</b>	<b>19</b>
1.6.1. Objetivo general	19
1.6.2. Objetivos específicos	19
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>20</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>20</b>
<b>2.1. Antecedentes</b>	<b>20</b>
2.1.1. Nacionales	20
2.1.2. Internacionales	22
<b>2.2. Marco conceptual</b>	<b>24</b>

2.2.1. Suelo:	24
2.2.2. Suelos granulares:	26
2.2.3. Comportamiento de los suelos granulares:	27
2.2.4. Propiedad de los suelos granulares:	28
2.2.5. Clasificación de los suelos:	33
<b>2.3. Definición de términos:</b>	<b>52</b>
<b>2.4. Hipótesis:</b>	<b>53</b>
2.4.1. Hipótesis general:	53
2.4.2. Hipótesis específicas:	53
2.4.3. Definición conceptual de las variables:	53
2.4.4. Definición operacional de las variables	54
2.4.5. Operacionalización de las variables	54
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>55</b>
<b>METODOLOGÍA</b>	<b>55</b>
<b>3.1. Método de investigación</b>	<b>55</b>
<b>3.2. Tipo de investigación</b>	<b>55</b>
<b>3.3. Nivel de investigación</b>	<b>55</b>
<b>3.4. Diseño de la investigación</b>	<b>56</b>
<b>3.5. Población y muestra</b>	<b>56</b>
3.5.1. Población	56
3.5.2. Muestra	56
<b>3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos</b>	<b>56</b>
<b>3.7. Procesamiento de la información</b>	<b>57</b>
<b>3.8. Técnicas y análisis de datos</b>	<b>57</b>
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>58</b>
<b>RESULTADOS</b>	<b>58</b>
<b>4.1. Ubicación del proyecto:</b>	<b>58</b>
4.1.1. Características del proyecto:	59
4.1.2. Situación actual del proyecto:	60
<b>4.2. Estudio de mecánica de suelos:</b>	<b>61</b>
4.2.1. Análisis granulométrico:	61
4.2.2. Limite líquido:	62
4.2.3. Limite plástico:	63
<b>4.3. Análisis de la muestra:</b>	<b>65</b>

4.3.1. Determinación del tipo de suelo:	65
4.3.2. Resultados del ensayo Proctor Modificado:	70
4.3.3. Análisis de los resultados del ensayo Proctor modificado.	79
<b>CAPÍTULO V</b>	<b>81</b>
<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>81</b>
<b>5.1. La densidad seca máxima:</b>	<b>81</b>
<b>5.2. El óptimo contenido de humedad:</b>	<b>82</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>86</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>87</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>88</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>90</b>
<b>Anexo N° 01: Matriz de consistencia</b>	<b>91</b>
<b>Anexo N° 02: Matriz de Operacionalización de variable</b>	<b>93</b>
<b>Anexo N° 03: Panel fotográfico</b>	<b>95</b>
<b>Anexo N° 04: Ensayos de laboratorio</b>	<b>97</b>
<b>Anexo N° 05: Planos</b>	<b>109</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 ASTM D 1557 Proctor Modificado	49
Tabla 2 Métodos de compactación	49
Tabla 3 Operacionalización de las variables	54
Tabla 4 Métodos Análisis granulométrico por tamizado	66
Tabla 5 Porcentajes retenidos	67
Tabla 6 Energía de compactación para diferentes números de golpes	69
Tabla 7 Contenido de humedad y densidad seca para una energía de 27.36kg.cm/cm <sup>3</sup>	70
Tabla 8 Contenido de humedad y densidad seca para una energía de 28.34kg.cm/cm <sup>3</sup>	71
Tabla 9 Contenido de humedad y densidad seca para una energía de 29.32kg.cm/cm <sup>3</sup>	72
Tabla 10 Contenido de humedad y densidad seca para una energía de 30.29kg.cm/cm <sup>3</sup>	73
Tabla 11 Contenido de humedad y densidad seca para una energía de 31.27kg.cm/cm <sup>3</sup>	74
Tabla 12 Contenido de humedad y densidad seca para una energía de 32.25kg.cm/cm <sup>3</sup>	75
Tabla 13 Contenido de humedad y densidad seca para una energía de 33.23kg.cm/cm <sup>3</sup>	76
Tabla 14 Contenido de humedad y densidad seca para una energía de 34.20kg.cm/cm <sup>3</sup>	77
Tabla 15 Contenido de humedad y densidad seca para una energía de 35.18kg.cm/cm <sup>3</sup>	78
Tabla 16 Contenido de humedad y densidad seca para una energía de 36.16kg.cm/cm <sup>3</sup>	79
Tabla 17 Resumen de los parámetros del ensayo Proctor modificado	80
Tabla 18 Energía de compactación - densidad seca máxima	81
Tabla 19 Resumen de los parámetros del ensayo Proctor modificado	82
Tabla 20 Prueba estadística 1 donde se muestra el nivel de significado bilateral	85
Tabla 21 Prueba estadística 2 donde se muestra el nivel de significado bilateral	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. . Estado de los pavimentos en la ciudad de Huancayo	16
Figura 2. “Rango del límite líquido e índice de plasticidad”	35
Figura 3. “Clasificación de suelos AASHTO”	35
Figura 4. “Carta de plasticidad”	37
Figura 5. Clasificación de suelos SUCS	37
Figura 6. Curvas de compactación a 12, 25 y 56	58
Figura 7. Ubicación distrital del proyecto”	58
Figura 8. Jr. Arica tramo Jr. Amazonas – Jr. Huallaga,Jr. Huancayo-Jr.Junin	59
Figura 9. Entrega del material para la sub base del mejoramiento vial del Jr. Arica	60
Figura 10. Curva “Martillo de 10Lb o 4.54Kg”	68
Figura 11. Molde de 0.075pie <sup>3</sup> o 2124cm <sup>3</sup>	69
Figura 12. Niveles de la correlacion entre contenido de humedad y densidad seca	84

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Relación densidad seca – contenido de humedad	43
Gráfico 2 Curvas de compactación a 12, 25 y 56 golpes	43
Gráfico 3 Curva de compactación obtenida del ensayo Proctor modificado.	45
Gráfico 4 Curva granulométrica	66
Gráfico 5 Relación humedad – densidad para una energía de 27.36kg.cm/cm <sup>3</sup> ”	70
Gráfico 6 Relación humedad – densidad para una energía de 28.34kg.cm/cm <sup>3</sup>	71
Gráfico 7 Relación humedad – densidad para una energía de 29.32kg.cm/cm <sup>3</sup> ”	72
Gráfico 8 Relación humedad – densidad para una energía de 30.29kg.cm/cm <sup>3</sup>	73
Gráfico 9 Relación humedad – densidad para una energía de 31.27kg.cm/cm <sup>3</sup>	74
Gráfico 10 Relación humedad – densidad para una energía de 32.25kg.cm/cm <sup>3</sup>	75
Gráfico 11 Relación humedad – densidad para una energía de 33.23kg.cm/cm <sup>3</sup>	76
Gráfico 12 Relación humedad – densidad para una energía de 34.20kg.cm/cm <sup>3</sup>	77
Gráfico 13 Relación humedad – densidad para una energía de 35.18kg.cm/cm <sup>3</sup>	78
Gráfico 14 Relación humedad – densidad para una energía de 36.16kg.cm/cm <sup>3</sup>	79
Gráfico 15 Energía de compactación – densidad seca máxima	82
Gráfico 16 Energía de compactación con el óptimo contenido de humedad	83
Gráfico 17 Diagrama de correlacion densidad seca	83
Gráfico 18 Diagrama de correlacion contenido de humedad	84

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como problema general: ¿qué efectos tiene la energía de compactación en el ensayo Proctor modificado en el mejoramiento vial de la provincia de Huancayo?, el objetivo general fue: determinar los efectos que tiene la energía de compactación en el ensayo Proctor modificado en el mejoramiento vial de la provincia de Huancayo. y la hipótesis general que se verificó fue: existen unos efectos significativos entre el efecto que tiene la energía de compactación en el ensayo Proctor modificado y el mejoramiento vial de la provincia de Huancayo.

El estudio asumió de forma general los preceptos generales del método científico, bajo un enfoque cuantitativo, nivel descriptivo y diseño pre experimental. En cuanto a la población: estuvo conformada por el material de suelo entre los Jr. Arica tramo: Jr. Amazonas-Jr. Huallaga, Jr. Huancayo-Jr. Junín y la muestra que se utilizaron fueron 10 elementos ensayos de laboratorio.

Todo esto llevó a la conclusión de esa investigación donde se determinó la influencia de la energía de compactación en el ensayo Proctor modificado del mejoramiento vial del Jr. Arica, de la cual se concluye que hasta una energía de compactación de 33.23Kg.cm/cm<sup>3</sup>, la densidad seca máxima y el óptimo contenido de humedad aumentan hasta 2.106Gr/cm<sup>3</sup> y 9.25% respectivamente, pero si seguimos incrementando la energía de compactación, estos parámetros llegan a disminuir, por lo tanto, este tipo de suelo (arena arcillosa con mucha grava) solo puede alcanzar una densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad de 2.106Gr/cm<sup>3</sup> y 9.25% respectivamente a una energía de 33.23 Kg.cm/cm<sup>3</sup>.

**Palabras clave:** energía de compactación, ensayo Proctor modificado.

## ABSTRACT

The present investigation had as a general problem: How does the compaction energy influence the modified proctor test of the Jr. Arica Road improvement? The general objective was: To determine the influence of the compaction energy on the modified proctor test of the road improvement of Jr. Arica. and the general hypothesis that was verified was: The compaction energy positively influenced up to a certain number of blows in the modified proctor test of the Jr. Arica Road improvement.

The general method of investigation was scientific, the type of investigation was quantitative, the level of investigation was descriptive and the design of the investigation: pre-experimental, with respect to the population: it was made up of the soil material between the Jr. Arica stage: Jr. Amazonas-Jr. Huallaga, Jr. Huancayo-Jr. Junín and the sample that were used were 10 elements laboratory tests.

All this led to the conclusion of that investigation where the influence of the compaction energy was determined in the modified proctor test of the Jr. Arica road improvement, from which it is concluded that up to a compaction energy of  $33.23 \text{ Kg.cm/cm}^3$ , the maximum dry density and the optimal moisture content increase up to  $2.106 \text{ Gr/cm}^3$  and  $9.25\%$  respectively, but if we continue increasing the compaction energy, these parameters decrease, therefore, this type of soil (clayey sand with a lot of gravel) can only reach a maximum dry density and optimal moisture content of  $2.106 \text{ Gr/cm}^3$  and  $9.25\%$  respectively at an energy of  $33.23 \text{ Kg.cm/cm}^3$ .

**Keywords:** compaction energy, modified proctor test.

## INTRODUCCIÓN

Esta investigación busco con los resultados de los ensayos de compactación de suelos por el método Proctor modificado y determinar la influencia de diferentes energías de compactación para alcanzar una máxima densidad seca y un óptimo contenido de humedad que nos ayude a aumentar la resistencia y disminuir las deformaciones de la sub base para evitar las fallas anteriormente mencionadas. Para esto se tomará como base la obra: “mejoramiento vial del Jr. Arica tramos: Jr. Amazonas - Jr. Huallaga, Jr. Huancayo- Jr. Junín, distrito de San Jerónimo de Tunan-provincia de Huancayo-departamento de Junín” el cual será ejecutado por la Municipalidad Provincial de Huancayo en el mes de setiembre, y para una mejor sistematización de esta se dividió en 5 capítulos:

**Capítulo I:** Esto incluye el planteamiento del problema, su formulación y sistematización, así como la delimitación de la investigación. El capítulo también cubre la justificación del estudio, las limitaciones que puedan encontrarse y los objetivos de la investigación.

En el **Capítulo II** se exponen las bases de la investigación, comenzando por el marco teórico. Esta sección proporciona los antecedentes del estudio, incluido el marco conceptual, la definición de términos y las hipótesis y variables.

En el **Capítulo III** se explica la metodología de la investigación, incluyendo una explicación del tipo de investigación, método de investigación, diseño, nivel, población y muestra. Además, se discuten técnicas e instrumentos de recolección de información, así como las técnicas de procesamiento y análisis de datos.

En el **Capítulo IV** del estudio presenta los resultados en relación con los objetivos e hipótesis planteados.

En el **Capítulo V** se presenta una discusión en profundidad de los resultados, en relación con la información de antecedentes y otra literatura relevante.

Por último, se presentan referencias para lecturas adicionales y demás material complementario como apéndices o anexos.

Bach. Porta Rutte Yonathan Yonny.

# CAPÍTULO I

## PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Planteamiento del problema

La construcción de pistas y veredas, es una de las obras civiles que han mejorado la calidad de vida de la población en el mundo, tanto en las zonas urbanas como rurales. Pero con el pasar del tiempo se han observado que este tipo de obras llegan a presentar fallas como hundimientos, baches, charcos, etc., estos problemas se presentan cuando la sub base no cuenta con una compactación adecuada ya que esto aumenta su resistencia y disminuye sus deformaciones. De no brindar la debida solución a estos problemas, provocaría una deficiencia en su funcionamiento y brindara una mala calidad de vida a sus usuarios.

La ciudad de Huancayo no es ajena a este tipo de problemas ya que se puede observar muchas pistas y veredas tanto principales como secundarias que presentan problemas a poco tiempo de su funcionamiento, debido a que no se realizó la compactación adecuada en la sub base, lo cual ocasiona las molestias de sus usuarios debido a las fallas que se mencionaron anteriormente sobre todo en las épocas de lluvia.

La adición de humedad al suelo ayuda a separar las partículas y mejora el grado de compactación mediante una mayor energía de compactación. Sin embargo, cantidades excesivas de agua pueden provocar una disminución de la eficiencia durante la compactación. Para lograr la máxima densidad seca, es necesario encontrar la cantidad óptima de humedad para una energía de compactación y un tipo de suelo en particular. Nuestra tarea consiste en analizar los resultados obtenidos al realizar pruebas Proctor con diferentes energías de compactación para determinar una explicación coherente. Para lograrlo, se realizarán 10 pruebas para establecer el número adecuado de golpes, pasadas o peso del equipo necesarios para cumplir con las especificaciones técnicas de densidad seca.

Es importante este proceso de compactación puesto que se refleja en el estado de conservación de obras viales, específicamente en pavimentaciones

para esto mostramos como evidencia el siguiente cuadro extraído de la gerencia transporte del municipio de Huancayo.

Tabla 1

Estado de conservación de las vías pavimentadas en la ciudad de Huancayo

Unidad					
	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo	Total
Metros	20,456.96	8,964.10	12,961.22	63,851.63	106,233.91
Kilómetros	15.63	7.96	13.95	44.52	82.06
Porcentajes	18.96	9.21	12.95	54.63	95.75

Fuente de la municipalidad de Huancayo

Una mala compactación de los suelos para obras viales tiene sus efectos en los pavimentos causando accidentes y daños a los vehículos según la imagen de la fuente del diario correo,



Figura 1. Estado de los pavimentos en la ciudad de Huancayo

Fuente: diario correo, 2023

Estas fallas de los pavimentos en las principales pistas y puentes generan malestar e incluso accidentes de tránsito. Al respecto, la Dirección Regional de Transportes solicitará a PROVÍAS un informe de la situación que se afronta en el sector

## **1.2. Formulación y sistematización del problema**

### **1.2.1. Problema general**

- ¿Qué relación existe entre la energía de compactación durante el ensayo Proctor modificado en el mejoramiento vial de la provincia de Huancayo?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- a) ¿Qué relación existe entre la energía de compactación durante el ensayo Proctor modificado en la máxima densidad seca en la provincia de Huancayo?
- b) ¿Qué relación existe entre la energía de compactación durante el ensayo Proctor modificado en el máximo contenido de humedad en la provincia de Huancayo?

## **1.3. Justificación**

### **1.3.1. Practica Social**

Existe una deficiencia en la investigación sobre el efecto de la energía de compactación en el logro del mayor grado de densidad seca en los suelos. Esta densidad es necesaria para la aplicación de técnicas de mejora del campo, que implican que el suelo se densifique mediante varias pasadas o el peso de los equipos de compactación. Esta energía se conoce como energía mecánica.

Mediante la realización de pruebas específicas ganaremos un nivel de confiabilidad en cuanto al impacto de la energía de compactación. Estas pruebas implicarán determinar el número adecuado de pasadas del equipo, número de golpes o peso del equipo necesario para cumplir con los requisitos técnicos para lograr la densidad seca deseada. Esta investigación servirá para lograr mayor eficacia en la obra “mejoramiento vial del Jr. Arica tramos: Jr. Amazonas - Jr. Huallaga, Jr. Huancayo- Jr. Junín, distrito de San Jerónimo de Tunan-provincia de Huancayo-departamento de Junín” y mejorar la calidad de vida de sus usuarios.

### **1.3.2. Científica o Teórica**

El método científico sirvió de base para las expresiones que sustentan los modelos matemáticos empleados en esta investigación. Estas mismas expresiones se utilizaron durante todo el desarrollo del estudio y han sido validadas mediante pruebas rigurosas.

### **1.3.3. Metodológica**

La información recopilada y analizada servirá de refuerzo para esta y otras indagaciones comparables, ya que aumentan la estructura teórica y/o el conocimiento existente sobre el tema examinado.

## **1.4. Delimitación**

### **1.4.1. Espacial**

La delimitación espacial corresponde a:

- **Departamento** : Junín.
- **Provincia** : Huancayo.
- **Distrito** : San Jerónimo de Tunan
- **Lugar** : Jr. Arica-tramo: Jr. Amazonas-Jr. Huallaga, Jr. Huancayo-Jr. Junín

### **1.4.2. Temporal**

La investigación se llevó a cabo durante el período comprendido entre julio de 2022 y diciembre de 2022.

### **1.4.3. Económica**

Todos los costos asociados con la realización de esta investigación fueron asumidos únicamente con financiación interna.

## **1.5. Limitaciones**

La principal limitación que se presentó fue de naturaleza económica. Esto se debe a que no hubo financiación externa disponible, lo que dejó el proyecto sólo como una propuesta.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo general**

- Determinar la relación que tiene la energía de compactación durante el ensayo Proctor modificado en el mejoramiento vial de la provincia de Huancayo.

### **1.6.2. Objetivos específicos**

- a) Determinar la relación que existe entre la energía de compactación durante el ensayo Proctor modificado en la máxima densidad seca en la provincia de Huancayo.
- b) Determinar la relación que existe entre energía de compactación durante el ensayo Proctor modificado en el máximo contenido de humedad en la provincia de Huancayo.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

##### 2.1.1. Nacionales

- a) **Chirinos, (2019)** realizó la investigación “Efecto de la energía de compactación en la densidad seca máxima y contenido óptimo de humedad del suelo granular de la cantera el gavilán, 2018” en la Universidad Privada del Norte, con la finalidad de optar el título profesional de ingeniero civil. El objetivo de esta investigación fue examinar el material encontrado en la cantera El Gavilán y determinar cómo la energía de compactación afecta la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo. Para llevar a cabo esta investigación, primero se clasificó el suelo utilizando el sistema AASHTO (Asociación Estadounidense de funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte) mediante pruebas generales. Para compactar el suelo se utilizó el método de Compactación Proctor Modificado, seguido de la prueba de granulometría. Se descubrió que el número de golpes por capa varió entre 56 y 61 para cada ensayo, siendo el punto de partida determinado por la norma técnica ASTM D-1557. Los resultados indican que el material granular requiere de una energía de compactación mayor a la establecida por la norma técnica ASTM D-1557 para lograr la máxima densidad seca y un contenido de humedad óptimo, resultando en una variación de 0.97 kg/cm<sup>2</sup> en la energía de compactación. Los resultados del estudio revelan que el contenido de humedad óptimo del 3,5% y una densidad seca máxima de 2,18 gr/cm se lograron con una energía de compactación de 28,24 kg/cm<sup>2</sup>, correspondiente a 58 golpes por capa.
- b) **Lilique, (2018)** realizó la investigación “Influencia de la humedad de compactación en el comportamiento volumétrico de los suelos arcillosos”, en la Universidad Nacional de Cajamarca. La investigación tuvo como objetivo evaluar el impacto de la humedad

durante la compactación sobre el comportamiento volumétrico de suelos arcillosos. El estudio utilizó muestras de suelo arcilloso con diversos grados de plasticidad y se realizaron pruebas de granulometría y plasticidad para clasificar el suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. Se llevó a cabo una prueba de compactación Proctor especialmente adaptada para determinar la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo. Para realizar una prueba de hinchamiento única, las muestras se compactaron con el contenido de humedad óptimo, así como con un 1%, 2% y 3% por encima y por debajo del óptimo. Luego, estas muestras se sumergieron en agua durante 96 horas y se documentaron las mediciones de hinchamiento a lo largo del tiempo. Los resultados experimentales revelan la fluctuación en la tasa de expansión entre suelo arcilloso de alta plasticidad, CH, que oscila entre 0,25% y 5,52%, y suelo arcilloso de baja plasticidad, CL, que oscila entre 0,68% y 5,52%. Después de realizar análisis estadísticos, se generaron modelos de regresión polinómica. Luego de analizar los datos se descubrió que las variables humedad durante la compactación y tiempo tuvieron un coeficiente determinista del 98% en la expansión de suelos arcillosos CH y CL. La expansión restante del 2% podría atribuirse a otras variables incontrolables o errores aleatorios. Los modelos matemáticos establecieron una correlación directa entre las variables de humedad de compactación y expansión, demostrando que la expansión más significativa ocurrió en suelos arcillosos CH de alta plasticidad y suelos arcillosos CL de baja plasticidad que fueron compactados con niveles de humedad inferiores a la humedad óptima.

- c) **Toledo, (2017)** realizó la investigación “propuesta metodológica para verificación del grado de compactación de suelos con un deflectómetro de impacto liviano (LWD)” en la Universidad San Ignacio de Loyola, con la finalidad de optar el título profesional de ingeniero civil. La presente tesis se realizó en los distritos de Surco y Puente Piedra, ubicados en Lima. La investigación realizada tuvo

como objetivo establecer una correlación entre el módulo del equipo LWD y el grado de compactación para próximos proyectos de edificación o pavimentación. Para evaluar el suelo se emplearon diversos métodos como granulometría, límites de plasticidad, Proctor modificado, cono de arena y el módulo LWD. Se adoptaron dos enfoques diferentes para relacionar el grado de compactación con el módulo LWD en Surco y Puente Piedra. En Surco se utilizó el parámetro del módulo resultante para lograr un grado específico de compactación, mientras que en Puente Piedra los resultados mostraron variación en cada punto de análisis. La investigación arrojó resultados interesantes. En el distrito de Surco, el grado de compactación osciló entre 99% y 106%, mientras que el módulo LWD osciló entre 86 y 121 MPa. Por el contrario, en el distrito de Puente Piedra el grado de compactación fue de 98.67%, 95.17%, 89.36% y 86.7% y los módulos LWD fueron de 27, 26, 21 y 20 MPa. Se puede concluir que para un proyecto en el distrito de Surco es necesario un módulo entre 86 y 106 MPa para lograr un grado de compactación de al menos el 99%. En contraste, en el terreno de Puente Piedra, los módulos LWD variaron de manera similar según el grado de compactación.

### **2.1.2. Internacionales**

a) **Salazar, (2019)** realizó la investigación “Correlación entre el ensayo de CBR y el ensayo del Proctor para determinar la resistencia del suelo de la parroquia ambatillo alto en el sector de san pedro” en la Universidad Técnica de Ambato, con la finalidad de optar el título profesional de ingeniero civil. El objetivo de la investigación es conocer la capacidad de resistencia del suelo, su nivel de humedad y el peso unitario seco del suelo compactado. Esto se logró mediante varias pruebas, incluidas CBR y Proctor, realizadas en muestras de suelo obtenidas del área designada. Al realizar estas pruebas, se confirmó la hipótesis. Además, se estableció una correlación entre cada prueba. Los datos recolectados durante el trabajo de campo fueron analizados, tabulados e interpretados, dando como resultado la determinación

de los valores de resistencia al corte, contenido de humedad y peso unitario seco de cada muestra. Estos valores permiten conocer las propiedades del suelo y sus posibles aplicaciones en el sector mencionado.

- b) **Ortiz, (2018)** realizó la investigación “Estudio del fenómeno del crushing en el ensayo de compactación de un proctor normal” en la Universidad Católica de Colombia, con la finalidad de optar el título profesional de ingeniero civil. El propósito de este estudio es examinar el efecto de aplastamiento en una prueba Proctor típica, confirmada por los procedimientos estándar INV E141-07. En la primera prueba de laboratorio, se siguió el curso de acción habitual, donde se tomaron cinco muestras Proctor en cuatro niveles de humedad y se correlacionaron entre sí para validar la precisión del proceso y establecer una guía para el nivel óptimo de humedad y la densidad seca máxima de el material bajo investigación. Posteriormente, se realizarán cinco pruebas Proctor adicionales, con una modificación del procedimiento para evitar el exceso de apisonamiento o compactación excesiva de la muestra, lo que puede resultar en la fractura de partículas conocida como fenómeno de aplastamiento. Esto dará como resultado datos sobre la humedad óptima ajustada y la densidad seca máxima. Después de realizar las pruebas de laboratorio, los datos recopilados se ingresarán en hojas de cálculo. Estas hojas de cálculo luego se utilizarán para comparar gráficamente las densidades secas máximas y los niveles óptimos de humedad obtenidos de una prueba supervisora normal, realizada según la norma INV E141-07, con los obtenidos de una prueba supervisora normal que simuló el fenómeno de aplastamiento. Los resultados de estas dos pruebas se compararán y analizarán, analizando específicamente la humedad óptima y las densidades secas máximas. El objetivo de este análisis comparativo es determinar los efectos e implicaciones del efecto de aplastamiento en el sitio.

c) **Huancas, (2020)** realizó la investigación “Incremento de la energía de compactación y su influencia en la máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad de suelos granulares de canteras en Chile” en la Universidad Nacional de Chile. El propósito de este artículo fue revisar investigaciones realizadas en Chile sobre la correlación entre el número de golpes y la prueba de Proctor modificada, y cómo afecta las densidades secas máximas del suelo granular cuando se combina con el nivel de humedad ideal. La norma ASTM D 1557 prescribe que 56 golpes usando el método C producirán la mayor densidad y el contenido de humedad óptimo, al eliminar la fricción y la disposición de las partículas del peso del suelo. Esta norma ha sido adaptada para suelo peruano, con indicadores específicos para la prueba Proctor modificada. También se han realizado investigaciones en suelos granulares de nuestro país, las cuales concluyeron que la densidad máxima o contenido de humedad óptimo no se alcanza después de 56 golpes. Se han examinado estos hallazgos y se ha establecido que la cantidad correcta de energía para la compactación se consigue con más de 56 golpes.

## **2.2. Marco conceptual**

### **2.2.1. Suelo:**

El suelo es el sustrato físico sobre el que se realizan diversos trabajos, siendo de gran importancia sus propiedades físico-químicas, particularmente las mecánicas. Como sistema multifásico, se compone de gases, líquidos y sólidos. Los parámetros importantes utilizados para identificar el suelo incluyen la granulometría, que se refiere a la distribución del tamaño de las partículas en el agregado, y la plasticidad, que describe la variación en la consistencia del agregado en función de su contenido de agua. El contenido de agua es un factor crítico que afecta la consistencia del suelo. El agua juega un papel importante en la configuración y composición del suelo. Cuando el suelo está seco, se vuelve duro y compacto, lo que dificulta la penetración de las raíces de las

plantas. Por otro lado, cuando el suelo se satura de agua, se vuelve blando y suelto, lo que puede provocar erosión y otros problemas. La cantidad de agua en el suelo determina su consistencia, lo que afecta sus propiedades y funciones. Las clases granulométricas son categorías primarias de tamaño de partículas del suelo que se utilizan para clasificar los suelos según sus características. Estas clases incluyen arena, limo y arcilla.

La consistencia del suelo difiere según los distintos niveles de contenido de agua. Cuando el suelo está seco, suele ser más compacto y denso, lo que dificulta el crecimiento de las raíces de las plantas. Cuando el suelo está húmedo, se vuelve más suelto y poroso, lo que puede provocar problemas como erosión y lixiviación de nutrientes. La consistencia del suelo afecta las propiedades y funciones del suelo, incluida la capacidad de retención de agua, la disponibilidad de nutrientes y la aireación. La cantidad de agua en el suelo afecta su porosidad, que a su vez afecta su capacidad para retener agua y aire. Los suelos con baja porosidad tienen una baja capacidad de retención de agua, lo que puede provocar estrés hídrico en las plantas.

Por otro lado, las clases granulométricas se clasifican según el tamaño de las partículas del suelo. Las principales clases granulométricas son arena, limo y arcilla. La consistencia del suelo afecta la distribución de las partículas del suelo, lo que a su vez afecta el comportamiento y las propiedades de cada clase granulométrica. Por ejemplo, el suelo con alto contenido de arcilla tiende a ser más compacto y denso, lo que puede dificultar la penetración de las raíces de las plantas. Los suelos con un alto contenido de arena, por otro lado, tienden a ser más porosos y con buen drenaje, lo que puede ser beneficioso para el crecimiento de las plantas. Las diferencias en la consistencia del suelo afectan el comportamiento y las propiedades de cada clase granulométrica, lo que a su vez afecta las propiedades y funciones del suelo.

Además, el rango de tamaños de partículas en el suelo varía desde gránulos más grandes, como arena y grava, hasta gránulos más finos, como limo y arcilla. Además, las diferencias en la consistencia del suelo basadas en el contenido de agua diferencian las clases granulométricas primarias

mencionadas anteriormente. Los parámetros de estado primarios incluyen la humedad, que se refiere al contenido de agua del agregado, y la densidad, que se refiere a la compacidad de las partículas constituyentes (V. Pérez 2004).

### **2.2.2. Suelos granulares:**

Los suelos granulares se caracterizan por su carácter suelto y poco cohesivo. Tienen una alta permeabilidad, lo que significa que permiten que el agua fluya fácilmente. Esta propiedad los hace ideales para su uso en sistemas de drenaje y campos sépticos. Además, los suelos granulares tienen una alta capacidad de carga, lo que significa que pueden soportar cargas pesadas sin comprimirse. Sin embargo, su naturaleza laxa también los hace propensos a asentarse y a ser inestables con el tiempo.

Hay tres tipos principales de suelos granulares: suelos de grano grueso, suelos de grano fino y suelos mixtos. Los suelos de grano grueso están compuestos de partículas más grandes como arena y grava. Se utilizan comúnmente en proyectos de construcción como carreteras y cimientos de edificios. Los suelos de grano fino, por el contrario, están compuestos de partículas más pequeñas como limo y arcilla. Estos suelos se utilizan comúnmente en aplicaciones de paisajismo y jardinería. Los suelos mixtos contienen partículas gruesas y finas y se utilizan en una variedad de aplicaciones.

Los suelos granulares tienen una amplia gama de aplicaciones, incluso como materiales de cimentación para edificios, carreteras y otros proyectos de infraestructura. También se utilizan comúnmente en aplicaciones de paisajismo y jardinería debido a su capacidad para promover el drenaje y prevenir el encharcamiento. Sin embargo, también existen desafíos asociados con el uso de suelos granulares. Uno de los principales desafíos es la inestabilidad y asentamiento de estructuras construidas sobre suelos granulares. Esto puede provocar daños estructurales y problemas de seguridad. Además, también se deben considerar la erosión y las preocupaciones ambientales relacionadas con su uso.

Es así que se tiene que los suelos granulares son aquellos que exhiben fuerzas intergranulares o de atracción insignificantes, lo que resulta en un comportamiento mecánico observable. Esta clasificación engloba diversos materiales como rocas, grava y arena. Dentro de esta categoría, los suelos granulares se pueden clasificar en materiales densos o sueltos, según el estado de tensión y la estructura del suelo, según lo determinado por la densidad relativa  $D_r$ , el índice de vacíos  $e$  o la porosidad  $n$ . Estos suelos no poseen cohesión alguna y están compuestos por rocas, grava, arena y limo, como lo señaló S. Pérez (2002). Según AASHTO, los suelos granulares son aquellos que contienen 35% o menos de material fino que pasa el No .200 tamiz y se clasifican en los grupos A-1, A-2 y A-3.

### **2.2.3. Comportamiento de los suelos granulares:**

Los suelos granulares están compuestos de partículas que no están unidas químicamente entre sí y están poco empaquetadas. La disposición de las partículas afecta el comportamiento de los suelos granulares bajo estrés. El empaquetamiento de partículas se puede cuantificar utilizando parámetros como la porosidad y la proporción de huecos. La porosidad es la relación entre el volumen de huecos y el volumen total de suelo, mientras que la relación de huecos es la relación entre el volumen de huecos y el volumen de sólidos. El empaquetamiento de partículas también se puede describir por el grado de compactación, que es la relación entre la densidad seca del suelo y su densidad seca máxima. El grado de compactación afecta la resistencia al corte de los suelos granulares.

Asimismo, los suelos granulares exhiben un comportamiento mecánico único en comparación con los suelos cohesivos. A diferencia de los suelos cohesivos, los suelos granulares no tienen un límite elástico definido y exhiben endurecimiento por deformación. El endurecimiento por deformación es el aumento de la resistencia y rigidez del suelo al aumentar la deformación. La resistencia al corte de los suelos granulares se ve afectada por factores como el tamaño, la forma y el entrelazamiento de las partículas. Las partículas más grandes proporcionan una mayor resistencia al corte, mientras que las partículas angulares se entrelazan

mejor que las partículas redondeadas. El ángulo de fricción interna es una medida de la resistencia al corte de suelos granulares y se ve afectado por las características y el empaquetamiento de las partículas.

Por otro lado, los factores ambientales como el contenido de humedad, la temperatura y la tasa de carga pueden afectar el comportamiento de los suelos granulares. El contenido de humedad puede afectar el empaquetamiento de las partículas e influir en la resistencia al corte de los suelos granulares. La humectación puede provocar una disminución del ángulo de fricción interna, mientras que el secado puede provocar un aumento. La temperatura puede afectar la rigidez y resistencia de los suelos granulares, especialmente a bajas temperaturas. A bajas temperaturas, la rigidez y resistencia de los suelos granulares disminuyen debido al aumento de la viscosidad del fluido poroso. La tasa de carga también puede afectar el comportamiento de los suelos granulares, donde tasas de carga más altas dan como resultado una menor resistencia al corte.

Además, la porosidad y el peso específico son factores importantes para comprender el comportamiento del suelo. La relación tensión-deformación de los materiales granulares también afecta su rigidez, que está influenciada por sus propiedades granulométricas. Además, la introducción de fluidos en los poros del suelo, conocidos como suelo saturado, afecta el comportamiento mecánico del material (Lizcano 2007).

#### **2.2.4. Propiedad de los suelos granulares:**

Los suelos granulares son suelos que están compuestos de partículas individuales que son visibles a simple vista. Estas partículas suelen tener forma angular o redondeada y se clasifican según su distribución de tamaño de grano. Los suelos de grano grueso, como la grava y la arena, tienen partículas más grandes, mientras que los suelos de grano fino, como el limo y la arcilla, tienen partículas más pequeñas. Los suelos granulares tienen varias propiedades que los distinguen de otros tipos de suelos, incluyendo alta permeabilidad, baja compresibilidad y alta resistencia al corte.

Las propiedades físicas de los suelos granulares son importantes para comprender su comportamiento en diferentes aplicaciones de ingeniería. La forma y gradación de las partículas en suelos granulares pueden afectar su porosidad, proporción de huecos y permeabilidad. Por ejemplo, los suelos con tamaños de partículas bien graduados tienden a tener mayor permeabilidad y menor compresibilidad que los suelos con tamaños de partículas mal graduados. La proporción de huecos y la porosidad de los suelos granulares también afectan su resistencia y compresibilidad, así como su capacidad para transmitir agua.

Las propiedades de ingeniería y el comportamiento de los suelos granulares son fundamentales para diseñar estructuras seguras y eficaces. La capacidad de carga y las características de asentamiento de los suelos granulares son consideraciones importantes para el diseño de cimientos, mientras que la presión lateral del suelo y el diseño del muro de contención son importantes para la estabilidad del talud y el soporte de la excavación. El análisis de la estabilidad de taludes y los métodos de estabilización también son importantes para garantizar la seguridad de las estructuras construidas sobre suelos granulares o cerca de ellos. Comprender las propiedades y el comportamiento únicos de los suelos granulares es esencial para diseñar estructuras que sean seguras, duraderas y rentables. Así, los suelos granulares son aquellos donde las partículas no están densamente empaquetadas y pueden separarse fácilmente, una característica que se hace evidente cuando estos suelos se sumergen en agua. Las arenas y las gravas son ejemplos comunes de suelos granulares, mientras que algunos sistemas de clasificación también pueden considerar que los limos son granulares si sus partículas no son menores de 0,002 mm. La característica más distintiva de los suelos granulares es el tamaño de sus partículas. Para realizar un análisis granulométrico en suelos con partículas mayores a 0,05 mm se utiliza el tamizado. En comparación con los suelos de grano fino, los suelos de grano grueso generalmente poseen una mayor permeabilidad y una menor compresibilidad. Además, los suelos bien graduados tienden a ser menos permeables, más duraderos y menos comprimibles que sus contrapartes mal graduadas (Lizcano 2007).

Aunque no se puede asignar un único valor numérico a toda la curva, la granulometría del suelo tiene un significado significativo. El punto inicial de especificación es el tamaño efectivo, también conocido como  $D_{10}$ , que se refiere al tamaño de la partícula cuando el diez por ciento del suelo es el más fino. Este tamaño efectivo establece un límite inferior razonable para indicar la presencia de partículas en el suelo. Sin embargo, definir sólo dos puntos en la curva de tamaño de partículas puede proporcionar información limitada sobre el rango de tamaños de partículas y no revela la forma de la curva. Algunos suelos pueden contener pocos intermedios y una mezcla de partículas gruesas y finas, lo que da como resultado un tamaño de grano con huecos. Para evitar la posibilidad de que la granulometría contenga huecos, se establece un coeficiente de curvatura, denominado  $C_c$ . Este coeficiente equivale a  $(D_{30})^2 / (D_{10} D_{60})$  cuando se toma un punto central de 0.30 en la curva granulométrica. El coeficiente de curvatura debe estar entre los límites de 1 y 3 para que el suelo se considere bien graduado, además de tener un coeficiente de uniformidad significativamente alto. Si bien es posible establecer un número ilimitado de puntos en la curva granulométrica, para fines de ingeniería es suficiente identificar solo los valores de  $D_{10}$ ,  $D_{60}$  y  $C_c$ . La densidad relativa y los parámetros granulométricos son muy prácticos en entornos de laboratorio al clasificar arena y grava. En el campo, también se usan comúnmente para tomar mediciones como proporciones de vacíos o densidades in situ, como en pozos poco profundos o rellenos compactados. Las propiedades técnicas del suelo se pueden definir de forma simplista correlacionándolas con parámetros granulométricos. Debe reconocerse que, de hecho, las características pueden establecerse mediante el uso de muestras alteradas que no consideran las condiciones presentes in situ. Sin embargo, la precisión de la clasificación de la distribución del tamaño de las partículas está muy limitada por el hecho de que la arena muy compactada y la arena muy poco compactada se clasifican de la misma manera, a pesar de tener características distintas.

Usar la densidad únicamente como parámetro no es un método ideal, ya que puede resultar complicado de comprender. Tomemos por ejemplo

una arena con una densidad seca de 1600 kg/m<sup>3</sup>; podría ser una arena densa y mal graduada o una arena suelta y bien graduada. Para evitar esta ambigüedad, es aconsejable determinar la densidad relativa de una arena específica comparándola con los estados más compactos y más dispersos. La densidad relativa,  $D_r$ , se define en relación con las proporciones de vacíos de la siguiente manera:

$$D_r = \frac{E_{max} - E}{E_{max} - E_{min}} \dots (1)$$

Donde:

$E_{max}$ : relación de vacíos de la arena en la condición más suelta posible.

$E_{min}$ : relación de vacíos correspondiente a la condición más densa posible.

#### **A. Límites de consistencia o de Atterberg de los suelos:**

Las cualidades de un suelo que ha sido constituido por partículas finamente divididas, como una arcilla no estructurada, dependen en gran medida de la humedad presente. Alrededor de cada grano se forma una película de agua y el espesor de esta película puede determinar los distintos comportamientos del material. Cuando el contenido de agua es alto, el material es esencialmente una suspensión concentrada sin resistencia estática al esfuerzo cortante. A medida que el agua disminuye, la resistencia al esfuerzo cortante aumenta hasta alcanzar un estado plástico en el que la sustancia se vuelve fácilmente moldeable. Si el suelo continúa secándose, se transforma en un sólido y puede soportar importantes esfuerzos de compresión y tensión.

Atterberg (1911) estableció los límites que definen los cuatro estados potenciales en los que pueden existir materiales extremadamente finos y granulares. Estos límites se establecieron sin ningún motivo o base específica que no sea su propia discreción y son los siguientes:

La naturaleza del suelo observado se puede inferir mediante el análisis de varios factores, como el límite líquido (L.L.), el límite plástico (L.P.) y la contracción (L.C.). Estas mediciones proporcionan información valiosa sobre las propiedades del suelo, en particular su liquidez, plasticidad y susceptibilidad a cambios de volumen.

Los límites de consistencia se conocen como límite líquido, límite plástico y límite de contracción. El límite líquido es el punto que separa los estados líquido y plástico. El límite plástico es el punto que divide los estados plástico y semisólido, y el límite de contracción es el punto que separa los estados semisólido y sólido. Estos límites son objetivos importantes a considerar:

- El proceso de calcular los límites para una muestra de suelo se puede dividir en tres categorías: determinar el límite para líquidos, evaluar el límite para plásticos y medir el límite de contracción. Este procedimiento es crucial para cualquier estudiante que aprenda sobre la mecánica de suelos y sus propiedades.
- Mediante el uso de la experimentación, se pueden determinar los diversos límites de la consistencia de un suelo.
- El proceso de determinación de diversos índices de consistencia de un suelo implica el uso de fórmulas específicas (Borfitz, 2008).

El contenido de humedad del suelo es el determinante de su límite líquido. Esto se basa en el porcentaje de humedad presente en el suelo cuando está seco y el punto en el que el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido. Este punto se mide por el nivel de humedad necesario para combinar dos mitades de una pasta de tierra fluida, que mide aproximadamente 12 mm de largo y 1 cm de espesor, en el fondo de una hendidura que las divide. Esto se consigue dejando caer la cápsula 25 veces desde una altura de 1 cm a un ritmo de 2 golpes por segundo. Por el contrario, el límite plástico es cuando el suelo pasa de un estado

plástico a un estado semisólido, y también se define como un porcentaje del peso del suelo seco. Este punto se establece como el nivel más bajo de humedad en el que barras cilíndricas de suelo, con diámetros que van disminuyendo paulatinamente, comienzan a agrietarse cuando alcanzan los 3mm de diámetro (Borfitz, 2008).

#### **2.2.5. Clasificación de los suelos:**

##### **A. Sistema de clasificación AASHTO:**

La Asociación Estadounidense de funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte (AASHTO) ha desarrollado un sistema de clasificación para carreteras y autopistas basado en sus características de diseño y uso. Este sistema, conocido como Sistema de Clasificación AASHTO, tiene tres categorías principales: caminos rurales, carreteras rurales y calles y carreteras urbanas. Cada categoría se divide a su vez en subcategorías basadas en diversas características de diseño. En este ensayo, exploraremos cada categoría en detalle, describiendo sus características y elementos de diseño. La primera categoría del sistema de clasificación AASHTO son los caminos rurales, que se caracterizan por un bajo volumen de tráfico, baja velocidad de diseño y anchos estrechos de carriles y arcenes. Estos caminos suelen estar ubicados en áreas rurales y se utilizan para acceso local o con fines agrícolas. Debido a su bajo volumen de tráfico, están diseñados con carriles y arcenes estrechos, lo que puede dificultar la navegación de vehículos más grandes. Por ejemplo, muchos caminos rurales en Estados Unidos tienen sólo 20 pies de ancho, lo cual es significativamente más estrecho que los carriles de 12 pies que se encuentran en la mayoría de las carreteras urbanas. A pesar de su diseño estrecho, los caminos rurales son fundamentales para brindar acceso a áreas remotas y apoyar las economías locales.

La segunda categoría del sistema de clasificación AASHTO son las carreteras rurales, que están diseñadas para un mayor volumen de tráfico y una mayor velocidad de diseño que las carreteras rurales. Estas carreteras suelen tener carriles y arcenes más anchos, lo que las

hace más adecuadas para viajes de alta velocidad y vehículos más grandes. Las carreteras rurales se utilizan a menudo para viajes de larga distancia entre pueblos y ciudades y son fundamentales para respaldar el comercio y el crecimiento económico en las zonas rurales. Por ejemplo, muchas carreteras rurales de Estados Unidos han sido designadas como parte del Sistema Nacional de Carreteras, que es una red de carreteras esenciales para la economía, la defensa y la movilidad del país.

La tercera categoría del sistema de clasificación AASHTO son las calles y carreteras urbanas, que están diseñadas para un alto volumen de tráfico y una alta velocidad de diseño. Estas carreteras suelen estar ubicadas en áreas urbanas y se utilizan para desplazamientos, tráfico comercial y transporte público. Las calles y autopistas urbanas tienen carriles y arcenes anchos, lo que las hace adecuadas para desplazamientos a alta velocidad y tráfico intenso. Sin embargo, también requieren características de diseño complejas, como intersecciones, semáforos y pasos de peatones, para adaptarse a las necesidades de los residentes urbanos. Por ejemplo, muchas calles urbanas de Estados Unidos tienen aceras y carriles exclusivos para bicicletas para promover el transporte activo y mejorar la seguridad de peatones y ciclistas.

Así, la clasificación actual de AASHTO se puede encontrar en la Tabla 1 e identifica siete grupos principales para la clasificación de suelos, denominados A-1 a A-7. Los materiales del suelo que pertenecen a los grupos A-1, A-2 y A-3 son de naturaleza granular y menos del 35% de las partículas pasan a través del tamiz No. 200. Por el contrario, los suelos con más del 35% de partículas que pasan por el tamiz No. 200 se clasifican como pertenecientes a los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. Estos tipos de suelo están compuestos en gran medida por materiales limosos y arcillosos. La Figura 2 ilustra el rango de límite líquido e índice de plasticidad para suelos clasificados en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7.

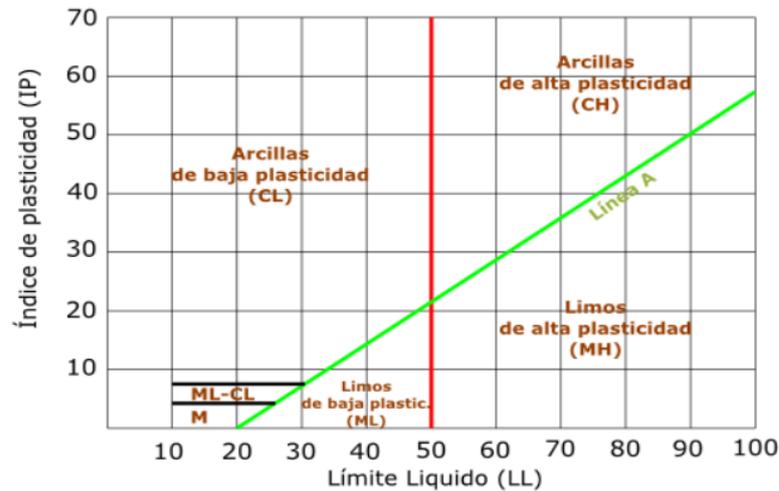


Figura 2. “Rango del límite líquido e índice de plasticidad”  
Fuente: ICCE, 2003.

Para determinar la calidad del suelo, particularmente el material de subbase de una carretera, es necesario incluir un valor numérico conocido como índice de grupo (IG) que tiene en cuenta los distintos grupos y subgrupos del suelo. El índice de grupo (IG) se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$IG = (P_{200} - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(P_{200} - 15)(IP - 10)$$

Donde:

P<sub>200</sub>: Es el porcentaje de suelo que pasa el tamiz No 200.

LL: Es el Límite Líquido.

IP: Es el índice de Plasticidad.

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz N° 200)						Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz N° 200)				
	A-1		A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Grupo:	A-1-a	A-1-b									
Porcentaje que pasa: N° 10 (2mm) N° 40 (0,425mm) N° 200 (0,075mm)	50 máx 30 máx 15 máx	- 50 máx 25 máx	- 51 mín 10 máx	-			35 máx	-			
Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40 Límite líquido Índice de plasticidad	-		-	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín 11 mín	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín (2) 11 mín
Constituyentes principales	Fracmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa			Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Características como subgrado	Excelente a bueno						Pobre a malo				

Figura 3. “Clasificación de suelos AASHTO”  
Fuente: Bañón Blasquez, 200.

## **B. Sistema de clasificación (SUCS):**

Originalmente propuesto por Casagrande en 1942 con el propósito de la construcción de aeropuertos por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército durante la Segunda Guerra Mundial, el sistema unificado de clasificación de suelos ha sido revisado a través de una colaboración con la Oficina de Reclamación de EE. UU. en 1952. Hoy en día, este sistema se emplea ampliamente. por ingenieros (designación ASTM D-2487; ASTM, 1991), y los suelos clasificados se dividen en dos categorías:

- Suelos Los suelos clasificados como de grano grueso generalmente están compuestos de grava y arena, y menos del 50% del suelo puede pasar a través del tamiz N° 200. Los símbolos que se utilizan para agrupar estos tipos de suelo comienzan con G, S o ambos. La letra G indica un suelo con grava o grava, mientras que la letra S se utiliza para suelo arenoso o arenoso.
- Los suelos que se consideran de grano fino son aquellos que tienen al menos el 50% de sus partículas pasando por el tamiz N° 200. Los símbolos asignados a estos grupos comienzan con la letra M, que significa limos inorgánicos, y C, que significa arcillas inorgánicas. Por otro lado, los limos y arcillas orgánicos se representan con la letra O. Para suelos altamente orgánicos como turba y lodo, se utiliza el símbolo Pt. Otros símbolos incluidos en esta clasificación son W, que significa suelos bien graduados, P para suelos mal graduados, L para suelos de baja plasticidad y H para suelos de alta plasticidad.

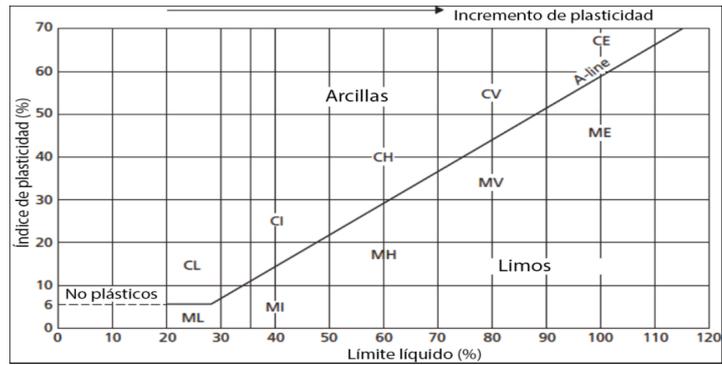


Figura 4. “Carta de plasticidad”  
Fuente: ICCE ingeniería, 2003.

DIVISIONES PRINCIPALES		Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO	
SUELOS DE GRANO GRUESO	GRAVAS	Gravas limpias	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue:  Cu = $D_{60}/D_{10} > 4$ Cc = $(D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3	
		(sin o con pocos finos)	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.		
	Gravas con finos	(apreciable cantidad de finos)	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.	Límites de Atterberg debajo de la línea A con IP < 4.  Límites de Atterberg sobre la línea A con IP > 7.	
			Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.		
	ARENAS	Arenas limpias	(pocos o sin finos)	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	Cu = $D_{60}/D_{10} > 6$ Cc = $(D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3  Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW.  Límites de Atterberg debajo de la línea A con IP < 4.  Límites de Atterberg sobre la línea A con IP > 7.
				Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	
		Arenas con finos	(apreciable cantidad de finos)	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	
				Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.	
	SUELOS DE GRANO FINO	Limos y arcillas:		Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas limosas o arcillosa, o limos arcillosos con ligera plasticidad.	
				Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.	
			Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.		
Límite líquido menor de 50		Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.			
			Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.		
Limos y arcillas:		Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.			
Más de la mitad del material pasa por el tamiz número 200		Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.			
Suelos muy orgánicos					

Figura 5. Clasificación de suelos S.U.C.S

### C. Compactación de suelos:

Antes de que se puedan realizar obras viales y de construcción, el terreno debe someterse a una compactación, que es el proceso de aumentar su resistencia superficial. Esto se logra aplicando una cantidad específica de energía al material que provocará una

disminución notable en su volumen vacío. Los objetivos de la compactación incluyen:

- Para garantizar la seguridad de una estructura o de las cargas que se transportan, es imperativo que el objeto en cuestión posea la resistencia suficiente para soportar su propio peso, así como el peso de las cargas antes mencionadas.
- La cantidad de asentamiento o deformación causada por una carga no debe ser tan significativa como para causar daño al suelo o a la estructura que soporta.
- Es importante que los parámetros del tema en cuestión no se reduzcan ni se exageren más allá de límites razonables.
- La propiedad de ser resistente e incompresible es una característica esencial que debe mantenerse en todo momento.
- Para que cumpla el propósito previsto, el material debe poseer las características adecuadas de drenaje o permeabilidad (Luengo, 1998).

La técnica de compactación del suelo es el proceso de aumentar la densidad del suelo reduciendo el espacio poroso entre las partículas del suelo. Esto se logra aplicando presión mecánica al suelo utilizando equipos especializados. La técnica de compactación del suelo funciona reduciendo el volumen de aire y agua en el suelo, lo que a su vez aumenta la capacidad de carga y la estabilidad del suelo. Los principios detrás de la técnica de compactación del suelo se basan en el hecho de que un suelo más denso puede soportar más peso y estrés que un suelo suelto. Los factores que afectan la técnica de compactación del suelo incluyen el tipo de suelo, el contenido de humedad y el tipo de equipo de compactación utilizado. Por ejemplo, los suelos de grano fino, como la arcilla, requieren más esfuerzo de compactación que los suelos de grano grueso, como la arena.

La técnica de compactación del suelo tiene numerosos beneficios y aplicaciones. Uno de los principales beneficios de la técnica de compactación del suelo es la mejora de la estabilidad del

suelo y de su capacidad de carga. Esto es particularmente importante en proyectos de construcción e ingeniería civil donde el suelo debe poder soportar estructuras y equipos pesados. La técnica de compactación del suelo también mejora la fertilidad del suelo y el crecimiento de las plantas al proporcionar un entorno más estable y rico en nutrientes para el crecimiento de las plantas. Además, la técnica de compactación del suelo ayuda a prevenir la erosión y la escorrentía del suelo al reducir la cantidad de agua que puede penetrar en el suelo.

Existen diferentes métodos y equipos utilizados en la técnica de compactación del suelo. La compactación estática implica aplicar una carga estática al suelo, mientras que la compactación dinámica implica el uso de una fuerza dinámica, como un martillo o un peso, para compactar el suelo. La compactación vibratoria, por otro lado, utiliza una placa o rodillo vibratorio para compactar el suelo. La elección del equipo de compactación y del método utilizado depende de factores como el tipo de suelo, el contenido de humedad y el nivel deseado de compactación. Los rodillos se utilizan comúnmente en la técnica de compactación del suelo y vienen en diferentes tipos, como rodillos de ruedas lisas, rodillos de pata de oveja y rodillos de neumáticos. Las placas y apisonadores también se utilizan en la técnica de compactación de suelos y son particularmente eficaces para compactar áreas pequeñas y espacios de difícil acceso. Por otro lado, la medida cuantitativa de la compactación está determinada por la densidad seca del suelo, que es el peso de las partículas sólidas del suelo por unidad de volumen, expresado en  $[\text{gr}/\text{cm}^3]$  o  $[\text{Kg}/\text{dm}^3]$ . El contenido de humedad del suelo es el peso del agua contenida en él, expresado como porcentaje del peso del suelo seco. Para determinar la densidad seca del suelo, primero se debe calcular la densidad húmeda del suelo y el porcentaje de humedad (Páramo, 2002).

#### **D. Características de la compactación de suelos:**

La compactación del suelo es el proceso de reducir el volumen del suelo aplicando presión, lo que resulta en un aumento de la densidad del suelo. Esta técnica se utiliza comúnmente en la industria de la construcción para mejorar la resistencia y estabilidad del suelo para cimientos de edificios, carreteras y otras estructuras. Existen dos tipos de técnicas de compactación del suelo: estáticas y dinámicas. La compactación estática implica el uso de maquinaria pesada para aplicar presión al suelo, mientras que la compactación dinámica implica el uso de una máquina vibratoria para compactar el suelo. Los equipos utilizados en la compactación de suelos incluyen rodillos, compactadores y placas vibratorias. Las características de la compactación del suelo están determinadas por los cambios físicos que se producen durante el proceso. La compactación del suelo se ve afectada por varios factores como el tipo de suelo, el contenido de humedad y la energía de compactación. El nivel de compactación alcanzado depende del tipo de suelo y de la cantidad de humedad presente en el mismo. Los efectos de la compactación del suelo sobre las propiedades del suelo incluyen un aumento de la densidad del suelo, una disminución de la porosidad del suelo y una reducción de la permeabilidad del suelo. Estos cambios pueden afectar el crecimiento y la salud de las plantas y también pueden provocar una mayor erosión del suelo. La compactación de suelos tiene diversas aplicaciones en diferentes industrias. En la industria agrícola, la compactación del suelo se utiliza para mejorar la estructura del suelo, aumentar el rendimiento de los cultivos y reducir la erosión del suelo. En la industria de la construcción, la compactación del suelo se utiliza para mejorar la resistencia y estabilidad del suelo para cimientos de edificios, carreteras y otras estructuras. Sin embargo, la compactación del suelo también tiene limitaciones, como el potencial de degradación del suelo y una mayor erosión del suelo. Las prácticas adecuadas de manejo del suelo, como la rotación de cultivos, la labranza de

conservación y cultivos de cobertura, pueden ayudar a mitigar los efectos negativos de la compactación del suelo (Luengo, 1998).

#### **E. El proceso de densificación:**

La densificación del suelo puede ser causada por una variedad de factores, incluidos factores naturales, antropogénicos y biológicos. Los factores naturales que contribuyen a la densificación del suelo incluyen el clima, la topografía y la vegetación. Por ejemplo, las lluvias intensas pueden hacer que las partículas del suelo se compacten, reduciendo el espacio poroso y aumentando la densidad del suelo. De manera similar, las pendientes pronunciadas pueden causar erosión del suelo, lo que también puede conducir a su compactación. Los factores antropogénicos como el cambio de uso de la tierra, las prácticas agrícolas y la urbanización también pueden contribuir a la densificación del suelo. Por ejemplo, las prácticas de uso intensivo de la tierra, como la labranza y el uso de maquinaria pesada, pueden provocar la compactación del suelo, lo que reduce su porosidad y aumenta su densidad. De manera similar, la urbanización puede conducir a la compactación del suelo como resultado del aumento del tráfico peatonal y de vehículos. Los factores biológicos como los organismos del suelo y las raíces de las plantas también pueden contribuir a la densificación del suelo. Por ejemplo, las lombrices de tierra pueden hacer que las partículas del suelo se compacten a medida que excavan en el suelo, mientras que las raíces de las plantas también pueden provocar la compactación del suelo a medida que crecen y se expanden.

La densificación del suelo puede tener impactos significativos en las propiedades físicas del suelo. Por ejemplo, la estructura, la porosidad y la permeabilidad del suelo pueden verse afectadas por la densificación del suelo. La estructura del suelo se refiere a la disposición de las partículas del suelo, y la densificación del suelo puede alterar la estructura del suelo, reduciendo la porosidad y la permeabilidad del suelo. Esto, a su vez, puede afectar la capacidad de retención de agua y nutrientes, así como la compactación y la

erosión del suelo. La compactación y la erosión del suelo también pueden verse afectadas por la densificación del suelo. El suelo compactado tiene menos capacidad de absorber agua, lo que provoca un aumento de la escorrentía y la erosión. De manera similar, la erosión del suelo puede provocar su compactación, ya que la pérdida de la capa superior del suelo puede hacer que las partículas del suelo se apiñen más.

Existe una variedad de técnicas que se pueden utilizar para medir y gestionar la densificación del suelo. Las pruebas de densidad aparente del suelo, penetrómetro y penetrómetro de cono se pueden utilizar para medir la densidad y la porosidad del suelo, proporcionando información valiosa sobre las propiedades físicas del suelo. La aireación del suelo, la labranza y los cultivos de cobertura también se pueden utilizar para gestionar la densificación del suelo, mejorar su porosidad y reducir su compactación. De manera similar, las enmiendas del suelo, como la aplicación de materia orgánica y cal, también se pueden utilizar para gestionar la densificación del suelo, mejorar su estructura y reducir su compactación.

Por otro lado, el acto de realizar pruebas de compactación implica la aplicación de energía mecánica, la cual incluye diversos factores como el número de golpes, altura de caída, número de capas y peso del pisón. Además, la forma en que se entrega esta energía puede diferir, incluidos métodos como amasado, presión estática o impacto. A lo largo de este proceso se determina la orientación de las partículas, modificando en última instancia las propiedades mecánicas tanto del suelo como de los materiales estabilizados. Una curva de compactación, también conocida como curva de Proctor, se genera trazando la densidad seca frente a la humedad (como se muestra en la Gráfico 1). La porción ascendente inicial de la curva se conoce como rama seca, mientras que el punto más alto indica la "densidad seca máxima" y la humedad óptima. La siguiente porción descendente se conoce como rama húmeda (Páramo 2002).

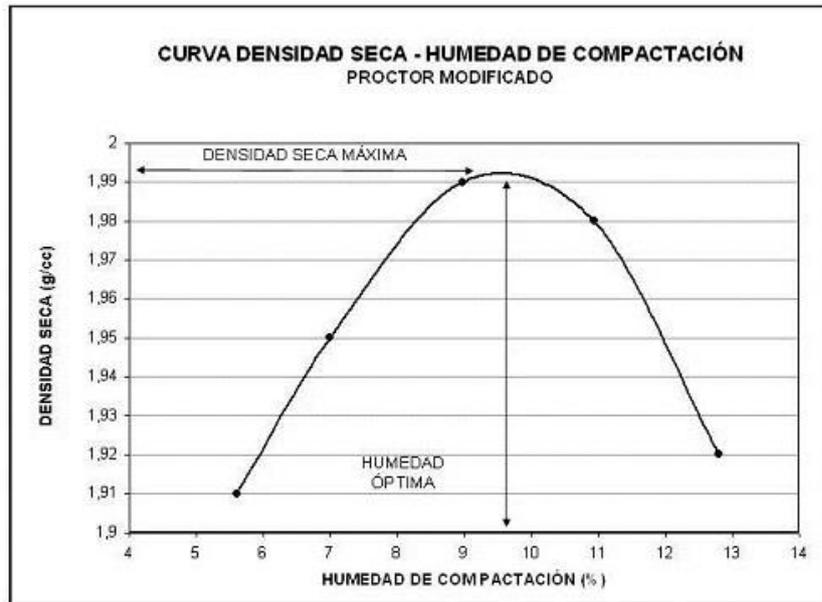


Gráfico 1 Relación densidad seca – contenido de humedad  
Fuente: Jorge Paramo, 2002.

A medida que el suelo se comprime con distintos niveles de fuerza, los puntos que representan la mayor densidad forman una línea que es inequívocamente paralela a la curva de saturación. Además, las ramas húmedas de estos puntos exhiben una notable congruencia y paralelismo con la curva de saturación. El gráfico 2 muestra las curvas de compactación de tres niveles diferentes de fuerza. A medida que se intensifica el grado de compactación mecánica, también aumenta la densidad seca máxima, mientras que disminuye el contenido de humedad ideal.

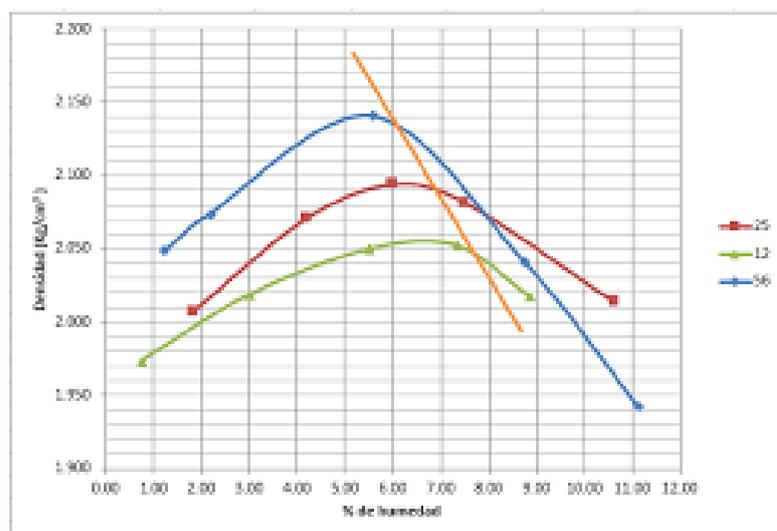


Gráfico 2 Curvas de compactación a 12, 25 y 56 golpes  
Fuente: Jorge Paramo, 2002.

El proceso de comprimir una muestra de suelo utilizando energía para aumentar su peso seco unitario y disminuir el volumen de huecos se conoce como compactación del suelo. Este método ofrece varios beneficios, que incluyen:

- Al aumentar la resistencia al corte, este método también mejora la capacidad de carga tanto de las vías como de las subestructuras.
- La prevención o reducción de la compresibilidad y el asentamiento.
- Se consigue la disminución de espacios vacíos.
- Esta función particular permite gestionar y regular las posibles expansiones y contracciones que puedan resultar de la congelación. (Camacho, 2007).

#### **F. Contenido de humedad y densidad seca:**

Lograr el peso específico máximo en un material depende de su contenido de humedad, que es mejor cuando el nivel de humedad es ideal. Normalmente, este nivel de humedad cae entre un 15% y 20% por debajo del límite líquido del suelo (Fournier 2011).

- Contenido de humedad. - La representación del contenido de humedad de una muestra de suelo se denota con la letra  $w$ . Esta medida se refiere a la proporción del peso del agua en un volumen específico de suelo en comparación con el peso de sus sólidos.

$$W\% = \frac{W_w}{W_s} * 100 \dots (2)$$

Donde:

- $W\%$ : Contenido de humedad (%).
  - $W_w$ : Peso del agua (gr).
  - $W_s$ : Peso de los sólidos (gr).
- Peso específico o densidad. - El peso específico ( $\gamma$ ) es el peso del suelo por volumen unitario.

$$\gamma = \frac{W}{V} \dots (3)$$

La ecuación mencionada anteriormente proporciona un valor de peso que se conoce como peso específico húmedo. Este valor se calcula tomando en consideración el peso de los sólidos, el volumen total y el contenido de humedad. También se expresa en términos de estos factores:

$$\gamma = \frac{W_s(1+W)}{V} \dots (4)$$

Comprender la compactación del suelo requiere comprender el peso específico seco o la densidad seca  $\gamma_d$ . Este valor es el peso por unidad de volumen de suelo seco, sin agua presente. Para determinar la gravedad específica seca de una muestra de suelo, se debe conocer su contenido de humedad y su gravedad específica húmeda. Este valor se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+W} \dots (5)$$

En el gráfico 03, se puede observar un aumento en el contenido de humedad conduce a un aumento del peso específico seco hasta que llega a un punto en el que comienza a disminuir. Este punto es donde se logra el peso específico seco máximo ( $\gamma_d$  Max.) en la prueba de compactación. El eje horizontal que corresponde a este vértice significa el contenido de humedad ideal ( $w_{opt}$ ). Si el contenido de humedad supera este nivel óptimo, habrá una disminución en el valor del peso específico seco.

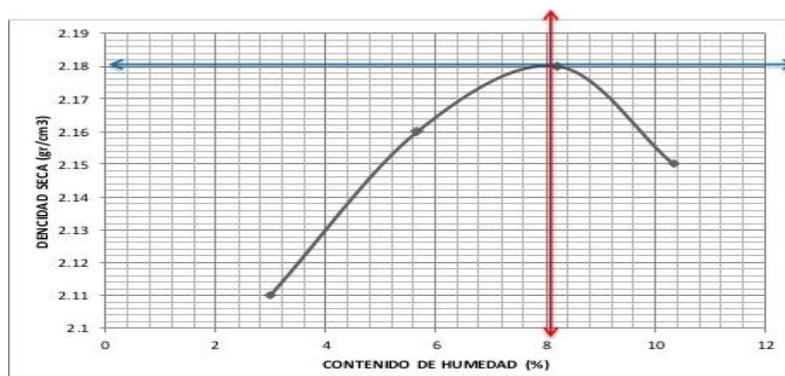


Gráfico 3 Curva de compactación obtenida del ensayo Proctor modificado. Fuente: Jorge páramo ,2002.

## **G. La energía de compactación:**

La energía de compactación es la energía necesaria para compactar las partículas del suelo y reducir los huecos de aire entre ellas. Es un factor crítico para lograr la densidad y resistencia del suelo deseadas para diversos proyectos de construcción e ingeniería. La compactación del suelo es necesaria para mejorar la capacidad de carga del suelo, reducir el asentamiento y prevenir la erosión del suelo. La cantidad de energía de compactación necesaria para lograr la densidad y resistencia deseadas del suelo depende de varios factores, incluido el tipo de suelo, el contenido de humedad y el equipo de compactación. Por ejemplo, los suelos cohesivos requieren menos energía de compactación que los suelos no cohesivos, mientras que los suelos húmedos requieren más energía de compactación que los suelos secos.

El método estándar para medir la energía de compactación es la prueba de compactación Proctor, que consiste en compactar una muestra de suelo en un molde estandarizado utilizando una cantidad controlada de energía. La prueba mide la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo de la muestra de suelo. Además de la prueba de compactación Proctor, la energía de compactación se puede controlar mediante ajustes en el equipo de compactación, como el peso y la velocidad de los rodillos. Los sistemas de control de retroalimentación también se pueden utilizar para optimizar la energía de compactación en tiempo real. Estos sistemas utilizan sensores para controlar la densidad del suelo y ajustar la energía de compactación en consecuencia.

La energía de compactación se utiliza en diversos proyectos de construcción e ingeniería, como la construcción de carreteras y el diseño de cimientos. En la construcción de carreteras, la energía de compactación se utiliza para lograr la densidad y resistencia del suelo deseadas para una calzada estable. En el diseño de cimientos, la energía de compactación se utiliza para mejorar la capacidad de carga del suelo y evitar el asentamiento. Sin embargo, existen limitaciones

a la eficacia de la energía de compactación. Por ejemplo, puede que no sea suficiente superar algunas condiciones del suelo, como los suelos no cohesivos. En tales casos, pueden ser necesarias técnicas alternativas de mejora del suelo, como la estabilización y el refuerzo del suelo (Crespo, 2004).

Juárez señala que la fórmula para determinar la energía específica de compactación es la siguiente:

$$Ec = \frac{N*n*W*h}{V} \dots (6)$$

Donde:

- $E_c$  = Energía específica (kg.cm/cm<sup>3</sup>).
- $N$  = Número de golpes por capa.
- $n$  = Número de capas de suelo.
- $W$  = peso del pisón (kg).
- $h$  = Altura de caída libre del pisón (cm).
- $V$  = Volumen total del suelo compactado (cm<sup>3</sup>).

Proctor inicialmente estableció los datos utilizados para calcular los niveles de energía precisos en la prueba. Estos valores se consideraron adecuados para replicar los pesos secos que podrían lograrse con equipos que se vendían comercialmente durante esa época en particular.

Según la investigación de Juárez, Proctor pudo demostrar que al seguir un proceso específico y utilizar muestras de suelo consistentes, existe un nivel óptimo de humedad conocido como el "óptimo" que produce el peso específico seco más alto posible alcanzable mediante el procedimiento de compactación (Juárez, 2005).

La energía específica, también conocida como energía de compactación, es la energía mecánica proporcionada al suelo por unidad de volumen. Hay dos factores importantes que afectan el proceso de compactación: el contenido de agua del suelo antes de iniciar el proceso y la energía específica aplicada durante el mismo (López, 2009).

## **H. Ensayo de compactación Proctor:**

La prueba de compactación Proctor es un procedimiento crucial en la mecánica de suelos, que sirve como medio para estudiar y regular la compactación del suelo. Esta prueba permite determinar los niveles óptimos de compactación del suelo en relación con su contenido de humedad, lo cual es vital para el inicio rentable y eficiente de los trabajos, así como para el desarrollo hidráulico y estructural del suelo. Hay dos pruebas de Proctor estandarizadas, a saber, la "Prueba de Proctor normal" y la "Prueba de Proctor modificada", siendo la principal diferencia entre las dos la cantidad de energía utilizada, que se logra variando el peso del manipulador y la altura de la caída. en la Prueba de Proctor Modificada.

Las dos pruebas, que llevan el nombre del ingeniero Ralph R. Proctor en 1933, se utilizan para determinar la densidad más alta posible que los suelos o agregados pueden alcanzar en condiciones de humedad específicas. Sin embargo, es importante señalar que la prueba Proctor está restringida a suelos que pasan completamente a través de la malla No. 4 o tienen una retención máxima del 10% en esta malla mientras la atraviesan por completo. En los casos en que el material quede retenido en la malla de 3/8", se debe utilizar la prueba Proctor estándar para determinar la humedad óptima y el peso volumétrico seco máximo. Es imperativo evitar multas excesivas en estas pruebas.

La Sociedad Estadounidense para Pruebas de Materiales (ASTM) ha establecido dos regulaciones principales que describen las pautas para estas pruebas: ASTM 0-698 para la prueba Proctor estándar y ASTM 0-1557 para la prueba Proctor modificada. Mientras, en España, la UNE 103-500-94 marca la normativa para el ensayo de compactación Proctor Normal, y la UNE 103-501-94 se encarga de definir las pautas para el ensayo Proctor Modificado (Rosetti, Begliardo, 2005). Esta prueba tiene por objeto:

a. El objetivo es establecer el mayor peso posible de una sustancia en su forma seca y determinar el nivel ideal de humedad al que se debe realizar la compactación.

b. Para determinar la cantidad de compactación lograda durante la construcción o después del establecimiento de caminos, aeropuertos y calles, se puede comparar el peso volumétrico registrado en el sitio con el peso volumétrico máximo de Proctor.

Tabla 1  
ASTM D 1557 Proctor Modificado

ASTM D 1557 Proctor Modificado	
Ec = Energía de Compactación	= 56,250 Lb.ft/ft <sup>3</sup>
W = Peso del martillo	= 10 lb
h = Altura de caída del martillo	= 18 pulgadas
N = Número de golpes por capas	= depende del molde
n = Número de Capas	= 5
V = Volumen de molde cm <sup>3</sup>	= depende del método de prueba

Fuente: Cismid, 2010.

Tabla 2  
Métodos de compactación

Características	Método			
	A	B	C	
Molde:	- Volumen [cm <sup>3</sup> ]	944	944	2124
	- Diámetro [mm]	101.6	101.6	152.4
Pisón	- Masa [kg]	4.54	4.54	4.54
	- Altura de caída [mm]	457	457	457
Número de capas de compactación	5	5	5	
Número de golpes por capa	25	25	56	
Energía de compactación [kJ×m/m <sup>3</sup> ]	2700	2700	2700	
Suelo a usarse	- Pasa el tamiz Nº 4	3/8 plg	¾ plg	
Criterio de selección:	- Porcentaje retenido en el tamiz Nº 4	< 20 %	> 20 %	
	- Porcentaje retenido en el tamiz 3/8 plg.		< 20 % > 20 %	
	- Porcentaje retenido en el tamiz 3/4 plg.		< 30 %	

Fuente: Raúl Hidalgo, 2007.

Para realizar la prueba supervisora, se compacta un volumen específico de suelo en un cilindro. Se ajusta la humedad del suelo hasta alcanzar el punto de máxima compactación, que es la humedad óptima para la compactación. La prueba se puede realizar a diferentes niveles de energía de compactación, incluidos normal, intermedio y

modificado, según los requisitos del proyecto en cuestión (Lambe y Whitman, 2012).

#### **I. Óptimo contenido de humedad y densidad seca máxima:**

El contenido de humedad óptimo (OMC) se refiere al contenido de humedad del suelo que da como resultado una densidad seca máxima (MDD) bajo un esfuerzo de compactación determinado. La OMC es un parámetro crucial en la compactación del suelo porque afecta la trabajabilidad, densidad y estabilidad del suelo. Los factores que influyen en el OMC incluyen el tipo de suelo, el equipo de compactación y el esfuerzo de compactación. Por ejemplo, los suelos de grano fino, como la arcilla, requieren más agua para lograr OMC que los suelos de grano grueso, como la arena. Los equipos de compactación, como rodillos y placas vibratorias, también afectan el OMC al aplicar diferentes niveles de esfuerzo de compactación. Los métodos utilizados para determinar el OMC incluyen la prueba de compactación Proctor y la prueba de compactación Proctor modificada. La prueba Proctor implica compactar muestras de suelo con diferentes contenidos de humedad y medir sus densidades secas para determinar el OMC. La prueba Proctor modificada es similar a la prueba Proctor, pero implica utilizar un mayor esfuerzo de compactación.

La densidad seca máxima (MDD) se refiere a la densidad más alta que un suelo puede alcanzar bajo un esfuerzo de compactación y un contenido de humedad determinados. MDD es un parámetro importante en la compactación del suelo porque determina la capacidad de carga y la estabilidad del suelo. Los factores que influyen en el MDD incluyen el tipo de suelo y el esfuerzo de compactación. Por ejemplo, los suelos de grano fino, como la arcilla, tienen un MDD más alto que los suelos de grano grueso, como la arena, porque tienen una gravedad específica más alta. El esfuerzo de compactación también afecta el MDD porque un mayor esfuerzo conduce a mayores densidades. Los métodos utilizados para determinar MDD incluyen la

prueba de compactación Proctor y la prueba de compactación Proctor modificada, que son los mismos que se utilizan para determinar OMC.

La relación entre OMC y MDD son parámetros interdependientes en la compactación del suelo. La base teórica para la relación entre OMC y MDD es que la densidad del suelo aumenta a medida que aumenta el contenido de humedad hasta un cierto punto (OMC), más allá del cual la densidad disminuye. Esta relación se representa gráficamente mediante la curva de compactación, que muestra la densidad seca del suelo con diferentes contenidos de humedad. La curva de compactación tiene tres regiones: la inicial, la intermedia y la final. En la región inicial, la densidad seca aumenta rápidamente al aumentar el contenido de humedad. En la región intermedia, la densidad seca aumenta lentamente al aumentar el contenido de humedad hasta alcanzar un valor máximo en OMC. En la región final, la densidad seca disminuye al aumentar el contenido de humedad. Comprender la relación entre OMC y MDD es crucial para lograr una compactación y estabilidad óptimas del suelo. La compactación del suelo con contenidos de humedad por debajo o por encima del OMC da como resultado densidades más bajas y una estabilidad reducida.

Es así que, la importancia de realizar una compactación minuciosa radica en determinar con precisión la cantidad de agua necesaria para lograr el contenido de humedad ideal del suelo. Este contenido de humedad óptimo da como resultado una lubricación suave que, a su vez, permite que el suelo alcance su máxima densidad cuando se comprime (Rosetti, 2005). Para determinar la densidad seca, se utiliza la densidad húmeda en la siguiente fórmula:

$$D_s = \frac{D_h}{100+W\%} * 100 \dots (7)$$

Donde:

- D<sub>s</sub>: Densidad seca.
- D<sub>h</sub>: Densidad húmeda.
- W%: Contenido de humedad

### 2.3. Definición de términos:

- **Carga:** Un conjunto de miembros estructurales componen las estructuras del edificio y estos elementos se les aplican en consecuencia (Crespo Villalaz, 2004).
- **Energía de compactación:** La prueba Proctor normal produce una energía de 600 kNm/m<sup>3</sup>, mientras que la prueba Proctor modificada produce una energía de 2700 kNm/m<sup>3</sup>. Esta medición de energía pertenece a un examen de laboratorio destinado a determinar la mayor densidad seca posible de un suelo cuando se compacta con una cantidad específica de gasto de energía (Das Braja, 2011).
- **Ensayo Proctor Modificado:** La determinación de la densidad seca máxima del suelo es un proceso crítico tanto para el control de calidad como para fines de estudio. Este procedimiento permite evaluar la densidad seca de un terreno en correlación con su contenido de humedad, bajo energías de compactación específicas (Fratelli María, 1993).
- **Estudio de suelos:** La capacidad de descubrir los atributos físicos y mecánicos del suelo, así como la composición de los elementos que se encuentran en capas más profundas, se puede lograr mediante su utilización., Crespo Villalaz (2004).
- **Hundimiento de la tierra:** Un tipo de movimiento que ocurre en la superficie terrestre se caracteriza por un predominio del movimiento descendente, y se presenta en lugares con diversas características y gradientes. Este fenómeno se diferencia de otro término porque ocurre en una escala mucho menor tanto en el tiempo como en el espacio, Crespo Villalaz (2004).
- **Suelo:** Los materiales discutidos aquí son todos de variedad terrestre y exhiben estructuras organizadas y propiedades que difieren en magnitud dependiendo de la dirección. En el eje vertical, estas propiedades tienden a fluctuar a un ritmo mucho más rápido que en la dirección horizontal, Fratelli María (1993).

- **Granulometría:** Para determinar la distribución de las partículas del suelo, es necesario examinar la granulometría del suelo, lo que implica el uso de tamices que cumplan con especificaciones estandarizadas, Das Braja (2011)
- **Límites de consistencia:** La consistencia del suelo se define por su respuesta a diferentes niveles de contenido de humedad. Esta respuesta lleva a que el suelo se clasifique en cuatro estados distintos: sólido, semisólido, plástico y líquido, Das Braja (2011).
- **Subbase:** su objetivo es resistir la presión que el movimiento vehicular ejerce sobre el pavimento, transferir y asignar efectivamente la presión a la estructura del terraplén, impedir la infiltración de materiales plásticos finos desde el cuerpo del terraplén hacia el pavimento y optimizar el espesor del pavimento, Crespo Villalaz (2004)

## **2.4. Hipótesis:**

### **2.4.1. Hipótesis general:**

Existen una relación significativa entre la energía de compactación durante el ensayo proctor modificado y el mejoramiento vial de la provincia de Huancayo.

### **2.4.2. Hipótesis específicas:**

- a) Existen una relación significativa entre la energía de compactación durante el ensayo proctor modificado y la máxima densidad seca en la provincia de Huancayo.
- b) Existen una relación entre la energía de compactación durante el ensayo proctor modificado y el máximo contenido de humedad en la provincia de Huancayo.

### **2.4.3. Definición conceptual de las variables:**

#### **Variable independiente (energía de compactación):**

Es el procedimiento de aplicar energía al suelo suelto para eliminar espacios vacíos, aumentando así su densidad y en consecuencia, su capacidad de soporte y estabilidad entre otras propiedades. Su objetivo es el mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo.

#### **Variable Dependiente (ensayo proctor modificado):**

El ensayo de compactación Proctor, conocido así por el nombre del ingeniero estadounidense Ralph R. Proctor (1894-1962), que lo

publicó en 1933, es una herramienta muy útil para estudiar y controlar la calidad de la compactación de un terreno, el objetivo es conseguir la máxima compacidad de un suelo o capa granular con una energía de compactación determinada, con el fin de evitar asientos una vez puesta en servicio la obra, aunque aún no lo he visto escrito en una especificación, es práctica común en nuestros países que seleccionemos como referencia de compactación el Proctor Estándar cuando usamos equipo liviano de compactación (e.g., ranas, sapos, mini rodillos), y el Proctor Modificado cuando usamos equipo pesado

#### 2.4.4. Definición operacional de las variables

##### **Variable independiente (Energía de compactación):**

El control de compactación se realiza midiendo la densidad seca y el contenido de agua del suelo compactado en el campo. Para la medición del contenido de agua, método de secado del horno, método de baño de arena, el método de carburo de calcio, etc se utilizan. La aguja del Proctor también se utiliza para esto.

##### **Variable Dependiente: (ensayo proctor modificado):**

Se mezcla una porción de suelo con una cantidad determinada de agua. Se coloca dentro del molde la quinta parte, aproximadamente, de la porción mezclada; su altura debe ser uniforme. El suelo se compacta en cinco capas sucesivas. Cada una recibe 60 golpes de la masa, distribuidos uniformemente.

#### 2.4.5. Operacionalización de las variables

Tabla 3  
Operacionalización de las variables

<b>Variables</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>
<b>Energía de compactación</b>	numero de golpes por capa	Unidad
	valor de la energía de compactación	KG-CM/CM <sup>3</sup>
<b>Ensayo Proctor modificado</b>	máxima densidad seca (mds)	1.533 GR/CM <sup>3</sup>
	máximo contenido de humedad	%

Fuente propia

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Método de investigación**

Según el método de investigación de Bernal (2000), el foco radica en comprender conceptos generales para dilucidar comportamientos precisos. El método implica tanto observación como experimentación, con el objetivo de identificar las cualidades y características del evento, manipulando simultáneamente variables.

Para comenzar la investigación, el primer paso será examinar minuciosamente toda la información presentada. En concreto, el análisis supondrá una comparación de la cantidad de impactos y una evaluación de la correlación entre la densidad seca y el nivel de humedad presente.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, se ha determinado que se empleará el método científico.

#### **3.2. Tipo de investigación**

En concordancia con Borja (2012) el presente estudio, en base al objetivo que busca dentro del tipo aplicado, además, se considera una investigación cuantitativa, proporcionando una prueba metodológica de las hipótesis planteadas, todo esto acorde a las investigaciones dentro de la ingeniería civil la cual busca hallar soluciones a problemas prácticos.

#### **3.3. Nivel de investigación**

Como afirma Arias (2012), el propósito de la investigación explicativa es descubrir las razones subyacentes de los eventos mediante el establecimiento de relaciones de causa y efecto. Los estudios explicativos pueden abarcar la identificación tanto de la causalidad (investigación post facto) como del impacto (investigación experimental) mediante la prueba de hipótesis. Los resultados y deducciones de estos estudios constituyen el nivel más profundo de comprensión.

El objetivo de este texto es explicar el proceso de creación de hormigón que incorpora fibras de polipropileno. Cabe señalar que el nivel de investigación presentado es de carácter explicativo.

### **3.4. Diseño de la investigación**

Hernández (2010) afirma que el diseño experimental tiene la capacidad de incluir una o múltiples variables independientes, así como una o más variables dependientes.

El carácter experimental del estudio requiere una metodología específica. El procedimiento consiste en modificar una variable relacionada con la inclusión de un determinado número de golpes en el test Proctor. Esta modificación tiene un impacto directo en la energía de compactación y conduce a una comparación de sus variaciones. Durante este proceso también se tienen en cuenta el contenido de humedad óptimo y la densidad seca máxima.

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población**

A decir de Lepkowski (2008) la población se refiere a un grupo de individuos que se ajustan a un conjunto de criterios o requisitos específicos. Así, en el presente estudio la población estuvo conformada por 10 ensayos de laboratorios del material de suelo comprendido entre los Jr. Arica, tramo: Jr. Amazonas-Jr. Huallaga, Jr. Junín.

#### **3.5.2. Muestra**

Para desarrollo de la presente investigación se optó de tomar una muestra lo mismo que la población que son 10 ensayos de laboratorio comprendidos el tramo de los Jr. Arica, tramo: Jr. Amazonas-Jr. Huallaga, Jr. Junín, estos elementos fueron analizados para llegar contrastar la hipótesis planteada en esta investigación.

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

Arias (2006), destaca diversos métodos de adquisición de información. En particular, Arias señala que los instrumentos son

herramientas tangibles utilizadas con el fin de recopilar y preservar datos. Para iniciar un proyecto de investigación, los métodos de observación y recopilación de datos suelen utilizarse desde el principio.

Los datos serán recopilados utilizando los siguientes instrumentos:

- Hoja o ficha de registro de datos.
- Cuaderno de campo

### **3.7. Procesamiento de la información**

Bachiller (2017) define el proceso de información como la recopilación de datos a través de una investigación, su ingreso en hojas de cálculo de Excel y la realización de un inventario de datos.

Para evaluar la viabilidad del estudio, se realizarán varias pruebas. Estas pruebas incluyen Proctor modificado y todos los resultados se obtendrán mediante una observación minuciosa de las curvas de densidad seca y el porcentaje de humedad. El número de golpes de manipulación se variará y se registrará en tablas comparativas para su análisis.

### **3.8. Técnicas y análisis de datos**

Los resultados serán comparados mediante cuadros comparativos y gráficos para determinar la influencia de la energía de compactación en el ensayo Proctor modificado del mejoramiento vial del Jr. Arica ya sea de manera positiva o negativa según la energía de compactación aplicada.

## CAPÍTULO IV RESULTADOS

### 4.1. Ubicación del proyecto:

- **Departamento:** Junín.
- **Provincia:** Huancayo.
- **Distrito:** San Jerónimo de Tunan.
- **Lugar:** Jr. Arica, tramo: Jr. Amazonas-Jr. Huallaga, Jr. Huancayo-Jr. Junín.

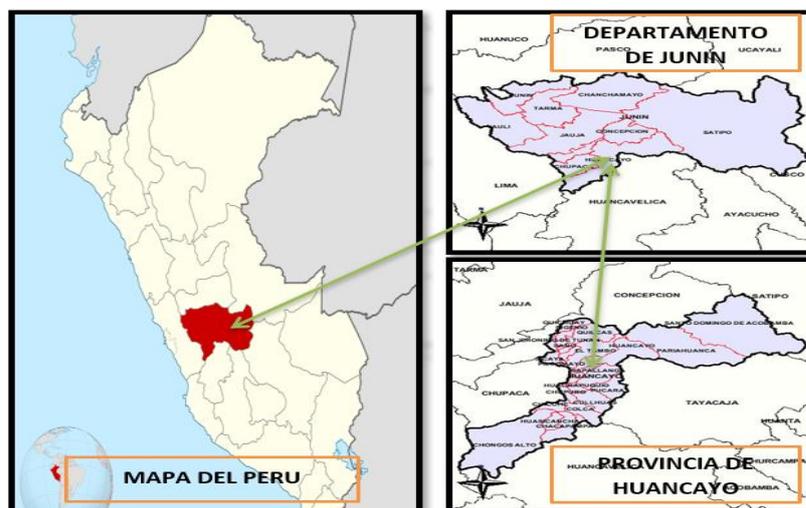


Figura 6. Curvas de compactación a 12, 25 y 56  
Fuente: Imágenes Google.



Figura 7. Ubicación distrital del proyecto”  
Fuente: Imágenes Google.

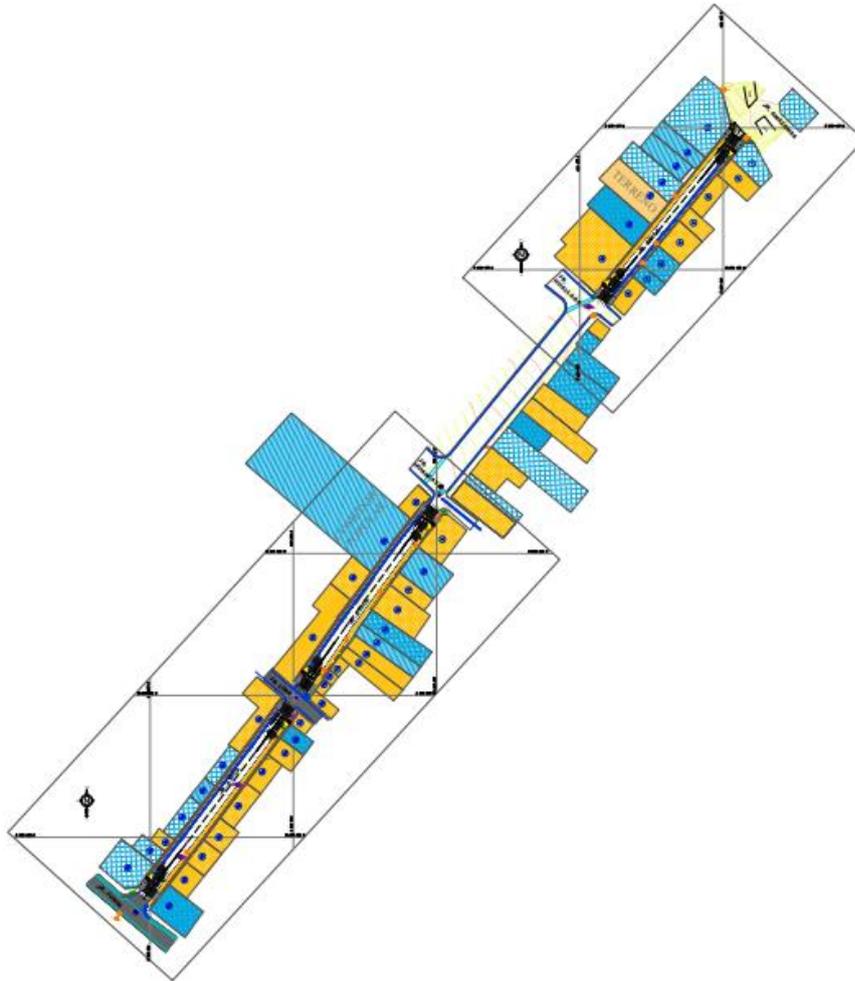


Figura 8. Jr. Arica tramo Jr. Amazonas – Jr. Huallaga, Jr. Huancayo- Jr. Junin  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.1. Características del proyecto:

El proyecto: “mejoramiento vial del Jr. Arica, tramos: Jr. Amazonas-Jr. Huallaga-Jr. Huancayo-Jr. Junín, distrito de san jerónimo de tunan-provincia de Huancayo-departamento de Junín” cuenta con una viabilidad otorgado por la Municipalidad provincial de Huancayo el 20 de mayo de 2020, con un presupuesto de obra es igual a S/. 542,368.96 (quinientos cuarenta y dos mil trescientos sesenta y ocho con 96/100 SOLES), con los cuales se debe realizar las siguientes actividades:

- Pavimentación rígida en 991.83 m<sup>2</sup>
- Señalización vertical y horizontal en todo el tramo.
- Profundización de red de agua potable.
- Reparación y profundización de tubería de desagüe.

- Veredas de concreto simple en 607.72 m2.
- Sardinel de concreto en 42.88 m3.
- Badén de concreto en 3.16 m3.
- Cuneta de concreto en 17.03 m3.
- rampa de concreto en 15.84 m2.

El proyecto cuenta con un plazo de ejecución de 120 días calendarios (4 meses) y será ejecutada por la modalidad de Administración directa.

#### 4.1.2. Situación actual del proyecto:

El 07 de setiembre de 2022 se inició la ejecución de la obra: “mejoramiento vial del Jr. Arica, tramos: Jr. Amazonas-Jr. Huallaga-Jr. Huancayo-Jr. Junín, distrito de san jerónimo de tunan-provincia de Huancayo-departamento de Junín” bajo la modalidad de administración directa por la Municipalidad Provincial de Huancayo.

El día 09 de octubre de 2022 se ejecutó la partida “Material para base puesto en obra”, la cual consiste en la compra del material que servirá como sub base del mejoramiento vial del Jr. Arica. La residente de obra adquirió el material en la cantera de Tambo previamente evaluado y aprobado por su persona, la entrega se realizó el mismo día a las 4:20 pm.



Figura 9. Entrega del material para la sub base del mejoramiento vial del Jr.Arica  
Fuente: Elaboración propia.

Una muestra del material adquirido para la sub base del mejoramiento vial etapa fue donado por la residente de obra para realizar el estudio de mecánica de suelos de esta investigación.

#### 4.2. Estudio de mecánica de suelos:

El estudio de mecánica de suelos tiene como objetivo determinar el tipo de suelo de la muestra que se utilizara para la sub base del mejoramiento vial del Jr. Arica etapa según la clasificación SUCS y AASHTO, de igual manera nos ayudara a determinar la influencia de la energía de compactación en el ensayo Proctor Modificado. Los ensayos realizados se describen a continuación:

##### 4.2.1. Análisis granulométrico:

###### A. Material:

Se emplea un aproximado de 7Kg de muestra seca al aire libre.

###### B. Equipo:

- Juego de tamices 3", 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", ¼", N°4, N°10, N°20, N° 30, N°40, N°60, N°100, N°200, con tapa y base.
- Balanza con aproximación de 0.10gr.

###### C. Procedimiento:

- Previamente se secó la muestra al aire libre por una semana.
- Se tomo 7.00Kg de muestra seca al aire libre.
- Se colocó la muestra en el juego de tamices hasta la malla N°4 y se procedió con el respectivo tamizado en seco.
- Se tomo 500gr de la muestra que pasa por el tamiz N°4 y se tamizo por lavado (malla N°200).
- Se determinó los porcentajes retenidos (%RP) en cada tamiz aplicando la siguiente ecuación:

$$\%RP = \frac{PRP}{Ws} * 100 \dots (2)$$

Donde:

- %Rp: Porcentaje retenido (%).
- PRP: Peso retenido (Kg).
- Ws: Peso total de la muestra (Kg).

- Se determinó los porcentajes retenidos acumulados (%RA) en cada tamiz.
- Por último, se determinó los porcentajes acumulados que pasan en cada tamiz aplicando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ que pasa} = 100 - \%RA \dots (2)$$

Donde:

%RA: Porcentaje retenido acumulado (%).

- La curva granulométrica fue graficada en una hoja de cálculo Excel a una escala logarítmica, en el eje de las abscisas se registró la abertura de las mallas en milímetros y en el eje de las ordenadas se registró los porcentajes que pasan.

#### **4.2.2. Limite liquido:**

##### **A. Material:**

Suelo seco que pasa la malla N°40.

##### **B. Equipo:**

- Malla N°40.
- Copa Casagrande.
- Ranurador o acanalador.
- Balanza con aproximación de 0.01gr.
- Estufa con control de temperatura
- Probeta de 100ml.
- Espátula, taras.

##### **C. Procedimiento:**

- Usando una espátula, se combinaron la tierra y el agua dentro de la cápsula de porcelana hasta formar una pasta uniforme.
- Con la espátula se transfirió cuidadosamente una capa de pasta al vaso Casagrande hasta alcanzar un espesor de 1 cm.
- Usando la ranuradora, la muestra se dividió en dos partes distintas.
- Para poner en contacto las dos mitades del piso, gire la manivela a un ritmo constante de dos gotas por segundo mientras lleva la cuenta del número de golpes.

- Luego de utilizar la espátula para retirar la sección de tierra que estaba en contacto con el fondo de la ranura, se colocó en una tara para calcular su contenido de humedad.
- Después de eliminar todo el exceso de tierra de la copa Casagrande, la tierra residual se transfirió a una cápsula de porcelana. En los casos en que el número de golpes de la prueba anterior fue elevado, se añadió agua. Por el contrario, si el número de golpes era bajo, se añadía tierra. Esto se hizo para garantizar que el número de golpes esté dentro del rango de 6 a 35.
- Utilizando una hoja de cálculo de Excel, se trazó la curva de fluidez. El número de golpes se registró en una escala logarítmica en el eje horizontal, mientras que el contenido de humedad se registró en una escala natural en el eje vertical.
- Para determinar el valor del límite líquido del suelo se debe observar el punto de la curva de fluidez que corresponde a 25 trazos en la ordenada.

#### **4.2.3. Limite plástico:**

##### **A. Material:**

Material reciclado del ensayo de limite líquido.

##### **B. Procedimiento:**

- Utilizando una placa de vidrio, la muestra se laminó manualmente hasta lograr cilindros con un diámetro de 3 mm.
- Se evaluó el nivel de humedad contenida en su interior.
- Para determinar el límite plástico se toman dos medidas del contenido de humedad y se calcula su promedio.

#### **Proctor Modificado:**

##### **A. Material:**

Muestra alterada seca.

##### **B. Equipo:**

- Equipo Proctor modificado (molde cilíndrico, placa de base y anillo de extensión).

- Pisón Proctor Modificado 4.54Kg.
- Balanza de precisión de 1.00gr.
- Estufa con control de temperatura.
- Probeta de 1000 ml y 500ml.
- Recipiente de 6kg de capacidad.
- Espátula y taras.

### C. Procedimiento:

- Se crearon un total de cinco especímenes, a los que se añadió una cantidad específica de agua a cada uno, lo que provocó que su contenido de humedad individual fluctuara en un 1,50%.
- El montaje del molde cilíndrico implicó combinar la placa base y el collar de extensión con el papel de filtro.
- Para cada muestra, se compactaron cinco capas con exactamente 56 golpes administrados por capa. Sin embargo, en las pruebas siguientes el número de golpes aumentó en 2 por capa, culminando en un total de 74 golpes.
- Después de comprimir la capa final, se quitó el collar de extensión y se niveló con una espátula. Luego se calculó la densidad de humedad (Dh) usando la siguiente fórmula:

$$Dh = \frac{Ws}{Vm} \dots (2)$$

Donde:

- Dh: Densidad húmeda (kg/cm<sup>3</sup>).
  - Ws: Peso de muestra húmeda (Kg).
  - Vm: Volumen del molde (cm<sup>3</sup>).
- Se determinó el contenido de humedad de cada muestra compactada (W%), utilizando muestras representativas de la parte superior e inferior.
  - Se determinó la densidad seca de cada muestra compactada (Ds), con la siguiente ecuación:

$$Ds = \frac{Dh}{100+W\%} * 100 \dots (2)$$

Donde:

- Ds: Densidad seca (Kg/cm<sup>3</sup>)
  - W%: Contenido de humedad (%).
- En una hoja de cálculo de Excel, la curva de compactación se trazó a tamaño completo. Los datos del contenido de humedad se representaron en el eje de abscisas, mientras que los datos de densidad seca se representaron en el eje de ordenadas.
- Tras el análisis de las gráficas obtenidas en cada ensayo, se determinaron los valores correspondientes a los contenidos de humedad óptimos y densidades secas máximas.

#### **4.3. Análisis de la muestra:**

La muestra que se aplicara en la sub base del mejoramiento vial del Jr. Arica, fueron enviadas al laboratorio de mecánica de suelos para realizar los ensayos respectivos que se describieron anteriormente. El informe de mecánica de suelos viene adjunto en los anexos de esta investigación.

##### **4.3.1. Determinación del tipo de suelo:**

Para determinar el tipo de suelo del material que se utilizara en la sub base del mejoramiento vial del Jr. Arica según la clasificación SUCS y AASHTO, debemos interpretar los resultados obtenidos en el informe de mecánica de suelos emitido por el laboratorio encargado.

##### **A. Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D422):**

Uno de los ensayos requeridos para determinar el tipo de suelo es el análisis granulométrico por tamizado, para lo cual se tuvo en cuenta la norma ASTM D422. El resumen del análisis granulométrico se muestra a continuación:

Tabla 4  
Métodos Análisis granulométrico por tamizado

TAMIZ	ABERTURA	% QUE PASA
3"	76.20	100.00
2 1/2"	63.50	100.00
2"	50.80	100.00
1 1/2"	38.10	97.20
1"	25.40	94.50
3/4"	19.05	88.70
1/2"	12.70	80.60
3/8"	9.53	75.00
1/4"	6.35	66.70
N° 4	4.75	59.50
N° 10	2.00	42.30
N° 20	0.85	30.20
N° 30	0.60	26.30
N° 40	0.42	23.40
N° 60	0.25	21.70
N° 100	0.15	19.60
N° 200	0.074	18.40

Fuente: Elaboración propia.

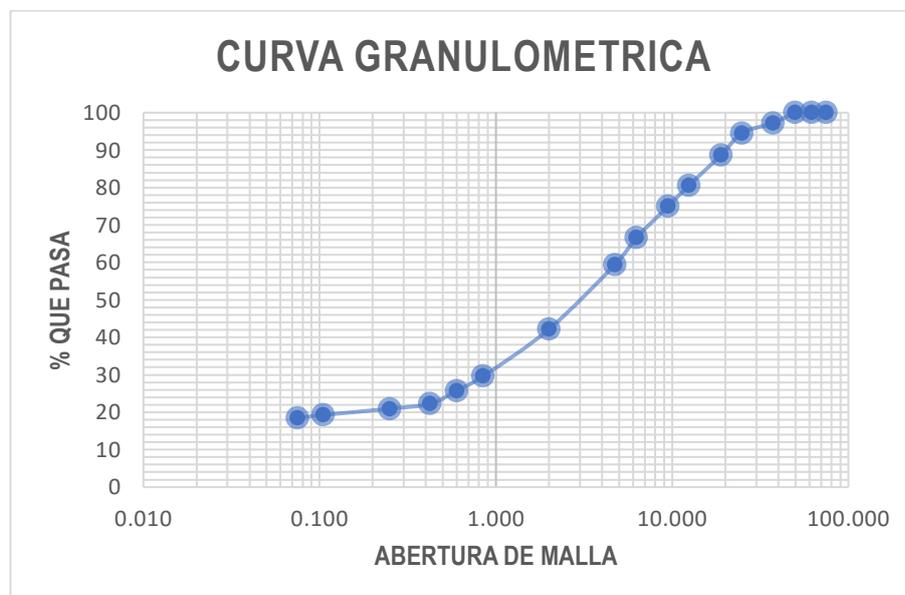


Gráfico 4 Curva granulométrica  
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5  
Porcentajes retenidos

TIPO	PORCENTAJE
% GRAVA	40.51%
% ARENA	41.03%
% FINO	18.46%

Fuente: Elaboración propia.

Del análisis granulométrico se puede determinar que el material que se empleara en la sub base del mejoramiento vial del Jr. Arica corresponde a un suelo granular

**B. Límite líquido (Norma ASTM 04318):**

Según el informe de mecánica de suelos, el límite líquido del material que se empleara en la sub base del mejoramiento vial del Jr. Arica es igual a 20%.

**C. Límite plástico (Norma ASTM 04318):**

Según el informe de mecánica de suelos, el límite plástico del material que se empleara en la sub base del mejoramiento vial del Jr. Arica es igual a 13%.

**D. Índice de plasticidad:**

El índice de plasticidad se calcula aplicando la siguiente ecuación:

$$IP = LL - LP \dots (2)$$

Donde:

- IP: Índice de plasticidad.
- LL: Límite líquido.
- LP: Límite plástico:

Aplicando la ecuación n° 02 determinamos el índice de plasticidad de la muestra la cual es igual a 7%.

**E. Tipo de suelo:**

Según la clasificación SUCS y AASHTO el tipo de suelo es igual a SC y A-2-4 (0) respectivamente, los cuales pertenecen al grupo de arena arcillosa con mucha grava.

### **Cálculo de la energía de compactación:**

La energía de compactación depende del método que se aplicara, en esta investigación aplicaremos el método C debido a que el análisis granulométrico el 25.00% del peso del material se retiene en el tamiz 3/8” y 11.30% del peso del material se retiene en el tamiz 3/4”.

#### **A. Numero de golpes por capa:**

El método C del ensayo Proctor modificado recomienda un numero de golpes igual a 56 por cada capa; pero para esta investigación vamos a variar el número de golpes desde 56 – 72 dividido en 10 ensayos diferentes con la finalidad de aumentar la energía de compactación.

#### **B. Numero de capas:**

El método C del ensayo Proctor modificado recomienda que se aplique 5 capas a lo largo de la altura del molde.

#### **C. Peso del martillo:**

El peso del martillo que se aplico tiene un peso estándar para el ensayo Proctor modificado el cual es igual a 10Lb o 4.54Kg.

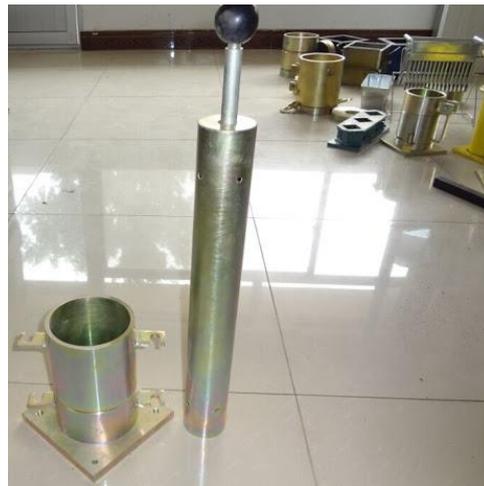


Figura 10. Curva “Martillo de 10Lb o 4.54Kg”  
Fuente: elaboración propia.

#### **D. Altura de caída:**

El martillo o pisón que se aplicó en esta investigación tiene una altura de caída igual a 18pulg o 45.72cm.

#### **E. Volumen del molde:**

El MÉTODO C del ensayo Proctor modificado recomienda que se aplique un volumen de molde igual a 0.075pie<sup>3</sup> o 2124cm<sup>3</sup>.



Figura 11. Molde de 0.075pie<sup>3</sup> o 2124cm<sup>3</sup>  
Fuente: elaboración propia.

Para determinar la energía de compactación, aplicamos la siguiente ecuación:

$$E_c = \frac{N \cdot n \cdot W \cdot h}{V} \dots (2)$$

Donde:

- Ec: Energía específica (kg.cm/cm<sup>3</sup>).
- N: Número de golpes por capa.
- n: Número de capas.
- W: Peso del pisón (kg).
- h: Altura de caída del pisón (cm).
- V: Volumen del suelo compactado (cm<sup>3</sup>).

Aplicando la ecuación n° 1, calculamos la energía de compactación para diferentes números de golpes los cuales se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 6  
Energía de compactación para diferentes números de golpes

NUMERO DE GOLPES	NUMERO DE CAPAS	PESO DEL MARTILLO (KG)	ALTURA DE CAÍDA (CM)	VOLUMEN DE MOLDE (CM3)	ENERGÍA DE COMPACTACIÓN (Kg.cm/cm <sup>3</sup> )
56	5.00	4.54	45.72	2124	27.36
58	5.00	4.54	45.72	2124	28.34
60	5.00	4.54	45.72	2124	29.32
62	5.00	4.54	45.72	2124	30.29

64	5.00	4.54	45.72	2124	31.27
66	5.00	4.54	45.72	2124	32.25
68	5.00	4.54	45.72	2124	33.23
70	5.00	4.54	45.72	2124	34.20
72	5.00	4.54	45.72	2124	35.18
74	5.00	4.54	45.72	2124	36.16

Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar en la tabla anterior, la energía de compactación aumenta conforme al número de golpes aplicado.

#### 4.3.2. Resultados del ensayo Proctor Modificado:

Como se mencionó anteriormente, se realizó un total de 10 ensayos Proctor modificado por el método C aplicando las diferentes energías de compactación ya determinadas.

##### A. Para una energía de 27.36kg.cm/cm<sup>3</sup>:

Los cálculos respectivos se realizaron aplicando el software Microsoft Excel el cual viene adjunto en los anexos de esta investigación, el resumen se muestra a continuación:

Tabla 7  
Contenido de humedad y densidad seca para una energía de 27.36kg.cm/cm<sup>3</sup>

CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD SECA (Gr/cm <sup>3</sup> )
2.90	1.49
4.74	1.52
6.91	1.53
9.49	1.44
10.46	1.43

Fuente: Elaboración propia.

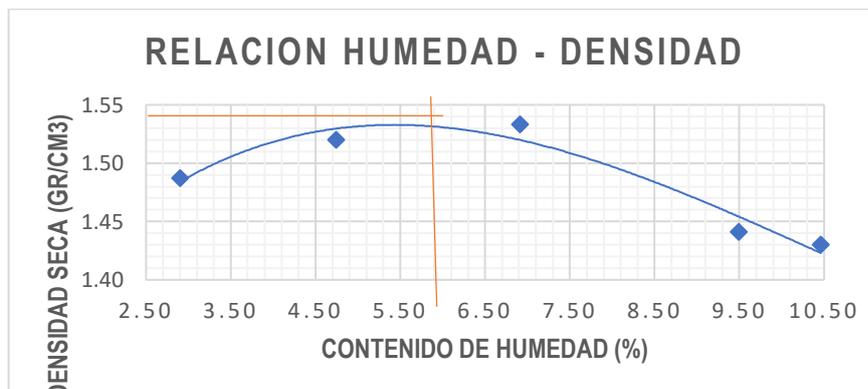


Gráfico 5 Relación humedad – densidad para una energía de 27.36kg.cm/cm<sup>3</sup>”

Fuente: Elaboración propia.

De la figura anterior podemos determinar que el óptimo contenido de humedad es igual a 6.30% y la densidad seca máxima es igual a 1.535kg/cm<sup>3</sup>.

**B. Para una energía de 28.34kg.cm/cm<sup>3</sup>:**

Los cálculos respectivos se realizaron aplicando el software Microsoft Excel el cual viene adjunto en los anexos de esta investigación, el resumen se muestra a continuación:

Tabla 8  
 Contenido de humedad y densidad seca para una energía de 28.34kg.cm/cm<sup>3</sup>

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>	<b>DENSIDAD SECA (Gr/cm<sup>3</sup>)</b>
3.78	1.54
4.82	1.59
6.86	1.63
9.06	1.58
9.99	1.55

Fuente: Elaboración propia.

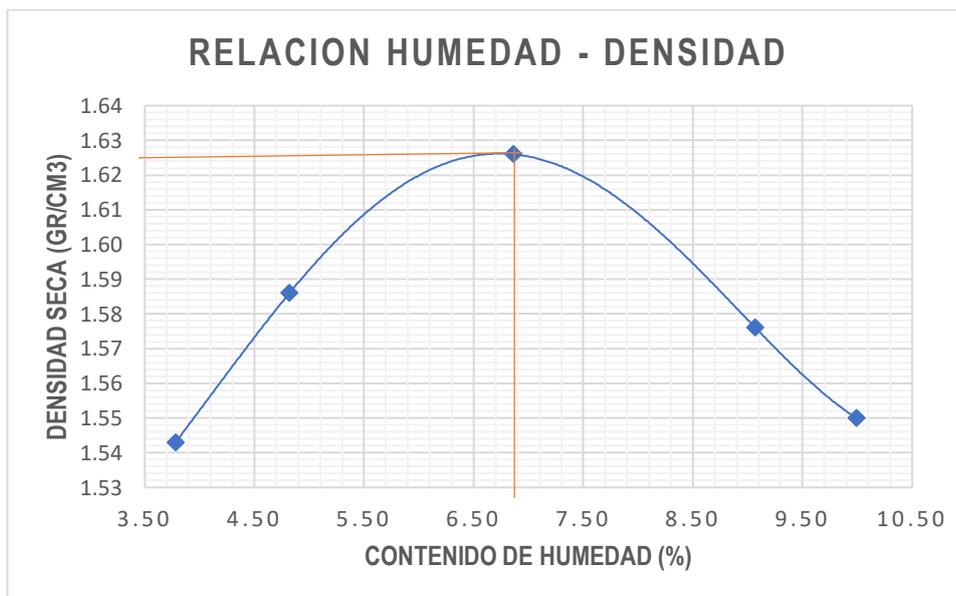


Gráfico 6 Relación humedad – densidad para una energía de 28.34kg.cm/cm<sup>3</sup>  
 Fuente: Elaboración propia.

De la figura anterior podemos determinar que el óptimo contenido de humedad es igual a 7.00% y la densidad seca máxima es igual a 1.626kg/cm<sup>3</sup>.

**C. Para una energía de 29.32kg.cm/cm<sup>3</sup>:**

Los cálculos respectivos se realizaron aplicando el software Microsoft Excel el cual viene adjunto en los anexos de esta investigación, el resumen se muestra a continuación:

Tabla 09  
Contenido de humedad y densidad seca para una energía de 29.32kg.cm/cm<sup>3</sup>

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>	<b>DENSIDAD SECA (Gr/cm<sup>3</sup>)</b>
3.78	1.54
4.82	1.58
6.86	1.63
9.05	1.56
10.37	1.54

Fuente: Elaboración propia.

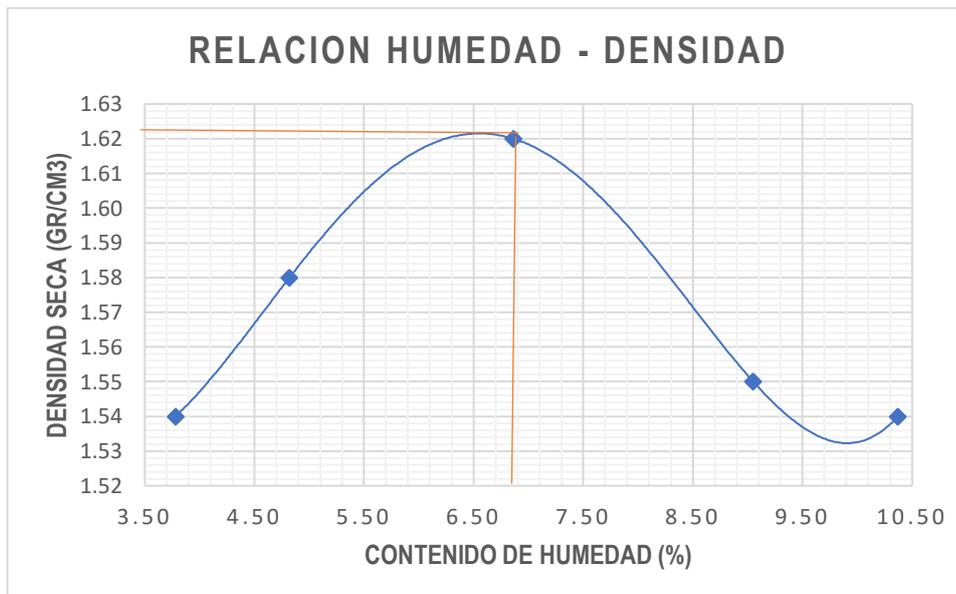


Gráfico 7 Relación humedad – densidad para una energía de 29.32kg.cm/cm<sup>3</sup>”

De la figura anterior podemos determinar que el óptimo contenido de humedad es igual a 7.00% y la densidad seca máxima es igual a 1.625kg/cm<sup>3</sup>.

**D. Para una energía de 30.29kg.cm/cm<sup>3</sup>:**

Los cálculos respectivos se realizaron aplicando el software Microsoft Excel el cual viene adjunto en los anexos de esta investigación, el resumen se muestra a continuación:

Tabla 0  
Contenido de humedad y densidad seca para una energía de 30.29kg.cm/cm<sup>3</sup>

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>	<b>DENSIDAD SECA (Gr/cm<sup>3</sup>)</b>
3.67	1.64
5.94	1.69
8.44	1.74
12.48	1.65
13.98	1.59

Fuente: Elaboración propia.

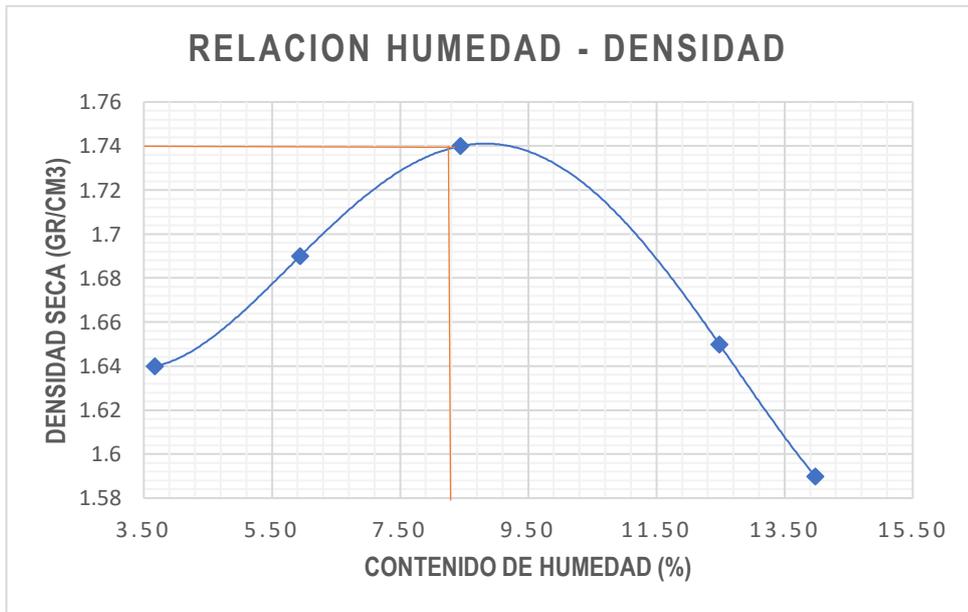


Gráfico 8 Relación humedad – densidad para una energía de 30.29kg.cm/cm<sup>3</sup>

De la figura anterior podemos determinar que el óptimo contenido de humedad es igual a 7.90% y la densidad seca máxima es igual a 1.745kg/cm<sup>3</sup>.

**E. Para una energía de 31.27kg.cm/cm<sup>3</sup>:**

Los cálculos respectivos se realizaron aplicando el software Microsoft Excel el cual viene adjunto en los anexos de esta investigación, el resumen se muestra a continuación:

Tabla 11  
Contenido de humedad y densidad seca para una energía de 31.27kg.cm/cm<sup>3</sup>

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>	<b>DENSIDAD SECA (Gr/cm<sup>3</sup>)</b>
3.75	1.69
5.59	1.77
8.24	1.81
13.51	1.64
14.71	1.59

Fuente: Elaboración propia.

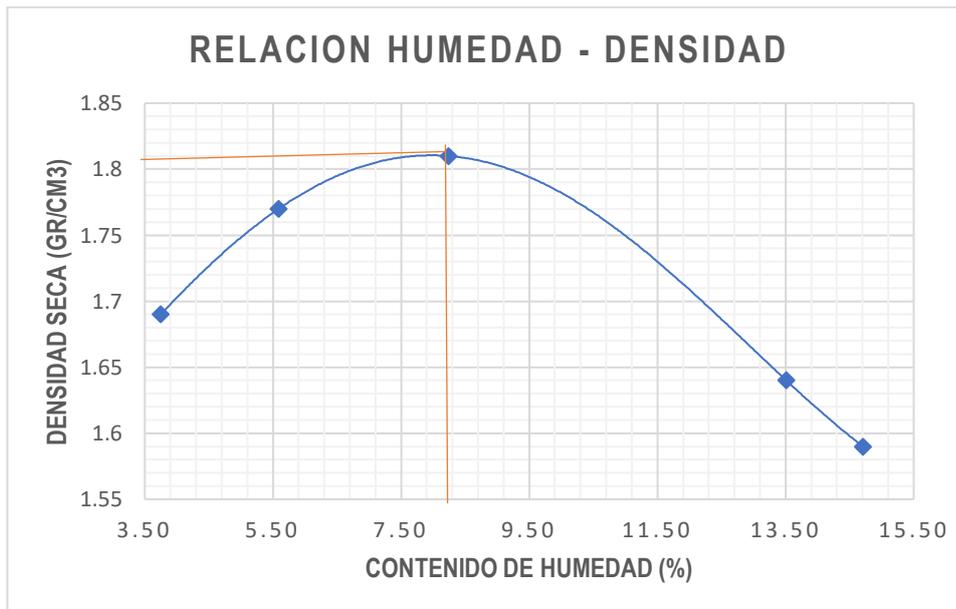


Gráfico 9 Relación humedad – densidad para una energía de 31.27kg.cm/cm<sup>3</sup>

De la figura anterior podemos determinar que el óptimo contenido de humedad es igual a 8.00% y la densidad seca máxima es igual a 1.815kg/cm<sup>3</sup>.

#### F. Para una energía de 32.25kg.cm/cm3:

Los cálculos respectivos se realizaron aplicando el software Microsoft Excel el cual viene adjunto en los anexos de esta investigación, el resumen se muestra a continuación:

Tabla 12  
Contenido de humedad y densidad seca para una energía de 32.25kg.cm/cm3

CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD SECA (Gr/cm3)
5.09	1.84
6.35	1.90
9.71	1.91
11.15	1.89
12.65	1.76

Fuente: Elaboración propia.

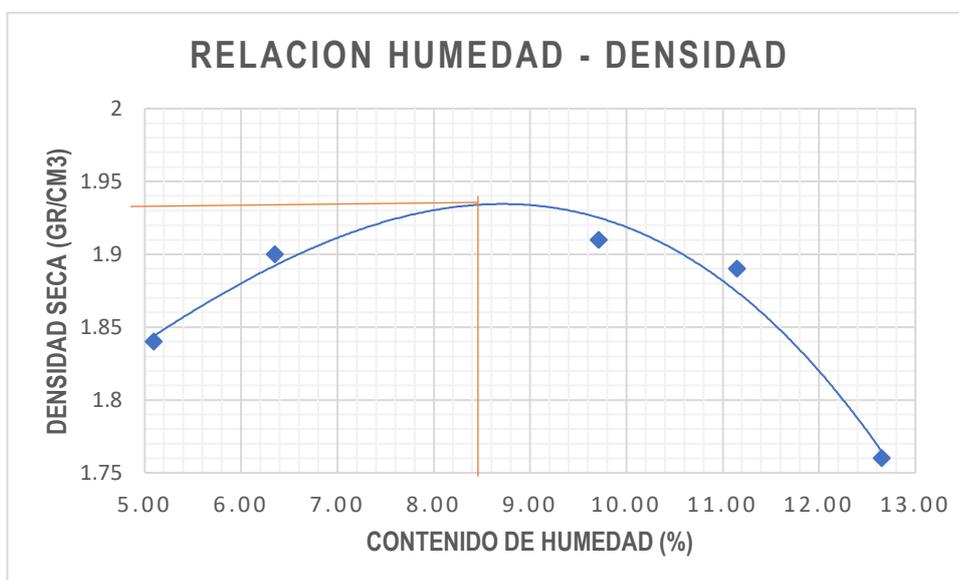


Gráfico 10 Relación humedad – densidad para una energía de 32.25kg.cm/cm3

De la figura anterior podemos determinar que el óptimo contenido de humedad es igual a 8.30% y la densidad seca máxima es igual a 1.925kg/cm3.

#### G. Para una energía de 33.23kg.cm/cm3:

Los cálculos respectivos se realizaron aplicando el software Microsoft Excel el cual viene adjunto en los anexos de esta investigación, el resumen se muestra a continuación:

Tabla 13  
 Contenido de humedad y densidad seca para una energía de 33.23kg.cm/cm3

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>	<b>DENSIDAD SECA (Gr/cm3)</b>
3.31	2.04
6.39	2.08
10.92	2.09
13.27	2.00
15.15	1.93

Fuente: Elaboración propia.

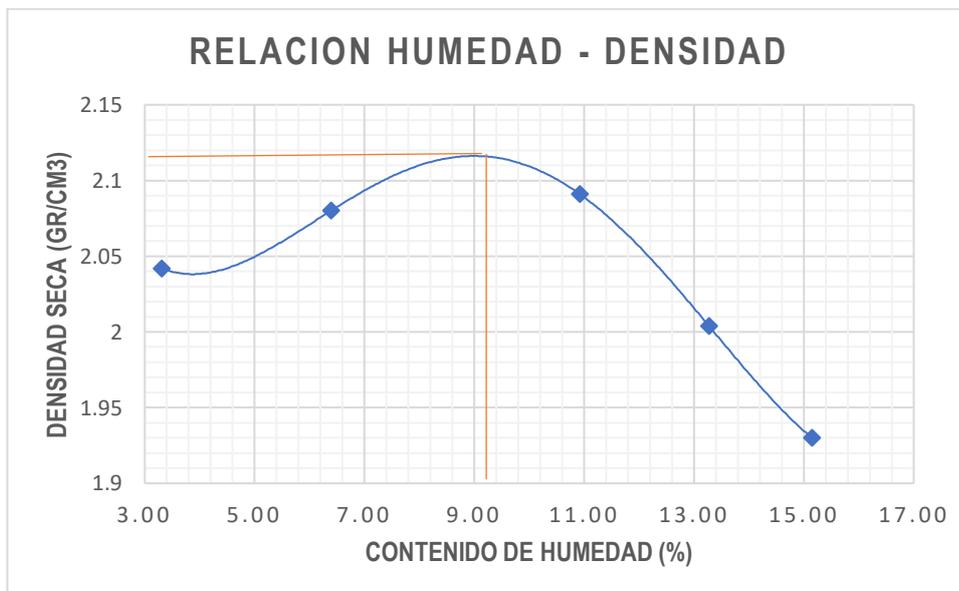


Gráfico 11 Relación humedad – densidad para una energía de 33.23kg.cm/cm3

De la figura anterior podemos determinar que el óptimo contenido de humedad es igual a 9.25% y la densidad seca máxima es igual a 2.106kg/cm3.

**H. Para una energía de 34.20kg.cm/cm3:**

Los cálculos respectivos se realizaron aplicando el software Microsoft Excel el cual viene adjunto en los anexos de esta investigación, el resumen se muestra a continuación:

Tabla 14  
 Contenido de humedad y densidad seca para una energía de  
 34.20kg.cm/cm<sup>3</sup>

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>	<b>DENSIDAD SECA (Gr/cm<sup>3</sup>)</b>
4.90	1.86
6.28	1.93
8.19	1.98
12.19	1.91
13.80	1.86

Fuente: Elaboración propia.

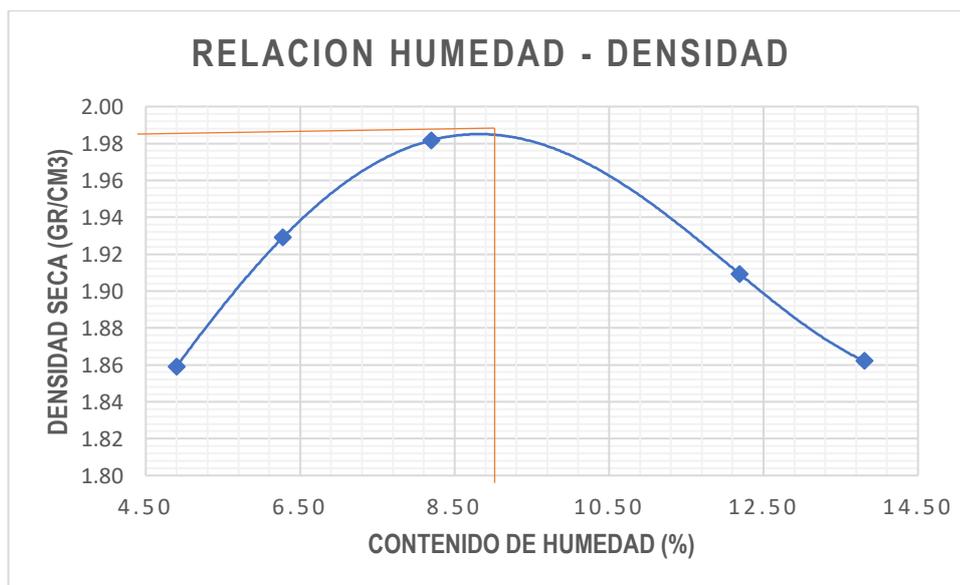


Gráfico 12 Relación humedad – densidad para una energía de 34.20kg.cm/cm<sup>3</sup>

De la figura anterior podemos determinar que el óptimo contenido de humedad es igual a 9.00% y la densidad seca máxima es igual a 1.995kg/cm<sup>3</sup>.

**I. Para una energía de 35.18kg.cm/cm<sup>3</sup>:**

Los cálculos respectivos se realizaron aplicando el software Microsoft Excel el cual viene adjunto en los anexos de esta investigación, el resumen se muestra a continuación:

Tabla 15  
 Contenido de humedad y densidad seca para una energía de  
 35.18kg.cm/cm<sup>3</sup>

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>	<b>DENSIDAD SECA (Gr/cm<sup>3</sup>)</b>
4.31	1.74
5.77	1.81
8.36	1.85
11.42	1.79
11.76	1.77

Fuente: Elaboración propia.

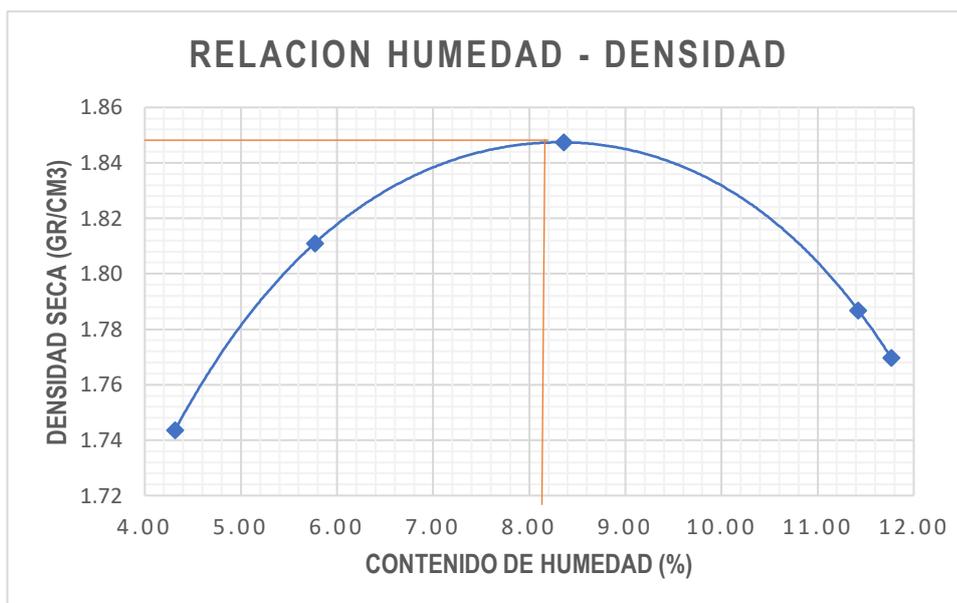


Gráfico 13 Relación humedad – densidad para una energía de 35.18kg.cm/cm<sup>3</sup>

De la figura anterior podemos determinar que el óptimo contenido de humedad es igual a 8.10% y la densidad seca máxima es igual a 1.852kg/cm<sup>3</sup>.

**J. Para una energía de 36.16kg.cm/cm<sup>3</sup>:**

Los cálculos respectivos se realizaron aplicando el software Microsoft Excel el cual viene adjunto en los anexos de esta investigación, el resumen se muestra a continuación:

Tabla 16  
 Contenido de humedad y densidad seca para una energía de  
 36.16kg.cm/cm<sup>3</sup>

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>	<b>DENSIDAD SECA (Gr/cm<sup>3</sup>)</b>
5.17	1.48
5.64	1.53
7.45	1.58
8.76	1.51
9.45	1.48

Fuente: Elaboración propia.

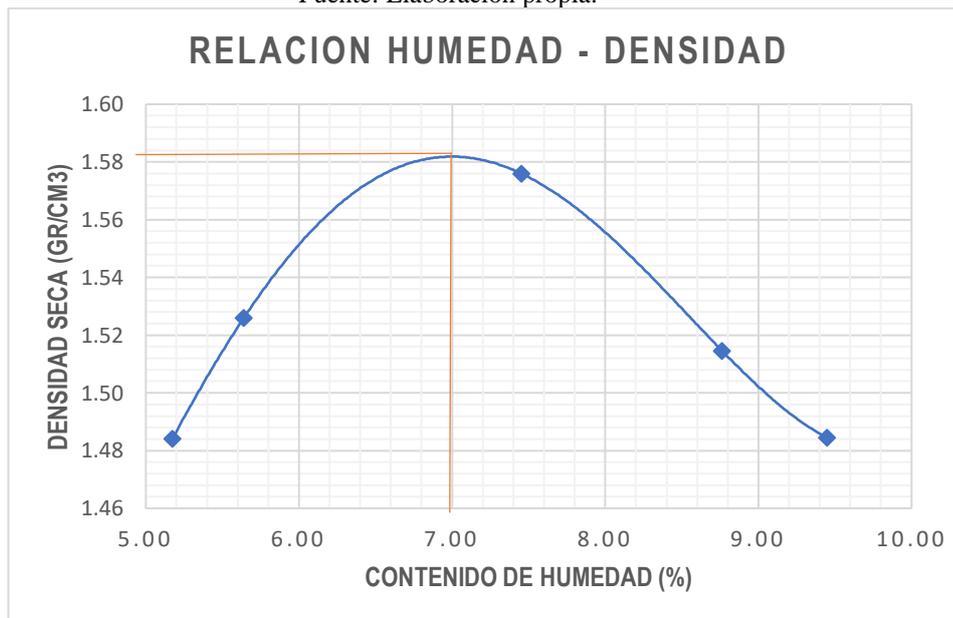


Gráfico 14 Relación humedad – densidad para una energía de 36.16kg.cm/cm<sup>3</sup>

De la figura anterior podemos determinar que el óptimo contenido de humedad es igual a 7.00% y la densidad seca máxima es igual a 1.589kg/cm<sup>3</sup>.

#### 4.3.3. Análisis de los resultados del ensayo Proctor modificado.

Los 10 ensayos de Proctor modificado aplicando diferentes energías de compactación nos brindaron densidades máximas secas y óptimos contenidos de humedad ascendentes hasta cierto número de golpes, posteriormente fueron descendiendo conforme la energía de compactación aumentaba. En la siguiente tabla se muestra el resumen de los resultados de los ensayos Proctor modificado:

Tabla 17  
Resumen de los parámetros del ensayo Proctor modificado

<b>N° DE ENSAYO</b>	<b>ENERGIA DE COMPACTACION (Kg.cm/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>DENSIDAD SECA MAXIMA (Gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>
1	27.36	1.535	6.30
2	28.34	1.626	7.00
3	29.32	1.625	7.00
4	30.29	1.745	7.95
5	31.27	1.815	8.00
6	32.25	1.925	8.30
7	33.23	2.106	9.25
8	34.20	1.995	9.00
9	35.18	1.852	8.10
10	36.16	1.589	7.00

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla anterior, la densidad seca máxima y el óptimo contenido de humedad aumenta hasta una energía de compactación de 33.23Kg.cm/cm<sup>3</sup>, posteriormente empiezan a descender, aunque la energía de compactación siga en aumento, lo cual nos indica que el tipo de suelo del material que se empleara en la sub base del mejoramiento vial del Jr. Arica solo puede ser compactado hasta una energía de 33.23Kg.cm/cm<sup>3</sup>.

## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 5.1. La densidad seca máxima:

La energía de compactación influye de manera positiva en la densidad seca máxima del material que se empleara en la sub base del mejoramiento vial del Jr. Arica, debido a que al aumentar la energía de compactación desde 27.36Kg.cm/cm<sup>3</sup> - 33.23Kg.cm/cm<sup>3</sup> se obtuvo un aumento de la densidad seca máxima que varía desde 1.535Gr/cm<sup>3</sup> - 2.106Gr/cm<sup>3</sup> respectivamente. Pero al seguir aumentando la energía de compactación desde 34.20Kg.cm/cm<sup>3</sup> – 36.16Kg.cm/cm<sup>3</sup>, la densidad seca máxima comenzó a disminuir desde 1.995Gr/cm<sup>3</sup> – 1.589Gr/cm<sup>3</sup>, por lo tanto, este tipo de (arena arcillosa con mucha grava) solo pueden alcanzar una densidad seca máxima de 2.106Gr/cm<sup>3</sup> a una energía de compactación de 33.23Kg/cm<sup>3</sup>.

Tabla 18  
Energía de compactación - densidad seca máxima

<b>Numero de golpes</b>	<b>Energía de Compactación (Kg.cm/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad seca Máxima (Gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Optimo contenido Humedad (OCH)</b>
56	27.36	1.535	6.30
58	28.34	1.626	7.00
60	29.32	1.625	7.00
62	30.29	1.745	7.95
64	31.27	1.815	8.00
66	32.25	1.925	8.3
68	33.23	2.106	9.25
70	34.20	1.995	9.00
72	35.18	1.852	8.10
74	36.16	1.589	7.00

Fuente: Elaboración propia.

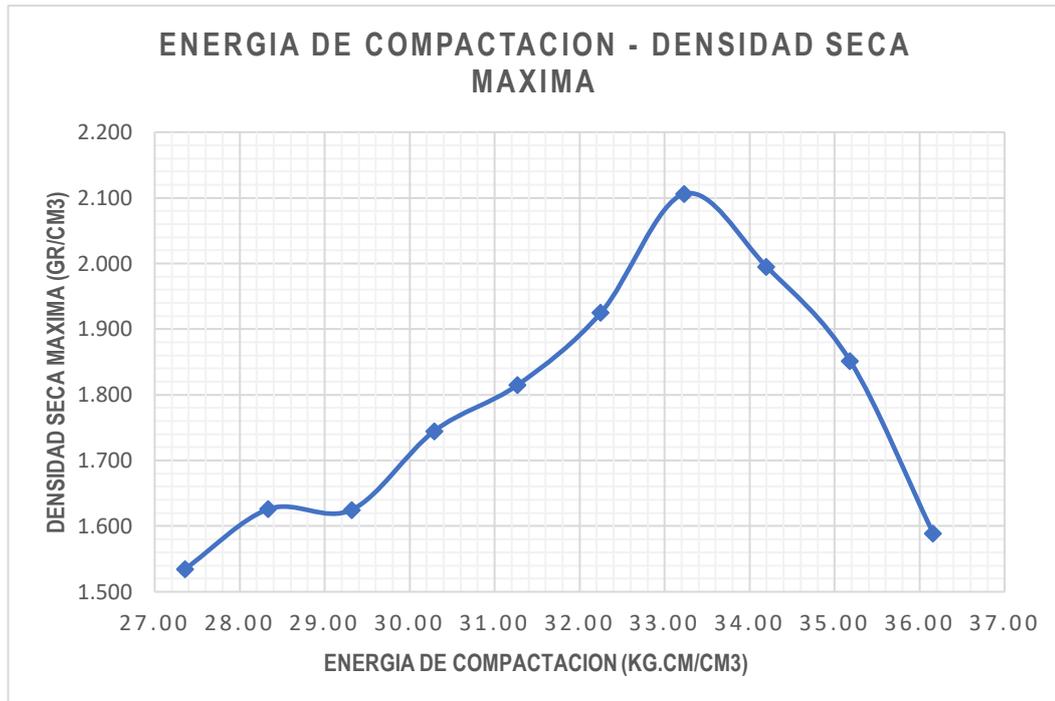


Gráfico 15 Energía de compactación – densidad seca máxima

## 5.2. El óptimo contenido de humedad:

La energía de compactación influye de manera positiva en el óptimo contenido de humedad del material que se empleara en la sub base del mejoramiento vial del Jr. Arica, debido a que al aumentar la energía de compactación desde 27.36Kg.cm/cm<sup>3</sup> - 33.23Kg.cm/cm<sup>3</sup> se obtuvo un aumento del óptimo contenido de humedad que varía desde 6.30% – 9.25% respectivamente. Pero al seguir aumentando la energía de compactación desde 34.20Kg.cm/cm<sup>3</sup> – 36.16Kg.cm/cm<sup>3</sup>, el óptimo contenido de humedad comenzó a disminuir desde 9.00% – 7.00%, por lo tanto, este tipo de (arena arcillosa con mucha grava) solo pueden alcanzar un óptimo contenido de humedad de 9.25% a una energía de compactación de 33.23Kg/cm<sup>3</sup>.

Tabla 19  
Resumen de los parámetros del ensayo Proctor modificado

<b>ENERGIA DE COMPACTACION (Kg.cm/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>
27.36	6.30
28.34	7.00
29.32	7.00
30.29	7.90

31.27	8.00
32.25	8.30
33.23	9.25
34.20	9.00
35.18	8.10
36.16	7.00

Fuente: Elaboración propia.

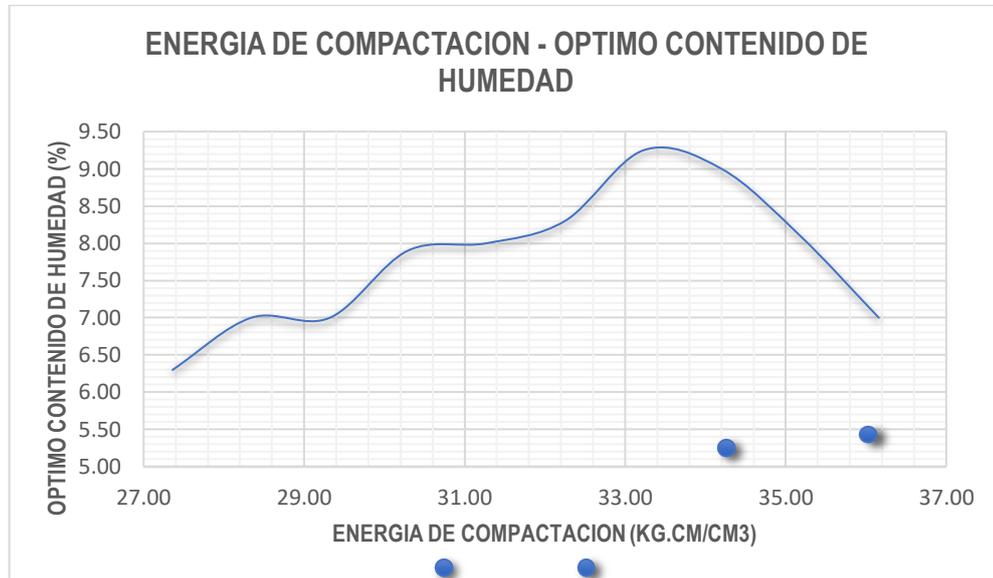


Gráfico 16 Energía de compactación con el óptimo contenido de humedad

### 5.3. Pruebas estadísticas

#### 5.3.1. Diagrama de correlación

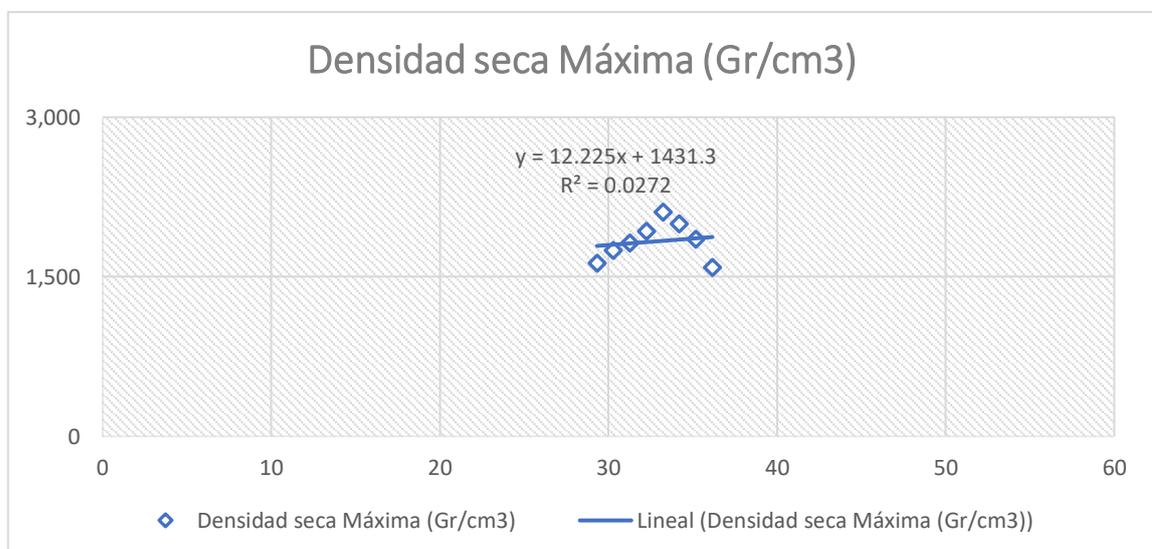


Gráfico 17 diagrama de correlacion Densidad seca

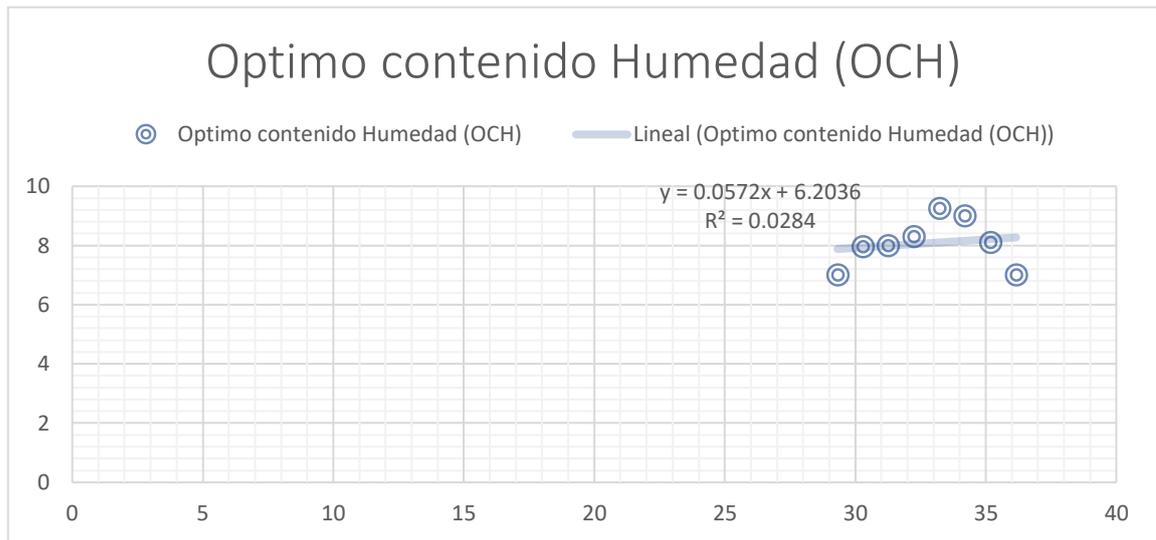


Gráfico 18 diagrama de correlacion contenido de humedad

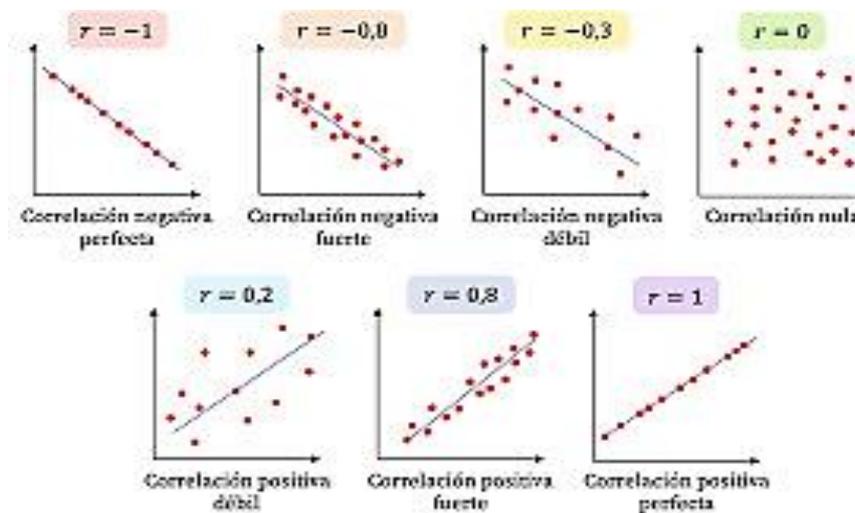


Figura 12. niveles de la correlacion entre contenido de humedad y densidad maxima seca

$r = 1$	correlación perfecta.
$0,8 < r < 1$	correlación muy alta
$0,6 < r < 0,8$	correlación alta
$0,4 < r < 0,6$	correlación moderada
$0,2 < r < 0,4$	correlación baja
$0 < r < 0,2$	correlación muy baja
$r = 0$	correlación nula

Según la figura que se muestra tenemos una relación baja entre las 2 variables.

Tabla 20  
prueba estadística 1 donde se muestra el nivel de significancia bilateral

		Energía de Compactación (Kg.cm/cm3)	Densidad seca Máxima (Gr/cm3)	Optimo contenido Humedad (OCH)
Energía de Compactación (Kg.cm/cm3)	Pearson Correlation	1	,336	,361
	Sig. (2-tailed)		,376	,340
	N	9	9	9
Densidad seca Máxima (Gr/cm3)	Pearson Correlation	,336	1	,983**
	Sig. (2-tailed)	,376		,000
	N	9	9	9
Optimo contenido Humedad (OCH)	Pearson Correlation	,361	,983**	1
	Sig. (2-tailed)	,340	,000	
	N	9	9	9

Fuente propia

Tabla 21  
prueba estadística 2 donde se muestra el nivel de significancia bilateral

			Energía de Compactación (Kg.cm/cm3)	Densidad seca Máxima (Gr/cm3)	Optimo contenido Humedad (OCH)
Spearman's rho	Energía de Compactación (Kg.cm/cm3)	Correlation Coefficient	1,000	,267	,407
		Sig. (2-tailed)	.	,488	,277
		N	9	9	9
	Densidad seca Máxima (Gr/cm3)	Correlation Coefficient	,267	1,000	,983**
		Sig. (2-tailed)	,488	.	,000
		N	9	9	9
	Optimo contenido Humedad (OCH)	Correlation Coefficient	,407	,983**	1,000
		Sig. (2-tailed)	,277	,000	.
		N	9	9	9

Fuente propia

## CONCLUSIONES

1. Se determinó la influencia de la energía de compactación en el ensayo Proctor modificado del mejoramiento vial del Jr. Arica, de la cual se concluye que hasta una energía de compactación de 33.23Kg.cm/cm<sup>3</sup>, la densidad seca máxima y el óptimo contenido de humedad aumentan hasta 2.106Gr/cm<sup>3</sup> y 9.25% respectivamente, pero si seguimos incrementando la energía de compactación, estos parámetros llegan a disminuir, por lo tanto, este tipo de suelo (arena arcillosa con mucha grava) solo puede alcanzar una densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad de 2.106Gr/cm<sup>3</sup> y 9.25% respectivamente a una energía de 33.23Kg.cm/cm<sup>3</sup>.
2. Se determinó la densidad seca máxima para diferentes valores de energía de compactación en el ensayo Proctor modificado del mejoramiento vial del Jr. Arica, de la cual se concluye que para energías de compactación iguales a 27.36Kg.cm/cm<sup>3</sup>, 28.34Kg.cm/cm<sup>3</sup>, 29.32Kg.cm/cm<sup>3</sup>, 30.29Kg.cm/cm<sup>3</sup>, 31.27Kg.cm/cm<sup>3</sup>, 32.25Kg.cm/cm<sup>3</sup>, 33.23Kg.cm/cm<sup>3</sup>, 34.20Kg.cm/cm<sup>3</sup>, 35.18Kg.cm/cm<sup>3</sup> y 36.16Kg.cm/cm<sup>3</sup>, las densidades secas máximas son igual a 1.535Gr/cm<sup>3</sup>, 1.626Gr/cm<sup>3</sup>, 1.625Gr/cm<sup>3</sup>, 1.745Gr/cm<sup>3</sup>, 1.815Gr/cm<sup>3</sup>, 1.925Gr/cm<sup>3</sup>, 2.106Gr/cm<sup>3</sup>, 1.995Gr/cm<sup>3</sup>, 1.852Gr/cm<sup>3</sup> y 1.589Gr/cm<sup>3</sup> respectivamente.
3. Se determinó el óptimo contenido de humedad para diferentes valores de energía de compactación en el ensayo Proctor modificado del mejoramiento vial del Jr. Arica, de la cual se concluye que para energías de compactación iguales a 27.36Kg.cm/cm<sup>3</sup>, 28.34Kg.cm/cm<sup>3</sup>, 29.32Kg.cm/cm<sup>3</sup>, 30.29Kg.cm/cm<sup>3</sup>, 31.27Kg.cm/cm<sup>3</sup>, 32.25Kg.cm/cm<sup>3</sup>, 33.23Kg.cm/cm<sup>3</sup>, 34.20Kg.cm/cm<sup>3</sup>, 35.18Kg.cm/cm<sup>3</sup> y 36.16Kg.cm/cm<sup>3</sup>, los óptimos contenidos de humedad son iguales a 6.30%, 7.00%, 7.00%, 7.90%, 8.00%, 8.30%, 9.25%, 9.00%, 8.10% y 7.00% respectivamente.

## **RECOMENDACIONES**

1. Compactar la sub base mejoramiento vial del Jr. Arica con una energía de compactación y óptimo contenido de humedad igual a 33.23 Kg.cm/cm<sup>3</sup> y 9.25% respectivamente para obtener una densidad seca máxima igual a 2.106Gr/cm<sup>3</sup>.
2. Compactar la sub base del mejoramiento vial del Jr. Arica por el método de vibración con la finalidad de reducir las fuerzas de fricción y dejar que las partículas caigan libremente por su propio peso, se recomienda usar rodillo vibratorio de 10840Kg de peso.
3. Se recomienda que se realicen investigaciones sobre el impacto de la energía de compactación tanto en suelos granulares como en suelos cohesivos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agüero Pittman, R. (1997). *Agua Potable para Poblaciones Rurales Sistemas de Abastecimiento por gravedad sin tratamiento*.
- Relaciones Internacionales, Numero 45. (2020). *Grupo de Estudios de Relaciones Internacionales*. Universidad Autónoma de Madrid.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. En *Mc Graw Hill* (5°). México D.F.
- Lozada, J. (2014). *Investigación aplicada: Definición, propiedad intelectual e industria*. *Cienciamérica*, 3, 34-39. Recuperado de <http://revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/66175>
- Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigación científica* (Cuarta). Balderas 95, México, D.F.: Editorial Limusa S.A. de C.V.
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, (2018). *Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural*.
- Lcda.Mae. Quinteros, N. (2013). *Técnicas e Instrumentos*. Tesis de Pregrado, Universidad Panamericana de el Salvador, Facultad de Educación, El salvador.
- Miguel, A. (2011). Obtenido de Aliviaderos de presas: <http://hilenia2001.com/calculodeestructuras/aliviaderos-de-presas/>
- Morodías, N. J. (2018). *Consideraciones sobre drenaje y filtracion de presas*. Obtenido de <https://www.scribd.com/document/394038527/Consideraciones-Sobre-Filtracion-y-Drenaje-en-Presas>.
- Norma Técnica de Edificación E.050, *Suelos y cimentaciones norma vigente*. Berrocal Canchari José Carlos, (2013) *Métodos analíticos y numéricos aplicados al diseño de cimentaciones superficiales considerando su interacción con el suelo*, Lima.
- Cortés Mena Jonathan G., (2010) *Estudio exploratorio para la determinación del coeficiente de balasto a partir de ensayos en laboratorio*, costa rica.
- Crespo Villalaz Carlos, (2004) *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. México.
- Das Braja M., (2011) *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones*, México.
- Fratelli María Graciela, (1993) *Suelos, fundaciones y muros*, Peru.

Freire Tellado Manuel (1999) *Precisiones para el empleo del método del módulo de balasto en edificaciones*. Coruña.

Hernandez Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico D.F:  
McGraW- HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Pantoja Arboleda, Paola Viviana y Suarez Suarez, Jorge Andrés (2015) *estudio sobre la relación entre el ensayo de penetración estándar y el coeficiente de balasto (K) para suelos*

## **ANEXOS**

**Anexo N° 01: Matriz de consistencia**

Título: Efectos de la energía de compactación durante el ensayo Proctor modificado en un mejoramiento vial en la provincia de Huancayo.

FORMULACION DEL PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSION	INDICADORES	METODOLOGÍA
<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPOTESIS GENERAL</b>	v1: energía de compactación	numero de golpes por capa	unidad	<p><b>método de investigación:</b> método científico</p> <p><b>tipo de investigación:</b> aplicada, de acuerdo a los datos analizados corresponderá a una investigación cuantitativa</p> <p><b>nivel de investigación:</b> la investigación explicativa</p> <p><b>diseño metodológico:</b> será experimental.</p> <p><b>población:</b> estuvo conformada por 10 ensayos de laboratorios del material de suelo comprendido entre los jr. Arica, tramo: jr. amazonas-jr. Huallaga, jr. Junín.</p> <p><b>muestra:</b> se evaluó lo mismo que la población que son 10 ensayos de laboratorio comprendidos el tramo de los jr. Arica, tramo: jr. amazonas-jr. Huallaga, jr. Junín, estos elementos fueron analizados para llegar contrastar la hipótesis planteada en esta investigación.</p> <p><b>técnicas e instrumentos de recolección de datos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• hoja o ficha de registro de datos.</li> <li>• cuaderno de campo</li> </ul> <p><b>procesamiento de la información:</b></p> <p>el procesándolos a través de hojas de cálculo Excel, inventario de datos.</p> <p>las pruebas a realizar para la obtener la viabilidad de la investigación son: proctor modificado todos los datos se realizará en base a la observación directa del resultado de la curva de densidad seca y el porcentaje de humedad variando el número de golpes con el pisón, lo cual se representará en tablas comparativas.</p>
¿Qué efectos tiene la energía de compactación durante el ensayo proctor modificado en el mejoramiento vial de la provincia de Huancayo?	Determinar los efectos tiene la energía de compactación durante el ensayo Proctor modificado en el mejoramiento vial de la provincia de Huancayo.	Existen efectos significativos entre La energía de compactación durante el ensayo Proctor modificado y el mejoramiento vial de la provincia de Huancayo		valor de la energía de compactación	kg-cm/cm3	
<b>Formulación de problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>	v2: ensayo proctor modificado	máxima densidad seca (mds)	1.533 gr/cm3	
¿Qué efectos tiene la energía de compactación durante el ensayo proctor modificado en el Máxima densidad seca en la provincia de Huancayo ?	Determinar qué efectos tiene la energía de compactación durante el ensayo proctor modificado en el Máxima densidad seca en la provincia de Huancayo	Existen efectos significativos entre La energía de compactación durante el ensayo proctor modificado y la máxima densidad seca en la provincia de Huancayo		máximo contenido de humedad	%	
¿Qué efectos tiene la energía de compactación durante el ensayo proctor modificado en el Máximo contenido de humedad en la provincia de Huancayo ?	Determinar qué efectos tiene la energía de compactación durante el ensayo proctor modificado en el Máximo contenido de humedad en la provincia de Huancayo	Existen efectos significativos entre La energía de compactación durante el ensayo proctor modificado y el máximo contenido de humedad en la provincia de Huancayo				

## **Anexo N° 02: Matriz de Operacionalización de variable**

<b>VARIABLES</b>	<b>DIMENSION</b>	<b>INDICADORES</b>
<b>Energía de compactación</b>	NUMERO DE GOLPES POR CAPA	UNIDAD
	VALOR DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN	KG-CM/CM3
<b>Ensayo Proctor modificado</b>	MAXIMA DENSIDAD SECA (MDS)	1.533 GR/CM3
	MÁXIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	%

## **Anexo N° 03: Panel fotográfico**

Colocación de la muestra en el equipo



Secado de la muestra en el horno



Tamizado de la muestra



Registrando los datos de la muestra



## **Anexo N° 04: Ensayos de laboratorio**



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO**  
**MTC E 107-2016**

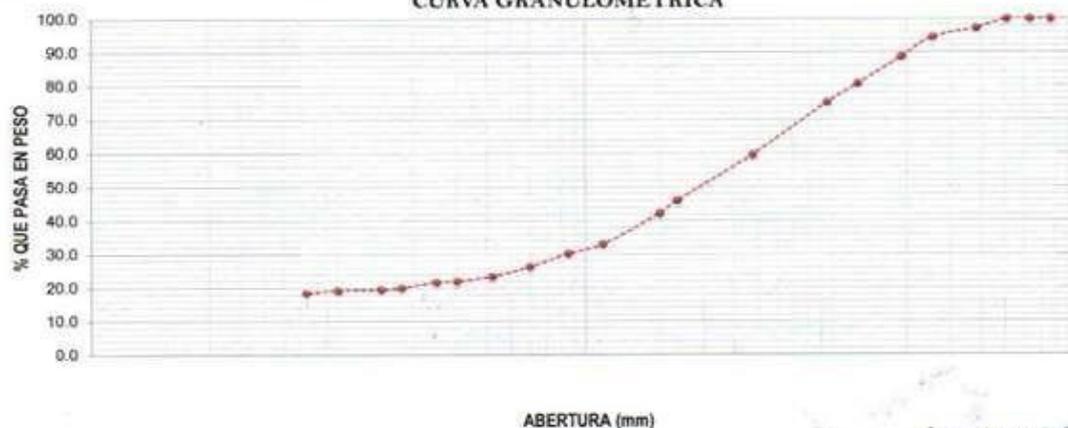
TESIS : EFECTOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DURANTE EL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO EN UN MEJORAMIENTO VIAL EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO  
 ATENCIÓN : UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
 PETICIONARIO : BACH. PORTA RUTTE YONATHAN YONNY  
 UBICACIÓN : JR. ARICA TRAMOS: JR. AMAZONAS - JR HUALLAGA, JR. HUANCAYO - JR. JUNIN

Cantera : Tambo  
 Muestra :

Fecha de recepción : Noviembre del 2022  
 Fecha de emisión : Noviembre del 2022

TAMICES		PESO RETENIDO (g)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
pulg.	mm					
3"	76.20					Muestra Total 2065.9 g
2 1/2"	63.50					Tamaño Máximo 2"
2"	50.80				100.0	% Gravas 40.5
1 1/2"	38.10	58.0	2.8	2.8	97.2	% Arenas 41.1
1"	25.40	56.0	2.7	5.5	94.5	M.F. 4.35
3/4"	19.05	120.0	5.8	11.3	88.7	
1/2"	12.70	167.0	8.1	19.4	80.6	Pasa N° 200 (MTC E 137) 18.46%
3/8"	9.53	115.0	5.6	25.0	75.0	
N° 4	4.75	320.0	15.5	40.5	59.5	% Humedad (MTC E 108) 6.3 %
N° 8	2.36	355.00	17.2	57.7	42.3	
N° 10	2.00	1.00	0.0	57.7	42.3	Límite Líquido (MTC E 110) 20 %
N° 16	1.18	160.00	7.7	65.4	34.6	Límite Plástico (MTC E 111) 13 %
N° 20	0.85	90.00	4.4	69.8	30.2	Índice Plástico (MTC E 111) 7 %
N° 30	0.60	80.00	3.9	73.7	26.3	Clasificación SUCS (ASTM D 2487-11) SC - Arena arcillosa
N° 40	0.42	60.00	2.9	76.6	23.4	CLASIFIC. AASHTO (ASTM D 3282-09) A - 2 - 4 ( 0 )
N° 50	0.30	30.00	1.5	78.0	22.0	
N° 60	0.25	5.00	0.2	78.3	21.7	
N° 80	0.18	35.00	1.7	80.0	20.0	
N° 100	0.15	10.00	0.5	80.4	19.6	D10 : 0.04 mm Cu : 121.98
N° 140	0.10	5.00	0.2	80.7	19.3	D30 : 0.84 mm Cc : 3.56
N° 200	0.074	18.00	0.9	81.6	18.4	D60 : 4.89 mm
Fondo		381.30	18.5	100.0		

**CURVA GRANULOMÉTRICA**





**COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA  
MTC E 115 - 2016**

**TESIS** : EFECTOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DURANTE EL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO EN UN MEJORAMIENTO VIAL EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO

**ATENCIÓN** : UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

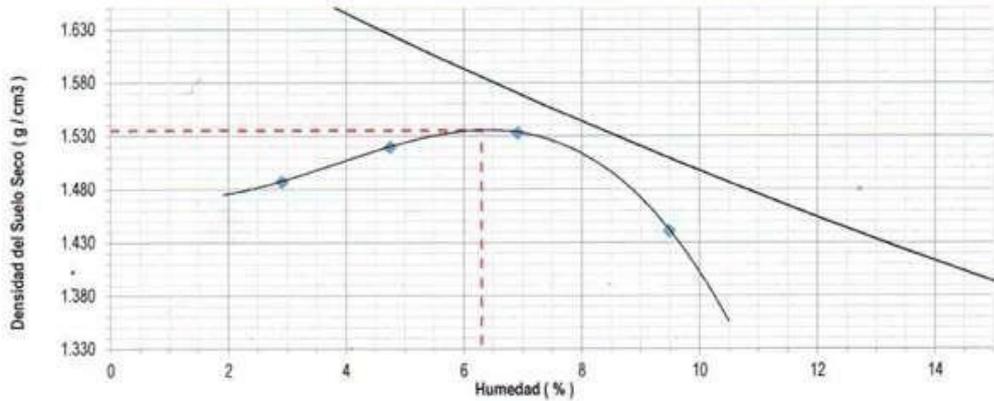
**PETICIONARIO** : BACH. PORTA RUTTE YONATHAN YONNY

**UBICACIÓN** : JR. ARICA TRAMOS - JR. AMAZONAS - JR HUALLAGA, JR. HUANCAYO - JR. JUNIN

**Cantera** : Tambo **Fecha de recepción** : Noviembre del 2022

**Muestra** : M - 1 **Fecha de ensayo** : Noviembre del 2022

ENERGÍA DE COMPACTACIÓN		PREPARACIÓN DE LA MUESTRA		Optimo Contenido Humedad (OCH)	6.30 %
N° de capas	5	Retenido Tamiz 3/4"	11.3 %	Máxima Densidad Seca (MDS)	1.535 gr/cm3
Peso del pisón (manual)	4.52 Kg	Retenido Tamiz 3/8"	25.0 %		
Altura de caída del pisón	45.70 cm	Retenido Tamiz N°04	40.5 %	Gravedad específica de sólidos del suelo (MTC E 113)	1.761
Número de golpes por capa	56	Pasa Tamiz N°04	59.5 %		
Energía de compactación	27.36 Kg-cm/cm3	Método de compactación	C		



Prueba N°		1	2	3	4				
<b>COMPACTACIÓN</b>									
Peso del Suelo Húmedo + Molde	(g)	9230.0	9360.0	9460.0	9330.0				
Peso del Molde	(g)	5979	5979	5979	5979				
Peso del Suelo Compacto	(g)	3251	3381	3481	3351				
Volumen del molde	(cm³)	2124.0	2124.0	2124.0	2124.0				
<b>HUMEDAD</b>									
Recipiente N°		A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8
Peso del Suelo Húmedo + Recip.	(g)	363.55	375.89	389.55	358.20	382.69	413.16	451.89	435.10
Peso del Suelo Seco + Recipiente	(g)	354.37	366.57	374.20	343.51	360.00	389.85	417.50	400.50
Peso del Agua	(g)	9.18	9.32	15.35	14.69	22.69	23.31	34.39	34.60
Peso del Recipiente	(g)	38.22	45.60	45.56	38.66	38.42	45.59	46.46	44.18
Peso del Suelo Seco	(g)	316.15	320.97	328.64	304.85	321.58	344.26	371.04	356.32
Contenido de Humedad	(%)	2.90	2.90	4.67	4.82	7.06	6.77	9.27	9.71
Promedio de Humedad	(%)	2.90		4.74		6.91		9.49	
<b>DENSIDAD</b>									
Densidad del Suelo Húmedo	(g/cm³)	1.531	1.592	1.639	1.578				
Densidad del Suelo Seco	(g/cm³)	1.487	1.520	1.533	1.441				

**Referencias Normativas:**

- NTP 339.141: Suelos. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m³ (56 000 pie-lb/ft³)).
- ASTM D 1557: Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort ((2 700 kN-m/m³ (56 000 pie-lb/ft³)).

DIRECCIÓN: JR. 28 DE OCTUBRE N°429 EL TAMBO HUANCAYO  
(ALTA DEL PUENTE CARRIÓN)  
ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO  
RUC:20568764995

**GEOLUMAS SAC**  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
  
Ing. Civil Edwin Peña Duenas  
INGENIERO TÉCNICO CIVIL  
ESPECIALISTA EN MECÁNICA DE SUELOS  
CONCRETO GEOTECNIA Y FÍSICOLOGIA

CEL: 999526400, RPM: #999526400  
CEL: 999526400, RPM: #999526400

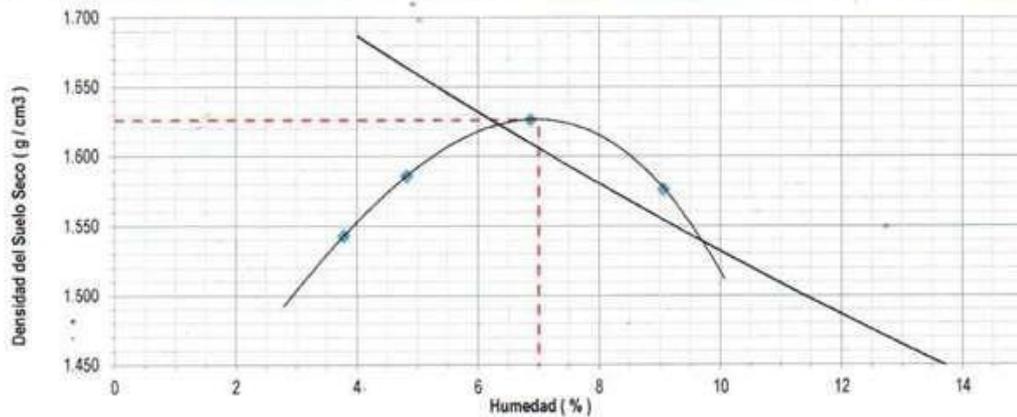


**COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA  
MTC E 115 - 2016**

**TESIS** : EFECTOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DURANTE EL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO EN UN MEJORAMIENTO VIAL EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO  
**ATENCIÓN** : UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES - FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
**PETICIONARIO** : BACH. PORTA RUTTE YONATHAN YONNY  
**UBICACIÓN** : JR. ARICA TRAMOS: JR. AMAZONAS - JR HUALLAGA, JR. HUANCAYO - JR. JUNIN

**Cantera** : Tambo **Fecha de recepción** : Noviembre del 2022  
**Muestra** : M - 2 **Fecha de ensayo** : Noviembre del 2022

ENERGÍA DE COMPACTACIÓN		PREPARACIÓN DE LA MUESTRA		Óptimo Contenido Humedad (OCH)	7.00 %
N° de capas	5	Retenido Tamiz 3/4"	11.3 %	Máxima Densidad Seca (MDS)	1.626 gr/cm <sup>3</sup>
Peso del pisón (manual)	4.52 Kg	Retenido Tamiz 3/8"	25.0 %		
Altura de caída del pisón	45.70 cm	Retenido Tamiz N°04	40.5 %	Gravedad específica de sólidos del suelo (MTC E 113)	1.808
Número de golpes por capa	58	Pasa Tamiz N°04	59.5 %		
Energía de compactación	28.34 Kg-cm/cm <sup>2</sup>	Método de compactación	C		



Prueba N°	1	2	3	4				
<b>COMPACTACIÓN</b>								
Peso del Suelo Húmedo + Molde (g)	9380.0	9510.0	9670.0	9630.0				
Peso del Molde (g)	5979	5979	5979	5979				
Peso del Suelo Compacto (g)	3401	3531	3691	3651				
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2124.0	2124.0	2124.0	2124.0				
<b>HUMEDAD</b>								
Recipiente N°	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8
Peso del Suelo Húmedo + Recip. (g)	363.55	375.89	389.55	358.20	382.69	413.16	451.89	435.10
Peso del Suelo Seco + Recipiente (g)	352.00	363.55	373.50	343.70	360.60	389.52	418.35	402.50
Peso del Agua (g)	11.55	12.34	16.05	14.50	22.09	23.64	33.54	32.60
Peso del Recipiente (g)	38.22	45.60	45.56	38.66	38.42	45.59	46.46	44.18
Peso del Suelo Seco (g)	313.78	317.95	327.94	305.04	322.18	343.93	371.89	358.32
Contenido de Humedad (%)	3.68	3.88	4.89	4.75	6.86	6.87	9.02	9.10
Promedio de Humedad (%)	3.78		4.82		6.86		9.06	
<b>DENSIDAD</b>								
Densidad del Suelo Húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.601		1.662		1.738		1.719	
Densidad del Suelo Seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.543		1.586		1.626		1.576	

**Referencias Normativas:**  
 - NTP 339.141: Suelos. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m<sup>3</sup> (56 000 pe-ib/pe<sup>3</sup>)).  
 - ASTM D 1557: Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort ((2 700 kN-m/m<sup>3</sup> (56 000 pe-ib/pe<sup>3</sup>)).

**DIRECCIÓN:** JR. 28 DE OCTUBRE N°429 EL TAMBO HUANCAYO  
 (ALTURA DEL PUENTE CARRIÓN)  
 ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO  
 RUC:20568764995

**GEOLUMAS SAC**  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
  
 Ing. Civil Edwin Peña Dueñas  
 AN SOR TECNICO CP 143416  
 ESPECIALISTA EN MECÁNICA DE SUELOS  
 CONCRETO, GEOTECNIA Y GEOLÓGIA

CEL: 999526400, RPM: #999526400  
 CEL: 999526400, RPM: #999526400



**COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA  
MTC E 115 - 2016**

TESIS : EFECTOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DURANTE EL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO EN UN MEJORAMIENTO VIAL EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO

ATENCIÓN : UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

PETICIONARIO : BACH. PORTA RUTTE YONATHAN YONNY

UBICACIÓN : JR. ARICA TRAMOS: JR. AMAZONAS - JR HUALLAGA, JR. HUANCAYO - JR. JUNIN

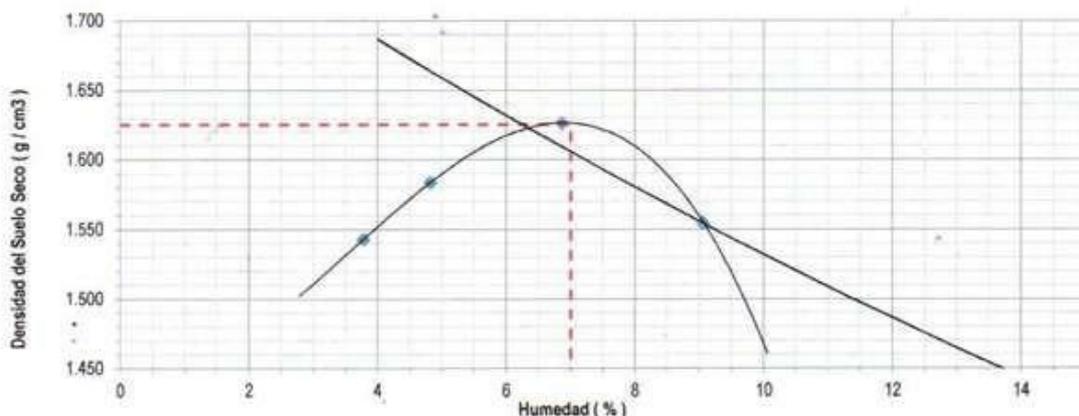
Cantera : Tambo

Fecha de recepción : Noviembre del 2022

Muestra : M - 3

Fecha de ensayo : Noviembre del 2022

ENERGÍA DE COMPACTACIÓN		PREPARACIÓN DE LA MUESTRA		Optimo Contenido Humedad (OCH)	7.00 %
N° de capas	5	Retenido Tamiz 3/4"	11.3 %	Máxima Densidad Seca (MDS)	1.625 gr/cm3
Peso del pisón (manual)	4.52 Kg	Retenido Tamiz 3/8"	25.0 %		
Altura de caída del pisón	45.70 cm	Retenido Tamiz N°04	40.5 %	Gravedad específica de sólidos del suelo (MTC E 113)	1.808
Número de golpes por capa	60	Pasa Tamiz N°04	59.5 %		
Energía de compactación	29.32 Kg-cm/cm3	Método de compactación	C		



Prueba N°	1	2	3	4				
<b>COMPACTACIÓN</b>								
Peso del Suelo Húmedo + Molde (g)	9380.0	9505.0	9670.0	9580.0				
Peso del Molde (g)	5979	5979	5979	5979				
Peso del Suelo Compacto (g)	3401	3526	3691	3601				
Volumen del molde (cm³)	2124.0	2124.0	2124.0	2124.0				
<b>HUMEDAD</b>								
Recipiente N°	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8
Peso del Suelo Húmedo + Recip. (g)	363.55	375.89	389.55	358.20	382.69	413.16	451.89	435.10
Peso del Suelo Seco + Recipiente (g)	352.00	363.55	373.50	343.70	360.60	389.52	418.40	402.50
Peso del Agua (g)	11.55	12.34	16.05	14.50	22.09	23.64	33.49	32.60
Peso del Recipiente (g)	38.22	45.60	45.56	38.66	38.42	45.59	46.46	44.18
Peso del Suelo Seco (g)	313.78	317.95	327.94	305.04	322.18	343.93	371.94	358.32
Contenido de Humedad (%)	3.66	3.88	4.89	4.75	6.86	6.87	9.00	9.10
Promedio de Humedad (%)	3.78		4.82		6.86		9.05	
<b>DENSIDAD</b>								
Densidad del Suelo Húmedo (g/cm3)	1.601		1.660		1.738		1.695	
Densidad del Suelo Seco (g/cm3)	1.543		1.584		1.626		1.555	

**Referencias Normativas:**

- NTP 339.141: Suelos. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m3 (56 000 pie-lbf/pe3)).
- ASTM D 1557: Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort ((2 700 kN-m/m3 (56 000 pie-lbf/pe3)).

DIRECCIÓN: JR. 28 DE OCTUBRE N°429 EL TAMBO HUANCAYO  
(ALTURA DEL PUENTE CARRIÓN)  
ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO  
RUC.20568764995

Ing. Civil Edwin Peña Dueñas  
 INGENIERO TÉCNICO CIP 145416  
 ESPECIALISTA EN MECÁNICA DE SUELOS  
 CONCRETO GEOTECNIA Y GEOLOGIA

CEL: 999526400, RPM: #999526400  
CEL: 999526400, RPM: #999526400

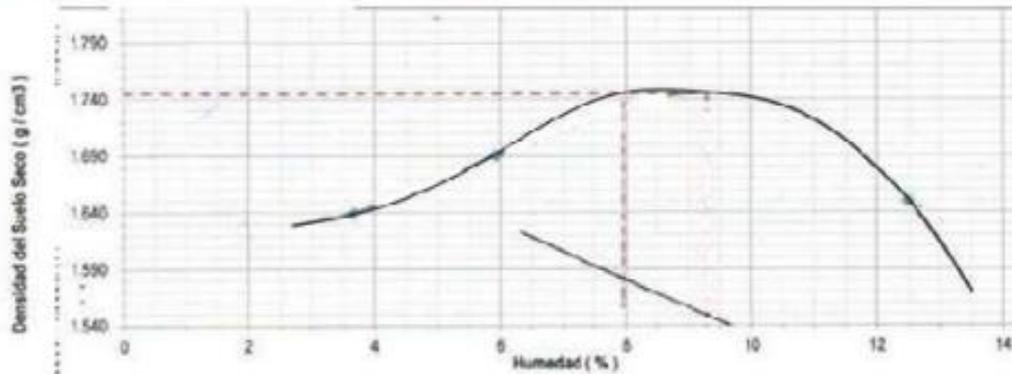


**COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA  
MTC E 115 - 2016**

**TESIS** : EFECTOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DURANTE EL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO EN UN MEJORAMIENTO VIAL EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO  
**ATENCIÓN** : UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
**PETICIONARIO** : BACH. PORTA RUTTE YONATHAN YONNY  
**UBICACIÓN** : JR. ARICA TRAMOS: JR. AMAZONAS - JR. HUALLAGA, JR. HUANCAYO - JR. JUNIN

**Cantera** : Tambo **Fecha de recepción** : Noviembre del 2022  
**Muestra** : M - 4 **Fecha de ensayo** : Noviembre del 2022

ENERGÍA DE COMPACTACIÓN		PREPARACIÓN DE LA MUESTRA		Óptimo Contenido Humedad (OCH)	7.95%
N° de capas	5	Retenido Tamiz 3/4"	11.3 %	Máxima Densidad Seca (MDS)	1.745 gr/cm <sup>3</sup>
Peso del piñón (manual)	4.52 Kg	Retenido Tamiz 3/8"	25.0 %		
Altura de caída del piñón	45.70 cm	Retenido Tamiz N°04	40.5 %	Gravedad específica de sólidos del suelo (MTC E 113)	1.808
Número de golpes por capa	62	Pasa Tamiz N°04	59.5 %		
Energía de compactación	30.29 KJ/cm <sup>2</sup>	Método de compactación	C		



Prueba N°	1	2	3	4				
<b>COMPACTACIÓN</b>								
Peso del Suelo Húmedo + Molde (g)	9690.0	9782.0	9987.0	9920.0				
Peso del Molde (g)	5979	5979	5979	5979				
Peso del Suelo Compacto (g)	3611	3803	4008	3941				
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2124.0	2124.0	2124.0	2124.0				
<b>HUMEDAD</b>								
Recipiente N°	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8
Peso del Suelo Húmedo + Recip. (g)	363.55	375.89	389.55	358.20	382.69	413.16	451.89	435.10
Peso del Suelo Seco + Recipiente (g)	352.00	364.25	370.00	340.55	355.90	384.55	407.05	391.56
Peso del Agua (g)	11.55	11.64	19.55	17.65	26.79	28.61	44.84	43.54
Peso del Recipiente (g)	38.22	45.60	45.56	38.66	38.42	45.59	46.46	44.18
Peso del Suelo Seco (g)	313.78	318.65	324.44	301.89	317.48	338.96	360.59	347.38
Contenido de Humedad (%)	3.68	3.65	6.03	5.85	8.44	8.44	12.44	12.53
Promedio de Humedad (%)		3.67	5.94		8.44		12.48	
<b>DENSIDAD</b>								
Densidad del Suelo Húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.700		1.790		1.887		1.855	
Densidad del Suelo Seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.640		1.690		1.740		1.650	

**Referencias Normativas:**

- NTP 338.141. Suelos. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN·m/m<sup>2</sup>) (56 000 pe·ft/pe<sup>2</sup>).
- ASTM D 1557. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (2 700 kN·m/m<sup>2</sup>) (56 000 pe·ft/pe<sup>2</sup>).

DIRECCIÓN: JR. 28 DE OCTUBRE N°428 EL TAMBO HUANCAYO  
 ALTURA DEL PUENTE CARRIÓN  
 ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO  
 RUC:20568764995



**GEOLUMAS SAC**  
 INGENIERÍA DE SUELOS

Ing. Civil Edwin Peña Dueñas  
 ASESOR TÉCNICO - CP 16418  
 ESPECIALISTA EN CÁMERA DE SUELOS  
 CONVENIO GEOTECNIA Y GEOLÓGIA

CEL: 999526400, RPM: #999526400  
 CEL: 999526400, RPM: #999526400



**COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA  
MTC E 115 - 2016**

**TESIS** : EFECTOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DURANTE EL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO EN UN MEJORAMIENTO VIAL EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO

**ATENCIÓN** : UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

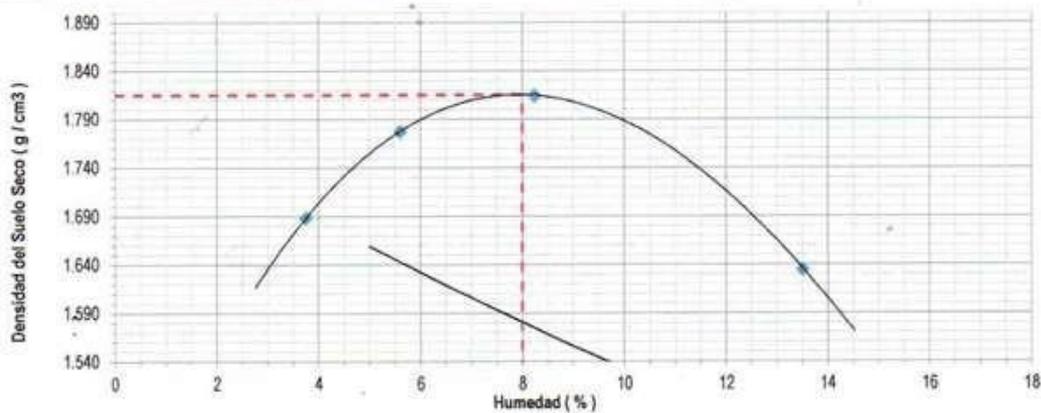
**PETICIONARIO** : BACH. PORTA RUTTE YONATHAN YONNY

**UBICACIÓN** : JR. ARICA TRAMOS: JR. AMAZONAS - JR HUALLAGA, JR. HUANCAYO - JR. JUNIN

**Cantera** : Tambo **Fecha de recepción** : Noviembre del 2022

**Muestra** : M - 5 **Fecha de ensayo** : Noviembre del 2022

ENERGÍA DE COMPACTACIÓN		PREPARACIÓN DE LA MUESTRA		Óptimo Contenido Humedad (OCH)	8.00 %
N° de capas	5	Retenido Tamiz 3/4"	11.3 %	Máxima Densidad Seca (MDS)	1.815 gr/cm3
Peso del pisón (manual)	4.52 Kg	Retenido Tamiz 3/8"	25.0 %		
Altura de caída del pisón	45.70 cm	Retenido Tamiz N°04	40.5 %	Gravedad específica de sólidos del suelo (MTC E 113)	1.808
Número de golpes por capa	64	Pasa Tamiz N°04	59.5 %		
Energía de compactación	31.27 Kg-cm/cm3	Método de compactación	C		



Prueba N°	1	2	3	4
<b>COMPACTACIÓN</b>				
Peso del Suelo Húmedo + Molde (g)	9700.0	9965.0	10150.0	9920.0
Peso del Molde (g)	5979	5979	5979	5979
Peso del Suelo Compacto (g)	3721	3986	4171	3941
Volumen del molde (cm³)	2124.0	2124.0	2124.0	2124.0

Recipiente N°	HUMEDAD							
	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8
Peso del Suelo Húmedo + Recip. (g)	363.55	375.89	389.55	358.20	382.69	413.16	451.89	435.10
Peso del Suelo Seco + Recipiente (g)	351.50	364.25	371.40	341.20	356.50	385.18	403.68	388.55
Peso del Agua (g)	12.05	11.64	18.15	17.00	26.19	27.98	48.21	46.55
Peso del Recipiente (g)	38.22	45.60	45.56	38.66	38.42	45.59	46.46	44.18
Peso del Suelo Seco (g)	313.28	318.65	325.84	302.54	318.08	339.59	357.22	344.37
Contenido de Humedad (%)	3.85	3.65	5.57	5.62	8.23	8.24	13.50	13.52
Promedio de Humedad (%)		3.75		5.59		8.24		13.51

DENSIDAD					
Densidad del Suelo Húmedo (g/cm3)		1.752	1.877	1.964	1.855
Densidad del Suelo Seco (g/cm3)		1.689	1.777	1.814	1.635

**Referencias Normativas:**

- NTP 339.141: Suelos. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN·mm/3 (56 000 pie·lb/pe.3)).
- ASTM D 1557: Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort ((2 700 kN·mm/3 (56 000 pie·lb/pe.3)).

DIRECCIÓN: JR. 28 DE OCTUBRE N°429 EL TAMBO HUANCAYO  
(ALTURA DEL PUENTE CARRIÓN)  
ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO  
RUC:20568764995

Ing. Civil Edwin Peña Dueñas  
 ASESOR TÉCNICO CIP 140416  
 ESPECIALISTA EN MECÁNICA DE SUELOS  
 CONCRETO, GEOTECNIA Y GEOLOGÍA

CEL: 999526400, RPM: #999526400  
CEL: 999526400, RPM: #999526400



**COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA  
MTC E 115 - 2016**

**TESIS** : EFECTOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DURANTE EL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO EN UN MEJORAMIENTO VIAL EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO

**ATENCIÓN** : UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

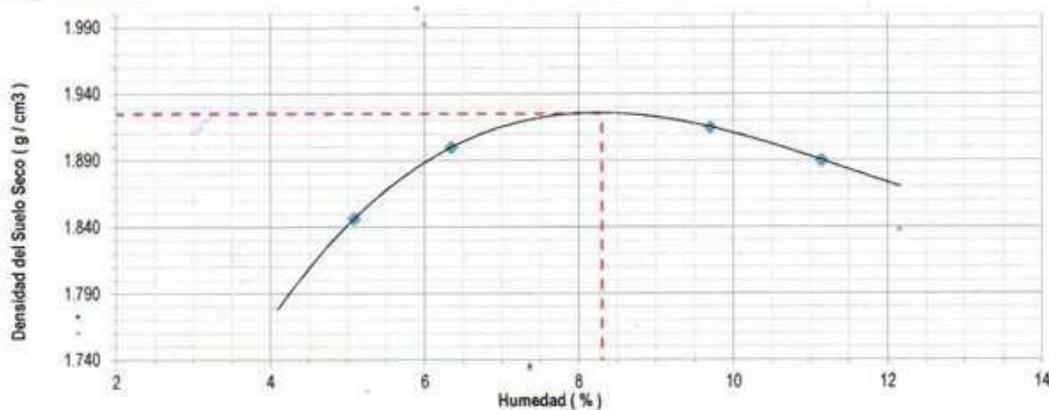
**PETICIONARIO** : BACH. PORTA RUTTE YONATHAN YONNY

**UBICACIÓN** : JR. ARICA TRAMOS: JR. AMAZONAS - JR HUALLAGA, JR. HUANCAYO - JR. JUNIN

**Cantera** : Tambo **Fecha de recepción** : Noviembre del 2022

**Muestra** : M - 6 **Fecha de ensayo** : Noviembre del 2022

ENERGÍA DE COMPACTACIÓN		PREPARACIÓN DE LA MUESTRA		Optimo Contenido Humedad (OCH)	8.30 %
N° de capas	5	Retenido Tamiz 3/4"	11.3 %	Máxima Densidad Seca (MDS)	1.925 gr/cm <sup>3</sup>
Peso del pisón (manual)	4.52 Kg	Retenido Tamiz 3/8"	25.0 %		
Altura de caída del pisón	45.70 cm	Retenido Tamiz N°04	40.5 %	Gravedad específica de sólidos del suelo (MTC E 113)	1.808
Número de golpes por capa	66	Pasa Tamiz N°04	59.5 %		
Energía de compactación	32.25 Kg-cm/m <sup>3</sup>	Método de compactación	C		



Prueba N°	1	2	3	4				
<b>COMPACTACIÓN</b>								
Peso del Suelo Húmedo + Molde (g)	10100.0	10270.0	10440.0	10440.0				
Peso del Molde (g)	5979	5979	5979	5979				
Peso del Suelo Compacto (g)	4121	4291	4461	4461				
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2124.0	2124.0	2124.0	2124.0				
<b>HUMEDAD</b>								
Recipiente N°	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8
Peso del Suelo Húmedo + Recip. (g)	363.55	375.89	389.55	358.20	382.69	413.16	451.89	435.10
Peso del Suelo Seco + Recipiente (g)	348.00	359.70	369.15	339.00	352.00	380.88	411.20	395.90
Peso del Agua (g)	15.55	16.19	20.40	19.20	30.69	32.28	40.69	39.20
Peso del Recipiente (g)	38.22	45.60	45.56	38.66	38.42	45.59	46.46	44.18
Peso del Suelo Seco (g)	309.78	314.10	323.59	300.34	313.58	335.29	364.74	351.72
Contenido de Humedad (%)	5.02	5.15	6.30	6.39	9.79	9.63	11.16	11.15
Promedio de Humedad (%)	5.09		6.35		9.71		11.15	
<b>DENSIDAD</b>								
Densidad del Suelo Húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.940	2.020	2.100	2.100				
Densidad del Suelo Seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.846	1.900	1.914	1.890				

**Referencias Normativas:**

- NTP 339.141: Suelos. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m<sup>3</sup> (56 000 pie-lb/pe<sup>3</sup>)).
- ASTM D 1557: Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort ((2 700 kN-m/m<sup>3</sup> (56 000 pie-lb/pe<sup>3</sup>)).

DIRECCIÓN: JR. 28 DE OCTUBRE N°429 EL TAMBO HUANCAYO  
(ALTURA DEL PUENTE CARRIÓN)  
ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO  
RUC:20568764995

**GEOLUMAS SAC**  
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS

*Edwin Peña Dueñas*

Ing. Civil Edwin Peña Dueñas  
ANEXO TECNICO - CP 145418  
SPECIALISTA EN MECÁNICA DE SUELOS  
CONCRETO, GEOTECNIA Y GEOLOGIA

CEL: 999526400, RPM: #999526400  
CEL: 999526400, RPM: #999526400



**COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA  
MTC E 115 - 2016**

**TESIS** : EFECTOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DURANTE EL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO EN UN MEJORAMIENTO VIAL EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO

**ATENCIÓN** : UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

**PETICIONARIO** : BACH. PORTA RUTTE YONATHAN YONNY

**UBICACIÓN** : JR. ARICA TRAMOS: JR. AMAZONAS - JR HUALLAGA, JR. HUANCAYO - JR. JUNIN

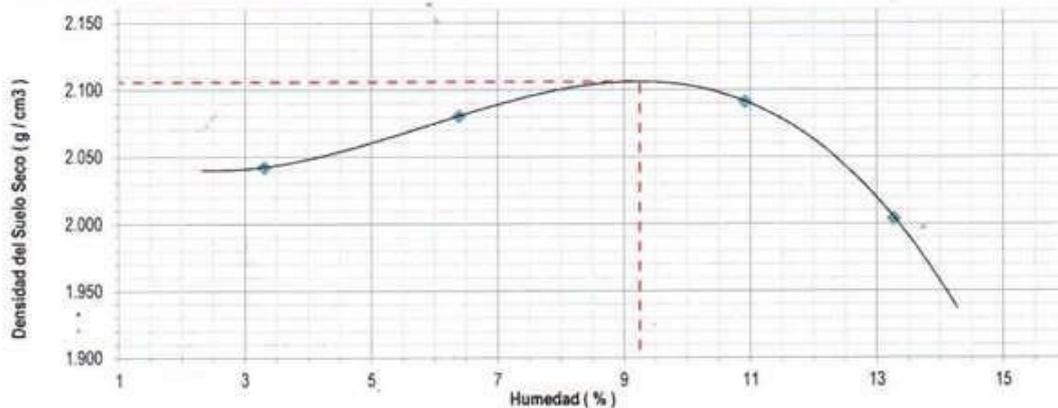
**Cantera** : Tambo

**Fecha de recepción** : Noviembre del 2022

**Muestra** : M - 7

**Fecha de ensayo** : Noviembre del 2022

ENERGÍA DE COMPACTACIÓN		PREPARACIÓN DE LA MUESTRA		Optimo Contenido Humedad (OCH)	9.25 %
N° de capas	5	Retenido Tamiz 3/4"	11.3 %	Máxima Densidad Seca (MDS)	2.106 gr/cm3
Peso del pisón (manual)	4.52 Kg	Retenido Tamiz 3/8"	25.0 %		
Altura de caída del pisón	45.70 cm	Retenido Tamiz N°04	40.5 %	Gravedad específica de sólidos del suelo (MTC E 113)	1.808
Número de golpes por capa	68	Pasa Tamiz N°04	59.5 %		
Energía de compactación	33.23 Kg-cm/cm3	Método de compactación	C		



Prueba N°	1	2	3	4				
<b>COMPACTACIÓN</b>								
Peso del Suelo Húmedo + Molde (g)	10460.0	10680.0	10905.0	10800.0				
Peso del Molde (g)	5979	5979	5979	5979				
Peso del Suelo Compacto (g)	4481	4701	4926	4821				
Volumen del molde (cm³)	2124.0	2124.0	2124.0	2124.0				
<b>HUMEDAD</b>								
Recipiente N°	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8
Peso del Suelo Húmedo + Recip. (g)	363.55	375.89	389.55	358.20	382.69	413.16	451.89	435.10
Peso del Suelo Seco + Recipiente (g)	353.00	365.46	368.90	339.00	348.70	377.10	404.80	388.90
Peso del Agua (g)	10.55	10.43	20.65	19.20	33.99	36.06	47.09	46.20
Peso del Recipiente (g)	38.22	45.60	45.56	38.66	38.42	45.59	46.46	44.18
Peso del Suelo Seco (g)	314.78	319.86	323.34	300.34	310.28	331.51	358.34	344.72
Contenido de Humedad (%)	3.35	3.26	6.39	6.39	10.95	10.88	13.14	13.40
Promedio de Humedad (%)		3.31		6.39		10.92		13.27
<b>DENSIDAD</b>								
Densidad del Suelo Húmedo (g/cm³)		2.110		2.213		2.319		2.270
Densidad del Suelo Seco (g/cm³)		2.042		2.080		2.091		2.004

**Referencias Normativas:**

- NTP 339.141: Suelos. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-mm/3 (56 000 pie-lb/pe.3)).
- ASTM D 1557: Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort ((2 700 kN-mm/3 (56 000 pie-lb/pe.3)).

**DIRECCIÓN: JR. 28 DE OCTUBRE N°429 EL TAMBO HUANCAYO  
(ALTURA DEL PUENTE CARRIÓN)  
ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO  
RUC:20568764995**

**GEOLUMAS SAC**  
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS  
  
**Ingeniero Civil Edwin Peña Dueñas**  
ABONADO TÉCNICO CIP 15416  
SPECIALISTA EN MECÁNICA DE SUELOS  
FORMERITO GEOFISICA Y GEOLOGIA

CEL: 999526400, RPM: #999526400  
CEL: 999526400, RPM: #999526400



**COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA  
MTC E 115 - 2016**

TESIS : EFECTOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DURANTE EL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO EN UN MEJORAMIENTO VIAL EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO

ATENCIÓN : UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

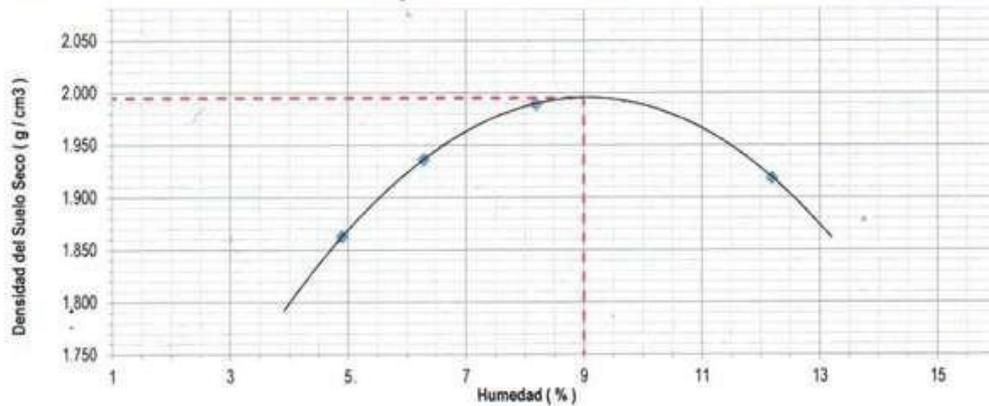
PETICIONARIO : BACH. PORTA RUTTE YONATHAN YONNY

UBICACIÓN : JR. ARICA TRAMOS: JR. AMAZONAS - JR HUALLAGA, JR. HUANCAYO - JR. JUNIN

Cantera : Tambo  
Muestra : M - 8

Fecha de recepción : Noviembre del 2022  
Fecha de ensayo : Noviembre del 2022

ENERGÍA DE COMPACTACIÓN		PREPARACIÓN DE LA MUESTRA		Óptimo Contenido Humedad (OCH)	9.00 %
N° de capas	5	Retenido Tamiz 3/4"	11.3 %	Máxima Densidad Seca (MDS)	1.995 gr/cm <sup>3</sup>
Peso del pisón (manual)	4.52 Kg	Retenido Tamiz 3/8"	25.0 %		
Altura de caída del pisón	45.70 cm	Retenido Tamiz N°04	40.5 %	Gravedad específica de sólidos del suelo (MTC E 113)	1.808
Número de golpes por capa	70	Pasa Tamiz N°04	59.5 %		
Energía de compactación	34.20 Kg-cm/tond	Método de compactación	C		



Prueba N°	1	2	3	4
-----------	---	---	---	---

COMPACTACIÓN				
Peso del Suelo Húmedo + Molde (g)	10130.0	10350.0	10550.0	10550.0
Peso del Molde (g)	5979	5979	5979	5979
Peso del Suelo Compacto (g)	4151	4371	4571	4571
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2124.0	2124.0	2124.0	2124.0

HUMEDAD								
Recipiente N°	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8
Peso del Suelo Húmedo + Recip. (g)	363.55	375.89	389.55	358.20	382.69	413.16	451.89	435.10
Peso del Suelo Seco + Recipiente (g)	348.30	360.50	368.90	339.60	357.00	384.99	407.98	392.50
Peso del Agua (g)	15.25	15.39	20.65	18.60	25.69	28.17	43.91	42.60
Peso del Recipiente (g)	38.22	45.60	45.56	38.66	38.42	45.59	46.46	44.18
Peso del Suelo Seco (g)	310.08	314.90	323.34	300.94	318.58	339.40	361.52	348.32
Contenido de Humedad (%)	4.92	4.89	6.39	6.18	8.06	8.30	12.15	12.23
Promedio de Humedad (%)	4.90		6.28		8.18		12.19	

DENSIDAD				
Densidad del Suelo Húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.954	2.058	2.152	2.152
Densidad del Suelo Seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.863	1.936	1.989	1.918

**Referencias Normativas:**

- NTP 339.141: Suelos. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m<sup>3</sup> (56 000 pie-lb/pe<sup>3</sup>)).
- ASTM D 1557: Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort ((2 700 kN-m/m<sup>3</sup> (56 000 pie-lb/pe<sup>3</sup>)).

DIRECCIÓN: JR. 28 DE OCTUBRE N°429 EL TAMBO HUANCAYO  
(ALTURA DEL PUENTE CARRIÓN)  
ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO  
RUC: 20568764995

**GEOLUMAS SAC**  
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS

*Edwin Peña Dueñas*  
Ing. Civil Edwin Peña Dueñas  
ASESOR TÉCNICO - CIP 143418  
SPECIALISTA EN MECÁNICA DE SUELOS  
CONCRETO, GEOTECNIA Y GEOLÓGIA

CEL: 999526400, RPM: #999526400  
CEL: 999526400, RPM: #999526400



**COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA  
MTC E 115 - 2016**

TESIS : EFECTOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DURANTE EL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO EN UN MEJORAMIENTO VIAL EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO

ATENCIÓN : UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

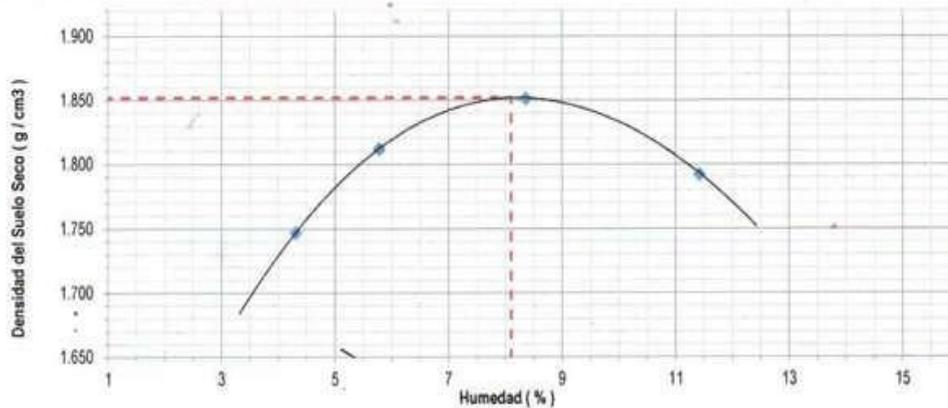
PETICIONARIO : BACH. PORTA RUTTE YONATHAN YONNY

UBICACIÓN : JR. ARICA TRAMOS: JR. AMAZONAS - JR HUALLAGA, JR. HUANCAYO - JR. JUNIN

Cantera : Tambo  
Muestra : M - 9

Fecha de recepción : Noviembre del 2022  
Fecha de ensayo : Noviembre del 2022

ENERGÍA DE COMPACTACIÓN		PREPARACIÓN DE LA MUESTRA		Óptimo Contenido Humedad (OCH)	8.10 %
N° de capas	5	Retenido Tamiz 3/4"	11.3 %	Máxima Densidad Seca (MDS)	1.852 gr/cm <sup>3</sup>
Peso del pisón (manual)	4.52 Kg	Retenido Tamiz 3/8"	25.0 %		
Altura de caída del pisón	45.70 cm	Retenido Tamiz N°04	40.5 %	Gravedad específica de sólidos del suelo (MTC E 113)	1.808
Número de golpes por capa	72	Pasa Tamiz N°04	59.5 %		
Energía de compactación	35.15 Kg-cm/cm <sup>3</sup>	Método de compactación	C		



Prueba N°	1	2	3	4
-----------	---	---	---	---

COMPACTACIÓN				
Peso del Suelo Húmedo + Molde (g)	9850.0	10050.0	10240.0	10220.0
Peso del Molde (g)	5979	5979	5979	5979
Peso del Suelo Compacto (g)	3871	4071	4261	4241
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2124.0	2124.0	2124.0	2124.0

Recipiente N°	HUMEDAD							
	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8
Peso del Suelo Húmedo + Recip. (g)	363.55	375.89	389.55	358.20	382.69	413.16	451.89	435.10
Peso del Suelo Seco + Recipiente (g)	349.90	362.47	371.00	340.54	355.95	384.99	409.95	395.40
Peso del Agua (g)	13.65	13.42	18.55	17.66	26.74	28.17	41.94	39.70
Peso del Recipiente (g)	38.22	45.60	45.56	38.66	38.42	45.59	46.46	44.18
Peso del Suelo Seco (g)	311.68	316.87	325.44	301.88	317.53	339.40	363.49	351.22
Contenido de Humedad (%)	4.38	4.24	5.70	5.85	8.42	8.30	11.54	11.30
Promedio de Humedad (%)	4.31		5.77		8.36		11.42	

DENSIDAD				
Densidad del Suelo Húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.823	1.917	2.006	1.997
Densidad del Suelo Seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.747	1.812	1.851	1.792

Referencias Normativas:

- NTP 339.141: Suelos. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m<sup>3</sup> (56 000 pie-lb/pe<sup>3</sup>)).
- ASTM D 1557: Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort ((2 700 kN-m/m<sup>3</sup> (56 000 pie-lb/pe<sup>3</sup>)).

DIRECCIÓN: JR. 28 DE OCTUBRE N°429 EL TAMBO HUANCAYO  
(ALTURA DEL PUENTE CARRIÓN)  
ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO  
RUC:20568764995

Civil Edwin Peña Dueñas  
ASESOR TÉCNICO CP 185418  
ESPECIALISTA EN MECÁNICA DE SUELOS  
CONCRETO GEOTECNIA Y GEOLÓGIA

CEL: 999526400, RPM: #999526400  
CEL: 999526400, RPM: #999526400



**COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA  
MTC E 115 - 2016**

**TESIS** : EFECTOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DURANTE EL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO EN UN MEJORAMIENTO VIAL EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO

**ATENCIÓN** : UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

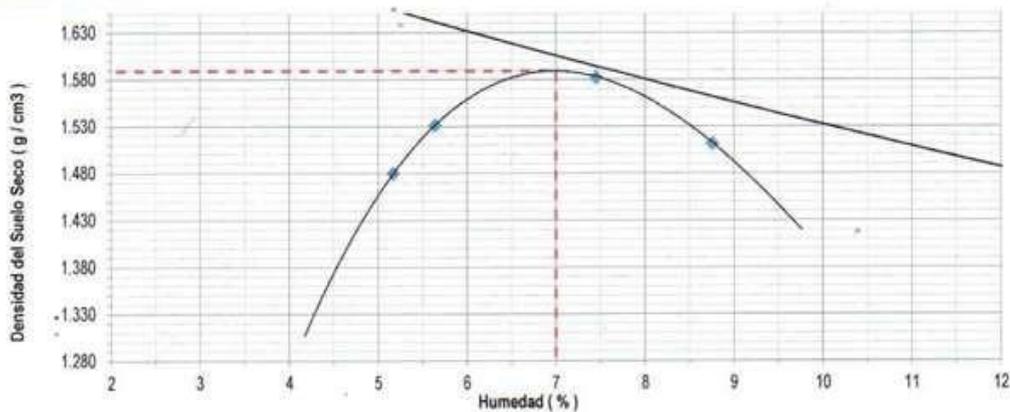
**PETICIONARIO** : BACH. PORTA RUTTE YONATHAN YONNY

**UBICACIÓN** : JR. ARICA TRAMOS: JR. AMAZONAS - JR HUALLAGA, JR. HUANCAYO - JR. JUNIN

**Cantera** : Tambo **Fecha de recepción** : Noviembre del 2022

**Muestra** : M - 10 **Fecha de ensayo** : Noviembre del 2022

ENERGÍA DE COMPACTACIÓN		PREPARACIÓN DE LA MUESTRA		Optimo Contenido Humedad (OCH)	7.00 %
N° de capas	5	Retenido Tamiz 3/4"	11.3 %	Máxima Densidad Seca (MDS)	1.589 gr/cm3
Peso del pisón (manual)	4.52 Kg	Retenido Tamiz 3/8"	25.0 %		
Altura de caída del pisón	45.70 cm	Retenido Tamiz N°04	40.5 %	Gravedad específica de sólidos del suelo (MTC E 113)	1.808
Número de golpes por capa	74	Pasa Tamiz N°04	59.5 %		
Energía de compactación	36.16 Kg-cm/cm3	Método de compactación	C		



Prueba N°	1	2	3	4
-----------	---	---	---	---

COMPACTACIÓN				
Peso del Suelo Húmedo + Molde (g)	9285.0	9415.0	9590.0	9470.0
Peso del Molde (g)	5979	5979	5979	5979
Peso del Suelo Compacto (g)	3306	3436	3611	3491
Volumen del molde (cm³)	2124.0	2124.0	2124.0	2124.0

Recipiente N°	HUMEDAD							
	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8
Peso del Suelo Húmedo + Recip. (g)	363.55	375.89	389.55	358.20	382.69	413.16	451.89	435.10
Peso del Suelo Seco + Recipiente (g)	348.00	359.20	371.00	341.30	358.00	388.54	420.00	402.90
Peso del Agua (g)	15.55	16.69	18.55	16.90	24.69	24.62	31.89	32.20
Peso del Recipiente (g)	38.22	45.60	45.56	38.66	38.42	45.59	46.46	44.18
Peso del Suelo Seco (g)	309.78	313.60	325.44	302.64	319.58	342.95	373.54	358.72
Contenido de Humedad (%)	5.02	5.32	5.70	5.58	7.73	7.18	8.54	8.98
Promedio de Humedad (%)		5.17		5.64		7.45		8.76

DENSIDAD					
Densidad del Suelo Húmedo (g/cm³)	1.556		1.618	1.700	1.644
Densidad del Suelo Seco (g/cm³)	1.480		1.531	1.582	1.511

**Referencias Normativas:**  
 - NTP 339 141: Suelos. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 MN·m/m³ (56 000 pie·lb/pe.³)).  
 - ASTM D 1557: Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (2 700 MN·m/m³ (56 000 pie·lb/pe.³)).

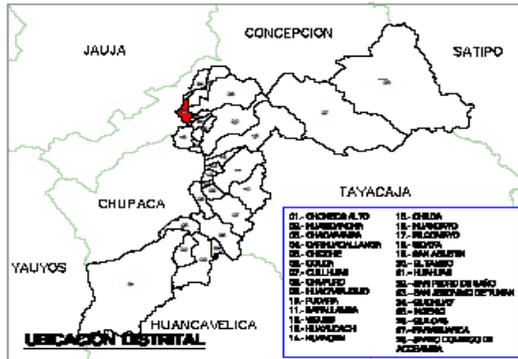
DIRECCIÓN: JR. 28 DE OCTUBRE N°429 EL TAMBO HUANCAYO  
 (ALTURA DEL PUENTE CARRIÓN)  
 ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO  
 RUC:20568764995

Ing. Civil Edwin Peña Dueñas  
 ASESOR TECNICO CIVIL EN  
 ESPECIALIDAD EN MECÁNICA DE SUELOS  
 CONCRETO GEOTECNIA Y GEOLOGIA

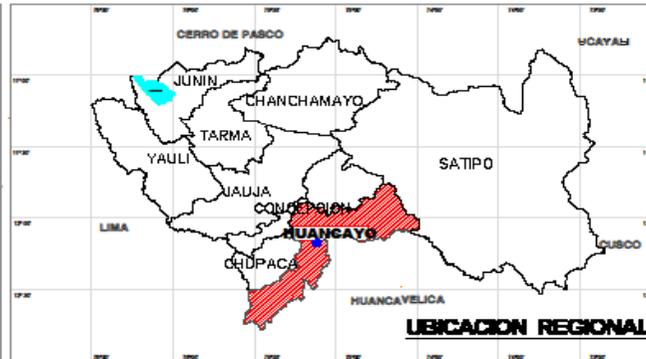
CEL: 999526400, RPM: #999526400  
 CEL: 999526400, RPM: #999526400

## **Anexo N° 05: Planos**

**PROVINCIA DE HUANCAYO**



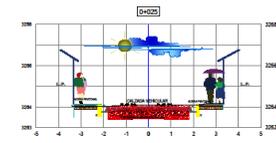
**DEPARTAMENTO JUNIN**



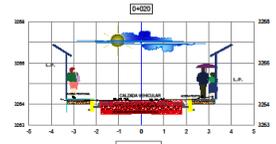
**LOCALIZACION NACIONAL**



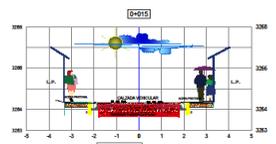
<b>UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES</b>				
TESIS "EFECTOS DE LA ENERGIA DE COMPACTACION DURANTE EL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO EN UN MEJORAMIENTO VIAL EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO"				
	<b>UBICACION Y LOCALIZACION</b>		LAMINA: 	
	PLANO:	CAD:		DHG
	DIBUJANTE: DANIEL PORTA RUIZ Y ORTIZ	ASesor:		Escala:
LOC.: JL. ARICA	DIST.: SAN JERÓNIMO DE TUNÁN	PROV.: HUANCAYO	REGION: JUNIN	



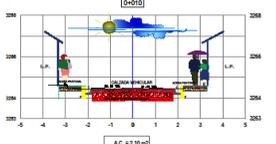
A.C. = 2.46 m  
A.R. = 0.90 m



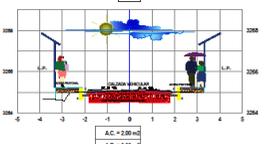
A.C. = 2.49 m  
A.R. = 0.90 m



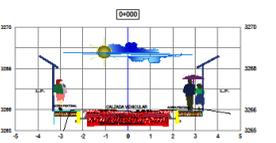
A.C. = 2.41 m  
A.R. = 0.90 m



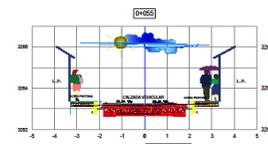
A.C. = 2.19 m  
A.R. = 0.90 m



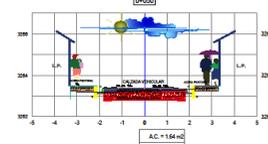
A.C. = 2.90 m  
A.R. = 0.90 m



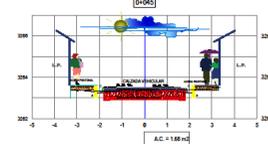
A.C. = 2.83 m  
A.R. = 0.90 m



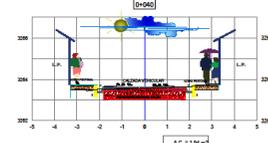
A.C. = 1.96 m  
A.R. = 0.90 m



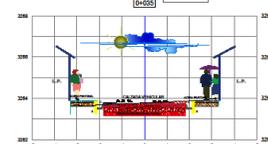
A.C. = 1.64 m  
A.R. = 0.90 m



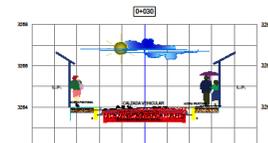
A.C. = 1.88 m  
A.R. = 0.90 m



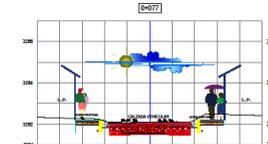
A.C. = 1.94 m  
A.R. = 0.90 m



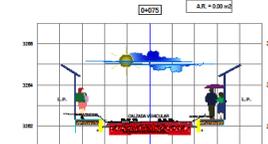
A.C. = 2.25 m  
A.R. = 0.90 m



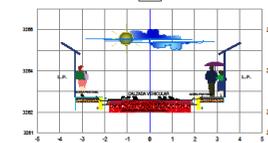
A.C. = 2.84 m  
A.R. = 0.90 m



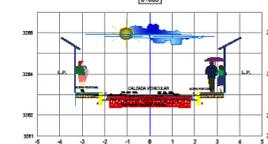
A.C. = 2.54 m  
A.R. = 0.90 m



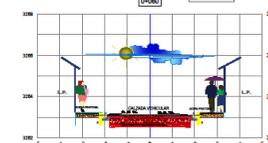
A.C. = 2.17 m  
A.R. = 0.90 m



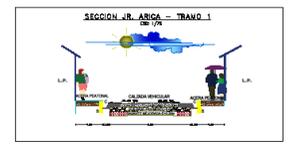
A.C. = 2.11 m  
A.R. = 0.90 m



A.C. = 2.29 m  
A.R. = 0.90 m

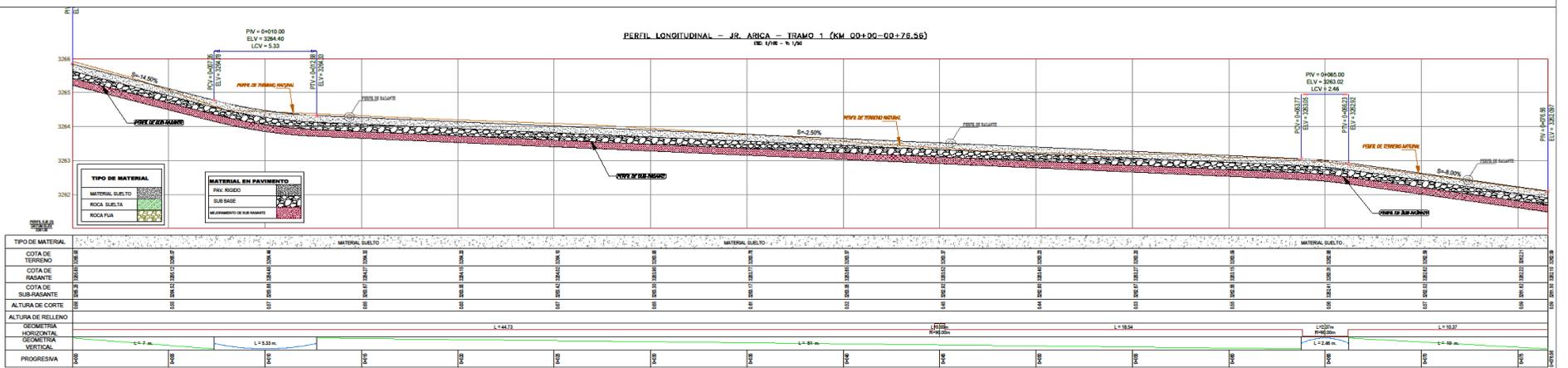
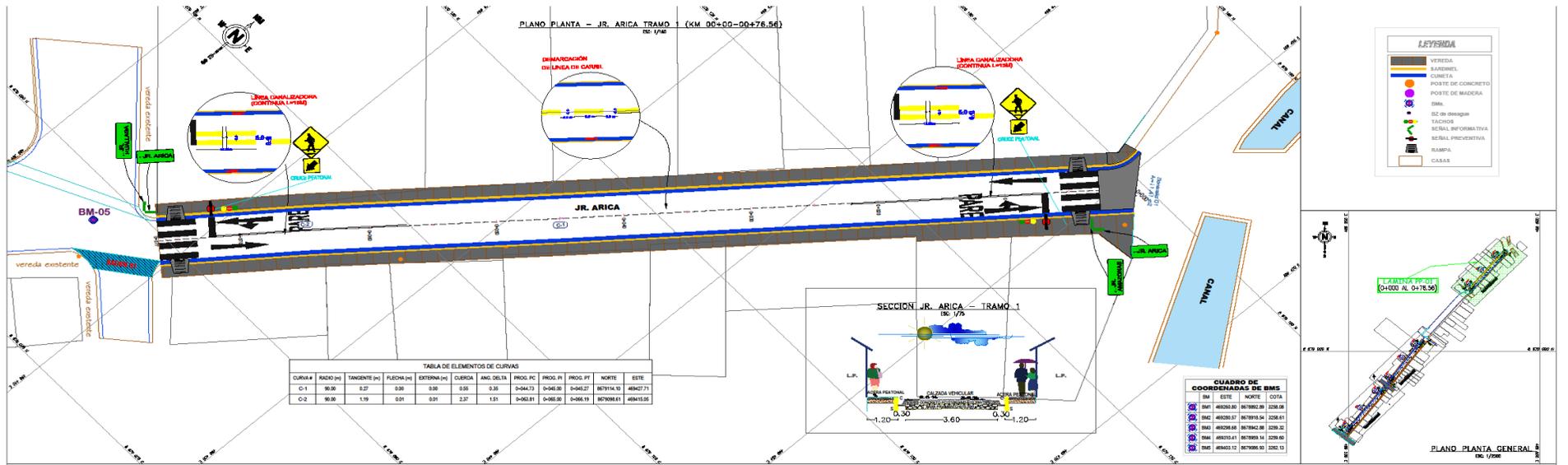


A.C. = 2.24 m  
A.R. = 0.90 m



LEYENDA DE EXPLICACIONES  
AREA DE CORTE  
AREA DE RELLENO

<b>UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES</b>			
TITULO: EFECTOS DE LA ENERGIA DE COMPACTACION DURANTE EL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO EN UN MEJORAMIENTO VIAL EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO*			
PLANO:	<b>SECCIONES TRANSVERSALES</b>		LAMINA:
DESEÑADO:	ING. BACALYONHAY Y. FORTUQUITE	NO:	036
PROFESOR:	ING. WILSON ORTIZ MULLAPOMA R.	ESCALA:	1/50
L.R.:	ARICA	PROV.:	HUANCAYO
		REGION:	SUR



**"UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES"**

EFECTOS DE LA ENERGIA DE COMPACTACION DURANTE EL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO EN UN MEJORAMIENTO VIAL EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO

PLANO: PLANTA PERFIL - JR. ARICA

ELABORANTE: ING. OSCAR YANKE FORTE

PROFESOR: ING. CRISTIAN MALLARONA REYES

FECHA: 2015

ESCALA: 1:800

PROYECTO: HUANCAYO

REGION: JUNIN

LABOR: PP-01