

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Análisis de energía de compactación en conformación  
de bases para pavimento rígido urbano en el distrito de  
Challhuahuacho, Apurímac**

Alejandro Moscoso Melo  
Walter Raul Marcos Chuta

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Civil

Huancayo, 2022

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **DEDICATORIA**

### ***A mi madre Olga Melo N.***

*Por su apoyo incondicional, amor, consejos, comprensión y sobre todo por la educación y valores inculcados, gracias madre mía.*

### ***A mi padre Antonio Moscoso M.***

*Por los consejos motivadores de perseverancia, dedicación, esfuerzo y por instruirme y señalarme el camino de la vida para ser bienaventurado, gracias por tu apoyo padre mío.*

### ***A mis familiares.***

*Por los consejos y buenos deseos: A mis hermanos, tíos y toda la familia que siempre han confiado en mí y brindado buenas vibras en las decisiones que he tomado.*

### ***A mi esposa e hija.***

*Melina L. Sánchez M. y Meryem S. Moscoso S. La llegada de nuestra hija es una bendición, de eso no hay duda, han sido una motivación más para lograr este sueño de ser un profesional.*

### ***Alejandro Moscoso Melo***

*A Dios, por guiarme en cada paso que doy, brindándome salud, fuerza y la vida diaria para seguir cumpliendo mis sueños.*

*A mis padres Luis Marcos Junes. y Eufemia Chuta Corimanya. por brindarme siempre su apoyo y amor incondicional, por ser el máximo ejemplo en mi vida, por guiarme y saber corregir mis malos hábitos,*

*A mis familiares. Por los consejos y buenos deseos.*

*A mis hermanos Diana, Enrique y Fanny que me impulsan a seguir adelante.*

### ***Walter Raúl Marcos Chuta***

## **AGRADECIMIENTO**

*Con aprecio y estima a nuestro asesor Mg. Ing. Marko Antonio Lengua Fernández por la enseñanza, orientación y apoyo en nuestra elaboración del proyecto de investigación, con el propósito de facilitar y aportar temas de investigación a la universidad.*

*A nuestro creador Dios por obsequiarnos la vida, Con su gracia y bendición ha encauzado nuestros caminos y llenado de color y alegría, por las lecciones que nos da la vida y que aprendemos cada día más de los errores, por permitir este logro tan anhelado.*

*A la Universidad Continental por pertenecer a esta institución de estudios y a la Escuela Académica profesional de ingeniería civil por permitirnos alcanzar nuestros sueños anhelados de ser un profesional.*

*También agradecer a los amigos, compañeros que han colaborado en el desarrollo de nuestra investigación, por lo cual expresamos nuestra gratitud ¡No puedo decir otra palabra más que “gracias”!*

*A los dignos miembros del jurado:*

*-Msc. Augusto Elías García Corzo*

*-Ma. Roberto Carlos Castillo Velarde*

*-Ma. Enrique Eduardo Huaroto Casquillas*

**Alejandro Moscoso Melo y**

**Walter Raúl Marcos Chuta**

# ÍNDICE

<b>PORTADA</b> .....	<b>1</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>3</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>4</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>8</b>
<b>LISTA DE FIGURAS Y GRÁFICOS</b> .....	<b>10</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>12</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>13</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO</b> .....	<b>17</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.2.1 PROBLEMA GENERAL .....	19
1.2.2 PROBLEMA ESPECÍFICOS .....	19
1.3 OBJETIVOS .....	20
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	20
1.3.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	20
1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA .....	21
1.5 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
1.5.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL .....	21
1.5.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL .....	21
1.5.3 DELIMITACIÓN CONCEPTUAL .....	22
1.6 HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES .....	22
1.6.1 HIPÓTESIS.....	22
1.6.2 VARIABLES .....	23
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>24</b>
2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	24
2.1.1 ANTECEDENTES NACIONALES .....	24
2.1.2 ANTECEDENTES INTERNACIONALES .....	27
2.2 BASES TEÓRICAS .....	28
2.2.1 COMPACTACIÓN DE SUELOS.....	28
2.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS EN COMPACTACIÓN .....	29
2.2.3 ENERGÍA DE COMPACTACIÓN EN SUELOS .....	30

2.2.4	PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN EL CÁLCULO DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN.....	30
2.2.5	FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE COMPACTACIÓN DE CAMPO.....	32
2.2.6	FACTORES EFICIENCIA TRABAJO Y RENDIMIENTO DE UN COMPACTADOR.....	35
2.2.7	MÉTODOS DE COMPACTACIÓN.....	37
2.2.8	ELECCIÓN DE EQUIPOS MECÁNICOS SEGÚN LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS Y REQUISITOS DE COMPACTACIÓN PROMEDIO .....	38
2.2.9	EFFECTO Y CÁLCULO DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO Y CAMPO.....	43
2.2.10	COMPORTAMIENTO DE SUELOS GRANULARES .....	45
2.2.11	PROCESO DE DENSIFICACIÓN DE UN SUELO COMPACTADO .....	45
2.2.12	ENSAYOS CORRESPONDIENTES EN LABORATORIO Y CAMPO. ....	46
2.2.13	MAQUINAS MECÁNICAS PARA EL PROCESO DE COMPACTACIÓN EN CAMPO.....	56
2.2.14	PAVIMENTO RIGIDO.....	59
2.2.15	ESTRUCTURAS DE UN PAVIMENTO RÍGIDO .....	60
2.2.16	GEOLOGÍA SUPERFICIAL EN EL DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO ....	61
2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	62
	<b>CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....</b>	<b>65</b>
3.1	MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	65
3.1.1	ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	65
3.1.2	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	65
3.1.3	NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	65
3.1.4	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	65
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA .....	67
3.2.1	POBLACIÓN.....	67
3.2.2	MUESTRA .....	68
3.3	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	69
3.3.1	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	69
3.3.2	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	69
	<b>CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>71</b>
4.1	LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO ELEGIDO PARA EL ESTUDIO.....	71
4.1.1	LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	71
4.1.2	ACCESO AL ÁREA DE ESTUDIO .....	71
4.1.3	CLIMA .....	72
4.2	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS.....	73
4.2.1	ENSAYOS DE LABORATORIO.....	73

4.2.2	ENSAYOS EN CAMPO CON CONO DE ARENA. ....	79
4.2.3	EFFECTO DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN.....	83
4.2.4	EFFECTO DE LA FRECUENCIA DE VIBRACIÓN CON RODILLO VIBRATORIO EN LA DENSIDAD HÚMEDA DE CAMPO.....	84
4.2.5	EFFECTO DE LA FRECUENCIA DE VIBRACIÓN CON RODILLO VIBRATORIO EN LA HUMEDAD DE CAMPO.....	85
4.2.6	EFFECTO DE LA FRECUENCIA DE VIBRACIÓN CON RODILLO VIBRATORIO EN LA DENSIDAD SECA DE CAMPO. ....	85
4.2.7	EFFECTO DE LA FRECUENCIA DE VIBRACIÓN CON RODILLO VIBRATORIO EN EL GRADO DE COMPACTACIÓN. ....	86
4.2.8	EFFECTO DE LA DENSIDAD HÚMEDA EN CAMPO CON RESPECTO A LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN CON RODILLO VIBRATORIO.....	87
4.2.9	EFFECTO DE LA HUMEDAD EN CAMPO CON RESPECTO A LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN CON RODILLO VIBRATORIO. ....	88
4.2.10	EFFECTO DE LA DENSIDAD SECA EN CAMPO CON RESPECTO A LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN CON RODILLO VIBRATORIO.....	89
4.2.11	EFFECTO DEL GRADO DE COMPACTACIÓN CON RESPECTO A LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN CON RODILLO. ....	90
4.2.12	EFFECTO DE LA TASA DE IMPACTO CON APISONADOR MANUAL EN LA DENSIDAD HÚMEDA DE CAMPO.....	91
4.2.13	EFFECTO DE LA TASA DE IMPACTO CON APISONADOR MANUAL EN LA HUMEDAD DE CAMPO.....	92
4.2.14	EFFECTO DE LA TASA DE IMPACTO CON APISONADOR MANUAL EN LA DENSIDAD SECA DE CAMPO. ....	92
4.2.15	EFFECTO DE LA DE LA TASA DE IMPACTO CON APISONADOR MANUAL EN EL GRADO DE COMPACTACIÓN. ....	93
4.2.16	EFFECTO DE LA DENSIDAD HÚMEDA EN CAMPO CON RESPECTO A LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN CON APISONADOR MANUAL.....	94
4.2.17	EFFECTO DE LA HUMEDAD EN CAMPO CON RESPECTO A LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN CON APISONADOR MANUAL. ....	94
4.2.18	EFFECTO DE LA DENSIDAD SECA EN CAMPO CON RESPECTO A LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN CON APISONADOR MANUAL.....	95
4.2.19	EFFECTO DEL GRADO DE COMPACTACIÓN CON RESPECTO A LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN CON APISONADOR MANUAL.....	96
4.3	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	96
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>101</b>
	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>104</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>106</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>108</b>
	<b>ANEXO 1.....</b>	<b>109</b>
	<b>Matriz de Operacionalización.....</b>	<b>109</b>

<b>ANEXO 2.</b> ....	<b>111</b>
<b>Matriz de Consistencia</b> .....	<b>111</b>
<b>ANEXO 3.</b> ....	<b>113</b>
<b>Panel fotográfico</b> .....	<b>113</b>
<b>ANEXO 4.</b> ....	<b>126</b>
<b>Certificados de los Ensayos Realizados</b> .....	<b>126</b>
<b>ANEXO 5.</b> ....	<b>138</b>
<b>Fichas Técnicas de Equipos Empleados</b> .....	<b>138</b>

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1.	Ancho Efectivo De compactación. ....	35
TABLA 2.	Velocidades de operación con rodillos. ....	35
TABLA 3.	Factor de Eficiencia de Trabajo. ....	36
TABLA 4.	Numero de Pasadas .....	36
TABLA 5.	Capacidades del Equipo de Compactación .....	39
TABLA 6.	Clasificación de suelo .....	40
TABLA 7.	Requisitos de Compactación Promedio.....	41
TABLA 8.	Campos de aplicaciones para equipos mecánicos de compactación .	42
TABLA 9.	Aplicaciones típicas para equipos de compactación dinámica.....	42
TABLA 10.	Clasificación de suelos según tamaño de partículas. ....	46
TABLA 11.	Requisitos mínimos para material de base. ....	47
TABLA 12.	Clasificación de los suelos según índice de plasticidad.....	48
TABLA 13.	Correlación de tipos de suelos aashto – sucs.....	48
TABLA 14.	Categoría de Subrasante. ....	49
TABLA 15.	Ficha de toma de datos de densidad de campo in-situ.....	69
TABLA 16.	Ficha de toma de datos y control de compactación con rodillo vibratorio. ....	70
TABLA 17.	Ficha de toma de datos y control de compactación con apisonador manual .....	70
TABLA 18.	Tiempo de transporte al distrito de Abancay-Challhuahuacho. ....	71
TABLA 19.	Tiempo de transporte al distrito de Cusco-Challhuahuacho.....	72
TABLA 20.	Resumen de las características físico-mecánicas obtenidas en laboratorio .....	73
TABLA 21.	Resumen parámetros granulométricos de la muestra .....	74
TABLA 22.	Especificaciones que debe cumplir el material granular. ....	74
TABLA 23.	Relación de la energía de compactación con la máxima densidad seca y contenido óptimo de humedad.....	77
TABLA 24.	Prueba de Densidad in situ (Método con Arena Calibrada) Tramo Compactado con Rodillo Vibratorio. ....	79
TABLA 25.	Resumen de resultado a Distintas Frecuencias de Vibración con Rodillo Vibratorio .....	80
TABLA 26.	Prueba de Densidad in situ (Método con Arena Calibrada) Tramo Compactado con Apisonador Manual. ....	81
TABLA 27.	Resumen de resultado a Distintas Tasas de Impacto con Apisonador manual .....	82

TABLA 28.	Energía de compactación en Laboratorio (Proctor) .....	83
TABLA 29.	Energía de compactación en Campo (Rodillos Vibratorio) .....	83
TABLA 30.	Energía de compactación en Campo (Apisonador Manual).....	83
TABLA 31.	Resultados obtenidos en nuestra investigación de energía de compactación en laboratorio.....	97
TABLA 32.	Resultados de otras investigaciones .....	97
TABLA 33.	Resultados de otras investigaciones .....	98
TABLA 34.	Cálculo de la energía de compactación.....	100
TABLA 35.	Comparación de energías de compactación.....	100
TABLA 36.	Matriz de Operacionalización.....	110
TABLA 37.	Matriz de Consistencia. ....	112

## LISTA DE FIGURAS Y GRÁFICOS

FIGURA 1.	Asfaltado de la AV. 18 de noviembre barrio los Álamos por el MTC/PROVIAS en el distrito de Challhuahuacho, diciembre del 2019 .....	18
FIGURA 2.	Deterioro del asfaltado debido a la deficiente compactación y tránsito vehicular, en el distrito de Challhuahuacho, febrero del 2021.....	19
FIGURA 3.	Principios de compactación.....	29
FIGURA 4.	Efecto de la frecuencia de vibración en relación con la velocidad de trabajo.....	31
FIGURA 5.	Efecto de la amplitud de vibración en relación con la velocidad de trabajo.....	32
FIGURA 6.	Factores que afectan el Proceso de Compactación.....	33
FIGURA 7.	Curva típica de un ensayo Proctor.....	50
FIGURA 8.	Cono de arena.....	52
FIGURA 9.	Método Volumétrico.....	53
FIGURA 10.	Método Nuclear.....	54
FIGURA 11.	Naturaleza de la variación de (a) peso unitario seco, (b) conductividad hidráulica y (c) esfuerzo de compresión no confinado con contenido de humedad .....	54
FIGURA 12.	Camión tolva.....	56
FIGURA 13.	Motoniveladora.....	57
FIGURA 14.	Rodillo vibratorio.....	58
FIGURA 15.	Vibro apisonador manual.....	59
FIGURA 16.	Estructura pavimento rígido.....	60
FIGURA 17.	Ubicación Geográfica Chalhuahuacho.....	62
FIGURA 18.	Ubicación geográfica de Challhuahuacho.....	68
FIGURA 19.	Plano de ubicación del proyecto de pavimentación.....	71
FIGURA 20.	Temperaturas Máximas y Mínima Promedio en challhuahuacho.....	72
FIGURA 21.	Temperaturas Promedio por Hora .....	73
FIGURA 22.	Precipitación de Lluvia Mensual Promedio.....	73
FIGURA 23.	Curva de Compactación Densidad - Humedad.....	75
FIGURA 24.	Curva de Compactación Densidad - Humedad.....	75
FIGURA 25.	Curva de Compactación Densidad - Humedad.....	76
FIGURA 26.	Curva de Compactación Densidad - Humedad.....	76
FIGURA 27.	Número de golpes VS Energía de compactación.....	77
FIGURA 28.	Número de golpes VS Contenido de Humedad.....	78

FIGURA 29.	Número de golpes VS Densidad Seca. ....	78
FIGURA 30.	Plano en planta donde se realizó los ensayos con Rodillo Vibratorio. .....	80
FIGURA 31.	Plano en planta donde se realizó los ensayos con Apisonador Manual. ....	82
FIGURA 32.	Variación de la densidad húmeda en campo con respecto a la frecuencia de vibración con rodillo vibratorio. ....	84
FIGURA 33.	Variación del contenido de humedad en campo con respecto a la frecuencia de vibración con rodillo vibratorio. ....	85
FIGURA 34.	Variación de la densidad seca en campo con respecto a la frecuencia de vibración con rodillo vibratorio.....	86
FIGURA 35.	Variación del grado de compactación en campo con respecto a la frecuencia de vibración con rodillo vibratorio. ....	87
FIGURA 36.	Variación de la densidad húmeda en campo con respecto a la energía de compactación con rodillo vibratorio. ....	88
FIGURA 37.	Variación del contenido de humedad en campo con respecto a la energía de compactación con rodillo vibratorio. ....	89
FIGURA 38.	Variación de la densidad seca en campo con respecto a la energía de compactación con rodillo vibratorio. ....	90
FIGURA 39.	Variación del grado de compactación con respecto a la energía de compactación con rodillo vibratorio. ....	90
FIGURA 40.	Variación de la densidad húmeda en campo con respecto a la tasa de impacto con apisonador manual. ....	91
FIGURA 41.	Variación del contenido de humedad en campo con respecto a la tasa de impacto con apisonador manual. ....	92
FIGURA 42.	Variación de la densidad seca en campo con respecto a la tasa de impacto con apisonador manual. ....	93
FIGURA 43.	Variación del grado de compactación en campo con respecto a la tasa de impacto con apisonador manual. ....	93
FIGURA 44.	Variación de la densidad húmeda en campo con respecto a energía de compactación con apisonador manual. ....	94
FIGURA 45.	Variación del contenido de humedad en campo con respecto a energía de compactación con apisonador manual. ....	95
FIGURA 46.	Variación de la densidad seca en campo con respecto a energía de compactación con apisonador manual. ....	95
FIGURA 47.	Variación del grado de compactación en campo con respecto a energía de compactación con apisonador manual. ....	96
FIGURA 48.	Variación de numero de pasadas según el peso del rodillo. ....	99

## RESUMEN

En esta investigación se tiene por objetivo analizar el efecto de la energía de compactación en la conformación de bases para pavimento rígido urbano, para su desarrollo se realizaron trabajos previos como la extracción del material granular de la cantera Carmen alto, para los estudios correspondientes de mecánica de suelo; obtenido los resultados de laboratorio se procedió a realizar la compactación in situ empleando dos equipos mecánicos diferentes como rodillo liso vibratorio, donde se compacto cuatro tramos diferentes variando su frecuencia de vibración (vpm) por tramo y de igual manera se compacto cuatro puntos con apisonador manual donde también se ha variado su tasa de impacto (gpm) por cada punto.

La metodología de investigación es con un enfoque cuantitativo, tipo aplicada, de Nivel correlacional y diseño cuasi experimental, cuya población fue la conformación de base en pavimento rígido que se ejecuta en el barrio los Álamos de nombre "Mejoramiento del servicio de transitabilidad vial interurbana del distrito de Challhuahuacho". Las muestras se compone de 8 áreas de ensayo de compactación, en cuanto a la técnica e instrumento de recolección de datos fue de Observación directa, obtenidas con instrumentos como fichas de trabajo, formatos de control.

En la presente tesis, el aporte fundamental es el conocimiento de poder controlar la energía de compactación necesaria en campo en relación a su frecuencia de vibración, tasa de impacto, amplitud de vibración, velocidad de operación, peso del equipo, número de pasadas con el propósito de llegar a su capacidad máxima de soporte del suelo; muy aparte se conocerá el proceso de densificación de un suelo y los ensayos que conciernen a la energía de compactación mediante laboratorio y campo.

**Palabras clave:** Energía de compactación, densidad húmeda del suelo, Contenido de humedad de campo, Densidad seca en campo, Grado de compactación, Equipos mecánicos de compactación.

## ABSTRACT

The objective of this research was to analyze the effect of compaction energy in the formation of bases for urban rigid pavement, for its development previous works were carried out such as the extraction of granular material from the Carmen Alto quarry, for the corresponding mechanical studies. of soil, obtained the laboratory results, compaction was carried out in situ using two different mechanical equipment such as a vibrating smooth roller where four different sections were compacted, varying their vibration frequency (vpm) per section and in the same way four points were compacted with manual rammer where its impact rate (gpm) has also been varied for each point.

The research methodology is with a quantitative approach, applied type, correlational level and quasi-experimental design, whose population was the base conformation in rigid pavement that is executed in the Los Álamos neighborhood named "Improvement of the interurban road traffic service of the challhuahuacho district "the samples are composed of 8 compaction test areas in terms of the technique and data collection instrument was direct observation obtained with instruments such as work sheets, control formats.

In this thesis, the fundamental contribution is the knowledge of being able to control the necessary compaction energy in the field in relation to its vibration frequency, impact rate, vibration amplitude, operating speed, equipment weight, number of passes with the in order to reach its maximum soil support capacity, the densification process of a soil and the tests that concern the compaction energy through laboratory and field will be known very separately.

**Keywords:** Compaction energy, soil wet density, Field moisture content, Field dry density, Degree of compaction, Mechanical compaction equipment.

## INTRODUCCIÓN

Energía de compactación en campo definida como la entrega de trabajo mecánico a una superficie del suelo con el propósito de eliminar los vacíos y así obtener una superficie de suelo con mayor capacidad de soporte y estabilidad, y de esta forma incrementar su densidad. A nivel mundial se ha evaluado y realizado pruebas de compactación con diferentes equipos mecánicos, y evaluados con diferentes contenidos de humedad para determinar una mejor estrategia de selección de valores de compactación inteligente, en estas pruebas in situ, utilizan dispositivos para medir las densidades alcanzadas del suelo como medidor de densidad nuclear, un deflectómetro ligero y un penetrómetro de cono dinámico que comparan propiedades de la capa compactada con rodillos vibratorios considerando propiedades del material y su relación entre mediciones en el lugar.

En el Perú, la construcción de obras de infraestructura vial ya sean ejecutadas por entidades públicas y privadas; abarcando un tema puntual que es el proceso constructivo en compactación de suelos (conformación de las capas para una pavimentación) se puede apreciar que una vez realizada la compactación se procede a efectuar los controles de calidad con los ensayos de campo in situ como el cono de arena, densímetro nuclear y otros, con los resultados de estos ensayos muchos no llegan al grado de compactación, por ende, se vuelve a realizar la recompactación el cual significa mayor costo.

El propósito de este estudio es conocer la energía de compactación necesaria en campo con equipos mecánicos de compactación. La pregunta central de esta investigación es ¿Cuál es el efecto de la energía de compactación en la conformación de base para pavimento rígido? en relación a sus indicadores de frecuencia de vibración y tasas de impacto de los equipos mecánicos de compactación y sus variaciones en cuanto a la densidad húmeda en campo, contenido de humedad en campo, densidad seca en campo y grado de compactación. La hipótesis central es la energía de compactación, y cómo la misma influye de forma significativa en la compactación para la conformación de base para pavimento rígido. Así mismo, la hipótesis específica es a mayor frecuencia de vibración con rodillo liso vibratorio y Tasa de impacto con

apisonador manual se alcanza mayor densidad húmeda, Densidad seca, Contenido de Humedad y grado de compactación. El objetivo General es Analizar el efecto de la energía de compactación en la conformación de base para pavimento rígido.

Los resultados obtenidos en laboratorio con respecto al ensayo Proctor modificado variando la cantidad de golpes fueron; a 56 golpes se obtuvo una Densidad Seca Máxima 1.73 tn/m<sup>3</sup>, Contenido de Humedad optima de 8.42 % el cual alcanzada con una energía de compactación de 12.22 kg\*cm/cm<sup>3</sup> a 57 golpes se obtuvo Dsm de 2.01 tn/m<sup>3</sup> – CHO de 8.31% con una Ec. de 19.55 kg\*cm/cm<sup>3</sup> a 58 golpes obtuvimos su Dsm 2.15 tn/m<sup>3</sup> – CHO de 7.30 % y Ec. 27.12 kg\*cm/cm<sup>3</sup> y a 59 golpes se logró una Dsm de 2.09 tn/m<sup>3</sup> – CHO de 8.28 con una Ec. 26.88 kg\*cm/cm<sup>3</sup> en cuanto a las características físico – mecánicas se obtuvieron LL=24%; IP=6%; CBR=40.20 % y Desgaste de 34.31 % este valor concuerda según las normas ASTM D-1557 y MTC E-117, ASTM D 4318, ASTM D4791.

De los resultados en campo mediante la Prueba de Densidad in situ (Método con Arena Calibrada se obtuvo para una compactación con rodillo vibratorio a una frecuencia de vibración de 1400 vpm se obtuvo una densidad húmeda del suelo de 1.98 gr/cm<sup>3</sup>, un contenido de humedad de 8.77 %, una densidad seca de 1.82 gr/cm<sup>3</sup>, un grado de compactación de 84.87 %. Estos valores fueron alcanzados con una energía de compactación en campo de 1400.18 Joule/m<sup>3</sup>; para 1543 vpm – Dh=2.03 gr/cm<sup>3</sup> – H=8.23 % - Ds=1.58 gr/cm<sup>3</sup> – Gc=84.87 – Ec=1543.19 Joule/m<sup>3</sup>; para 1686 vpm – Dh=2.21 gr/cm<sup>3</sup> – H=8.89 % - Ds=2.03 gr/cm<sup>3</sup> – Gc=94.27 % - Ec=1686.21 Joule/m<sup>3</sup>; y para 1830 vpm – Dh=2.34 gr/cm<sup>3</sup> – H=7.96 % - Ds=2.16 gr/cm<sup>3</sup> – Gc=100.69 % con una energía de 1830.23 Joule/m<sup>3</sup>.

Para una compactación con Apisonador manual a una Tasa de Impacto de 640 gpm se obtuvo una densidad húmeda del suelo de 1.78 gr/cm<sup>3</sup>, un contenido de humedad de 8.13 %, una densidad seca de 1.64 gr/cm<sup>3</sup>, un grado de compactación de 76.35 % estos valores fueron alcanzados con una energía de compactación en campo de 268.80 Joule/m<sup>3</sup>; para 653 gpm – Dh =1.85 gr/cm<sup>3</sup> – H=7.95 % - Ds=1.71 gr/cm<sup>3</sup> – Gc= 79.72% - Ec=274.26 Joule/m<sup>3</sup>; para 666 gpm – Dh=1.98 gr/cm<sup>3</sup> – H=7.88 % - Ds=1.84 gr/cm<sup>3</sup> – Gc=85.50 % - 279.72

Joule/m<sup>3</sup>; y para 680 gpm – Dh=2 .34 gr/cm<sup>3</sup> – H= 7.96 % - Ds=2.16 gr/cm<sup>3</sup> – Gc=100.69 % - 285.60 Joule/m<sup>3</sup>.

Para lograr el objetivo de esta investigación, se ha estructurado en (4) capítulos. El primero corresponde con el planteamiento del problema de estudio donde se detallan la situación problemática, objetivos, importancia, delimitaciones, hipótesis. El segundo capítulo es marco teórico, donde se describe los antecedentes a nivel internacional nacional y bases teóricas referente al tema, El capítulo tres nos habla de la metodología de investigación, Población, Muestra y técnicas e instrumentos de recolección de datos empleados en el estudio y, por último el capítulo cuatro donde se enuncian los resultados y discusión de la presente investigación.

# **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

## **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la actualidad, la sociedad tiene una dependencia hacia el uso de vehículos de transporte; esta es alta e indispensable. Sin embargo, uno de los problemas más relevantes es la deficiencia en la infraestructura vial.

Para Manzo y Montaña (2012), “la mala construcción de una carretera tiene efectos negativos en la vialidad, transporte y seguridad de la población. Por lo que, se tiene la necesidad de desarrollar nuevos sistemas de transporte óptimos”.

A nivel global, la compactación de suelos cumple un rol importante en la formación de estructuras geotécnicas resistentes a los sismos y efectos externos. Se menciona que los pavimentos poseen fallas y deformaciones en su superficie de rodamiento las cuales presentan grietas severas. De hecho, desde hace varios años se tiene el conocimiento que, los dos tipos de problema antes descritos se desarrolla cuando existe una desmedida deformación plástica de componentes del pavimento. Por este motivo, los métodos actuales se diseñan para minimizar posibles fallas debido a deformaciones plásticas. Actualmente, se conocen las normas técnicas para aplicar en la ejecución de este tipo de trabajos o partidas.

En el Perú el uso de canteras existentes en las zonas cercanas al proyecto, en ocasiones no se considera como material adecuado según las expectativas técnicas, es así, que los materiales usados no necesariamente cumplen las características técnicas requeridas por el proyecto, tal es así que, al no realizarse los estudios adecuados según normativa técnica, hacen notar su déficit fallando o influyendo al fallo de la estructura que reposa sobre ésta.

El año 2019, se ejecutó la conformación de bases por intervención del MTC/PROVIAS para pavimento flexibles a nivel de mejoramiento de la vía nacional que cruza toda la zona de Challhuahuacho, y a lo largo de su vida útil se observa una separación de partículas (baja cohesión de partículas) que consecuentemente ocasiona el deterioro de la base para pavimento. Dicho problema afecta a los moradores de la Ciudad y/o poblado que utilizan esta vía

de manera frecuente, para realizar sus actividades económicas, sociales entre otras.

Cabe recalcar que todo lo que se construye en el suelo, goce de una resistencia y durabilidad en el tiempo, ya que es un medio por el cual muchos sujetos y objetos transitan, para lo cual, se requiere efectuar una adecuada compactación, diseño y estudio de suelos. Por lo que, la presente investigación busca determinar la incidencia de la energía de compactación en conformación de bases para los pavimentos rígido urbano en el distrito de Challhuahuacho - Apurímac.



**FIGURA 1.** Asfaltado de la AV. 18 de noviembre barrio los Álamos por el MTC/PROVIAS en el distrito de Challhuahuacho, diciembre del 2019

Fuente: Toma propia



**FIGURA 2.** Deterioro del asfaltado debido a la deficiente compactación y tránsito vehicular, en el distrito de Challhuahuacho, febrero del 2021.

Fuente: Toma propia

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 PROBLEMA GENERAL**

- ¿Cuál es el efecto de la energía de compactación en la conformación de base para pavimento rígido?

### **1.2.2 PROBLEMA ESPECÍFICOS**

- ¿Cuál es el efecto de la frecuencia de vibración con rodillo liso y la tasa de impacto con apisonador manual en la densidad húmeda en campo para la conformación de base para pavimento rígido?
- ¿Cuál es el efecto de la frecuencia de vibración con rodillo liso y la tasa de impacto con apisonador manual en el contenido de Humedad en campo para la conformación de base para pavimento rígido?

- ¿Cuál es el efecto de la frecuencia de vibración con rodillo liso y la tasa de impacto con apisonador manual en la densidad seca en campo para conformación de base para pavimento rígido?
- ¿Cuál es el efecto de la frecuencia de vibración con rodillo liso y la tasa de impacto con apisonador manual en el grado de compactación para la conformación de base para pavimento rígido?
- ¿Cuáles son las condiciones físicas y mecánicas del afirmado para base de pavimento rígido?

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

- Analizar el efecto de energía de compactación en la conformación de base para pavimento rígido.

#### **1.3.2 OBJETIVO ESPECIFICOS**

- Determinar el efecto de la frecuencia de vibración con rodillo liso y tasa de impacto con apisonador manual en la densidad húmeda en campo para la conformación de base para pavimento rígido. Determinar el efecto de la frecuencia de vibración en el contenido de Humedad en campo para la conformación de base para pavimento rígido.
- Determinar el efecto de la frecuencia de vibración con rodillo liso y la tasa de impacto con apisonador manual en el contenido de humedad en campo para la conformación de base para pavimento rígido.
- Determinar el efecto de la frecuencia de vibración con rodillo liso y la tasa de impacto con apisonador manual en la densidad seca en campo para conformación de base para pavimento rígido.
- Determinar el efecto de la frecuencia de vibración con rodillo liso y la tasa de impacto con apisonador manual en el grado de compactación para la conformación de base para pavimento rígido.
- Evaluar las características físicas y mecánicas del afirmado para base de pavimento rígido.

## **1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

La presente tesis se desarrolla con el propósito de aportar al conocimiento existente sobre bases de afirmado para pavimentos rígidos. Es así que la presente investigación tiene la justificación del problema desde el punto de vista teórica, Porque busca expandir conocimiento sobre el impacto de la energía de compactación en el mejoramiento de la colocación de afirmado como base de pavimentos rígidos.

En vista de que la población o habitantes beneficiados por la vía proyectada con pavimento rígido, requieren tener una mejora en dicha estructura. Así mismo desde la perspectiva práctica, porque se controlará el tiempo y la carga de compactación para verificar la mejora de la capacidad portante del afirmado en base para pavimento rígido.

La investigación propone solucionar el problema encontrado de la incidencia de la energía eficiente para compactación de bases de afirmado para pavimento rígido. Sus resultados servirán para el desarrollo de alternativas prácticas en la mejora de la capacidad portante del material mencionado.

## **1.5 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL**

La presente investigación se desarrolla en el distrito de Challhuahuacho, departamento de Apurímac al sur del Perú, la experimentación se realizó in situ, en el Barrio los Álamos de la obra que se está ejecutando, denominado “Mejoramiento del servicio de transitabilidad vial interurbana de la av. 18 de noviembre”, Los ensayos de la investigación serán desarrollados en laboratorios particulares de la ciudad del cusco.

### **1.5.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL**

La investigación se desarrolló en el mes de mayo, junio, Julio y agosto del año 2021.

### **1.5.3 DELIMITACIÓN CONCEPTUAL**

La presente investigación consiste en el análisis de la energía de compactación en conformación de bases para un pavimento rígido donde se evaluará y analizará mediante equipos de compactación manual y determinar la cantidad de energía de compactación necesaria para alcanzar una compactación requerida, así mismo, se verificará en el lugar las densidades de campo, porcentaje de compactación, densidad húmeda, densidad seca y el contenido óptimo de agua, de tal manera delimita con:

- La mecánica de suelos
- Densidades del suelo
- El contenido de Optimo de agua (COA)
- Grado de compactación

## **1.6 HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES**

### **1.6.1 HIPÓTESIS**

#### **1.6.1.1 Hipótesis General**

- La energía de compactación influye de forma significativa en la compactación para conformación de base para pavimento rígido.

#### **1.6.1.2 Hipótesis Específicas**

- A mayor frecuencia de vibración con rodillo liso y tasa de impacto con apisonador manual se alcanza mayor densidad húmeda en el afirmado para base de pavimento rígido
- El contenido de humedad no varía con la frecuencia de vibración de rodillo liso y la tasa de impacto con apisonador manual en el afirmado para base de pavimento rígido.
- A mayor frecuencia de vibración con rodillo liso y tasa de impacto con apisonador manual se alcanza mayor densidad seca en el afirmado para base de pavimento rígido.

- A mayor frecuencia de vibración con rodillo liso y tasa de impacto con apisonador manual se alcanza mayor grado de compactación en el afirmado para base de pavimento rígido.
- El afirmado cumple con las características mínimas requeridas del manual de pavimentos

### **1.6.2 VARIABLES**

➤ **Variable dependiente:**

Energía de Compactación

• **Indicadores:**

- Frecuencia de Vibración.
- Tasa de Impacto.

➤ **Variable independiente:**

Conformación de base para Pavimento rígido.

• **Indicadores:**

- Densidad Húmeda en campo.
- Contenido de Humedad en campo.
- Densidad seca en campo.
- Porcentaje de compactación.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

#### 2.1.1 ANTECEDENTES NACIONALES

(León, 2021) en su tesis titulada “Influencia de la energía de compactación en la densidad seca máxima y contenido óptimo de humedad del suelo granular de la cantera Agocucho, Cajamarca – 2017”, tuvo como objetivo determinar la influencia de la energía de compactación en la densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad del suelo granular de la cantera Agocucho. Para ello se valió del uso de una metodología del tipo aplicada-cuantitativa y de diseño experimental-no probabilístico; obteniendo los siguientes resultados: Con 56 golpes por capa equivalente a una energía de compactación de 27.27 kg-cm/cm<sup>3</sup> se obtuvo una máxima densidad seca de 1.81 g/cm<sup>3</sup> y un contenido óptimo de humedad de 3.65%; con 57 golpes por capa equivalente a una energía de compactación de 27.75 kg-cm/cm<sup>3</sup> se obtuvo una máxima densidad seca de 1.81 g/cm<sup>3</sup> y un contenido óptimo de humedad de 3.60%; con 58 golpes por capa equivalente a una energía de compactación de 28.24 kg-cm/cm<sup>3</sup> se obtuvo una máxima densidad seca de 1.84 g/cm<sup>3</sup> y un contenido óptimo de humedad de 3.45%; con 59 golpes por capa equivalente a una energía de compactación de 28.73 kg-cm/cm<sup>3</sup> se obtuvo una máxima densidad seca de 1.98 g/cm<sup>3</sup> y un contenido óptimo de humedad de 3.38%; con 60 golpes por capa equivalente a una energía de compactación de 29.22 kg-cm/cm<sup>3</sup> se obtuvo una máxima densidad seca de 1.89 g/cm<sup>3</sup> y un contenido óptimo de humedad de 3.90%; y con 61 golpes por capa equivalente a una energía de compactación de 29.70 kg-cm/cm<sup>3</sup> se obtuvo una máxima densidad seca de 1.88 g/cm<sup>3</sup> y un contenido óptimo de humedad de 4.50% .Llegando a la conclusión de que el tipo de suelo de la cantera Agocucho (grava con arena arcillosa) alcanza su densidad seca máxima de 1.98 g/cm<sup>3</sup> y un contenido óptimo de humedad de 3.38% a los 59 golpes (28.73 kg-cm/cm<sup>3</sup>), corroborando así que los suelos tienen una energía máxima de compactación que debe tenerse en cuenta en los procesos constructivos para alcanzar su máxima capacidad y evitar la disminución por exceso de energía de compactación.

(Yanapa, 2019) realizó el ensayo de proctor modificado a mayor energía de compactación variando la cantidad de golpes sucesivamente en variadas muestras suelo, en esta investigación de tipo experimental, efectuó diferentes ensayos como, el ensayo de clasificación de suelos mediante granulometría y límites de Atterberg. Se utilizaron suelos granulares obtenidas de las canteras Taparachi, Isla y Yocara, y los suelos finos que se obtuvieron de la Urb. Taza y de Salida Cusco. Finalizando con la investigación, el comportamiento de los suelos granulares al aplicar mayor energía de compactación es positivo ya que al incrementar el número de golpes por capa la densidad aumenta, para la cantera Taparachi se obtuvo una máxima densidad seca de  $2.170\text{kg/cm}^3$ , para la cantera Yocara se obtuvo una máxima densidad seca de  $2.140\text{kg/cm}^3$  y para la cantera Isla se obtuvo una máxima densidad seca de  $2.150\text{kg/cm}^3$ , entonces se concluyó que para los suelos granulares se debe usar los parámetros que se obtuvieron en esta investigación para tener una compactación al 100%. Se concluye que los suelos granulares si necesitan una mayor energía de compactación.

(Morales, 2018) en su tesis titulada "Optimización de la eficiencia en el uso de vibro compactadoras para mejorar el nivel de compactación en la ejecución de pavimentos en la provincia de Pasco 2017-2018", se planteó como objetivo el mejorar el nivel de compactación optimizando la eficiencia en el uso de vibro compactadoras en la ejecución de pavimentos en la provincia de Pasco 2017-2018. Para ello, utilizó una metodología del tipo cuantitativa y de diseño experimental; obteniendo los siguientes resultados: para el Compactador Vibratorio Tipo Plancha 4Hp se hace necesario 24 pasadas para conseguir una densidad en campo de 2.102 y un nivel de compactación de 98.92%; para el Compactador Vibratorio Tipo Plancha 6Hp se hace necesario 22 pasadas para conseguir una densidad en campo de 2.113 y un nivel de compactación de 99.44%; para el Rodillo Liso Vibratorio Auto Propulsado 70-100 Hp se hace necesario 31 pasadas para conseguir una densidad en campo de 2.054 y un nivel de compactación de 96.66%; y para el Rodillo Liso Vibratorio Auto Propulsado 131 Hp se hace necesario 32 pasadas para conseguir una densidad en campo de 2.052 y un nivel de compactación de 96.56%; llegando a la conclusión de que optimizando la eficiencia en el uso de vibro compactadoras se

mejora la densidad seca máxima del suelo en la ejecución de pavimentos en la provincia de Pasco 2017-2018.

(Alcoser, 2021) en su tesis titulada “Control de la Energía Especifica para la optimización de la resistencia del Proceso de compactación de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo”, se planteó como objetivo determinar el efecto que produce el control de la Energía Especifica en la optimización de la resistencia del Proceso de compactación de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo. Para ello se valió del uso de una metodología del tipo aplicada-cuantitativa, de nivel explicativo y de diseño cuasi-experimental; obteniendo los siguientes resultados: en 4 de las 5 áreas del Sector 01 se necesitaron 15 pasadas estáticas del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg para obtener un grado de compactación igual o mayor a 95%; en 4 de las 5 áreas del Sector 03 se necesitaron 8 pasadas vibradas del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg para obtener un grado de compactación igual o mayor a 95%; en 3 de las 5 áreas del Sector 05 se necesitaron 6 pasadas estáticas y 5 pasadas vibradas del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg para obtener un grado de compactación igual o mayor a 95%; en las 5 áreas del Sector 02 se necesitaron 12 pasadas estáticas del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg para obtener un grado de compactación igual o mayor a 95%; en 5 áreas del Sector 04 se necesitaron 6 pasadas vibradas del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg para obtener un grado de compactación igual o mayor a 95%; en las 5 áreas del Sector 06 se necesitaron 5 pasadas estáticas y 4 pasadas vibradas del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg para obtener un grado de compactación igual o mayor a 95%. Llegando a la conclusión de que el control de ambos rodillos, tanto Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg como el Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg producen efectos significativos en el Grado de Compactación de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo; además de que el porcentaje de compactación en las pasadas vibradas son mayores que las pasadas estáticas y estáticas-vibradas; teniendo como dato mínimo de incremento de grado de compactación de 8% y dato máximo de incremento de grado de compactación de 20% por pasada en el caso del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg, y que el porcentaje de compactación en las pasadas vibradas son mayores que las pasadas estáticas y estáticas-vibradas; teniendo

como dato mínimo de incremento en el grado de compactación de 11% y dato máximo de incremento de grado de compactación en un 22% por pasada en el caso del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg; pero siempre teniendo en cuenta la cantidad exacta de pasadas para no tener grados de compactaciones no representativos pasados el 100% del grado de compactación.

### **2.1.2 ANTECEDENTES INTERNACIONALES**

(Radeljak, 2014) identifica las variables que inciden en la compactación en campo en las cuales se define la Energía de Compactación, que en definitiva es lo que se busca desarrollar con el compactador, En teoría a los fundamentos de compactación y estas son el Peso del rodillo compactador [Kg], Frecuencia (del excéntrico que acciona el rodillo) [Hz], Amplitud (distancia que desplaza rodillo en cada golpe) [mm], Velocidad de Traslación (del rodillo compactador) [Km/Hr], Espesor de Tapada [Cm], Cada una de estas variables están definidas por el equipo mecánico de compactación utilizado, en algunas marcas, ofrece la posibilidad de seleccionar diferentes frecuencias, amplitudes y velocidades. Pero para la selección correcta de estos parámetros, es muy importante tener en cuenta que dependen del tipo de suelo a compactar, de forma de lograr una óptima transmisión de energía al suelo a compactar. Un error común es creer que, con la frecuencia máxima, la amplitud máxima y mucho peso, está todo resuelto. Uno de los factores más importantes a considerar es determinar la Frecuencia de Vibrado. Esta debe mantenerse lo más aproximadamente posible a la Frecuencia Natural del Suelo, permitiendo al compactador entrar en resonancia y así obtener el mayor grado de compactación. En la práctica, obtener esta “convergencia armónica” se consigue en el terreno mediante pruebas y la práctica del operador. El efecto contrario es el denominado “doble golpe” que es el punto máximo de ineficiencia en la compactación.

(Nathan, 2013) en su tesis titulada “Martillo vibratorio en compactación de suelos granulares” en su estudio tuvo como objetivo explorar la viabilidad del uso del martillo vibratorio y método de compactación con materiales granulares para fabricar especímenes de laboratorio, su indagación se centra en la calidad de los especímenes logrados (principalmente la densidad) y la causa de la variabilidad observada en los diversos resultados de las pruebas, referente a la comparación

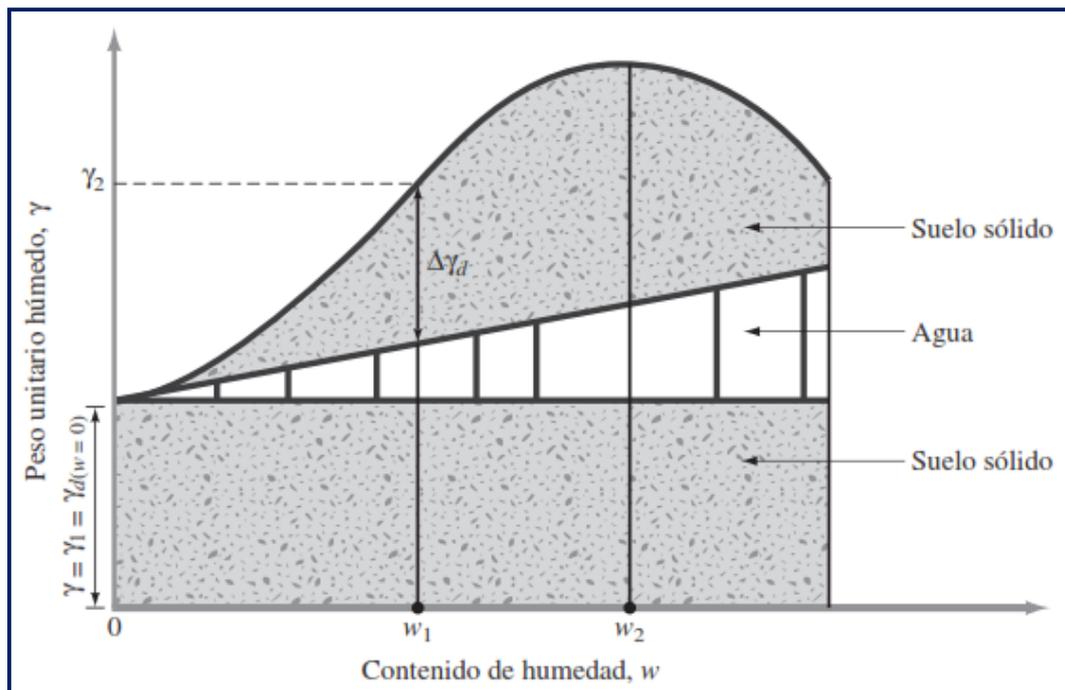
de energía de compactación de 03 experimentos realizados con martillo vibratorio, mesa vibratoria, y proctor modificado AASHTO obtuvo energías de compactación relativamente de 1285.6 kJ/m<sup>3</sup>; 1110.3 kJ/m<sup>3</sup>; y para proctor modificado 2394.8 kJ/m<sup>3</sup>, en su investigación concluye que Las pruebas comparativas con la mesa vibratoria mostraron que el martillo vibratorio desarrollado método de compactación es capaz de producir especímenes con densidades que son comparables a la mesa vibratoria, sin embargo con mucho menos esfuerzo. el martillo vibratorio también tiene potencial de la portabilidad.

(Alonso, 2019) realizó un estudio acerca del proceso de compactación de suelos, verifica la densidad alcanzada por el suelo la cual varía respecto a su contenido de humedad, por lo que señala una densidad máxima u óptima para una humedad inferior a la de saturación, Humedad que suele comprender a grados de saturación desde 0.8-0.9. El estado de compactación lo define como densidad seca,  $\gamma_d$ , y la humedad,  $w$ . El comportamiento volumétrico frente a cambios de humedad introduce después un modelo constitutivo elastoplástico con los cuales aporta conceptos de compactación. Estos relacionan los parámetros y constantes del modelo de las variables de compactación.

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 COMPACTACIÓN DE SUELOS**

Proceso mecánico que consiste en aplicar energía al suelo suelto donde estas partículas estén más en contacto unas con otras. Este proceso mejora las características de comportamiento de los materiales térreos que forman parte de estructura de las carreteras. Cabe mencionar que este proceso elimina el aire de los poros. La compactación se calcula por la densidad seca del suelo (peso de las partículas de suelo por unidad de volumen (Escario, 1989).



**FIGURA 3.** Principios de compactación

*Nota.* Tenga en cuenta que en el gráfico cuenta que en un contenido de humedad  $w=0$ , la unidad de peso húmedo ( $\gamma$ ) es igual a la unidad de peso seco ( $\gamma_d$ ). Tomado de (Das, 2015 pág. 93)

## 2.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS EN COMPACTACIÓN

Los factores propios al suelo que supeditan la compactación, se relacionan a las características de las partículas como las siguientes:

### 2.2.2.1 Forma de las Partículas

La composición de las partículas difiere de grado de la esférica y en consecuencia también de los anillos de agua en cada contacto. Se considera que la superficie en contacto para un mismo volumen de partículas, será mayor cuando la forma de las partículas se aleje de forma esférica (Jorajuria, 2004).

### 2.2.2.2 Textura de las Partículas del Suelo

La textura de la superficie va depender del coeficiente de fricción entre las mismas y por la acción del esfuerzo exterior que logra la densificación (Sagués, 2008).

### 2.2.2.3 Orientación relativa de las partículas

La orientación influye en la forma de los anillos de agua. Ya que depende de la energía de compactación que se analiza ya sea por golpes, amasado, presión estática, etc. Cuanto mayor sea el paralelismo en su distribución, mayores serán

los puntos de contacto y como consecuencia la cantidad de anillos de agua que logren formarse (Sagués, 2008).

### **2.2.3 ENERGÍA DE COMPACTACIÓN EN SUELOS**

Para (Escario, 1989), la energía de compactación es la entrega de un trabajo mecánico que comprende los siguientes factores: número de golpes, altura de caída, peso del pisón, número de capas. Además, está en juego la forma de entrega de esa energía: amasado, presión estática, impacto. La entrega unitaria de trabajo entregada debe ser suficiente para vencer la resistencia al corte del suelo y así poder deformarlo de manera irreversible.

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

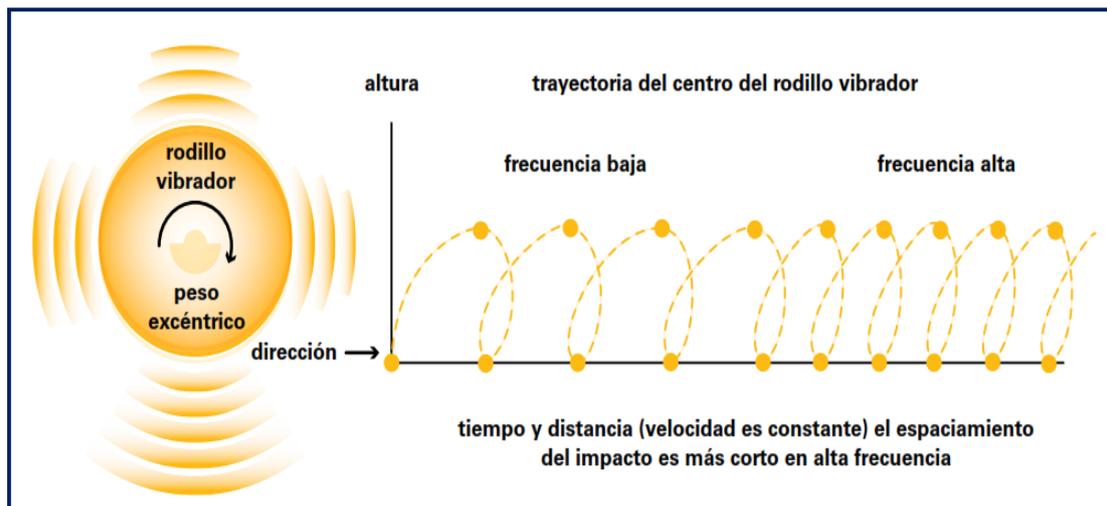
La energía de compactación modifica la estructura logrando reducir volumen y deformaciones de los suelos. Cuando la energía de compactación es mayor, junto al contenido de humedad, resultara mayor el número de vacíos de aire (disminución de volumen) y también las deformaciones angulares. Cuando el contenido de agua sea mayor al óptimo no será considerado. Si la energía de compactación aumenta, también variaría su peso volumétrico seco máximo y disminuirá su humedad óptima (Crespo, 2004).

### **2.2.4 PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN EL CÁLCULO DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN.**

Para (Geotechnical Engineering Directorate Research Designs & Standards Organization, 2005) en su informe de estudio los parámetros o factores que individualmente influyen y determinan la naturaleza de Los compactadores lisos vibratorios son la Frecuencia de vibración (Hz), Amplitud de vibración (mm), Peso del rodillo compactador (Kg), Espesor de compactación en campo (Cm), Velocidad de Traslación del rodillo compactador (Km/Hr).

### 2.2.4.1 Frecuencia de vibración (Hz).

Es el excéntrico que mueve o acciona el rodillo, El número de revoluciones por minuto que da el peso excéntrico alrededor de su eje, Un factor importante es la relación entre la frecuencia y la velocidad de desplazamiento de la máquina, Es necesario que la frecuencia y la velocidad se adapten para permitir que los impactos sobre el suelo tengan una separación de 25 milímetros (Ugarte, 2013)

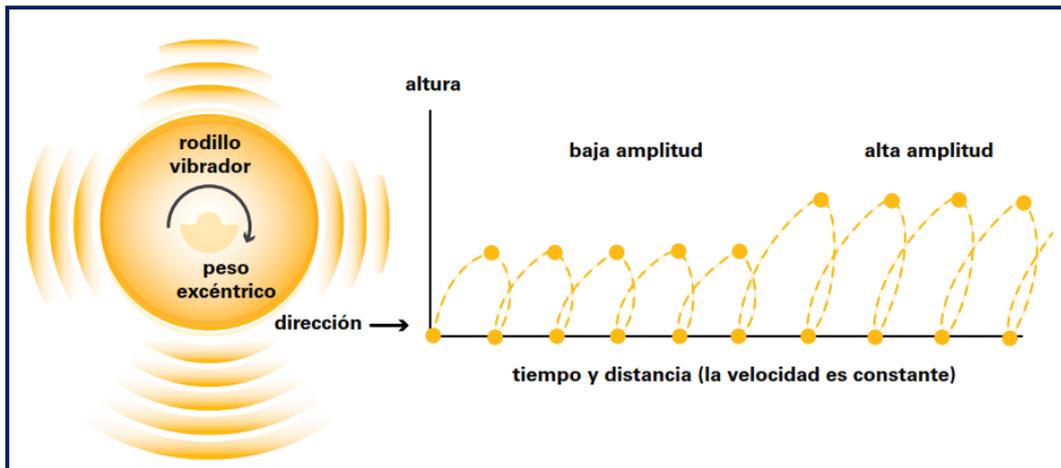


**FIGURA 4.** Efecto de la frecuencia de vibración en relación con la velocidad de trabajo

Fuente: <http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/CM20161021-44560-09294>

### 2.2.4.2 Amplitud de vibración (mm)

Es la distancia que desplaza el rodillo en cada golpe hacia arriba y abajo que en teoría recorre el eje de un rodillo que está sometido al efecto de una fuerza centrífuga, Decimos en teoría porque en la práctica esta distancia está condicionada por la gravedad y el suelo que se está compactando, Cuanto mayor sea esta distancia más energía de compactación produce el rodillo. En algunos modelos el operador puede variar la amplitud para adaptarla al tipo de material que se está compactando, La amplitud de la vibración interviene en la profundidad alcanzada en la compactación. (Ugarte, 2013)



**FIGURA 5.** Efecto de la amplitud de vibración en relación con la velocidad de trabajo.

Fuente: <http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/CM20161021-44560-09294>

### 2.2.4.3 Peso del rodillo compactador (Kg)

Es la medida de la fuerza gravitatoria que actúa el rodillo vibratorio sobre el suelo, Originada por la acción del campo gravitatorio local sobre la masa del cuerpo expresada en kilogramos o toneladas, Los equipos compactadores varían su peso de operación según sus modelos y marcas. (Radeljak, 2014)

### 2.2.4.4 Espesor de compactación en campo (Cm)

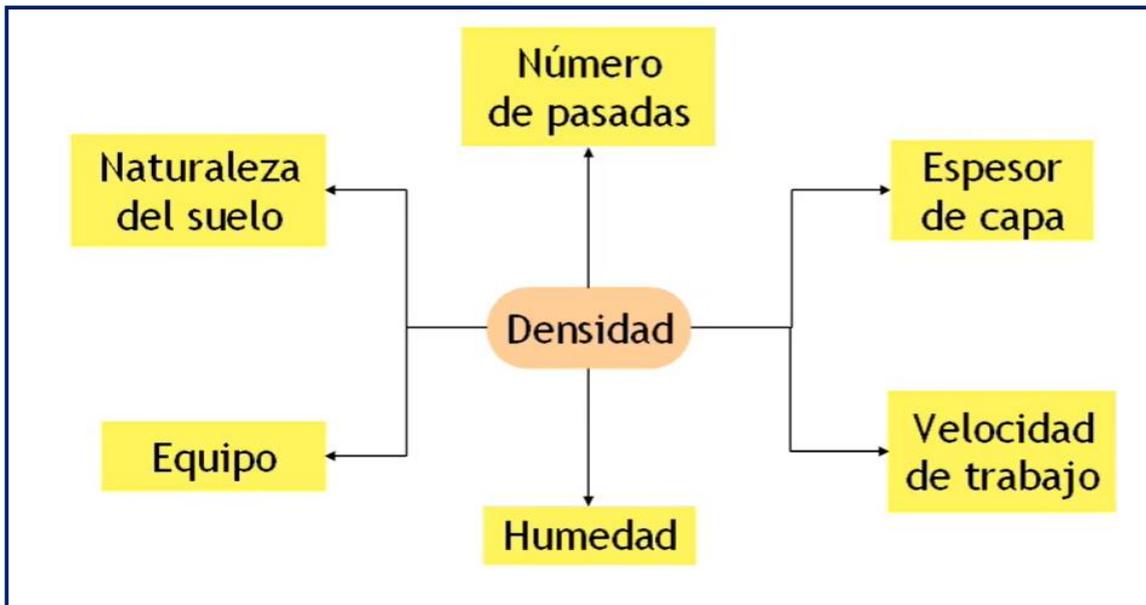
Es la estructura de tapada de material suelo. (Radeljak, 2014)

### 2.2.4.5 Velocidad de Traslación del rodillo compactador (Km/Hr)

Es el desplazamiento que realiza el equipo mecánico compactador en un determinado espacio con respecto al tiempo. (Radeljak, 2014)

## 2.2.5 FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE COMPACTACIÓN DE CAMPO.

Entre varios factores que influyen en la compactación de suelos se puede mencionar que dos son los más principales que afectan como es el contenido de agua del suelo antes del inicio del proceso de compactación y la energía específica que se utilizara en este proceso. La energía específica se refiere a la energía de compactación agregada al suelo por unidad de volumen (Rico, 2005 pág. 576)



**FIGURA 6.** Factores que afectan el Proceso de Compactación.

Fuente: (Yepes, 2011)

### 2.2.5.1 Equipo de Compactación.

En los proyectos de construcción modernos, se utiliza maquinaria de compactación pesada para proporcionar energía de compactación. Los tipos de maquinaria necesarios se deciden en función al tipo de suelo que se va a utilizar. El método de compactación es principalmente de cuatro tipos, como amasado, estático, dinámico o impacto y compactación vibratoria. Diferentes tipos de acción son efectivos en diferentes tipos de suelos, como suelos cohesivos; rodillos de pata de cabra o rodillos neumáticos proporcionan la acción de amasado. Los suelos limosos se pueden compactar de manera efectiva con rodillos de pata de oveja/rodillo neumático o rodillos de ruedas lisas. Para compactar suelos arenosos y con grava, los rodillos vibratorios son los más efectivos. Si los suelos granulares tienen algunos finos, se pueden utilizar tanto ruedas lisas como rodillos neumáticos. (Geotechnical Engineering Directorate Research Designs & Standards Organization, 2005)

### 2.2.5.2 Contenido de Humedad.

El control adecuado del contenido de humedad en el suelo es necesario para lograr la densidad deseada. La máxima densidad con el mínimo esfuerzo de compactación se puede lograr mediante la compactación del suelo cerca de su

contenido de humedad óptimo (CHO). Si el contenido de humedad natural del suelo es menor que OMC, se debe agregar la cantidad de agua calculada al suelo con un rociador conectado al camión cisterna y mezclar con el suelo con una motoniveladora para obtener un contenido de humedad uniforme. Cuando el suelo está demasiado húmedo, se requiere que ~~se~~ seque por aireación para alcanzar el CHO. (Yepes, 2011)

### **2.2.5.3 Naturaleza o Tipo de Suelo.**

El tipo de suelo tiene una gran influencia en sus características de compactación. Normalmente, las arcillas pesadas, las arcillas y el limo ofrecen una mayor resistencia a la compactación, mientras que los suelos arenosos y los suelos de grano grueso o con grava son aptos para una fácil compactación. Los suelos de grano grueso producen densidades más altas en comparación con las arcillas. Un suelo bien graduado se puede compactar a una mayor densidad. (Yepes, 2011)

### **2.2.5.4 Espesor de la capa.**

Cuanto mayor sea el espesor de la capa de tierra sujeta a la compactación de campo, menor será el aporte de energía por unidad de peso del suelo y, por lo tanto, menor será la compactación en cada pasada del rodillo. Es necesario un espesor adecuado del suelo de cada capa para lograr un espesor uniforme. El espesor de la capa depende del tipo de suelo involucrado y del tipo de rodillo, su peso y la presión de contacto de sus tambores. Normalmente, un espesor de capa de 200-300 mm es óptimo en el campo para lograr una compactación homogénea. (Yepes, 2011)

### **2.2.5.5 Número de Pases de Rodillo.**

La densidad del suelo aumenta con el número de pasadas de los rodillos, pero después de un número óptimo de pasadas, el aumento adicional de la densidad es insignificante para el número adicional de pasadas. Para determinar el número óptimo de pasadas para un tipo de rodillo dado y el grosor óptimo de la capa con un contenido de humedad predeterminado, es necesaria una prueba de campo para la compactación. (Yepes, 2011)

### 2.2.5.6 Velocidad de Rodamiento.

La velocidad de laminación tiene una influencia muy importante en la salida del rodillo. Cuanto mayor sea la velocidad de rodadura, mayor será la longitud del terraplén que se puede compactar en un día. Se encontró que la velocidad es un factor importante para los rodillos vibratorios porque su número de vibraciones por minuto no está relacionado con su velocidad de avance. Por lo tanto, cuanto más lenta sea la velocidad de viaje, más vibraciones en un punto dado y menor número de pasadas requeridas para alcanzar una densidad dada. (Yepes, 2011)

### 2.2.6 FACTORES EFICIENCIA TRABAJO Y RENDIMIENTO DE UN COMPACTADOR.

(Lloret, 2009) Pone especialmente el énfasis en los conocimientos básicos en el proceso de compactación con rodillos teniendo en cuenta factores de eficiencia, Trabajo, Altura de trabajo, Valores de velocidad de operación, Anchos de compactación, número de pasadas y espesor de capa; estos valores se refieren a las tablas que se muestran a continuación.

#### 2.2.6.1 Ancho Efectivo.

TABLA 1. Ancho Efectivo De compactación.

Ancho Efectivo de Compactación	
Tipo de Compactador	Ancho Efectivo "w"(m)
Compactador Neumático	0.30 m
Rodillo Vibratorio (liso o pata de cabra )	0.20m
Rodillo Vibratorio pequeño	0.10 m

Fuente: (Lloret, 2009)

#### 2.2.6.2 Velocidad de Operación

TABLA 2. Velocidades de operación con rodillos.

Velocidad de Operación	
Tipo de compactador	Velocidad (km/hora)
Compactador Neumático	2.0 a 4.0 km/h
Rodillo Vibratorio (liso o pata de cabra )	2.5 a 4.5 km/h

Fuente: (Lloret, 2009)

### 2.2.6.3 Factor de Eficiencia

TABLA 3. Factor de Eficiencia de Trabajo.

<b>Factor de Eficiencia de Trabajo</b>			
<b>Condiciones de Trabajo</b>	<b>"t"</b>	<b>"o"</b>	<b>"E"</b>
Excelentes	60/60	1	1
Buenas	50/60	0.9	0.75
Regulares	45/60	0.8	0.6
Deficientes	40/60	0.7	0.47

Fuente: (Lloret, 2009)

### 2.2.6.4 Número de Pasadas

TABLA 4. Numero de Pasadas

<b>Número de Pasadas</b>	
<b>Tipo de Compactador</b>	<b>Número de Pasadas</b>
Compactador Neumático	6 a 10 pasadas
Rodillo vibratorio (listo o pata de cabra )	8 a 12 pasadas

Fuente: (Lloret, 2009)

### 2.2.6.5 Espesor de Capa.

El espesor es determinado de acuerdo a las especificaciones de obra a nivel de Base y Sub base, Están estipulados en los estudios previos de la obra, Como valores generales el espesor varía entre 0.15 a 0.30 m considerando volumen suelto.

### 2.2.6.6 Factor de Altura.

Realizar la compactación a niveles de altura grandes o como en la sierra puede conllevar a perdida de potencia y rendimiento del equipo compactador, es por ello, que el factor de altura se calcula en relación  $h = (\text{altura sobre el nivel del mar} - 1000 \text{ metros}) / 10000$ .

### 2.2.6.7 Productividad del Equipo compactador.

Para el cálculo de la productividad se utiliza la siguiente fórmula matemática, con los valores antes mencionados.

$$P = \frac{(W) \times (V) \times (E) \times (H)}{N \text{ corregido}} = \frac{m^3}{h}$$

Ecuación N°01: Ecuación del Productividad de Equipo Compactador.  
Fuente: (Lloret, 2009)

**Donde:**

P= Productividad

W= Ancho de Efectivo de compactación

V= Velocidad

E= Factor de eficiencia de trabajo.

H= Espesor de capa

N corregido= N x (1+h)

N= Numero de pasadas

\*El factor de Eficiencia de Trabajo depende del operador del equipo en cuanto a su experiencia y habilidad.

## **2.2.7 MÉTODOS DE COMPACTACIÓN.**

### **2.2.7.1 Compactación Estática o Presión.**

La compactación estática se basa en el peso de un compactador de suelo y la gravedad para aplicar presión hacia abajo sobre el suelo, El esfuerzo de compactación estático se basa en el peso del equipo y el área de contacto que tiene el equipo con el suelo.

En general, los beneficios de la compactación estática se limitan a las capas superiores de un material compactado, ya que la profundidad de influencia de la compactación estática suele ser baja. (Cacciola, 2013)

### **2.2.7.2 Compactación por Amasado.**

Los suelos cohesivos causan una rápida acumulación de exceso de presión de agua en los poros que hará que sea difícil minimizar el espacio vacío en el suelo al compactar, y para lograr una adecuada compresión para reducir esta respuesta “no drenada” de los suelos cohesivos durante la compactación, un proceso de amasado en el que el compactador amasa y remodela el suelo compactado es utilizado. Este proceso facilitará la reducción del espacio vacío para lograr la densificación deseada. Los materiales más adecuados para la

compactación del amasado son suelos cohesivos de grano fino como los suelos arcillosos son los compactadores pata de cabra. (Cacciola, 2013)

### **2.2.7.3 Compactación Vibratoria.**

La compactación vibratoria consiste en la aplicación de una fuerza mecánica impulsada periódicamente, cuya característica es por rotación de una masa excéntrica a lo largo de un eje en el centro de un tambor compactador cilíndrico, Para un tambor compactador pesado, la rotación de esta masa excéntrica conduce a una energía vibratoria hacia abajo que actúa simultáneamente con el peso del compactador para aplicar presión hacia abajo y energía vibratoria en el suelo. Cuando se aplica, La energía tiende a cambiar la naturaleza de los contactos partícula a partícula dentro de la masa del suelo, facilitando la reorganización de las partículas individuales del suelo en un estado más compacto, Los materiales más adecuados para la compactación vibratoria son suelos granulares como arenas y gravas. (Cacciola, 2013)

### **2.2.7.4 Compactación por Impacto.**

Con los procesos de compactación por impacto, el tiempo de transferencia de esfuerzos es muy corto. Los equipos que pueden clasificarse en este grupo son los diversos tipos de apisonadores, cuyo uso está reservado para áreas pequeñas, y ciertas clases de rodillos compactadores.

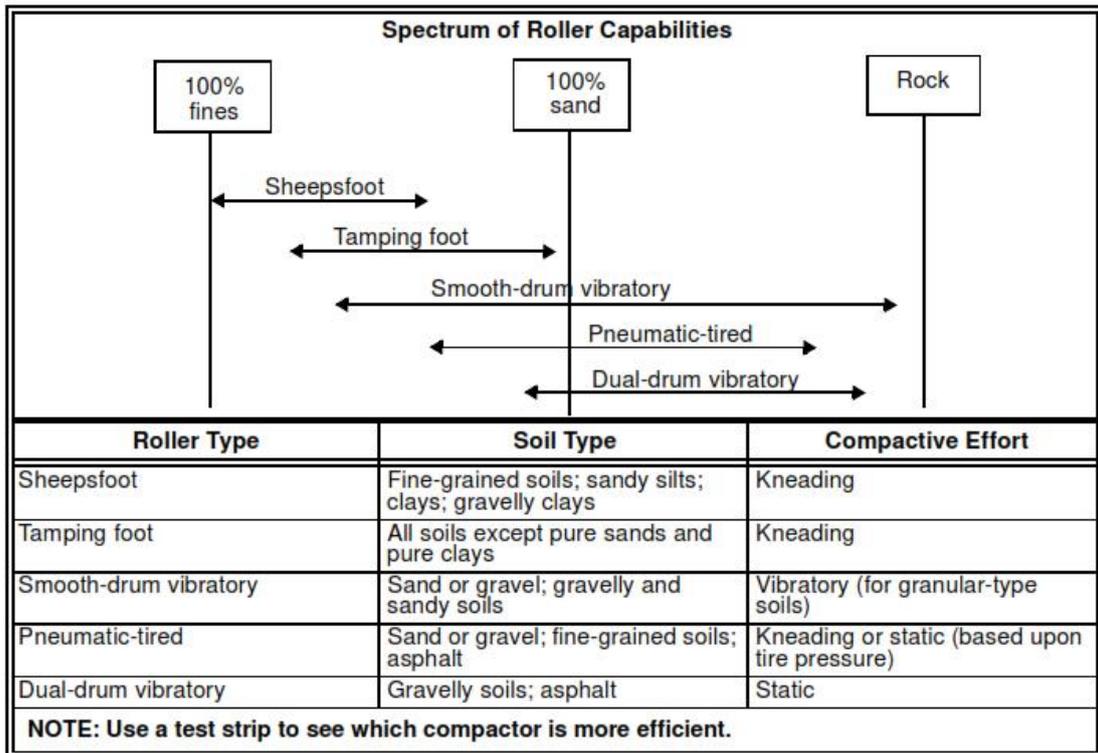
Los apisonadores pueden variar desde los más básicos, de caída libre y accionados manualmente, hasta dispositivos mucho más complejos que se mueven por compresión neumática o combustión interna. Principalmente por razones de coste, su uso se limita a determinadas partes de la estructura vial en todos los casos, como Zanjas, fallas en cimentaciones, áreas adyacentes a alcantarillas, etc. Y donde no se puedan utilizar otros equipos de compactación con mayor rendimiento por razones de espacio o por temor a los efectos del exceso de peso. (Cacciola, 2013)

## **2.2.8 ELECCIÓN DE EQUIPOS MECÁNICOS SEGÚN LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS Y REQUISITOS DE COMPACTACIÓN PROMEDIO**

(Hudson, 2000) clasifica mediante tablas los equipos de compactación de suelos más apropiado según el tipo de trabajo, expresa que Los rodillos vibratorios son

ideales para materiales bien graduados porque la acción de sacudir hace que las partículas más pequeñas llenen los vacíos alrededor de los granos más grandes, en la tabla 5 clasifica según la capacidad del equipo de compactación, la tabla 6 menciona la clasificación de suelos y la tabla 7 los requisitos de compactación promedio para llegar a una densidad adecuada de trabajo.

**TABLA 5.** Capacidades del Equipo de Compactación



Fuente: (Hudson, 2000 pág. 153)

**TABLA 6.** Clasificación de suelo

Major Soil Categories		Symbol and Description	Value as a Base, Subbase, or Subgrade	Potential Frost Action
Coarse-grained soils (50% or more larger than a #200 sieve opening)	Gravel and/or gravelly soils	GW Well-graded gravels or gravel-sand mixture with 5% or less of fines	Fair to good for base; good to excellent for subbase and subgrade	None to very slight
		GP Poorly graded gravels or gravel-sand mixture with little or no fines	Fair to good for all	None to very slight
		GM Silty gravel and poorly graded gravel-sand-silt mixtures	Not suitable for base (15% or less of fines with PI of 5 or less); fair to excellent for subbase and subgrade (50% or less of fines)	Slight to medium
		GC Clayey gravel and poorly graded gravel-sand-clay mixture	Not suitable for base (15% or less of fines with PI of 5 or less); poor to good for subbase and subgrade	Slight to medium
	Sand and/or sandy soils	SW Well-graded sands or gravelly sand mixture with 5% or less of fines	Poor for base; fair to good for subbase and subgrade	None to very slight
		SP Poorly graded sands or gravelly sand mixture with 5% or less of fines	Poor to not suitable for base; poor to fair for subbase and subgrade	None to very slight
		SM Silty sands, sand-silt mixture	Not suitable for base; poor to good for subbase and subgrade	Slight to high
		SC Clayey sands, sand-clay mixture	Not suitable for base; poor to fair for subbase and subgrade	Slight to high
Fine-grained soils (more than 50% smaller than a #200 sieve opening)	Silt and clays with liquid limits less than 50	ML Inorganic silt of low plasticity, silty fine sands	Not suitable for base or subbase; poor to fair for subgrade	Medium to very high
		CL Inorganic clay of low to medium plasticity, lean clays	Not suitable for base or subbase; poor to fair for subgrade	Medium to high
		OL Organic silt and organic silt-clay of low plasticity	Not suitable for base or subbase; poor to very poor for subgrade	Medium to high
	Silt and clays with liquid limits greater than 50	MH Inorganic silt micaceous or diatomaceous soil	Not suitable for base or subbase; poor to fair for subgrade	Medium to very high
		CH Inorganic clay of high plasticity, fatty clays	Not suitable for base or subbase; poor to fair for subgrade	Medium
		OH Organic clay of medium to high plasticity	Not suitable for base or subbase; poor to very poor for subgrade	Medium
Highly organic soils	Highly organic soils (peat) are not defined by numerical criteria; these soils are identified by visual and manual inspection.			

Fuente: (Hudson, 2000 pág. 154)

**TABLA 7. Requisitos de Compactación Promedio**

		Soil Classification Symbol													
		GW	GP	GM	GC	SW	SP	SM	SC	ML	CL	OL	MH	CH	OH
<b>Sheeps-foot, Standard With Ballast (Towed by Dozer)</b>	Lift Thickness Compacted (Inches)	*	*	*	6	*	*	*	6 (Best)	6	6 (Best)	6	6 (Best)	6	6
	Rolling Speed (mph)	NA	NA	NA	3	NA	NA	NA	3	3	2	2	2	2	2
	Number of Passes	NA	NA	NA	10	NA	NA	NA	10	10	12	12	12	14	14
<b>Self-Propelled Vibratory Roller</b>	Lift Thickness Compacted (Inches)	18 (Best)	18 (Best)	12	12	18 (Best)	18 (Best)	12	12	8	8	*	*	*	*
	Rolling Speed (mph/vpm)	4/1,400 or more	4/1,400 or more	4/1,100	4/700 to none	4/1,400 or more	4/1,400 or more	4/1,100	3/700 to none	3/700 to none	3/700 to none	NA	NA	NA	NA
	Number of Passes	8	8	6	6	8	8	6	7	7	7	NA	NA	NA	NA
<b>Tamping-Foot Roller, Self-Propelled (Not Recommended for Finishing Grade)</b>	Lift Thickness Compacted (Inches)	12	12	9	9	12	12	9	9	6	6	6	6	6	6
	Rolling Speed (mph)	10	10	10	8	10	10	10	8	8	4	4	4	3	3
	Number of Passes	5	5	6	7	5	5	6	6	5	5	5	6	6	6
<b>13-Wheel Pneumatic Compactor with Ballast (Wheel Towed), 100 psi</b>	Lift Thickness Compacted (Inches)	6	6	6	6	6	6	6	6	4	4	4	4	4	4
	Rolling Speed (mph)	5	5	4	4	5	5	4	3	3	3	3	3	2	2
	Number of Passes	10	10	10	10	10	10	10	12	7	7	7	8	9	9
<b>9-Wheel Pneumatic, Self-Propelled with Ballast, 100 psi</b>	Lift Thickness Compacted (Inches)	6	6	6	6	6	6	6	6	4	4	4	4	4	4
	Rolling Speed (mph)	6	6	6	5	6	6	6	5	4	4	4	4	3	3
	Number of Passes	6	6	7	7	7	7	8	8	6	6	6	6	6	6
<b>Smooth-Drum Vibratory Roller</b>	Lift Thickness Compacted (Inches)	12	12	9	9	12	12	9	9	6	6	*	*	*	*
	Rolling Speed (mph/vpm)	4/1,400 or more	4/1,400 or more	4/1,100	4/700 to none	4/1,400 or more	4/1,400 or more	4/1,100	3/700 to none	3/700 to none	3/700 to none	NA	NA	NA	NA
	Number of Passes	8	8	8	9	8	8	8	10	10	10	NA	NA	NA	NA

**NOTES:**  
 This chart should be used as a planning guide when a test strip cannot be performed.  
 The above symbols are based on the United Soil Classification System (USCS).  
 \*Not recommended.

Fuente: (Hudson, 2000 pág. 155)

(Ruiz, 2002) considera toda una serie de factores que inciden en los materiales a compactar, tales como por ejemplo tipo de suelo, forma y rugosidad de la partícula individual como también a la distribución granulométrica. Adicionalmente se deben considerar las condiciones específicas de la obra, el porcentaje de compactación prescrito del material a ser compactado (densidad Proctor). Por consiguiente, en las siguientes tablas muestra algunos de los muchos campos posibles de aplicación para equipos de compactación.

**TABLA 8.** Campos de aplicaciones para equipos mecánicos de compactación

Zona y tipos de equipos para la compactación		Peso de servicio (Kg)	Tipos de suelos								
			I			II			III		
			Suelos granulares (no cohesivos)			Suelos mixtos			Suelos arcillosos (cohesivos)		
			Aptitud	Capa (cm)	n° de pasadas	Aptitud	Capa (cm)	n° de pasadas	Aptitud	Capa (cm)	n° de pasadas
<b>1. Equipos livianos de compactación</b>											
Vibroapisonadores	Liviano	Hasta 25	+	Hasta 15	2 - 4	+	Hasta 15	2 - 4	+	Hasta 10	2 - 4
	Mediano	25 - 60	+	20 - 40	2 - 4	+	15 - 30	3 - 4	+	10 - 30	2 - 4
Planchas vibratoras	Liviano	Hasta 100	+	Hasta 20	3 - 5	•	Hasta 15	4 - 6	-	-	-
	Mediano	100 - 300	+	20 - 30	3 - 5	•	15 - 25	4 - 6	-	-	-
Rodillos vibrantes	Liviano	Hasta 600	+	20 - 30	4 - 6	•	15 - 25	5 - 6	-	-	-
<b>2. Equipos semipesados y pesados de compactación</b>											
Vibroapisonadores	Mediano	25 - 60	+	20 - 40	2 - 4	+	15 - 30	2 - 4	+	10 - 30	2 - 4
	pesado	60 - 200	+	40 - 50	2 - 4	+	20 - 40	2 - 4	+	20 - 30	2 - 4
Planchas vibratoras	Mediano	300 - 750	+	30 - 50	3 - 5	•	20 - 40	3 - 5	-	-	-
	pesado	Mas de 750	+	40 - 70	3 - 5	•	30 - 50	3 - 5	-	-	-
Rodillos vibratorios		600 - 8000	+	20 - 50	4 - 6	+	20 - 40	5 - 6	-	-	-
• satisfactorio + apropiado - no apto											
<small>* Las alturas de las capas incluidas en esta tabla son empíricas y además variables según la distribución granulométrica y el grado de humedad del suelo a compactar.</small>											

fuentes: (Ruiz, 2002 pág. 93)

**TABLA 9.** Aplicaciones típicas para equipos de compactación dinámica

Campos de aplicaciones principales	Tipo de maquina					
	Vibroapisonadores	Plancha vibradora	Rodillos mono-cilíndricos	Rodillos de doble vibración	Rodillos pata de cabra	Rodillos vibrantes articulados
<b>Compactación de suelos</b>						
Zanjas estrechas para cables y tuberías	+	•	-	-	-	-
Zanjas	+	+	•	-	+	-
Trabajos de cimientos	+	+	•	+	+	-
Rellenos alrededor de estructuras	+	+	•	+	+	-
Parques y jardines	+	+	+	+	•	+
Caminos para peatones y ciclistas	•	+	+	+	-	+
Accesos a parques y jardines	•	+	+	+	-	+
Instalaciones deportivas	-	+	•	+	-	+
Estacionamientos y zonas industriales	-	•	-	+	-	+
Construcciones viales	•	•	-	+	•	+
Construcciones ferroviarias	•	+	-	+	•	-
Ingeniería hidráulica y basurales	•	•	-	•	+	-
<b>Compactación de asfaltos</b>						
Trabajos de bacheo	+	+	+	+	-	+
Caminos para peatones y ciclistas	•	+	+	+	-	+
Accesos a parques y jardines	•	+	+	+	-	+
Estacionamientos y zonas industriales	-	•	•	+	-	+
Construcciones viales	•	•	•		-	+
<b>Otros trabajos de compactación</b>						
Adoquines naturales o de hormigón	•	+	-	-	-	-
Hormigón rodillado (roll-crete)	•	+	•	+	•	+
Hormigón seco apisonado	+	•	•	-	-	-
• satisfactorio - no apto + apropiado						

Fuente: (Ruiz, 2002 pág. 94)

## 2.2.9 EFECTO Y CÁLCULO DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO Y CAMPO.

La energía de compactación por unidad de volumen, E, empleada en la prueba de proctor estándar y modificado. Para distintas energías de compactación, Si se varia el esfuerzo de compactación por la unidad de volumen del suelo, la curva del peso unitario o densidad máxima de compactación de peso unitario húmedo también se acrecentara.

A medida que se incrementa el esfuerzo de compactación, el contenido óptimo de humedad se reduce en cierta medida.

### ➤ Cálculo de la energía de compactación en laboratorio.

$$E_c = \frac{\left( \begin{array}{c} \text{numero} \\ \text{de golpes} \\ \text{por capa} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{c} \text{número} \\ \text{de} \\ \text{capas} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{c} \text{peso} \\ \text{del} \\ \text{martillo} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{c} \text{altura de} \\ \text{caída del} \\ \text{martillo} \end{array} \right)}{\text{volumen del molde}}$$

Ecuación N°. 02

Fuente: (Das, 2015 pág. 97)

(Kelfkens, 2008) Una apreciación de la energía de compactación del martillo vibratorio es esencial en comprender sus efectos de compactación. La literatura proporciona una serie de métodos para calcular la energía de compactación del martillo vibratorio. El primero considera la frecuencia del martillo vibratorio, el peso estático, la amplitud, el número de capas y la compactación mediante la siguiente ecuación.

$$E = \frac{(Wh) \times (Freq) \times (Amp) \times (CompTime) \times (No, Layers)}{1000 \times \text{vol. mould}}$$

Ecuación N°. 03

Fuente: (Kelfkens, 2008)

E = Energía (kJ/m<sup>3</sup>)

Wh = Peso estático del martillo vibratorio (incluido el pisón) (N)

Freq = frecuencia (Hz)

Amp = amplitud (m)

CompTime = Tiempo de compactación (seg.)

No. Layers = Número de capas compactadas

vol. mould = Volumen del molde (m3)

El segundo método para calcular la energía de compactación considera la energía puntual del martillo vibratorio. Esta (energía puntual) es la energía entregada por impacto al suelo (Lange, 2012)

$$E = \frac{\text{Point Energy (J)} \times (\text{Freq}) \times (\text{CompTime}) \times (\text{No, Layers})}{1000 \times \text{vol. mould}}$$

Ecuación N°. 04  
Fuente: (Lange, 2012)

E = Energía (kJ/m3)

Freq = frecuencia (Hz)

CompTime = Tiempo de compactación (seg.)

No. Layers = Número de capas compactadas

vol. mould = Volumen del molde (m3)

El primer método no considera la energía puntual del martillo vibratorio que claramente juega un papel fundamental en la determinación del esfuerzo de compactación requerido para la compactación, El segundo método considera la energía puntual, sin embargo, el entorno bajo el cual el martillo es capaz de entregar esta energía (puntual) no está claramente definida. Se tiene que tener en cuenta que el martillo está diseñado para una operación manual y solo se modifica para su uso como compactador. El segundo método tampoco tiene en cuenta la amplitud. Sin embargo, es posible que la amplitud se haya tenido en cuenta al definir la energía puntual. (Nathan, 2013)

➤ **Cálculo de la energía de compactación en campo.**

(Arbulu, 2020) Todos los resultados de laboratorio se pueden implementar en campo, Así como podemos expresar el cálculo de la energía de compactación en laboratorio también se puede calcular la energía de compactación en campo relacionándolo de la siguiente manera.

<b>ENERGÍA EN LABORATORIO</b> (kg.cm/ cm3)	<b>ENERGÍA EN CAMPO</b> (joule/ m3)
numero de golpes por capa =	Frecuencia de Vibración
numero de capas =	Espesor de la capa compactada
peso del martillo =	Peso del Rodillo
altura de caída del martillo =	Amplitud de Vibración

$$E_c = \frac{\left(\begin{matrix} \text{frecuencia} \\ \text{de} \\ \text{vibración} \end{matrix}\right) \times \left(\begin{matrix} \text{espesor} \\ \text{de} \\ \text{la capa} \end{matrix}\right) \times \left(\begin{matrix} \text{peso} \\ \text{del} \\ \text{rodillo} \end{matrix}\right) \times \left(\begin{matrix} \text{amplitud} \\ \text{de} \\ \text{vibración} \end{matrix}\right)}{\text{volumen del area compactada}}$$

Ecuación N°. 05  
Fuente: (Arbulu, 2020)

### 2.2.10 COMPORTAMIENTO DE SUELOS GRANULARES

Los suelos varían respecto a su comportamiento mecánico además de su composición y estructura del suelo, de la densidad y de las características de la fuerza aplicada. Su comportamiento también varía teniendo en cuenta su porosidad y peso específico, por lo que al variar su composición permite conocer los comportamientos del suelo. Su rigidez varia en relación al esfuerzo deformación, es decir el comportamiento mecánico del material depende de las propiedades granulométricas del material, ante el fluido en sus poros se le conoce como suelo saturado (Lizcano, 2007).

### 2.2.11 PROCESO DE DENSIFICACIÓN DE UN SUELO COMPACTADO

Al realizar los ensayos de compactación en laboratorio, induce a la experimentación de esfuerzo en la cual comprende: El número de golpes, la altura de caída, el peso del pisón y el número de capas. Además, se analiza esa energía inducida: en la presión estática, amasado, impacto. Se determina además la orientación de las partículas con modificación de las características mecánicas de los suelos y materiales estabilizados. La relación densidad seca - humedad, forma parte de la curva de compactación Proctor. La línea ascendente se denomina rama seca. El punto máximo superior se obtiene del valor de la

densidad seca máxima y la humedad óptima. La parte descendente se conoce como rama húmeda (Páramo, 2002).

## 2.2.12 ENSAYOS CORRESPONDIENTES EN LABORATORIO Y CAMPO.

### 2.2.12.1 Ensayos de laboratorio.

Estos se realizan con muestras extraídas del material de conformación de bases del proyecto, se efectuaron en el laboratorio UNITEST

- ✓ Análisis Granulométricos por tamizado ASTM D 422, MTC E 107
- ✓ Clasificaciones SUCS
- ✓ Clasificaciones AASHTO
- ✓ Límites de Atterberg, (Límite Líquido y Límite Plástico) ASTM D 4318, MTC E 110,111
- ✓ Humedad Natural ASTM D 2216, MTC E 108
- ✓ Proctor Modificado ASTM C 1557–C, MTC E 115
- ✓ California Bearing Ratio (CBR) ASTM D 1883, MTC E 132

### 2.2.12.2 Granulometría.

Consiste en distribuir los tamaños que posee el agregado a través del tamizado respecto a la especificación técnica (MTC EM 107), mediante este ensayo se estima con mayor o menor aproximación sus propiedades.

El análisis granulométrico de un suelo, tiene el propósito de determinar la proporción de sus diferentes elementos clasificados de acuerdo a su tamaño.

Según el tamaño de partículas de suelo, se definen:

**TABLA 10.** Clasificación de suelos según tamaño de partículas.

Tipo de material		Tamaño de las partículas
Grava		75 mm – 4.5 mm
Arena		Arena gruesa: 4.75 mm – 2.00 mm
		Arena media: 2.00 mm – 0.425 mm
		Arena fina: 0.425 mm – 0.075 mm
Material	Limo	0.075 mm – 0.005 mm
Fino	Arcilla	Menor a 0.005 mm

Fuente: (Manual de Carreteras, 2013)

**TABLA 11.** Requisitos mínimos para material de base.

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso					
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D	Gradación E	Gradación F
50 mm (2")	100	100	...	...	...	...
25 mm (1")	...	75-95	100	100	100	100
9.50 mm (3/8")	30-65	40-75	50-85	60-100	...	...
4.75 mm (N° 4)	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	70-100
2.00 mm (N° 10)	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100
425 µm (N° 40)	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70
75 µm (N° 200)	2-8	5-15	5-15	8-15	6-15	8-15

“Gradación con riesgo de daño por acción de heladas, Se aconseja utilizar curva de gradación “A”, o curvas con porcentajes que pasen la malla N°200 respecto a los de gradación A” (Manual de Carreteras, 2013 pág. 144).

### 2.2.12.3 PLASTICIDAD

Determinado a partir de los Límites de Atterberg. Representa la estabilidad **que**, de los suelos hasta lograr un grado de humedad sin desintegrarse, de tal modo, la plasticidad de los suelos depende de sus elementos finos. El análisis granulométrico no determina esta característica.

Los límites de Atterberg, determinan el comportamiento de un suelo en relación a su contenido de humedad (agua), define los límites de estados de consistencia, respecto a ello se presentan un suelo con los siguientes: líquido, plástico o sólido.

- ✓ Límite Líquido (LL), consta de un suelo que pasa del estado semilíquido a plástico y puede moldearse.
- ✓ Límite Plástico (LP), consta de un suelo que pasa de un estado plástico a un semisólido y logra romperse.
- ✓ El Índice Plástico, es la diferencia entre LL y el LP. Este indica que el suelo contiene magnitudes de intervalo de humedades de consistencia plástica y permite clasificar un suelo apropiadamente. Un IP mayor viene a ser un suelo arcilloso; en cambio, un IP menor es poco arcilloso.

De este modo, el suelo en relación al índice de plasticidad se clasifica siguiendo la Tabla:

**TABLA 12.** Clasificación de los suelos según índice de plasticidad.

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Características
IP > 20	Alta	Muy arcillosos
IP ≤ 20, IP > 7	Media	Arcillosos
IP < 7	Baja	Poco arcillosos
IP = 0	No Plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

Se debe considerar que un suelo con alto contenido de arcilla, puede ser riesgoso en un suelo, como también para la estructura de un pavimento, debido a la sensibilidad al contacto con el agua. Fuente: (Manual de Carreteras, 2013)

#### 2.2.12.4 CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Luego de clasificar los suelos se analiza el comportamiento de estos, teniendo en cuenta la granulometría, la plasticidad e índice de grupo; para después clasificar los suelos.

Al clasificar se podrá predecir el comportamiento de los suelos, que conllevará a determinar los sectores homogéneos analizando la parte geotécnica.

Seguidamente, se presenta relación de los sistemas de clasificación AASHTO y ASTM (SUCS):

**TABLA 13.** Correlación de tipos de suelos aashto – sucs.

Clasificación AASHTO	Clasificación SUCS
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	GM, GC, SM, SC
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

Fuente: (Manual de Carreteras, 2013)

#### 2.2.12.5 HUMEDAD NATURAL

Es importante para conocer la resistencia de suelos finos en relación directa con la cantidad de agua que contiene el suelo (humedad) y densidad.

Así mismo, los parámetros adicionales de consistencia y liquidez son evaluados a través de la humedad y límites de Atterberg, determinándose su trabajabilidad o susceptibilidad al colapso.

### 2.2.12.6 ENSAYO DE SOPORTE CALIFORNIA (C.B.R.)

Realizado bajo la norma de ensayo “MTC EM 132”, luego de clasificarse los suelos mediante sistema AASHTO y SUCS, se realiza un perfil estratigráfico para cada tramo analizado, a partir del cual se calcula el programa de ensayos para definir el CBR, que viene a ser el valor de resistencia del suelo, al 95% de la MDS (Máxima Densidad Seca) y a una penetración de carga de 2.54 mm.

Indica o determina la resistencia del suelo y se puede clasificar los suelos en base la siguiente Tabla:

**TABLA 14.** Categoría de Subrasante.

<b>Categoría de Subrasante</b>	<b>C.B.R. (%)</b>
S0 : Subrasante Inadecuada	C.B.R. < 3%
S1 : Subrasante Pobre	C.B.R. [3% - 6%]
S2 : Subrasante Regular	C.B.R. [6% – 10%]
S3 : Subrasante Buena	C.B.R. [10% - 20%]
S4 : Subrasante Muy Buena	C.B.R. [20% – 30%]
S5 : Subrasante Excelente	C.B.R. >=30%

Fuente: (Manual de Carreteras, 2013)

### 2.2.12.7 Ensayo de Proctor Estándar y Modificado.

A inicios del año 1933, el Ing. Ralph Proctor da comienzo a los estudios de Compactación. Este autor analizo que el suelo al realizar su contenido de humedad, reacciona de manera diferente a la Compactación, llegando alcanzar diversos valores de densidad.

Proctor, analizo muestras en un recipiente cilíndrico usando los contenidos de humedad. Después de Compactar las muestras obtuvo valores de acuerdo al contenido de humedad y densidad seca (González, 2013).

De acuerdo a la norma ASTM-1557 el ensayo de Proctor Modificado se realiza en un cilindro que calcula la densidad y contenido de humedad, lo que difiere del

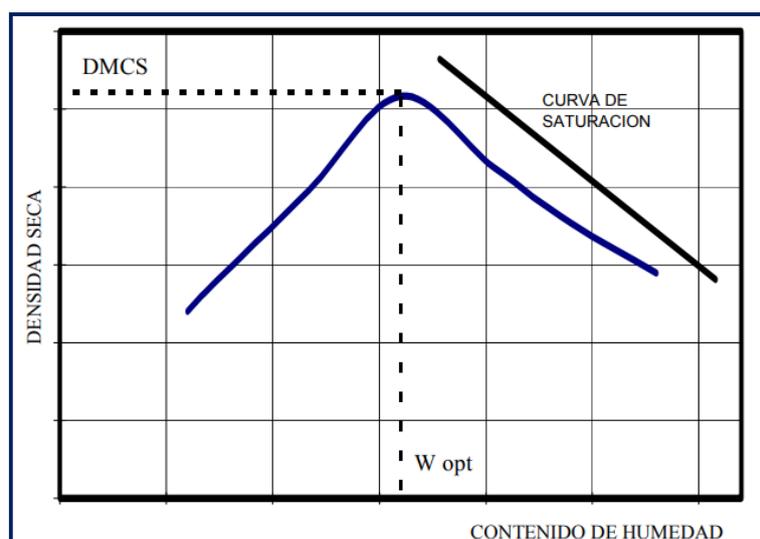
Proctor estándar es que el peso del pistón es de 10 lb. Se realiza dependiendo del ensayo granulométrico a elegir. La compactación consta del procedimiento de estabilización mecánica, tiene por finalidad incrementar la densidad del suelo, mediante una mayor aproximación de sus partículas, esto provoca disminución del Índice de Vacíos por medio del proceso de compactación del suelo dependiendo los siguientes objetivos prácticos:

- Incremento en la resistencia a la compresibilidad y al corte.
- Resultado de mayor uniformidad y homogeneidad.
- Alcanzar un suelo menos susceptible a variaciones de humedad.
- Con el fin de aportar nuevas metodologías para la construcción de caminos y aeropuertos.

Al realizar los ensayos de proctor podemos determinar el óptimo contenido de humedad y densidad seca máxima del suelo y esta se representa mediante la gráfica de la curva proctor.

#### ➤ **Humedad óptima**

Según Hernández & Rodas (2018) el contenido óptimo de agua es el pico máximo de la curva de densidad seca- contenido de humedad, y el punto más bajo que proyecta la curva de compactación es la rama seca que representa una muestra de baja humedad, en la cual existe dificultad de hallar la fricción y cohesión de su densificación.



**FIGURA 7.** Curva típica de un ensayo Proctor.

Fuente: Bowles, 1982

### ➤ **Densidad máxima seca**

Según Cárdenas & Donoso (2008) la máxima densidad de un suelo es el estado más compacto obtenido según los ensayos normales. Entonces decimos que es un estado muy denso de suelo, ~~en~~ el cual se obtiene mediante ensayos de laboratorio.

#### **2.2.12.8 Ensayo de Densidad de Campo**

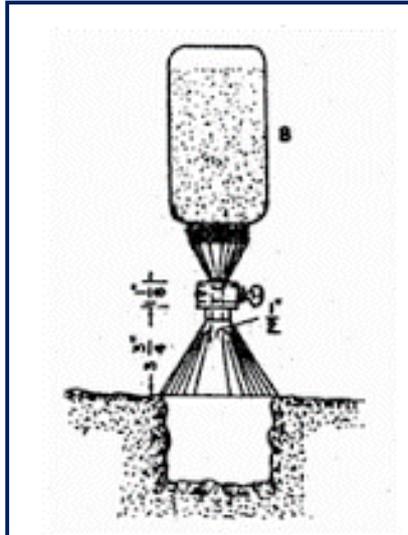
Estuardo de León (2009) menciona dos pruebas para determinar la densidad in situ de un suelo, es el método de cono de arena y densímetro nuclear. Considera para la base y sub-base de carreteras para conocer el método más eficaz y confiable en sus trabajos de campo.

En cambio, Guerrón (2013) agrega a los métodos ya mencionados por el autor anterior el método volumétrico. Los métodos como el cono de arena, Densímetro y volumétrico que se calculan en el sitio ~~su~~ la densidad unitaria del suelo, estos a su vez permiten hallar el grado de compactación del suelo, va destinado para la construcción de terraplenes ya que ayuda a mejorar su terreno y una mejor compactación en las capas.

Los tres métodos de ensayo de campo son los siguientes:

### ➤ **Método Cono y Arena**

Determina la densidad de los suelos donde las partículas no sobrepasan en tamaño a 50mm (2"). Este método utiliza de instrumento un cono medidor de volumen, que posee una válvula manual cilíndrica que modera y controla el llenado del cono. El embudo que ajusta a la boca del recipiente tiene una placa base donde se adhiere el cono de densidad y están unidas durante el ensayo.



**FIGURA 8.** Cono de arena.

Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de Suelos.

Este método se aplica a suelos granulares y cohesivos, El procedimiento constituye en:

- Medir diámetro y altura del cilindro
- Calculo de volumen del cilindro
- Peso del cilindro incluida la base
- Luego de cerrar la válvula del cono se fijan sobre las mariposas del cilindro para evitar que se desplace.
- La válvula se llena con arena hasta que rebalse.
- Se cierra la válvula una vez lleno el interior del frasco y se enraza el cilindro por medio de un cordel para evitar ejercer presión.
- Se procede a limpiar la base del cono con una broca y se pesa.
- Se realiza la diferencia de pesos como resultado el peso de la arena se dividida entre el volumen del cilindro para obtener el peso volumétrico.
- Se repite el proceso anterior de 3 a 5 veces dependiendo las variaciones en el peso de la arena.

#### ➤ **Método Volumétrico**

Este método permite obtener el volumen del agujero al extraer a través de un cilindro del suelo, se mide el agua bombeada que se llena en la cavidad de balón

de caucho que impide la absorción del agua en el terreno. Cuando existe ruptura o las paredes tienen cavidades irregulares del balón resulta menos eficaz.



**FIGURA 9.** Método Volumétrico.

Fuente: Guerron (2013)

#### ➤ **Método Nuclear (Densímetro Nuclear)**

Se basa en el principio “Suelos densos absorben más radiación que suelos sueltos”.

El procedimiento es de la siguiente manera:

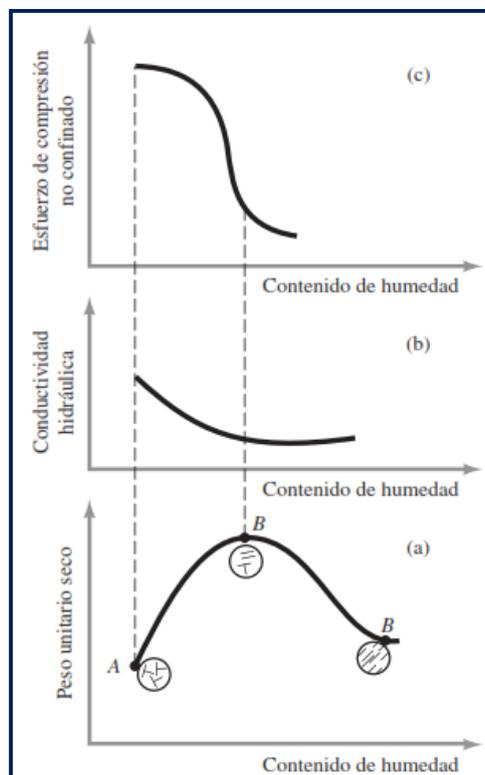
- El aparato de medición nuclear se pone directamente sobre el terreno o suelo a analizar.
- La fuente radioactiva emite rayos gamma que se introducen en el suelo, y dependiendo el número de vacíos de aire que se emiten, un número de rayos se reflejan y otras vuelven a retomar a la superficie.
- Los rayos son contados por el registro, luego esta es comparada en el densímetro nuclear.
- La unidad que indica es en  $\text{kg}/\text{cm}^3$  (densidad del suelo).
- Esta densidad de suelo es comparada con la máxima densidad obtenida del ensayo de Proctor realizada, por la cual se obtiene la densidad relativa del Proctor.

- Este método es más eficaz por la rapidez y exactitud de los resultados de la prueba que se obtiene y se considera una prueba no destructiva.



**FIGURA 10.** Método Nuclear.

Fuente: Guerron (2013)



**FIGURA 11.** Naturaleza de la variación de (a) peso unitario seco, (b) conductividad hidráulica y (c) esfuerzo de compresión no confinado con contenido de humedad

Fuente: (Das, 2015 pág. 93)

### 2.2.12.9 Ensayo de Contenido de Humedad.

Esta prueba permite calcular el contenido de agua o humedad de una muestra de suelo. Esta se expresa en porcentaje del peso de agua en una muestra de suelo de partículas sólidas. Las muestras se determinan de acuerdo a la Norma ASTM D-4220, Grupos de suelos B, C y D. Las muestras se mantienen en contenedores herméticos no corrosibles, se recomienda temperatura entre 3 °C y 30 °C y a su vez evitar contacto con la luz solar

El procedimiento constituye en:

- Anotar el peso de la cápsula
- Se coloca la muestra húmeda en la cápsula para después pesarla y se obtiene peso del suelo húmedo más el peso de la cápsula.
- Se coloca la cápsula más la muestra en el horno a una temperatura de 105°C alrededor de 24 horas.
- Posteriormente el material secado se remueve en el contenedor del horno y se deja enfriar para pesar en la balanza y obtener peso seco de la muestra más el peso de la cápsula.
- Por último, se realizan los cálculos para hallar el contenido de humedad o agua por el método más rápido.

Se halla mediante la siguiente formula:

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_t} \times 100 = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

$W$  = contenido de humedad, (%)

$W_w$  = Peso del agua

$W_s$  = Peso seco del material

$W_1$  = peso de tara más el suelo húmedo (g)

$W_2$  = peso de tara más el suelo secado en horno (g)

$W_t$  = peso de tara (g)

### 2.2.13 MÁQUINAS MECÁNICAS PARA EL PROCESO DE COMPACTACIÓN EN CAMPO.

#### ➤ Camión tolva o volquete

Estos camiones tolva son los que transportan áridos y mezclas asfálticas en su depósito metálico trasero sobre el chasis del vehículo. (Ver Figura 12)

Para evitar la adherencia de mezclas asfálticas se aplica una mezcla fresca en la tolva del camión. También para evitar el enfriamiento se cubre con una carpa la mezcla.

La mezcla de la tolva se vierte a una velocidad constante y lenta.



**FIGURA 12.** Camión tolva.

Fuente: <http://www.maquinariasconcepcion.cl/arriendo/camion-tolva.html>

#### ➤ Motoniveladoras

Las motoniveladoras cumplen la función de esparcir y nivelar las distintas capas de la estructura del pavimento mediante una cuchilla de acero en la parte media del equipo. Esta le otorga una cierta maniobrabilidad a la maquinaria.

Se caracteriza por un alto rendimiento y velocidad de esparcido que varía entre 1,8 km/8 km/h. Se recomienda una revisión de la maquinaria antes de cada etapa de pavimentación, los puntos más importantes a supervisar son:

- Funcionamiento adecuado de la cuchilla de acero.
- Funcionamiento apropiado de las ruedas delanteras y las traseras ya que dan un manejo adecuado a la motoniveladora.

- Las ruedas delanteras absorben los empujes transversales y las traseras absorben las irregularidades del perfil.



**FIGURA 13.** Motoniveladora.

Fuente: <https://machineryline.es/-/motoniveladoras--c130>

#### ➤ **Compactador vibratorio tipo rodillo vibratorio**

El compactador se usa después del extendido de capas de la estructura con la finalidad de lograr densidades requeridas y obtener las máximas resistencias.

Es recomendado utilizar en suelos granulares, Utilizando una combinación de presión más vibración, la vibración se produce mediante la rotación de pesos.

Así mismo, esta maquinaria se utiliza para la compactación de espesores de capas relativamente gruesas, como por ejemplo en suelos no cohesivos debido a las vibraciones que producen una mejor compactación. Compuesta de rodillos de llanta lisa que ejercen una fuerza de compactación sumado a su propio peso y de la vibración de sus rodillos. Su diámetro varía entre 0,9 m y 1,5 m, y un ancho entre 1,2m a 2,4m. Su peso en orden de trabajo varía entre 2 y 12 toneladas aproximadamente. Las ruedas neumáticas propulsan al rodillo liso.

Se requiere un ajuste en cuanto a la operación del rodillo a través de la frecuencia, amplitud de la vibración y velocidad del rodillo, por lo menos 30 golpes de oscilación por metro de compactación.



**FIGURA 14.** Rodillo vibratorio.

Fuente: [https://www.cat.com/es\\_MX/products/new/equipment/compactors/vibratory-soil-compactors/18230166.html](https://www.cat.com/es_MX/products/new/equipment/compactors/vibratory-soil-compactors/18230166.html)

➤ **Apisonador Manual o Vibro apisonadores.**

Empleados típicamente para compactar suelos en áreas limitadas, para trabajos de volúmenes reducidos de relleno.

El compactador o apisonador manual tipo canguro también llamado como pisón tipo vertical de percusión o saltarín, es una herramienta compactadora vibratoria que trabaja con un motor de combustión. Este equipo es de gran ayuda ya que aplica una fuerza a la superficie del suelo en impactos consecutivos, llegando a nivelar y apisonar uniformemente los espacios vacíos entre las partículas del suelo para así mejorar su densidad seca, también, el peso de las partículas sólidas del suelo por unidad de volumen.

El apisonador está diseñado para ser empleadas en áreas confinadas y de espacios reducidos, se usa para la compactación de suelos arcillosos, gravas, y granulares, con el propósito de evitar asentamientos y proveer de una base firme y sólida para el colocado de zapatas, losas de hormigón y cimientos.



**FIGURA 15.** Vibro apisonador manual.

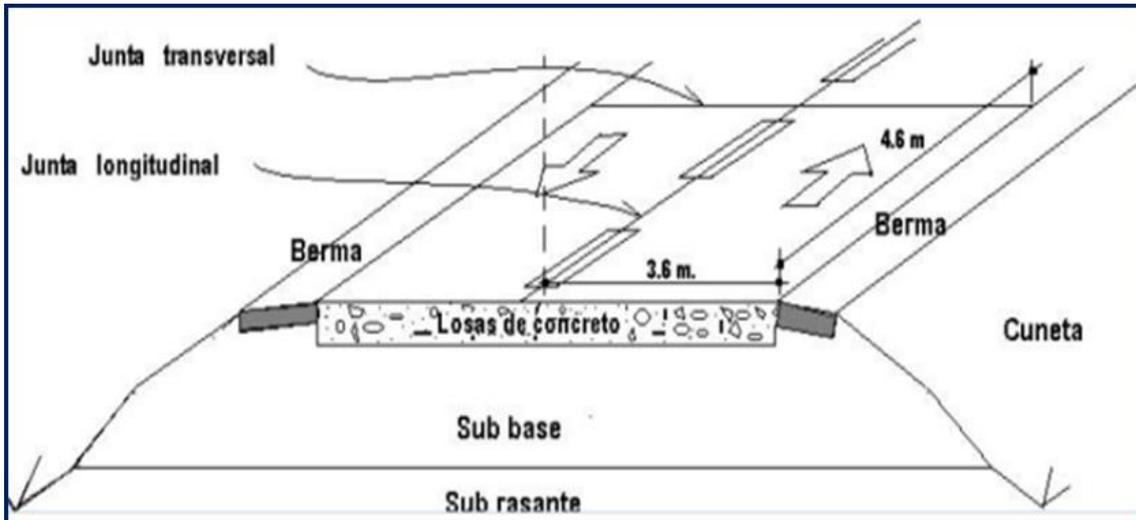
Fuente: [https://www.cat.com/es\\_MX/products/new/equipment/compactors/vibratory-soil-compactors/18230166.html](https://www.cat.com/es_MX/products/new/equipment/compactors/vibratory-soil-compactors/18230166.html)

#### **2.2.14 PAVIMENTO RÍGIDO.**

Consta de una losa de concreto simple o armado, sobrepuesta de una base o sub base y llega absorber los esfuerzos debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad. Compila a lo mencionado, Becerra 2012 citado en Hernández y Rodas (2018), que los pavimentos rígidos “son aquellos que tienen una carpeta de rodadura constituida por concreto de cemento hidráulico. Posee el nombre de pavimento rígido a causa de las propiedades de la carpeta de concreto, que absorbe en mayor grado las cargas vehiculares”. Esto refiere a las zonas por donde transitan los vehículos, por donde se movilizan y el contacto con las llantas son de manera directa. Por su parte (Huang, 2004b) citado en (Lituma Vintimilla, 2018), explica las teorías por las cuales son analizados los pavimentos rígidos y hace mención la teoría de la placa, que considera a la losa de concreto antes de doblarse como placa de espesor medio y esta permanece plana luego de doblarse.

Burmister, en su teoría analiza respecto a los pavimentos, que las capas abarcan una extensión de área infinita. Además, se menciona que no se puede aplicar a pavimentos rígidos que poseen juntas. La capacidad estructural de un pavimento

rígido depende de la resistencia de losas y por lo tanto el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor de pavimento. Es así que, los componentes de la estructura del pavimento rígido son, la junta transversal, junta longitudinal, berma, cuneta, losas de concreto, sub base y sub rasante.



**FIGURA 16.** Estructura pavimento rígido.

Fuente: Adaptado de (Lituma Vintimilla, 2018)

### 2.2.15 ESTRUCTURAS DE UN PAVIMENTO RÍGIDO

Están constituidas por una losa de concreto Portland sobre una base, o directamente sobre la sub-rasante. Transmite mínimos esfuerzos directos al suelo, es auto-resistente, y la cantidad de concreto debe ser controlada. (Ver figura 17)

#### ➤ **Subrasante.**

Soporte natural, habilitado y compactado, donde se construye el pavimento. Su función principal es dar apoyo uniforme en el tendido de la conformación de base y sub base, sin alteraciones bruscas, es decir, la parte fundamental es que la subrasante brinde un apoyo estable y tenga una alta capacidad de soporte; de tal modo, que la expansión de los suelos no se vea afectado.

#### ➤ **Base / Sub base**

Forma parte de la estructura del pavimento rígido entre la subrasante y la losa rígida. Compuesta por una o más capas compactas de material granular o

estabilizado; Cumple función de prevenir el bombeo de los suelos de granos finos. Cuando la combinación de suelos, agua, y tráfico generan bombeo es necesario una sub base. Estas condiciones son adecuadas para el diseño de pavimentos para vías principales y de tránsito pesado.

➤ **Losa de concreto**

Consta de concreto portland, el costo es más elevado que el pavimento flexible y puede durar entre 20 y 40 años. Ya que no se realiza mantenimientos periódicos como la de una carpeta asfáltica, puesto que solo necesita un mínimo mantenimiento y se orienta al tratamiento de juntas de las losas.

### **2.2.16 GEOLOGÍA SUPERFICIAL EN EL DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO**

El distrito de Challhuahuacho, dentro del contexto de su geología superficial, se encuentra en el cinturón porfirítico/skarn Cu-Mo-Au también llamado Skarn belt Andahuaylas-Yauri situado al sureste del Perú, a esta zona se le atribuye la orogénesis Inca del Eoceno al Oligoceno temprano. Brookes, (2005).

El cinturón metalogénico se sitúa en el Batolito de Andahuaylas y Yauri, este presenta múltiples intrusiones de calcoalcalina. En la época incaica se originaron las deformaciones producto del fallamiento y plegamiento. Perelló et al, (2002).

La Geología de la Región Apurímac, se caracteriza, por presencia de distintos tipos de rocas, por formaciones geológicas, grupos, complejos metamórficos, complejos volcánicos y plutones; tiene una geología compleja, por la zona geográfica accidentada de la sierra. En ese sentido, los afloramientos presentan edades aproximadas desde el Precámbrico (Neo proterozoico), con el Complejo Iscaybamba como representante, consta de rocas metamórficas, hasta el cuaternario más reciente, representado por los depósitos cuaternarios (Suelos), tales como: Fluviales, Aluviales, Eluviales, Coluviales, Morrénicos y Fluvioglaciares.

La orogenia de la región, también se torna muy interesante, debido a su complejidad misma de su relieve, ya que esta favorece a la existencia de gran cantidad de microcuencas hidrográficas que, sumados a la complejidad estructural existente en la región, favorecen a la generación de lagunas y a la

alimentación constante de acuíferos, lo que se traduce en la disposición de buenos acuíferos (Salazar Gutiérrez, (2016).

Challhuahuacho es uno de los 6 distritos de la Provincia de Cotabambas situada en el departamento de Apurímac. Colinda por el Norte y Noreste con los distritos de Mara, Tambobamba a partir del cerro Charca (Municipalidad Distrital de Challhuahuacho, 2021).



FIGURA 17. Ubicación Geográfica Challhuahuacho.

Fuente:(Centro Nacional de salud ocupacional & Protección del Ambiente para la salud, 2010)

## 2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

### ➤ Densidad Húmeda.

Se conceptualiza como la masa del material (suelo ya sean partículas sólidas y agua que haya en los poros) dividida por el volumen total (colaboradores de Wikipedia, 2021)

### ➤ Contenido de Humedad.

Porcentaje de agua que contiene un suelo o material terreo (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016 pág. 11)

➤ **Densidad Seca.**

Es la mayor solidez que puede alcanzar un suelo al ser compactado, obtenida de la división de la densidad humedad con el contenido de humedad. (colaboradores de Wikipedia, 2021)

➤ **Grado de Compactación.**

Es la relación en porcentajes, entre el peso volumétrico que se obtiene en la obra y el máximo especificado que se obtiene de laboratorio, es decir la operación matemática obtenida de la densidad máxima en laboratorio y la densidad seca de campo. (colaboradores de Wikipedia, 2021)

➤ **Pavimento.**

Es una estructura de distintas capas de material sobre la sub rasante de la vía, con el propósito de resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: Sub base, base y capa de rodadura. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016 pág. 15)

➤ **Suelos Granulares.**

Son aquellos en los cuales las fuerzas inter granulares poseen un efecto despreciable en el comportamiento mecánico observado. Pueden clasificarse en rocas, gravas y arenas. Los suelos granulares se clasifican en materiales densos o sueltos. Estos no poseen ninguna cohesión, y según categoría pueden ser rocas, gravas, arenas y limos (S. Pérez, 2002).

➤ **Vacíos**

Oquedades que se encuentran en una mezcla compactada rodeados de partículas cubiertas de sólidos (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016 pág. 12)

➤ **Clasificación del suelo**

Los distintos suelos de iguales propiedades clasifican en grupos y subgrupos de respecto a su función ingenieril. Los sistemas de clasificación se interpretan mediante un lenguaje común para expresar de manera sucinta las características generales del suelo, los cuales varían in

finitamente. Gran parte de los sistemas de clasificación de suelos analizados con propósitos ingenieriles están basados mediante un simple índice de propiedades como la distribución de las dimensiones de las partículas y la plasticidad (ICCE 2012)

➤ **Curva de cero vacíos**

También conocida como la curva de saturación donde su representación gráfica de la variación del peso seco unitario o densidad seca, de un suelo saturado, en función de su contenido de agua.

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

### **3.1 MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.**

Es un proceso deductivo, cada etapa conduce de forma lógica a la que viene, donde se pretende confirmar, comprobar, explicar o predecir un determinado hecho o fenómenos investigados, buscando regularidades y relaciones causales entre elementos, esto significa que la meta principal es la formulación y demostraciones teóricas. Por lo tanto, el enfoque de investigación es cuantitativo.

#### **3.1.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN.**

En la presente investigación se basa en conceptos y teorías preestablecidas donde se buscan convertir teorías, en un conocimiento práctico y útil para la ingeniería. Por tal concepto el tipo de investigación es Aplicada

#### **3.1.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN.**

El estudio tiene como propósito valorar la correspondencia que hay entre dos o más conceptos, nociones, categorías o las variables relación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables, Tales correlaciones se expresan en hipótesis sometidas a prueba (Hernandez, y otros, 2018)

Se pretende relacionar cuanto incide la energía de compactación con las variables e indicadores como la densidad húmeda en campo, contenido de humedad en campo, densidad seca en campo y el grado de compactación logrado en campo realizado con los equipos mecánicos de compactación como el rodillo liso vibratorio y apisonador manual. La investigación es de nivel Correlacional

#### **3.1.4 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.**

Se clasifica en un diseño de investigación Experimental (cuasi-experimental).

Porque tiene como finalidad poner a prueba una hipótesis maniobrando al menos una variable independiente. De tal manera sería aquella en la que existe una

exposición, respuesta y una hipótesis para contrastar, pero no hay aleatorización. (Hernandez, y otros, 2018)

El procedimiento de la investigación que se realizó consta de las siguientes etapas.

- **Etapa 1.- Muestreo Para la conformación de Bases.**

Se realizó la toma de muestras del material suelo de la cantera Carmen Alto destinada para conformación de base. Se realizaron los pasos requeridos para toma de muestras, libre de compuestos y libre de contaminantes, en sacos y bolsas impermeables que resguardaron las características específicas del material analizado.

- **Etapa 2.- Ensayos previos de laboratorio.**

Tomadas las muestras de laboratorio, se ejecutaron los ensayos de mecánica de suelos respectivos, como, Granulometría (ASTM D 422), Límites de Atterberg (NTP 339.129), Clasificación de suelos (ASTM D 2487-93), Proctor modificado a energías de compactación variadas incrementando el número de golpes desde los 56 golpes a 59 golpes (MTC E 115), ensayo de abrasión, ensayo de CBR, etc.

- **Etapa 3.- Trabajo de campo.**

Con los resultados obtenidos de las muestras de laboratorio se procedió a realizar los trabajos en campo. En la compactación en campo, se realizó los trabajos previos como transporte de material para base ( el esparcido del material, el regado, el batido y compactación) en la experimentación se realizó la compactación de la capa base para pavimento rígido a un espesor de relleno de 20cm, en 4 tramos de longitudes de 40 metros y ancho del tambor rodillo liso empleado, así mismo, se varió la frecuencia de vibración de operación de la maquina a 1400 vpm, 1543 vpm, 1686 vpm y 1830 vpm por cada tramo; la velocidad de operación se controló a un desplazamiento de 4km/h y a su máxima amplitud de vibración del equipo y a 6 pasadas por cada tramo.

En el caso del apisonador se compacto 4 puntos de áreas de 1 m<sup>2</sup>, el apisonador se opera a 4 diferentes tasas de impacto de 640 gpm, 653

gpm, 666 gpm. 680 gpm en las respectivas áreas determinadas, así mismo, se controló el tiempo de compactación de 15 min. por cada área y a una vibración de salto de 80 mm según sus especificaciones técnicas del equipo; con los controles mencionados se ha determinado la energía de compactación para el alcance de objetivo.

- **Etapa 4.- Ensayos de campo.**

Ejecutados los trabajos de relleno y compactación se desarrolló las pruebas respectivas para determinar el grado de compactación, las mismas que sirvieron para culminar con los trabajos, para lo cual se realizó 08 pruebas para la determinación de densidad de campo por el método de cono de arena (NTP 339.143)

- **Etapa 5.- Trabajo de gabinete y conclusiones.**

Luego de desarrollar los trabajos y realizados los ensayos se procedió a efectuar el procesamiento de información en gabinete, Donde se hicieron los cálculos y procedimientos de procesamiento de información para verificar la hipótesis planteada.

## **3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **3.2.1 POBLACIÓN**

Según Arias Fidas G. (2012) define población como “un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio”

El estudio se realizó en la conformación de base de pavimentos rígidos que se ejecuta en el Barrio los Álamos “Mejoramiento del servicio de transitabilidad vial interurbana de la av. 18 de noviembre, los Álamos, 15 de octubre, Chalcobamba, Sulforobamba, Juan Pablo ii, santa rosa de Lima, San Martin de Porres, José María Arguedas, Inca Cconcorina de la ciudad de Challhuahuacho-provincia de Cotabambas – departamento de Apurímac”

- **Información general.**



### 3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

#### 3.3.1 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

- **Observación Directa**

Consiste en un proceso dirigido a percibir determinadas teorías e hipótesis, aplicando métodos, técnicas e instrumentos pertinentes y precisos con la finalidad de recabar información empírica del fenómeno en estudio (ORTIZ, 2003).

En este estudio se aplicó la técnica de la observación directa, ya que se elabora datos en condiciones relativamente controlados y manipulación de las variables e indicadores.

#### 3.3.2 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Según HERNÁNDEZ et al. (2018) “existen múltiples instrumentos para identificar y clasificar toda clase de variables y en ciertos casos puedes utilizar varias técnicas para la recolección de los datos”.

se utiliza como instrumentos de recolección de datos como:

- Fichas de trabajo/ observación.
- Formatos de control.
- Cronómetro para el control de tiempo, velocidad de compactación.
- Ensayo de proctor modificado a diferentes energías para determinar la humedad óptima y densidad seca máxima
- Cono de arena para determinar la Densidades de campo.

**TABLA 15.** Ficha de toma de datos de densidad de campo in-situ.

FICHA DE TOMA DE DATOS DE DENSIDAD DE CAMPO INSITU						
TESIS: ANALISIS DE ENERGÍA DE COMPACTACIÓN EN CONFORMACIÓN DE BASES PARA PAVIMENTO RÍGIDO URBANO EN EL DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, APURÍMAC						
					FECHA:	
DENSIDAD N°						
PROGRESIVA						
NIVEL ( BASE, SUB BASE, SUB RAZANTE)						
PESO FRASCO + CONO + ARENA						
PESO DEL SUELO EXTRAIDO						
PESO RESIDUEAL + FRASCO + ARENA						
PESO DE GRAVA RET. TAMIZ 3/4"						
% HUMEDAD SPEEDY						
ANOTACIONES / OBSERVACIONES						

Fuente: Elaboración propia.

**TABLA 16.** Ficha de toma de datos y control de compactación con rodillo vibratorio.

**FICHA DE TOMA DE DATOS Y CONTROL DE COMPACTACION**

TESIS: ANALISIS DE ENERGÍA DE COMPACTACIÓN EN CONFORMACIÓN DE BASES PARA PAVIMENTO RÍGIDO URBANO EN EL DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, APURÍMAC

FECHA:

EQUIPO PESADO EMPLEADO PARA COMPACTAR					
DENOMINACION DE AREA A COMPACTAR					
PROGRESIVA					
AREA COMPACTADA					
VELOCIDAD DE OPERACIÓN DE LA MAQUINA					
NÚMERO DE PASADAS					
FRECUENCIA DE VIBRACION (Vpm)					
AMPLITUD DE VIBRACIÓN (mm)					
PESO DEL EQUIPO (Kg)					
ESPESOR DE COMPACTACIÓN (cm)					
TIEMPO DE COMPACTACIÓN (hh:mm:ss)					
ANOTACIONES / OBSERVACIONES					

fuente: Elaboración propia.

**TABLA 17.** Ficha de toma de datos y control de compactación con apisonador manual

**FICHA DE TOMA DE DATOS Y CONTROL DE COMPACTACION**

TESIS: ANALISIS DE ENERGÍA DE COMPACTACIÓN EN CONFORMACIÓN DE BASES PARA PAVIMENTO RÍGIDO URBANO EN EL DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, APURÍMAC

FECHA:

EQUIPO LIVIANO EMPLEADO PARA COMPACTAR					
DENOMINACION DE AREA A COMPACTAR					
PROGRESIVA					
AREA COMPACTADA					
VELOCIDAD DE OPERACIÓN DE LA MAQUINA					
NÚMERO DE PASADAS					
TASA DE IMPACTO (Gpm)					
VIBRACION DE SALTO (mm)					
PESO DEL EQUIPO (Kg)					
ESPESOR DE COMPACTACIÓN (cm)					
TIEMPO DE COMPACTACIÓN (hh:mm:ss)					
ANOTACIONES / OBSERVACIONES					

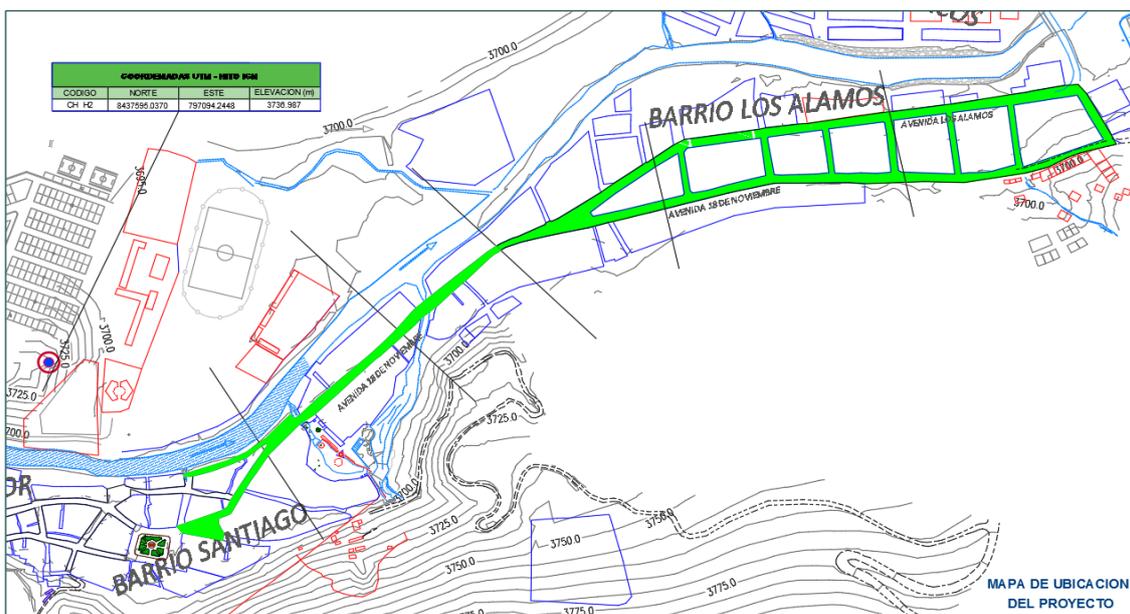
fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO ELEGIDO PARA EL ESTUDIO.

#### 4.1.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El lugar a donde se realizó los ensayos de compactación de suelos a nivel de conformación de bases, está ubicado en la Región de Apurímac, Provincia de Cotabambas, Distrito de Challhuahuacho, Localidad de Challhuahuacho.



**FIGURA 19.** Plano de ubicación del proyecto de pavimentación.

Fuente: Expediente técnico. Mejoramiento del servicio de transitabilidad en el barrio los álamos Distrito de Challhuahuacho

#### 4.1.2 ACCESO AL ÁREA DE ESTUDIO

Se encuentra en el mismo centro poblado de Challhuahuacho, comprendida entre la Plaza de Armas y el puente los Álamos.

La accesibilidad a la zona del proyecto es como se muestra en el siguiente cuadro:

**TABLA 18.** Tiempo de transporte al distrito de Abancay-Challhuahuacho.

RUTA	TIPO DE CARRETERA	TIPO DE TRANSPORTE	TIEMPO	DISTANCIA
ABANCAY - HALLHUAHUACHO	PAVIMENTADO	CAMIONETA	6.00 horas	185
<b>TOTAL ABANCAY – CHALLHUAHUACHO</b>				<b>185.00 Km</b>

Fuente Elaboración propia

**TABLA 19.** Tiempo de transporte al distrito de Cusco-Challhuahuacho.

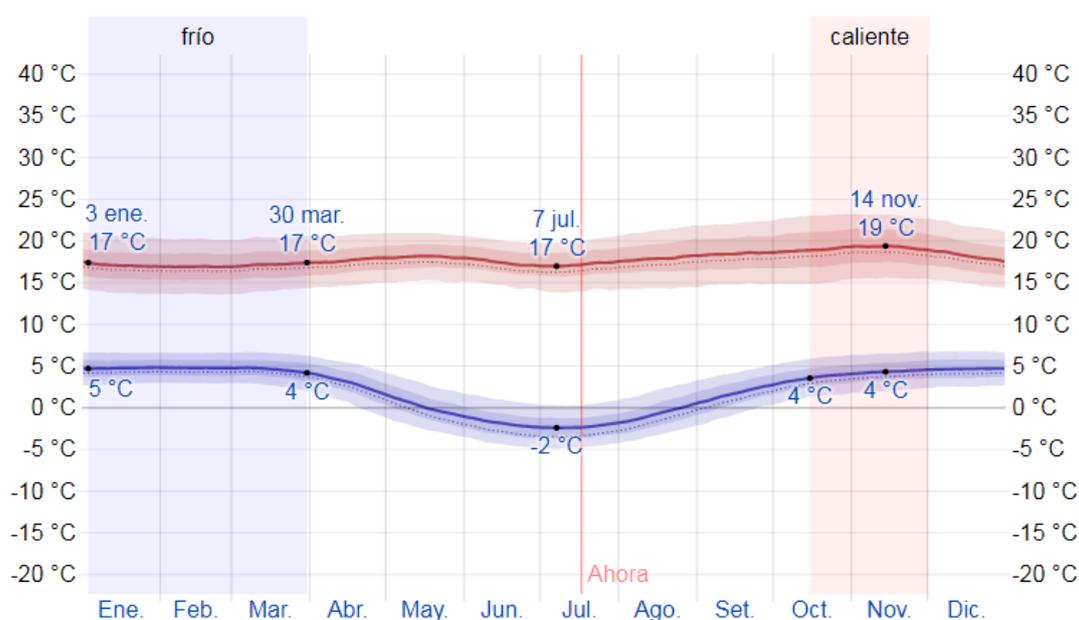
RUTA	TIPO DE CARRETERA		TIEMPO	DISTANCIA
CUSCO - CHALLHUAHUACHO	PAVIMENTADO - AFIRMADO	CAMIONETA	5.00 horas	210
TOTAL CUSCO – CHALLHUAHUACHO				210.00 Km

Fuente Elaboración propia

### 4.1.3 CLIMA

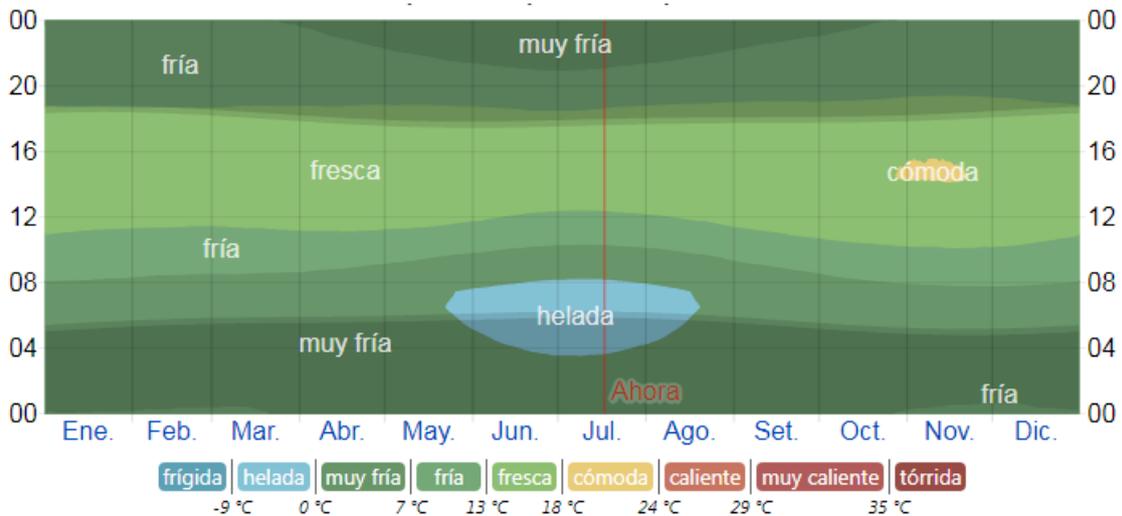
En el área de estudio de proyecto (Centro Poblado de Challhuahuacho - barrio los Álamos) el clima es lluvioso en otoño y en invierno seco con humedad atmosférica, cuyo clima es frígido por el nivel de altura que se ubica el centro poblado.

A continuación, presentamos la distribución de climas del distrito de Challhuahuacho, en las siguientes imágenes.



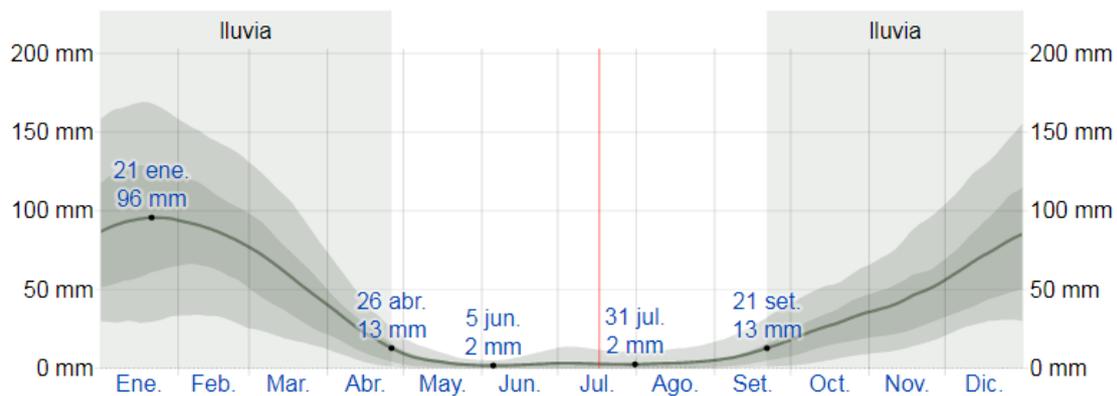
**FIGURA 20.** Temperaturas Máximas y Mínima Promedio en challhuahuacho

*Nota.* El gráfico representa la temperatura máxima descrita por la línea roja y la temperatura mínima (línea azul) promedio diario con las bandas de los percentiles 25° a 75°, y 10° a 90°. Las líneas delgadas punteadas señalan las temperaturas promedio percibidas. Tomado de: <https://es.weatherspark.com/y/25185/Clima-promedio-en-Challhuahuacho-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-Clouds>.



**FIGURA 21.** Temperaturas Promedio por Hora

*Nota.* El gráfico representa la temperatura máxima promedio por hora, señalada por colores en bandas. Las áreas sombreadas superpuestas señalan la noche y el crepúsculo civil.



**FIGURA 22.** Precipitación de Lluvia Mensual Promedio

*Nota.* El gráfico representa (La temperatura máxima acumulada en un periodo de 31 días centrado en el día en cuestión, con las bandas de percentiles del 25º al 75º y del 10º al 90º. La línea delgada equivale a la nieve en líquido promedio correspondiente.

## 4.2 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS.

### 4.2.1 ENSAYOS DE LABORATORIO.

**TABLA 20.** Resumen de las características físico-mecánicas obtenidas en laboratorio

Muestra	LL	IP	AASHTO	SUCS	Dmax (Tn/m3)	COA (%)	CBR 95	CBR 100	Desgaste (%)
M-1	24%	6%	A-1-a (0)	GP GC	2.15	7.30	40.20 %		34.31

*Nota.* Los parámetros obtenidos cumplen con la normativa, COA= contenido óptimo de agua, Elaboración propia.

De acuerdo al cuadro resumen, el límite líquido al tener porcentaje de 24% son suelos adecuado según norma ASTM D 4318, Según exigencia de normativa

peruana el IP debe ser menor a 10%, por lo tanto, cumple con el requisito. El AASHTO A—1-a (0) significa un suelo C ya que pasa menos de 35 el tamiz N°200, el grupo de suelo más probable es GP (grava mal graduada) y GC (grava arcillosa) con diámetro máximo Dmax 2.17, la resistencia de abrasión o también llamado desgaste según ASTM D4791 es la que determina la resistencia de trituración por lo que resulta un 34.31%. [Guía para el muestreo de suelos]  
Fuente: Jorge Alva Hurtado

**TABLA 21.** Resumen parámetros granulométricos de la muestra

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso	Resultado	Aceptación
	Gradación A		
50 mm (2")	100	100.00	CUMPLE
25 mm (1")	...	100.00	CUMPLE
9.50 mm (3/8")	30-65	71.58	CUMPLE
4.75 mm (N° 4)	25-55	53.01	CUMPLE
2.00 mm (N° 10)	15-40	38.63	CUMPLE
425 µm (N° 40)	8-20	21.69	NO CUMPLE
75 µm (N° 200)	2-8	11.45	NO CUMPLE

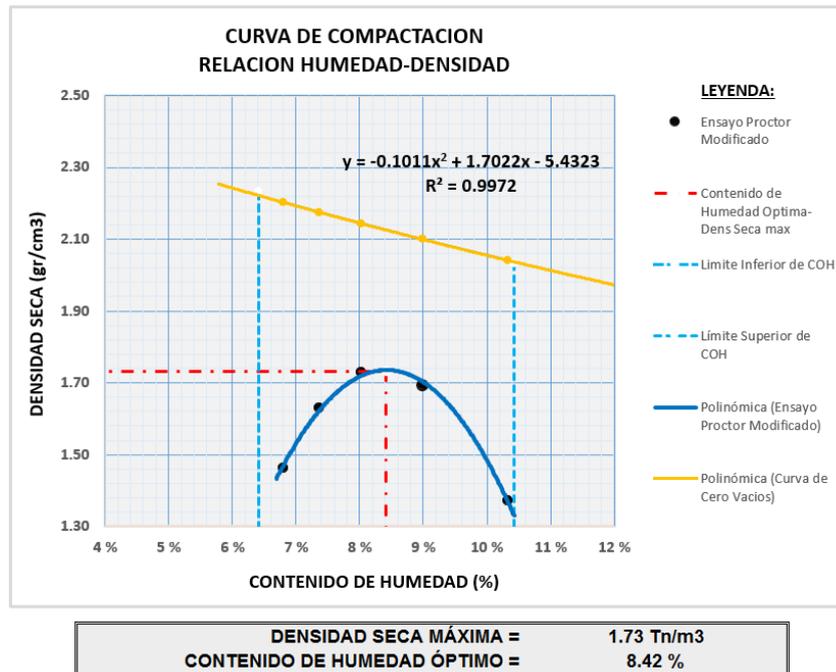
Fuente: Elaboración Propia.

**TABLA 22.** Especificaciones que debe cumplir el material granular.

Ensayos	Material Granular		
	Especificaciones	Resultado Promedio	Aceptación
Abrasión los Ángeles	50%Max	34.31%	CUMPLE
CBR (1" al 100%)- Laboratorio	40%Max	-	CUMPLE
Índice de Plasticidad	6%Max	6.00%	CUMPLE
Límite Líquido	25%Max	24.00%	CUMPLE

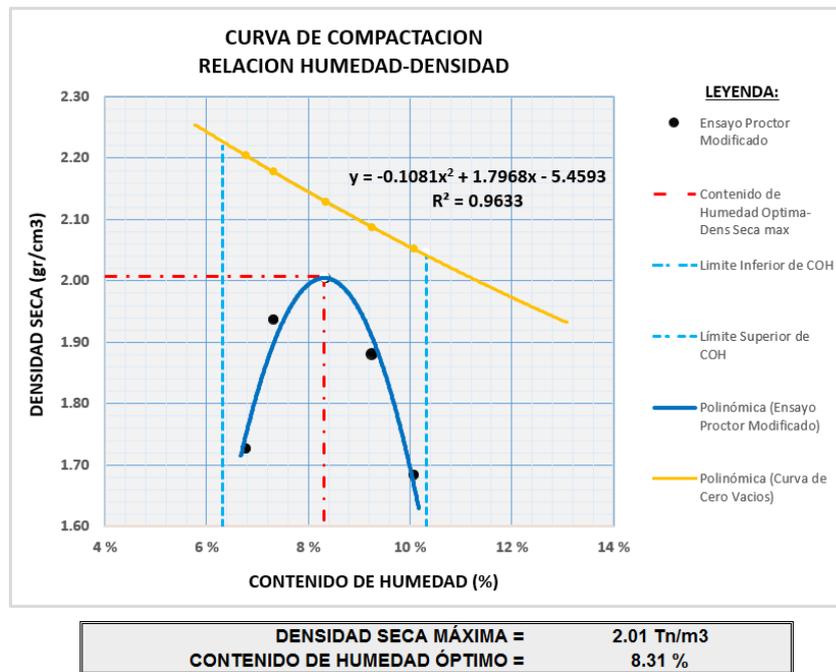
Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.2.1.1 Curvas de Compactación en Relación Humedad-Densidad.



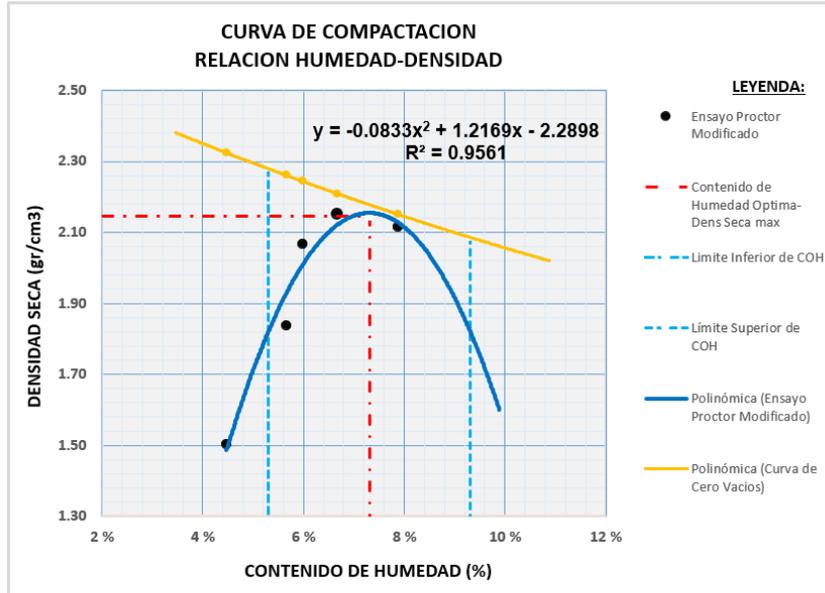
**FIGURA 23.** Curva de Compactación Densidad - Humedad.

*Nota.* La figura representa al ensayo realizado de proctor modificado a 56 golpes x 5  
Fuente: capas. Elaboración propia.



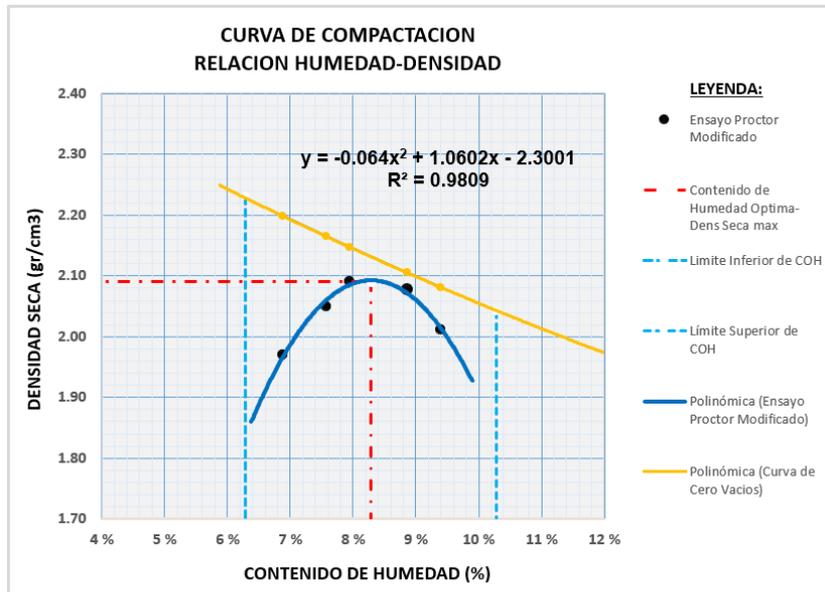
**FIGURA 24.** Curva de Compactación Densidad - Humedad.

*Nota.* La figura representa al ensayo realizado de proctor modificado a 57 golpes x 5  
Fuente: capas. Elaboración propia.



**FIGURA 25.** Curva de Compactación Densidad - Humedad.

*Nota.* La figura representa al ensayo realizado de proctor modificado a 58 golpes x 5 capas.  
Fuente: Elaboración propia.



**FIGURA 26.** Curva de Compactación Densidad - Humedad.

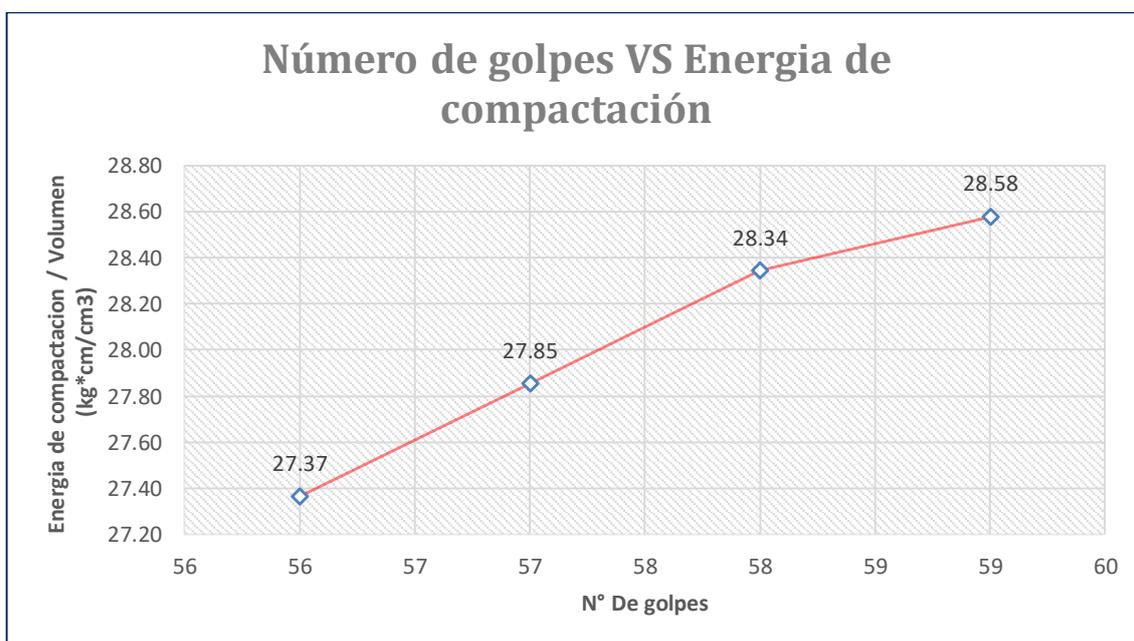
*Nota.* La figura representa al ensayo realizado de proctor modificado a 59 golpes x 5 capas.  
Fuente: Elaboración propia.

**TABLA 23.** Relación de la energía de compactación con la máxima densidad seca y contenido óptimo de humedad.

Muestra de Suelo	N° De golpes	Energía de compactación / Volumen (kg*cm/cm3)	Contenido de Humedad óptima (%)	Densidad Seca Máxima (tn/m3)
Cantera Carmen Alto	56	27.37	8.42	1.73
Cantera Carmen Alto	57	27.85	8.31	2.01
Cantera Carmen Alto	58	28.34	7.30	2.15
Cantera Carmen Alto	59	28.58	8.28	2.09

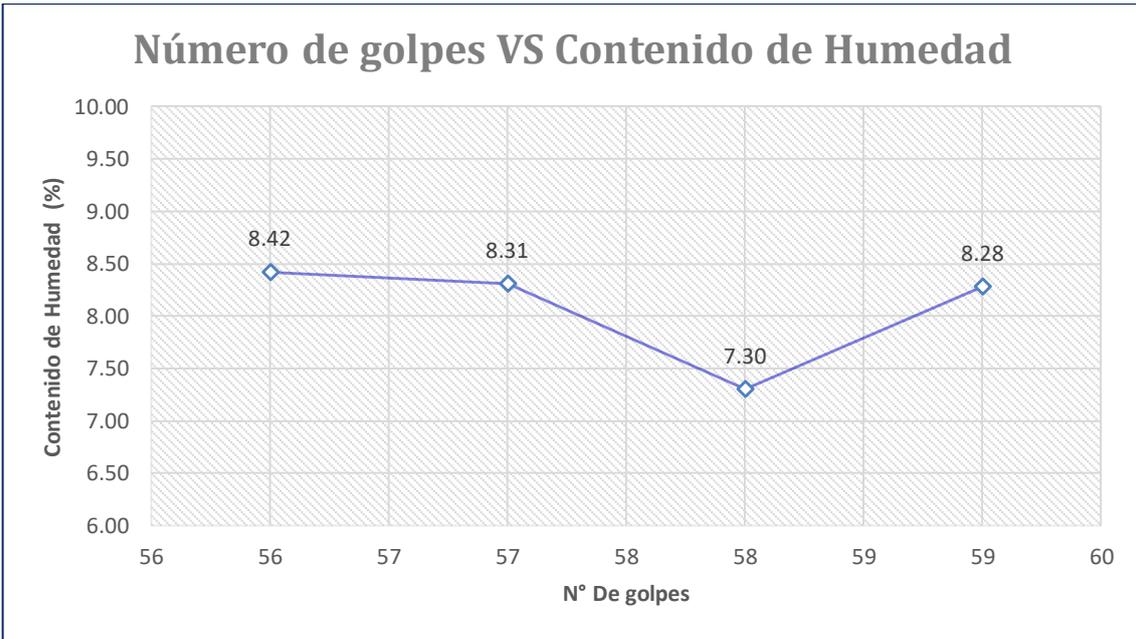
Fuente: Elaboración propia.

De las 04 muestras de suelos, al realizar los ensayos proctor modificado variando el número de golpes, se puede interpretar que cuanto mayor es el número de golpes la energía de compactación utilizada asciende como se puede notar en la figura Nro. 27. La densidad seca de la muestra de suelo desciende a partir de los 59 golpes, la humedad óptima y densidad máxima se obtiene a los 58 golpes como se aprecia en la figura Nro. 29.



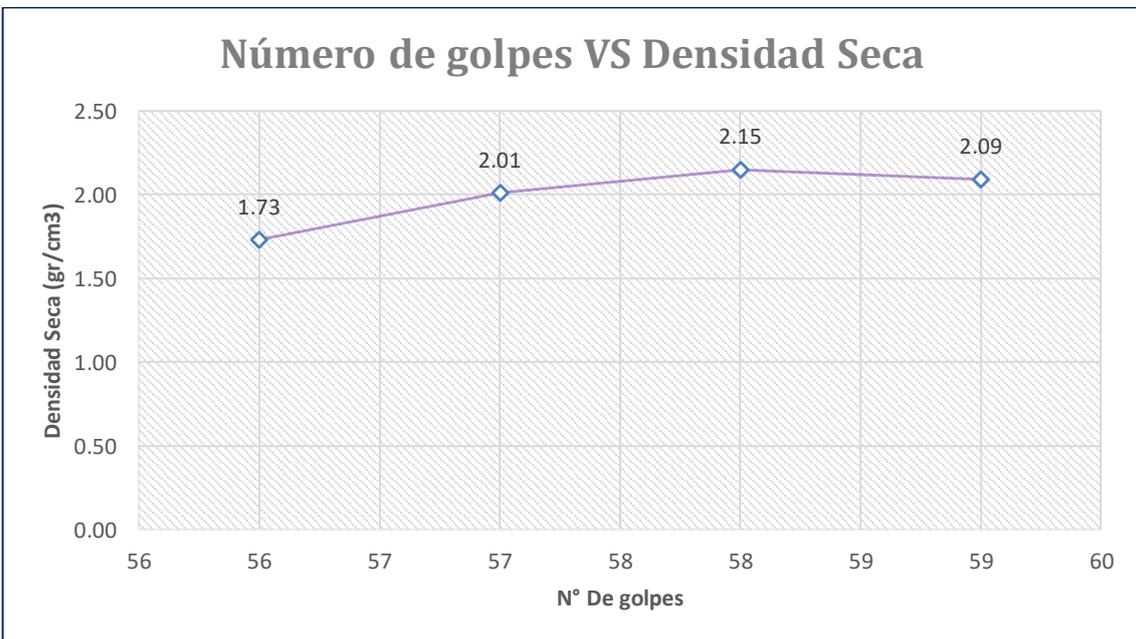
**FIGURA 27.** Número de golpes VS Energía de compactación.

Fuente: Elaboración propia.



**FIGURA 28.** Número de golpes VS Contenido de Humedad.

Fuente: Elaboración propia.



**FIGURA 29.** Número de golpes VS Densidad Seca.

Fuente: Elaboración propia.

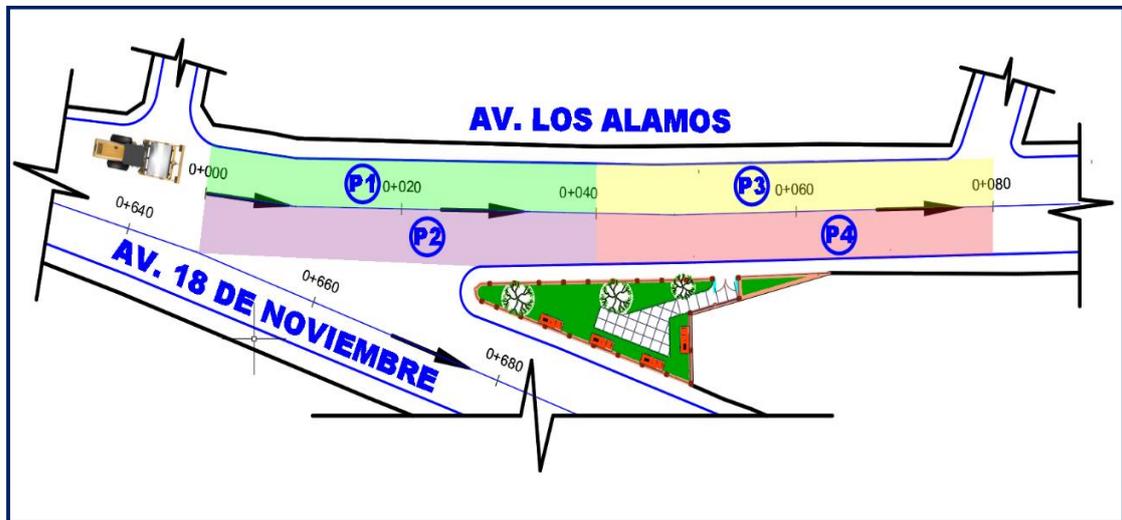
## 4.2.2 ENSAYOS EN CAMPO CON CONO DE ARENA.

**TABLA 24.** Prueba de Densidad in situ (Método con Arena Calibrada) Tramo Compactado con Rodillo Vibratorio.

<b>NIVEL</b>	<b>BASE</b>	<b>BASE</b>	<b>BASE</b>	<b>BASE</b>
<b>DATOS DEL ENSAYO EN CAMPO</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>
	<b>LADO IZQUIERDO</b>	<b>LADO DERECHO</b>	<b>LADO IZQUIERDO</b>	<b>LADO DERECHO</b>
Ubicación				
Peso Inicial del Frasco + Cono (gr)	6595.00	6486.00	6352.00	6209.00
Peso Residual del Frasco + Cono (gr)	2360.00	2239.00	2100.00	1983.00
Peso del Suelo Extraído (gr)	3323.00	3408.00	3665.00	3809.00
Peso de la Grava, retenido en tamiz 3/4" (gr)	501.00	495.00	510.00	485.00
Peso de la Arena Utilizada, hueco + cono (gr)	4235.00	4247.00	4252.00	4226.00
Peso de la Arena en el Cono (gr)	1804.00	1804.00	1804.00	1804.00
Peso de la Arena en el Hueco (gr)	2431.00	2443.00	2448.00	2422.00
Volumen del Hueco (cm <sup>3</sup> )	1620.67	1628.67	1632.00	1614.67
Peso Específico de la Grava (gr/cm <sup>3</sup> )	2.52	2.52	2.52	2.52
Volumen de la Grava (cm <sup>3</sup> )	198.81	196.43	202.38	192.46
Peso del Suelo (gr)	2822.00	2913.00	3155.00	3324.00
Volumen del Suelo (cm <sup>3</sup> )	1421.86	1432.24	1429.62	1422.21
<b>Densidad Húmeda del Suelo (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.98</b>	<b>2.03</b>	<b>2.21</b>	<b>2.34</b>
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>				
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	620.00	631.00	625.00	610.00
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	570.00	583.00	574.00	565.00
Peso del Agua (gr)	50.00	48.00	51.00	45.00
Peso de la Muestra Seca (gr)	570.00	583.00	574.00	565.00
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>8.77%</b>	<b>8.23%</b>	<b>8.89%</b>	<b>7.96%</b>
<b>COMPACTACIÓN</b>				
<b>Densidad Seca del Terreno (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.82</b>	<b>1.88</b>	<b>2.03</b>	<b>2.16</b>
Densidad Seca Máxima de Proctor (gr/cm <sup>3</sup> )	2.15	2.15	2.15	2.15
PROGRESIVA	0+020	0+020	0+60	0+60
<b>% DE COMPACTACION</b>	<b>84.87%</b>	<b>87.40%</b>	<b>94.27%</b>	<b>100.69%</b>
Frecuencia de vibración (vpm)	<b>1400.00</b>	<b>1543.00</b>	<b>1686.00</b>	<b>1830.00</b>
Amplitud de vibración (mm)	2.10	2.10	2.10	2.10
Peso del tambor del equipo (kg)	6350	6350	6350	6350
Espesor de compactación (cm)	20.00	20.00	20.00	20.00
Velocidad de operación (km/h)	4.00	4.00	4.00	4.00
Numero de pasadas	6.00	6.00	6.00	6.00

Fuente: Elaboración propia.

Se realizaron ensayos de densidad in situ por medio del rodillo vibratorio a una profundidad de 13 cm y con peso unitario de la arena de 1.50 gr/cm<sup>3</sup>, se efectuaron ensayos para 4 bases. Se realizaron 2 en cada lado (lado izquierdo y derecho). La mayor densidad se obtuvo en la Base P4 con 2.34 gr/cm<sup>3</sup>, siendo el lado derecho con mayor densidad de suelo. Respecto al contenido de humedad, el mayor porcentaje de contenido pertenece a la Base P3, mientras que en la compactación la densidad seca del terreno de la Base P2 es mayor con 1.88 gr/cm<sup>3</sup>, en cambio la densidad seca máxima de proctor es similar en todas las bases. El porcentaje de compactación experimentado en cada progresiva nos arrojó que en la Base P4 llegó al 100.69% con una cantidad de frecuencia de vibración de 1830 VPM.



**FIGURA 30.** Plano en planta donde se realizó los ensayos con Rodillo Vibratorio.

Fuente: Elaboración propia.

**TABLA 25.** Resumen de resultado a Distintas Frecuencias de Vibración con Rodillo Vibratorio

Base P1		Base P2		Base P3		Base P4	
frecuencia de vibración (vpm)	densidad húmeda del suelo (gr/cm <sup>3</sup> )	frecuencia de vibración (vpm)	contenido de humedad (%)	frecuencia de vibración (vpm)	densidad seca del terreno (gr/cm <sup>3</sup> )	frecuencia de vibración (vpm)	% de compactación
1400	1.98	1400	8.77%	1400	1.82	1400	84.87%
1543	2.03	1543	8.23%	1543	1.88	1543	87.40%
1686	2.21	1686	8.89%	1686	2.03	1686	94.27%
1830	2.34	1830	7.96%	1830	2.16	1830	100.69%

Fuente: Elaboración propia.

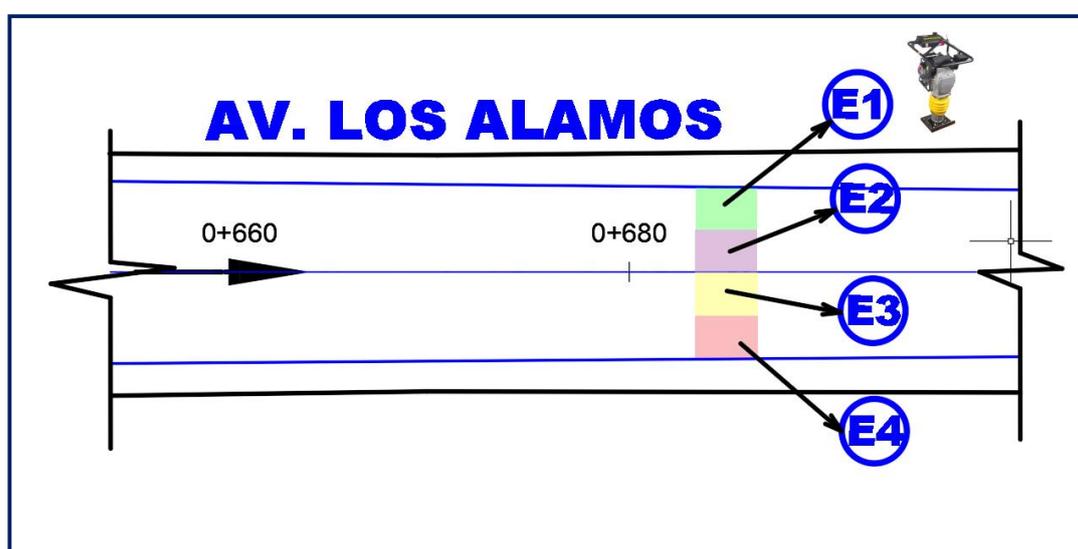
**TABLA 26.** Prueba de Densidad in situ (Método con Arena Calibrada) Tramo Compactado con Apisonador Manual.

NIVEL	BASE	BASE	BASE	BASE
DATOS DEL ENSAYO EN CAMPO	E1	E2	E3	E4
Ubicación	LADO IZQUIERDO	LADO IZQUIERDO	LADO DERECHO	LADO DERECHO
Peso Inicial del Frasco + Cono (gr)	6705.00	6576.00	6431.00	6314.00
Peso Residual del Frasco + Cono (gr)	2470.00	2329.00	2182.00	2088.00
Peso del Suelo Extraído (gr)	2998.00	3120.00	3321.00	3585.00
Peso de la Grava, retenido en tamiz 3/4" (gr)	410.00	401.00	415.00	385.00
Peso de la Arena Utilizada, hueco + cono (gr)	4235.00	4247.00	4249.00	4226.00
Peso de la Arena en el Cono (gr)	1804.00	1804.00	1804.00	1804.00
Peso de la Arena en el Hueco (gr)	2431.00	2443.00	2445.00	2422.00
Volumen del Hueco (cm <sup>3</sup> )	1620.67	1628.67	1630.00	1614.67
Peso Específico de la Grava (gr/cm <sup>3</sup> )	2.52	2.52	2.52	2.52
Volumen de la Grava (cm <sup>3</sup> )	162.70	159.13	164.68	152.78
Peso del Suelo (gr)	2588.00	2719.00	2906.00	3200.00
Volumen del Suelo (cm <sup>3</sup> )	1457.97	1469.54	1465.32	1461.89
<b>Densidad Húmeda del Suelo (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.78</b>	<b>1.85</b>	<b>1.98</b>	<b>2.19</b>
CONTENIDO DE HUMEDAD				
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	545.00	475.00	479.00	469.00
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	504.00	440.00	444.00	436.00
Peso del Agua (gr)	41.00	35.00	35.00	33.00
Peso de la Muestra Seca (gr)	504.00	440.00	444.00	436.00
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>8.13%</b>	<b>7.95%</b>	<b>7.88%</b>	<b>7.57%</b>
COMPACTACIÓN				
<b>Densidad Seca del Terreno (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.64</b>	<b>1.71</b>	<b>1.84</b>	<b>2.03</b>
Densidad Seca Máxima de Proctor (gr/cm <sup>3</sup> )	2.15	2.15	2.15	2.15
PROGRESIVA	0+700	0+700	0+700	0+700
<b>% DE COMPACTACION</b>	<b>76.35%</b>	<b>79.72%</b>	<b>85.50%</b>	<b>94.65%</b>
Tasa de impacto (gpm)	640.00	653.00	666.00	680.00
Vibración de salto (mm)	8.00	8.00	8.00	8.00
Peso del apisonador (kg)	70.00	70.00	70.00	70.00
Espesor de compactación (cm)	20.00	20.00	20.00	20.00
Velocidad de operación (km/h)	0.40	0.40	0.40	0.40
Tiempo de compactación (min)	15	15	15	15

Fuente: Elaboración propia.

Se realizaron ensayos de densidad in situ por medio del apisonador manual a una profundidad de 13 cm y con peso unitario de la arena de 1.50 gr/cm<sup>3</sup>, se

llevaron a cabo ensayos para 4 puntos, dos en cada lado (izquierdo y derecho). La mayor densidad se obtuvo en la Base P4 con 2.19 gr/cm<sup>3</sup> siendo el lado derecho con mayor densidad de suelo. Respecto al contenido de humedad el mayor porcentaje de contenido pertenece a la Base P1 con valor de 8.13%, mientras que en la compactación la densidad seca del terreno de la Base P4 es mayor con 2.03 gr/cm<sup>3</sup>, en cambio la densidad seca máxima de proctor es 2.15 gr/cm<sup>3</sup> similar en todas las bases. El porcentaje de compactación experimentado en cada progresiva nos arrojó que en la Base P4 llegó al 94.65% con una tasa de impacto de 680 GPM.



**FIGURA 31.** Plano en planta donde se realizó los ensayos con Apisonador Manual.

Fuente: Elaboración propia

**TABLA 27.** Resumen de resultado a Distintas Tasas de Impacto con Apisonador manual

Base P1		Base P2		Base P3		Base P4	
Tasa de Impacto (gpm)	densidad húmeda del suelo (gr/cm <sup>3</sup> )	Tasa de Impacto (gpm)	contenido de humedad (%)	Tasa de Impacto (gpm)	densidad seca del terreno (gr/cm <sup>3</sup> )	Tasa de Impacto (gpm)	% de compactación
640	1.78	640	8.13%	640	1.64	640	76.35%
653	1.85	653	7.95%	653	1.71	653	79.72%
666	1.98	666	7.88%	666	1.84	666	85.50%
680	2.19	680	7.57%	680	2.03	680	94.65%

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.3 EFECTO DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN.

**TABLA 28.** Energía de compactación en Laboratorio (Proctor)

Nro.	Método de proctor	Tamaño del molde (cm)	Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	Peso del pisón (kg)	n° de capas	Altura de caída (cm)	n° de golpes	Energía de compactación / volumen (kg*cm/cm <sup>3</sup> )
1	Modificado	15.72*11.82	2123.85	4.54	5.00	45.72	56	<b>27.37</b>
2	Modificado	15.72*11.82	2123.85	4.54	5.00	45.72	57	<b>27.85</b>
3	Modificado	15.72*11.82	2123.85	4.54	5.00	45.72	58	<b>28.34</b>
4	Modificado	15.72*11.82	2123.85	4.50	5.00	45.72	59	<b>28.56</b>

Fuente: Elaboración propia.

Se ejecutó 04 ensayos de compactación por el método proctor modificado basado en la norma ASTM-1557 y según sus especificaciones existen 03 métodos donde se aprecia que la altura de caída no varía al igual que el peso y número de capas, y sí varía el número de golpes según el suelo a utilizar, en la tabla nro. 28 para la experimentación realizada se varió el número de golpes desde los 56 golpes hasta los 59 golpes, donde se aprecia los resultados de energía de compactación utilizada asciende cuanto mayor es el número de golpes.

**TABLA 29.** Energía de compactación en Campo (Rodillos Vibratorio)

Frecuencia (vpm)	Amplitud (mm)	Peso(Kg)	Espesor de Compactación (cm)	Velocidad (Km/h)	Energía (Jules/m <sup>3</sup> )
1400.00	2.10	6350.00	20.00	4.00	<b>1400.18</b>
1543.00	2.10	6350.00	20.00	4.00	<b>1543.19</b>
1686.00	2.10	6350.00	20.00	4.00	<b>1686.21</b>
1830.00	2.10	6350.00	20.00	4.00	<b>1830.23</b>

Fuente: Elaboración propia.

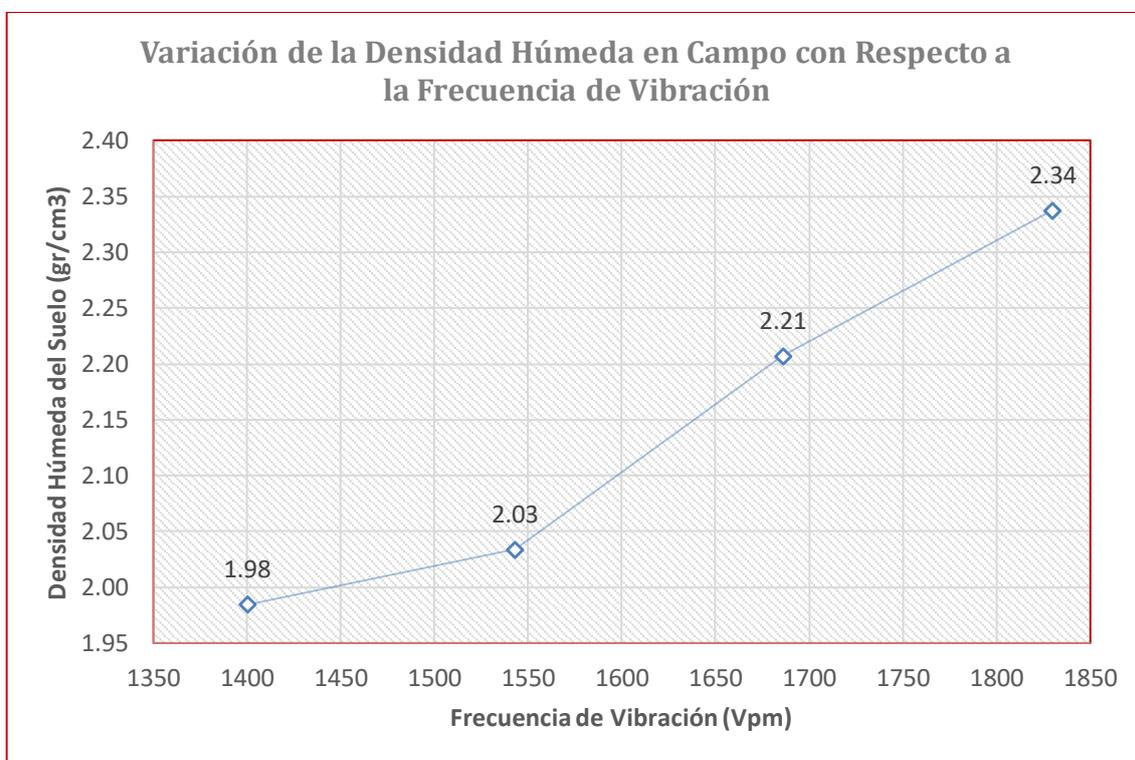
**TABLA 30.** Energía de compactación en Campo (Aplisonador Manual)

Tasa de Impacto (gpm)	Vibración de Salto (mm)	Peso(Kg)	Espesor de Compactación (cm)	Velocidad (Km/h)	Energía (Jules/m <sup>3</sup> )
640.00	8.00	70.00	20.00	0.40	<b>268.80</b>
653.00	8.00	70.00	20.00	0.40	<b>274.26</b>
666.00	8.00	70.00	20.00	0.40	<b>279.72</b>
680.00	8.00	70.00	20.00	0.40	<b>285.60</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.4 EFECTO DE LA FRECUENCIA DE VIBRACIÓN CON RODILLO VIBRATORIO EN LA DENSIDAD HÚMEDA DE CAMPO.

Se ha determinado 4 tramos de compactación en campo, En dichos puntos se ha logrado calcular la Densidad Húmeda del suelo, Humedad, Densidad Seca en campo y el Grado de Compactación de la capa Base, Para los 4 tramos se ha compactado a una velocidad de operación de 4 km/h y 6 pasadas donde se ha variado la frecuencia de vibración de la maquinaria denominada técnicamente Compactador Vibratorio de Suelos de Tambor Liso Cat CS56B, tomando desde las 1400 vpm a 1830 vpm. Con los resultados de este control de campo y con la variación de la vibración se ha procedido a determinar los siguientes gráficos.



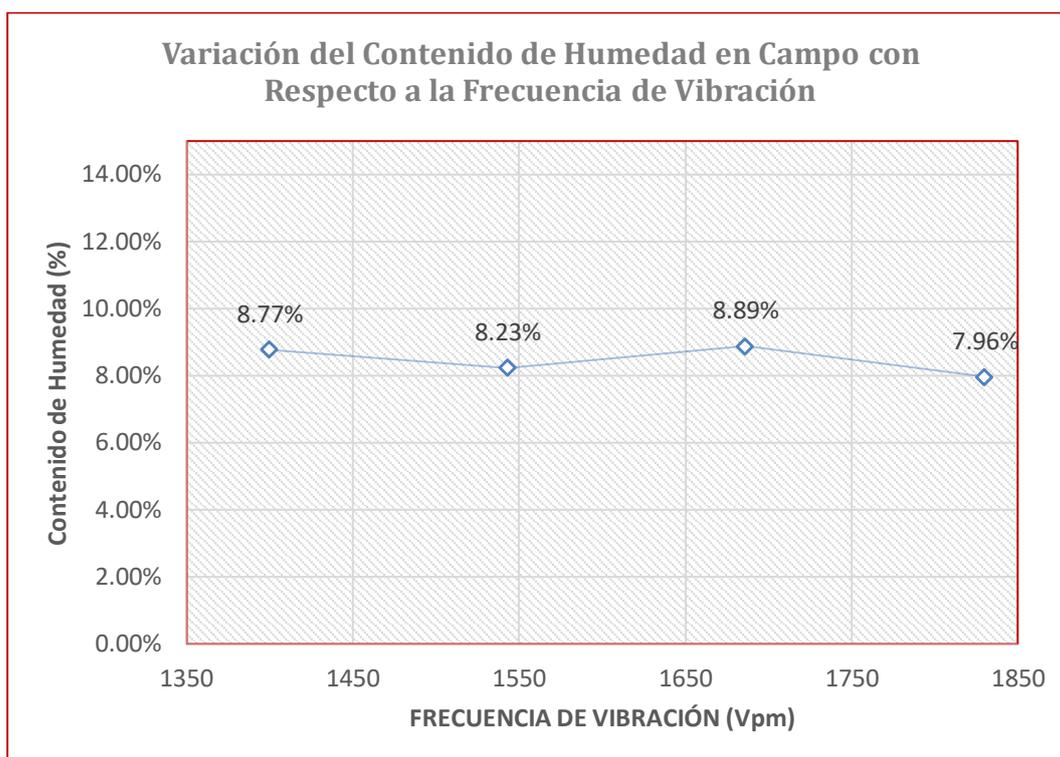
**FIGURA 32.** Variación de la densidad húmeda en campo con respecto a la frecuencia de vibración con rodillo vibratorio.

Fuente: Elaboración propia.

En esta grafica se puede apreciar que para las dos primeras modalidades de vibraciones bajas casi no hay un cambio en la densidad húmeda del suelo, sin embargo, para las vibraciones controladas a partir de las 1686 vpm. sí se puede apreciar una elevación considerable de la densidad húmeda en campo de 2.21 gr/cm<sup>3</sup>. hasta 2.34 gr/cm<sup>3</sup> para la máxima frecuencia de vibración.

#### 4.2.5 EFECTO DE LA FRECUENCIA DE VIBRACIÓN CON RODILLO VIBRATORIO EN LA HUMEDAD DE CAMPO.

Conforme se aprecia en la figura Nro. 33 el contenido de humedad es estable y no se aprecia mayores variaciones en cuanto la frecuencia de vibración sube, Esto se debe a que el contenido de humedad fue estrictamente controlado en campo y no hay una relación que pueda aumentar o disminuir dicho contenido de humedad, con respecto a la vibración son dos fenómenos que no están relacionados.



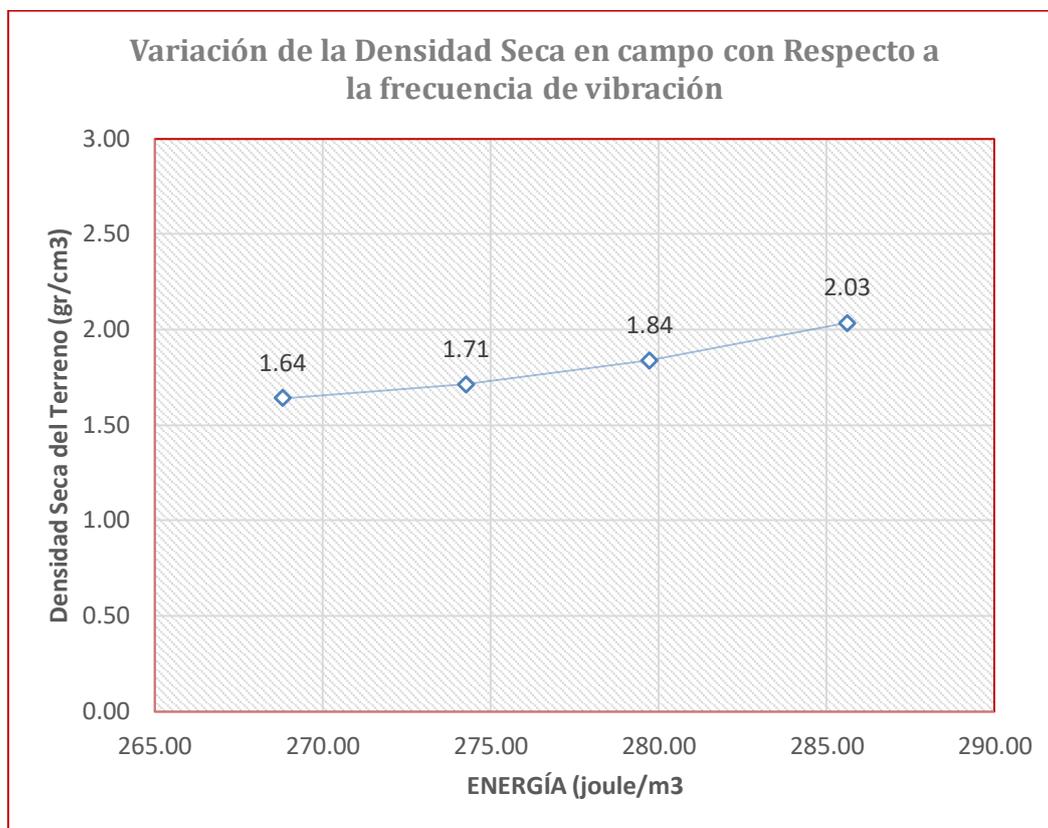
**FIGURA 33.** Variación del contenido de humedad en campo con respecto a la frecuencia de vibración con rodillo vibratorio.

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.6 EFECTO DE LA FRECUENCIA DE VIBRACIÓN CON RODILLO VIBRATORIO EN LA DENSIDAD SECA DE CAMPO.

Se puede visualizar en la figura Nro. 34 el resultado de la gráfica donde la densidad seca en campo para las 3 primeras frecuencias de vibración variadas es casi constante, mostrándose una ligera subida y para la última frecuencia de vibración en operación del equipo, se puede apreciar un resultado de la densidad seca en campo de 2.16 gr/cm<sup>3</sup>, es de observarse que a diferencia de la densidad

húmeda la densidad seca no se ve altamente impactada por la frecuencia de vibración.

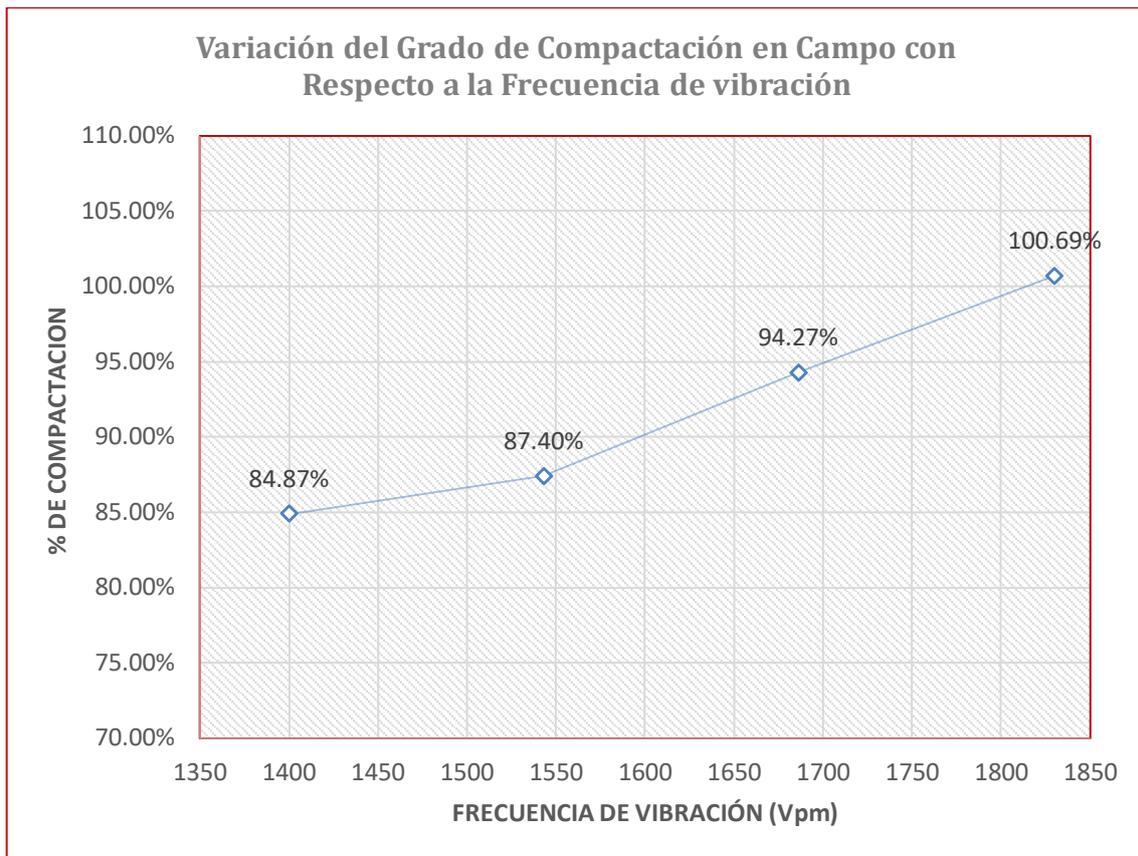


**FIGURA 34.** Variación de la densidad seca en campo con respecto a la frecuencia de vibración con rodillo vibratorio.

Fuente: Elaboración propia

#### **4.2.7 EFECTO DE LA FRECUENCIA DE VIBRACIÓN CON RODILLO VIBRATORIO EN EL GRADO DE COMPACTACIÓN.**

En la figura Nro.35 en el caso del grado de compactación se ha encontrado en campo grados desde 84.87 % hasta 100.69 %, es denotar que para una operación del rodillo vibratorio a modalidad de frecuencia baja de vibración no se alcanza el grado de compactación requerido en obra, y esto es válido para frecuencias de vibración hasta 1550 vpm. Sin embargo, se debe notar que durante la operación de modalidad a partir de las 1686 vpm. sí se logra alcanzar por lo menos un 95 % del grado de compactación y tal como es de esperar, con una alta vibración de 1830 vpm. recién podemos asegurar un 100% de grado de compactación



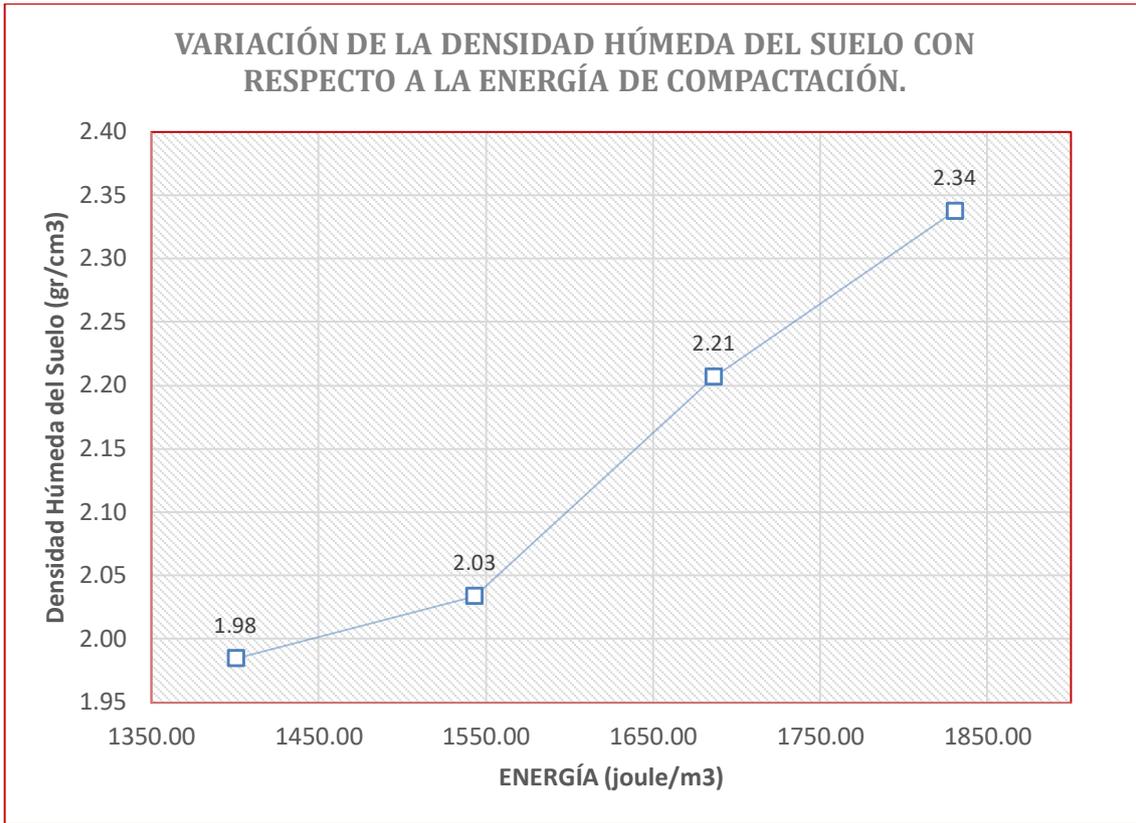
**FIGURA 35.** Variación del grado de compactación en campo con respecto a la frecuencia de vibración con rodillo vibratorio.

Fuente: Elaboración propia

En forma general podemos afirmar que, mientras el equipo de compactación vibratorio se emplea a una configuración en su frecuencia de vibración máxima 1830 vpm. se logrará un mayor grado de compactación como es de esperar.

#### **4.2.8 EFECTO DE LA DENSIDAD HÚMEDA EN CAMPO CON RESPECTO A LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN CON RODILLO VIBRATORIO.**

De acuerdo con la gráfica en la figura Nro. 36 se observa que la energía de compactación crece desde los 1600 joule/m<sup>3</sup> a 1850 joule/m<sup>3</sup> haciendo que la densidad húmeda se eleve desde 2.21 gr/cm<sup>3</sup> hasta 2.34 gr/cm<sup>3</sup>.

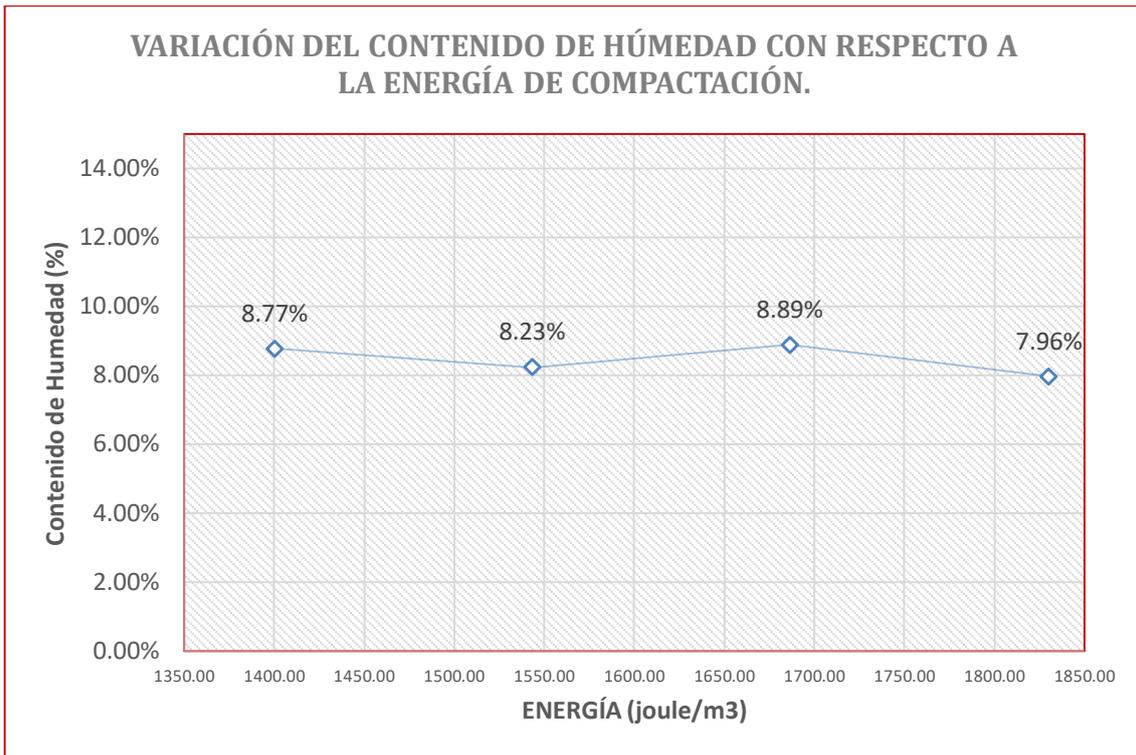


**FIGURA 36.** Variación de la densidad húmeda en campo con respecto a la energía de compactación con rodillo vibratorio.

Fuente: Elaboración propia

#### **4.2.9 EFECTO DE LA HUMEDAD EN CAMPO CON RESPECTO A LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN CON RODILLO VIBRATORIO.**

Conforme se aprecia en la figura Nro. 37, la energía de compactación no influye en el cambio del contenido de humedad ya que este permanece casi constante y esto es debido a que se controló estrictamente la humedad en el proceso de compactación.

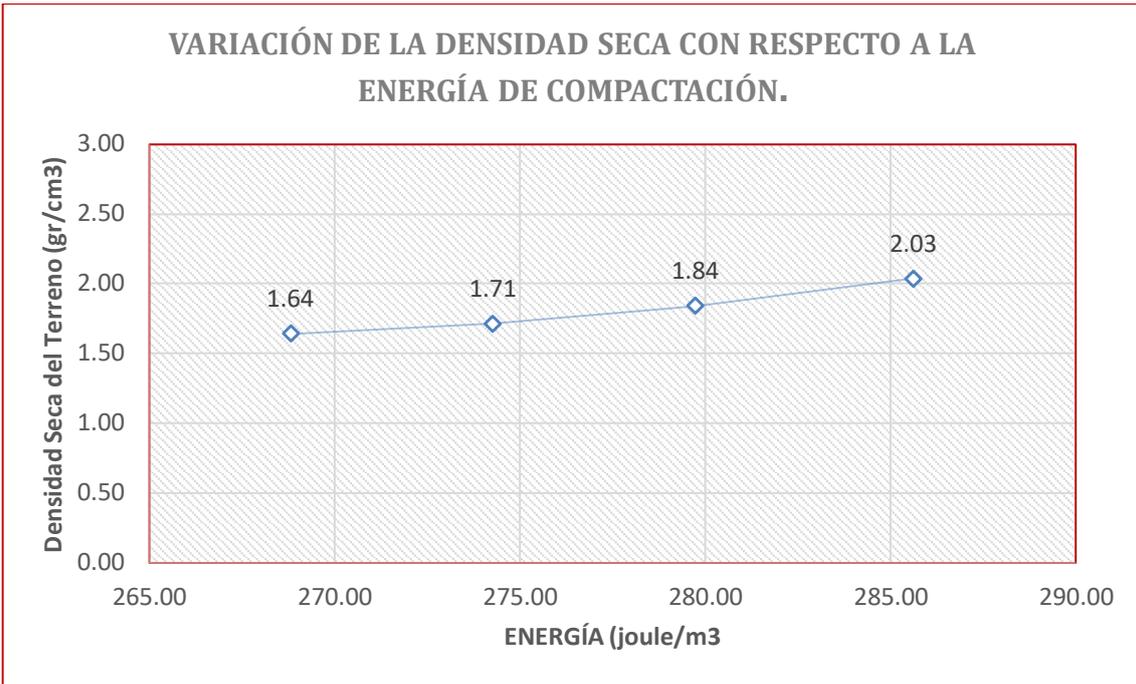


**FIGURA 37.** Variación del contenido de humedad en campo con respecto a la energía de compactación con rodillo vibratorio.

Fuente: Elaboración propia

#### **4.2.10 EFECTO DE LA DENSIDAD SECA EN CAMPO CON RESPECTO A LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN CON RODILLO VIBRATORIO.**

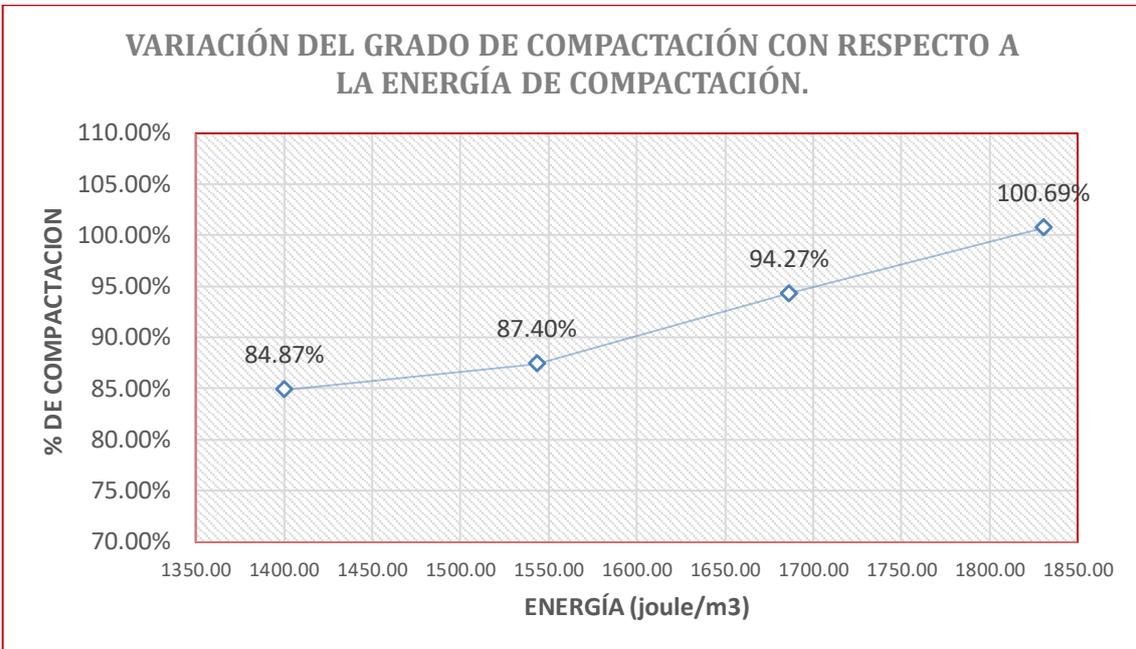
Interpretar la figura Nro. 38 se tiene que la energía de compactación hace que se incremente la densidad seca desde 1.82 gr/cm<sup>3</sup> cuando se utiliza 1400 joule/m<sup>3</sup> de energía y hasta 2.16 gr/cm<sup>3</sup> cuando se utiliza una anergia de 1840 joule/m<sup>3</sup>; en todo caso se aprecia una elevación de la densidad seca conforme se eleva la energía de compactación, lo cual va en línea con la teoría general de la compactación de suelos.



**FIGURA 38.** Variación de la densidad seca en campo con respecto a la energía de compactación con rodillo vibratorio.

Fuente: Elaboración propia

**4.2.11 EFECTO DEL GRADO DE COMPACTACIÓN CON RESPECTO A LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN CON RODILLO.**



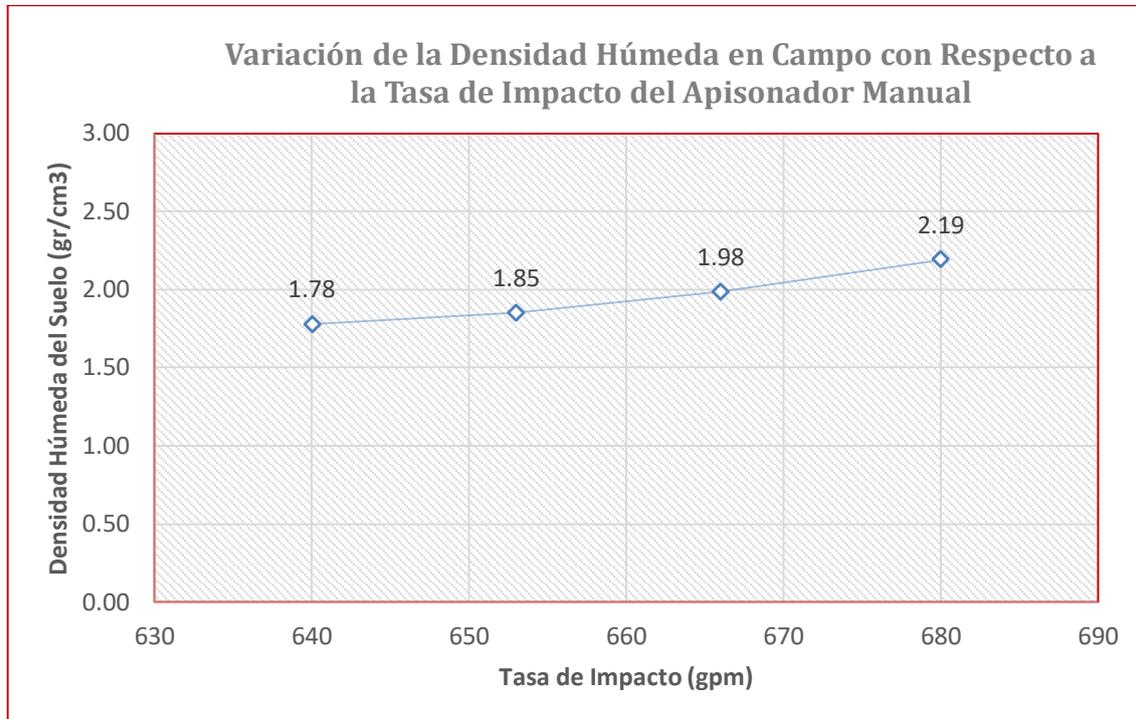
**FIGURA 39.** Variación del grado de compactación con respecto a la energía de compactación con rodillo vibratorio.

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que con energías menores a 1690 joule/m<sup>3</sup> no se alcanza un grado de compactación satisfactorio conforme nos pide la norma de pavimentos E010, con energías mayores a 1690 joule/m<sup>3</sup>. hasta 1830 joule/m<sup>3</sup>. sí se logra el objetivo de conseguir por lo menos el 95 % de grado de compactación, Cabe señalar, cuanto más energía de compactación se invierte en el suelo el costo de la compactación se incrementa de manera que no solo se trata de lograr el 100% de compactación sino de hacerlo de la forma más económica posible. Ver figura Nro. 39.

En resumen, de la maquinaria del rodillo vibratorio liso y los ensayos en campo se tiene que la densidad húmeda cambia, el contenido de humedad no cambia, la densidad seca del suelo sube y el grado de compactación también asciende, cuanto mayor es la frecuencia de vibración y la energía de compactación.

#### 4.2.12 EFECTO DE LA TASA DE IMPACTO CON APISONADOR MANUAL EN LA DENSIDAD HÚMEDA DE CAMPO.

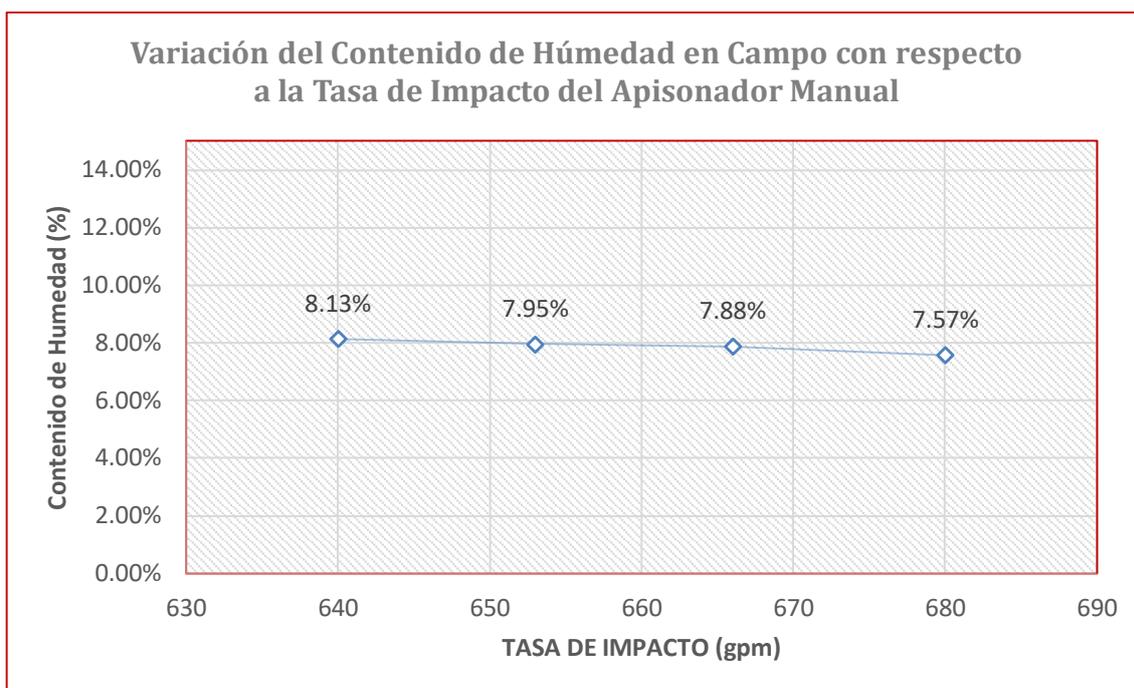


**FIGURA 40.** Variación de la densidad húmeda en campo con respecto a la tasa de impacto con apisonador manual.

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica de la figura Nro. 40 se puede demostrar que la Densidad Húmeda del suelo se eleva en relación al incremento de la tasa de impacto del apisonador manual, obteniendo valores de 1.78 gr/cm<sup>3</sup>. - 2.19 gr/cm<sup>3</sup>.

#### 4.2.13 EFECTO DE LA TASA DE IMPACTO CON APISONADOR MANUAL EN LA HUMEDAD DE CAMPO.



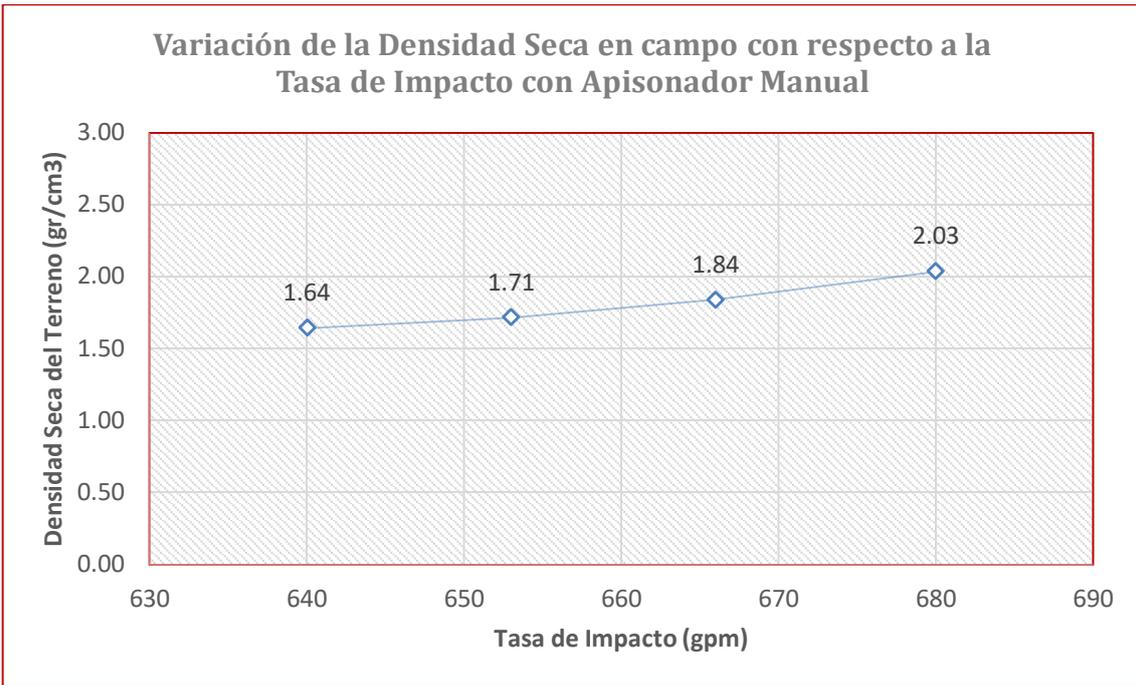
**FIGURA 41.** Variación del contenido de humedad en campo con respecto a la tasa de impacto con apisonador manual.

Fuente: Elaboración propia

Se observa que en el contenido de humedad no hay mucha variación, debido a que se controló estrictamente en campo el contenido de agua y se puede concluir que la humedad con respecto a la tasa de impacto del apisonador manual son dos fenómenos que no están relacionados.

#### 4.2.14 EFECTO DE LA TASA DE IMPACTO CON APISONADOR MANUAL EN LA DENSIDAD SECA DE CAMPO.

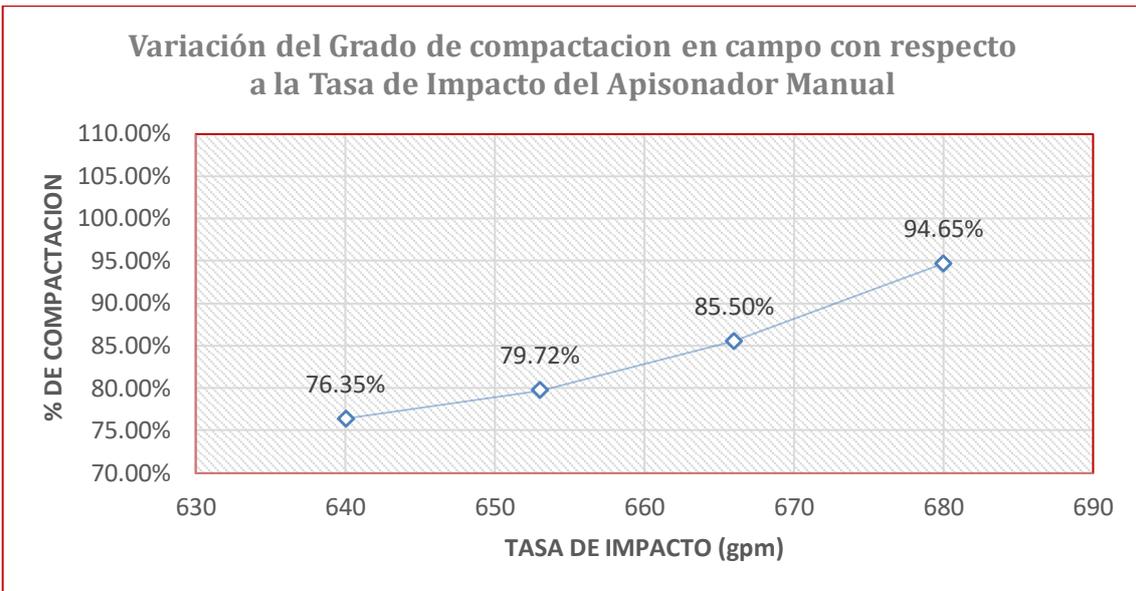
Se puede interpretar el siguiente gráfico de la figura Nro. 42 que la Densidad Seca en campo asciende de 1.64 gr/cm<sup>3</sup>. – 2.03 gr/cm<sup>3</sup>. variando la tasa de impacto del apisonador manual desde los 640 gpm. A 680 gpm; es de observarse que la tasa de impacto influye en la densidad.



**FIGURA 42.** Variación de la densidad seca en campo con respecto a la tasa de impacto con apisonador manual.

Fuente: Elaboración propia

**4.2.15 EFECTO DE LA DE LA TASA DE IMPACTO CON APISONADOR MANUAL EN EL GRADO DE COMPACTACIÓN.**



**FIGURA 43.** Variación del grado de compactación en campo con respecto a la tasa de impacto con apisonador manual.

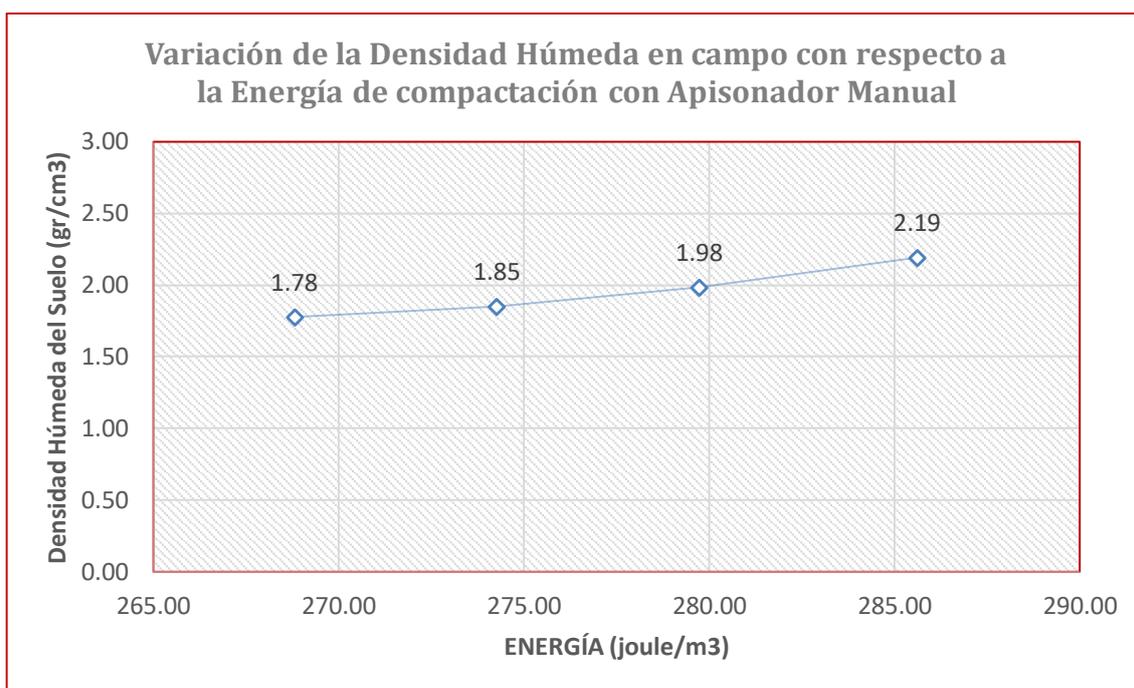
Fuente: Elaboración propia

En el caso del porcentaje de compactación de la gráfica en la figura Nro. 43 se ha encontrado en campo grados de compactación desde 76.35 % hasta 94.65 % se aprecia que no se alcanza el grado de compactación requerido en obra en su máxima tasa de impacto del apisonador manual.

De forma general podemos afirmar que el apisonador manual en su máxima configuración de tasa de impacto (golpes por minuto) no se logrará obtener un grado de compactación como es de esperar.

#### 4.2.16 EFECTO DE LA DENSIDAD HÚMEDA EN CAMPO CON RESPECTO A LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN CON APISONADOR MANUAL.

Conforme se aprecia en la figura Nro. 44 la densidad húmeda varía cuanto más energía de compactación se entrega al suelo mediante el apisonador manual.

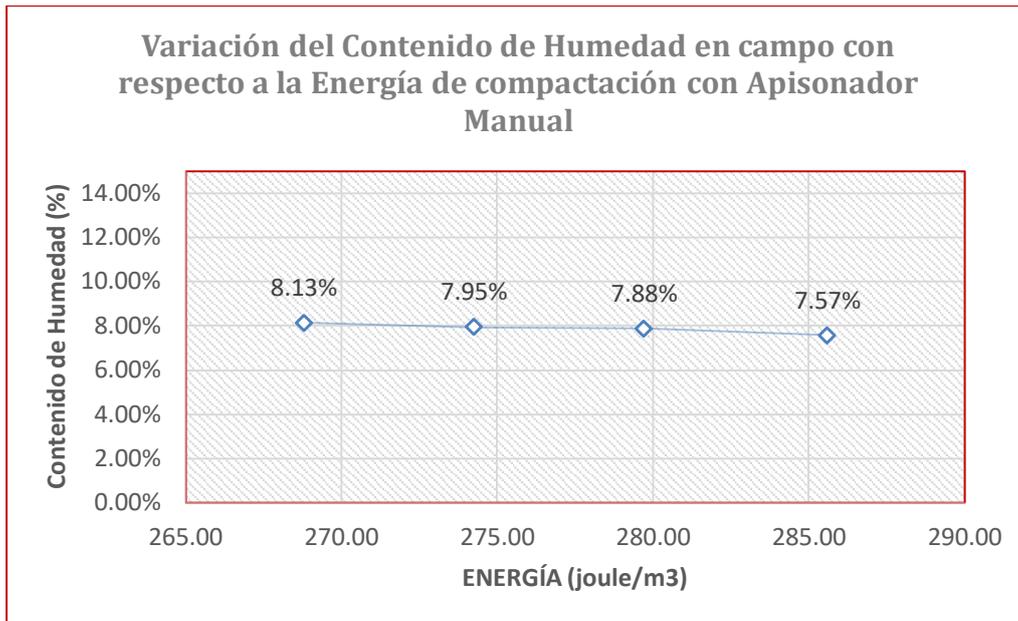


**FIGURA 44.** Variación de la densidad húmeda en campo con respecto a energía de compactación con apisonador manual.

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.17 EFECTO DE LA HUMEDAD EN CAMPO CON RESPECTO A LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN CON APISONADOR MANUAL.

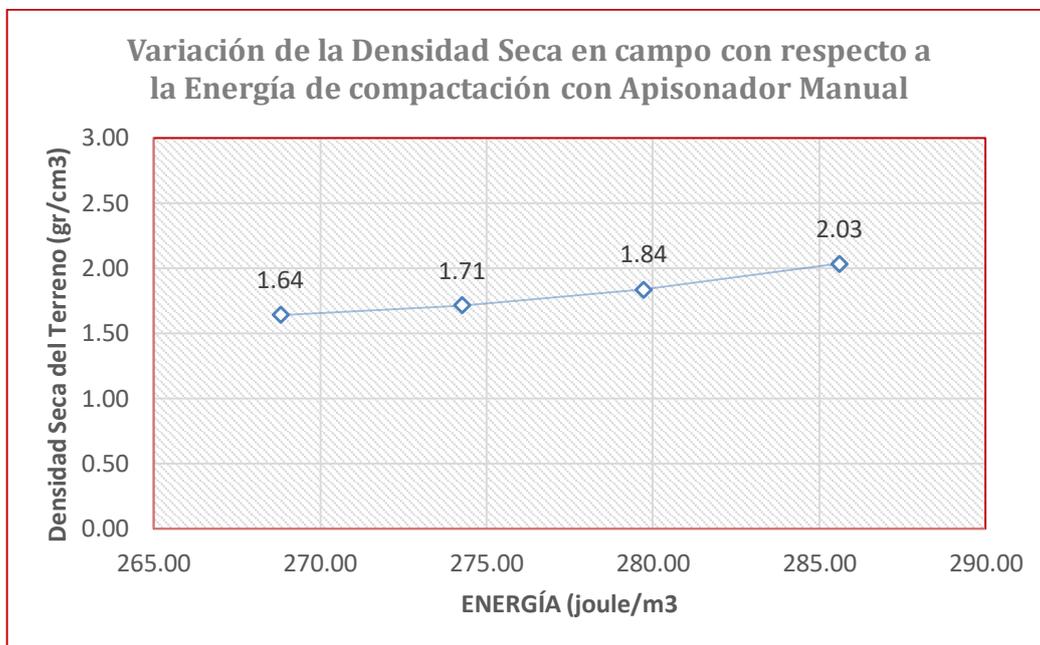
No hay mucha variación de la humedad cuanto más energía de compactación se ejerce ver figura Nro.45.



**FIGURA 45.** Variación del contenido de humedad en campo con respecto a energía de compactación con apisonador manual.

Fuente: Elaboración propia

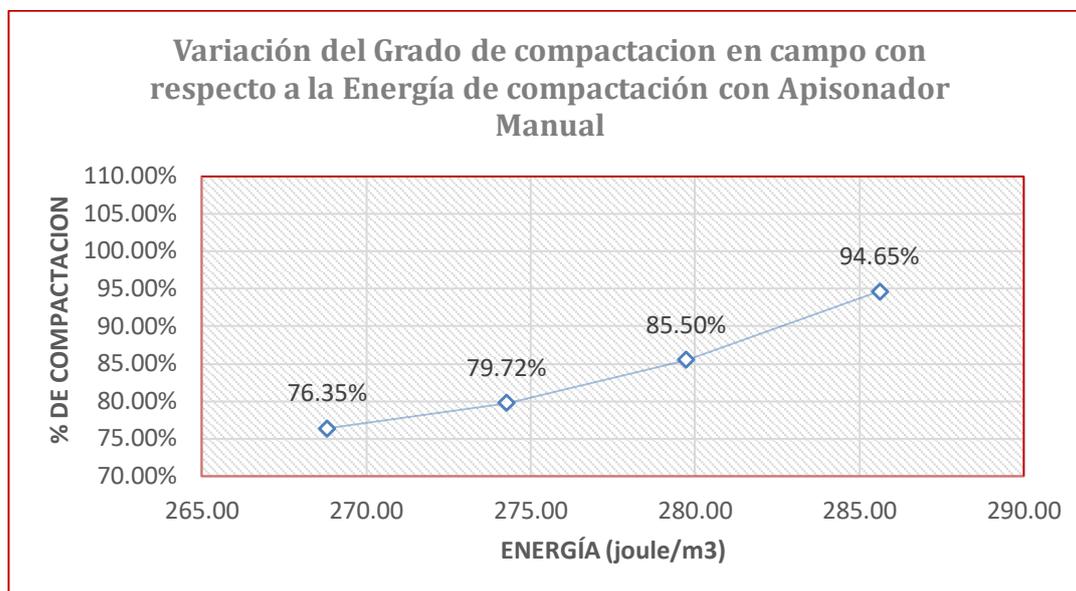
#### 4.2.18 EFECTO DE LA DENSIDAD SECA EN CAMPO CON RESPECTO A LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN CON APISONADOR MANUAL.



**FIGURA 46.** Variación de la densidad seca en campo con respecto a energía de compactación con apisonador manual.

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.19 EFECTO DEL GRADO DE COMPACTACIÓN CON RESPECTO A LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN CON APISONADOR MANUAL.



**FIGURA 47.** Variación del grado de compactación en campo con respecto a energía de compactación con apisonador manual.

Fuente: Elaboración propia

Al incrementar la energía de compactación con apisonador manual a mayores energías de 290 joule/m<sup>3</sup> podemos obtener un porcentaje de compactación de 94.65%, esto nos indica que la energía que produce un apisonador manual en su máxima tasa de impacto podría llegar a un 95% como nos pide la norma de pavimentos para conformación en la construcción para pavimento rígido como se aprecia en la figura Nro. 47

#### 4.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Una de las restricciones que se presentó en la investigación, fue la falta de información acerca de estudios realizados del cálculo de la energía de compactación en campo y control de energía de compactación con equipos mecánicos en la conformación de bases. Así mismo, en nuestra investigación se analizó un factor importante que influye en la energía de compactación de campo como es la frecuencia de vibración en un rodillo liso y tasa de impacto en un apisonador manual, y se limitó analizar más indicadores o factores importantes

que relacionan a la energía de compactación en campo como como es la amplitud de vibración, velocidades de operación, peso del equipo, espesor de capa a compactar. Todos estos demandarían mayor costo y tiempo en la investigación.

Muy aparte, esta investigación serviría como base de datos para otras investigaciones concernientes a la energía de compactación en campo como es el control y optimización, ya que en trabajos de campo no se controla la energía de compactación necesaria requerida para una conformación de bases y sub bases, ya que se emplea energías elevadas o energía bajas siendo estas desperdiciadas en una compactación con equipo mecánico.

Obtenidos nuestros resultados de energía de compactación en laboratorio.

**TABLA 31.** Resultados obtenidos en nuestra investigación de energía de compactación en laboratorio.

<b>Muestra de Suelo</b>	<b>N° De golpes</b>	<b>Energía de compactación / Volumen (kg*cm/cm3)</b>	<b>Contenido de Humedad optima (%)</b>	<b>Densidad Seca Máxima (tn/m3)</b>
Cantera Carmen Alto	56	27.37	8.42	1.73
Cantera Carmen Alto	57	27.85	8.31	2.01
Cantera Carmen Alto	58	28.34	7.30	2.15
Cantera Carmen Alto	59	28.58	8.28	2.09

Fuente: Elaboración propia.

Estas contrastándolas con otros resultados e investigaciones como la de (León, 2021) y (Yanapa, 2019) los cuales en sus investigaciones obtuvieron lo siguiente:

**TABLA 32.** Resultados de otras investigaciones

<b>Numero de ensayo</b>	<b>N° De golpes</b>	<b>Energia de compactacion / Volumen (kg*cm/cm3)</b>	<b>Contenido de Humedad optima (%)</b>	<b>Densidad Seca Maxima (gr/cm3)</b>
1	56	27.27	3.65	1.81
2	57	27.75	3.60	1.81
3	58	28.24	3.45	1.84
4	59	28.73	3.38	1.98
5	60	29.22	3.9	1.89
6	61	29.70	4.5	1.88

Fuente: (León, 2021)

**TABLA 33.** Resultados de otras investigaciones

Muestra de Suelo	Numero de ensayo	N° De golpes	Energía de compactación / Volumen (kg*cm/cm3)	Contenido de Humedad optima (%)	Densidad Seca Maxima (tn/m3)
Cantera Taparachi	1	56	27.49	9.12	2.102
	2	58	28.48	9.49	2.150
	3	59	28.96	8.39	2.170
	4	60	29.45	9.48	2.111
Cantera Yacara	1	56	27.49	7.04	2.134
	2	58	28.48	7.18	2.140
	3	59	28.96	6.96	2.135
Cantera Isla	1	56	27.49	7.04	2.107
	2	58	28.48	7.01	2.150
	3	59	28.96	7.54	2.123

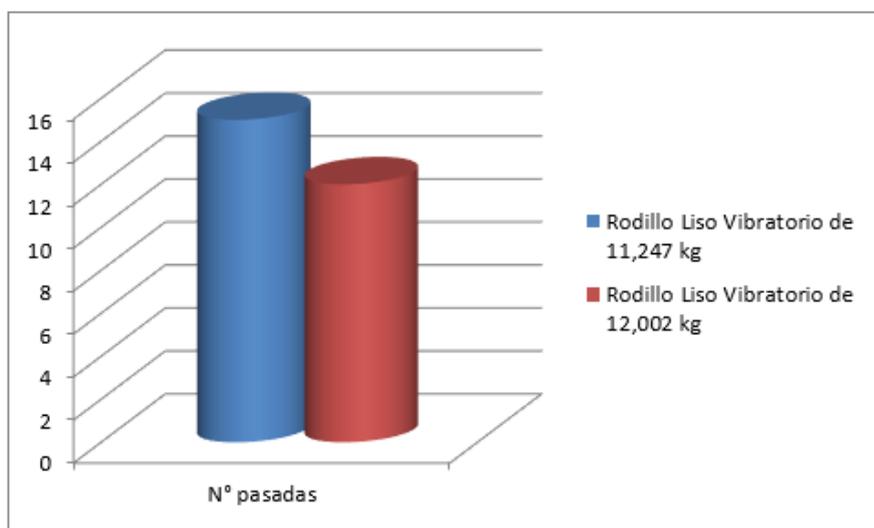
Fuente: (Yanapa, 2019)

Como se puede evidenciar, nuestros resultados se asemejan a la comparación de (León, 2021) y (Yanapa, 2019), podemos apreciar que la densidad seca máxima al incrementar el número de golpes, se obtiene entre 58 y 59 golpes de ahí al seguir incrementando más energía de compactación tiende a descender la densidad seca máxima.

(Morales, 2018) evaluó 04 equipos de compactación que son el Compactador vibratorio tipo plancha de 4 hp, Compactador vibratorio tipo plancha de 6 hp, Rodillo liso vibratorio autopropulsado de 70-100 hp y Rodillo liso vibratorio autopropulsado de 131 hp. De los resultados que obtuvo respectivamente fue que a 24 pasadas logro obtener una densidad de campo de 2.102 gr/cm<sup>3</sup> y nivel de compactación de 98.92%; en 22 pasadas una densidad de campo de 2.113 gr/cm<sup>3</sup> y nivel de compactación de 99.44%; en 36 pasadas una densidad de campo de 2.054 gr/cm<sup>3</sup> y nivel de compactación de 96.66% y en 32 pasadas una densidad de campo de 2.052 gr/cm<sup>3</sup> y nivel de compactación de 96.56%. Respecto a los equipos mencionados, los dos primeros son equipos livianos y los dos últimos son equipos pesados, se puede ver que en su evaluación para el recorrido o número de pasadas que hizo con los equipos de compactación son muy elevadas, puesto que en nuestra investigación con la compactación con apisonador manual respecto a la tasa de impacto no alcanzo un valor igual o mayor al 95%, de tal manera se puede afirmar que emplear apisonador manual para conformación de bases para pavimento rígido no es

eficiente, ya que con la energía de compactación que produce el apisonador solo serviría para trabajos puntuales, como cortos, mas no para conformar una base. Y con el rodillo liso vibratorio se pudo obtener un grado de compactación mayor de 95% empleando una frecuencia de vibración desde 1700 vpm, con un numero de 6 pasadas, espesor de compactación de 20 cm y velocidad de operación de 4km/h.

(Alcoser, 2021) menciona que con el Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg obtiene 95% más de compactación con 15 pasadas, de la misma forma, con del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg con 12 pasadas obtiene 95% mayor de compactación.



**FIGURA 48.** Variación de numero de pasadas según el peso del rodillo.

Fuente: (Alcoser, 2021)

En la figura nro. 45 se puede interpretar que cuanto mayor es el peso del equipo de compactación redujo el número de pasadas para obtener un grado de compactación adecuado.

Se acepta la hipótesis, confirmando que para la energía de compactación de 1700 Joule/m<sup>3</sup> se supera el 95% de compactación, con una humedad de 8.89% con el rodillo vibratorio.

(Radeljak, 2014) de los resultados que obtuvo en el cálculo de la energía de compactación en (joule/m<sup>3</sup>) en variación a la velocidad de operación y peso del equipo obtuvo resultados similares a nuestra investigación.

**TABLA 34.** Cálculo de la energía de compactación

Equipo	f [Hz]	Amplitud [mm]	Peso [Kg]	Velocidad [Km/h]	Espesor [cm]	Energía [Jules/m <sup>3</sup> ]
Equipo A	28,00	1,80	7.000,00	2,10	20,00	<b>3.024</b>
Equipo A	28,00	1,80	7.000,00	3,90	20,00	<b>1.628</b>
Equipo A	28,00	1,80	7.000,00	8,40	20,00	<b>756</b>
Equipo	f [Hz]	Amplitud [mm]	Peso [Kg]	Velocidad [Km/h]	Espesor [cm]	Energía [Jules/m <sup>3</sup> ]
Equipo B	30,00	1,90	5.960,00	5,70	20,00	<b>1.073</b>
Equipo B	30,00	1,90	5.960,00	7,60	20,00	<b>805</b>
Equipo B	30,00	1,90	5.960,00	7,90	20,00	<b>774</b>

Fuente: (Radeljak, 2014)

Los resultados de la comparación de (Nathan, 2013) muestran que se imparte un alto esfuerzo de compactación usando energía modificada con el Método AASHTO de 2394,8 kJ/m<sup>3</sup>. El método de compactación desarrollado con el martillo vibratorio es el segundo con 1285,6 kJ/m<sup>3</sup> y la mesa vibratoria imparte una energía de compactación de 1110,3 kJ/m<sup>3</sup>, que es 175,3 kJ/m<sup>3</sup> más bajo que el martillo Vibratorio.

**TABLA 35.** Comparación de energías de compactación

Vibratory Hammer		Mod AASHTO		Vibratory Table	
Wh	344.3	Wmh	44.145	Wh	490.5
Freq (Hz)	31.5	No.Blows/layer	55	Freq (Hz)	50
Amp (m)	0.005	dh (m)	0.457	Amp (m)	0.0004
CmpTime (S)	25	No. layers (No.)	5	CmpTime (S)	120
No. Layers	5	Vol. Mould (m <sup>3</sup> )	0.00231667	No Layers	5
Vol. Mould (m <sup>3</sup> )	0.00530144			Vol. Mould (m <sup>3</sup> )	0.00530144
<b>Energy (kJ/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1285.6</b>	<b>Energy (kJ/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2394.8</b>	<b>Energy (kJ/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1110.3</b>

Fuente: (Nathan, 2013)

(Nathan, 2013) considera el tiempo como un factor para el cálculo de la energía de compactación

## CONCLUSIONES

- OG. De acuerdo a la investigación de esta tesis, se analizó el efecto de influencia de la energía de la compactación en la conformación de base para pavimento rígido empleando 02 equipos mecánicos diferentes de compactación como rodillo liso vibratorio y apisonador manual, se puede afirmar que la energía de compactación proporcionada por el rodillo liso vibratorio en relación a su mayor frecuencia de vibración se puede alcanzar mayores densidades en la capa base para un pavimento rígido, y estos reduciendo el número de pasadas significativamente al igual del apisonador manual se puede obtener densidades más altas a alta tasa de impacto en menos tiempo de compactación.
  
- OE1. En esta tesis se determinó el efecto de la frecuencia de vibración con rodillo liso y la tasa de impacto con apisonador manual en la densidad húmeda en campo para la conformación de base para pavimento rígido , se ha podido constatar que cuanto mayor es la frecuencia de vibración y tasa de impacto al compactar la capa base la densidad húmeda aumenta, con el rodillo vibratorio la densidad húmeda en campo en relación a la frecuencia de vibración se demuestran que los valores aptos de densidad que se encuentran entre 1.70 g/cm<sup>3</sup> a 2.3 g/cm<sup>3</sup>, fueron las frecuencias de vibración de 1400 VPM, 1543 VPM, 1686 VPM, mientras que lo experimentado con el apisonador todos los valores aptos de densidad se encuentran dentro de los valores de 1.70 g/cm<sup>3</sup> a 2.3 g/cm<sup>3</sup>, es decir, cumplen para todos los valores de tasa de impacto.
  
- OE 2. Se determinó el efecto de frecuencia de vibración con rodillo liso y la tasa de impacto con apisonador manual en relación al contenido de Humedad en campo para la conformación de base para pavimento rígido. Con los resultados obtenidos en la experimentación, se tiene que el contenido de humedad es estable no presenta variaciones considerables y se puede afirmar que a mayor energía empleada con ambos equipos de compactación no habrá variaciones de humedad considerables y respecto al control de tolerancias la Norma Técnica CE.10 Pavimentos Urbanos indica que la humedad no deberá

variar en  $\pm 2\%$  del contenido óptimo de humedad afín de lograr compactaciones especificadas y los resultados muestran que estamos en el rango del control de humedad.

- OE 3. En esta tesis, se determinó el efecto de la frecuencia de vibración con rodillo liso y la tasa de impacto con apisonador manual en la densidad seca en campo para conformación de base para pavimento rígido. Realizar una compactación con rodillo y apisonador, éstos configurando sucesivamente su frecuencia y tasa de impacto, se puede ver que los resultados suben de forma ascendente en su densidad seca y con el rodillo vibratorio las densidades secas del terreno respecto a la frecuencia de vibración se demuestran que para todos los valores de frecuencia (1400 VPM, 1543 VPM, 1686 VPM, 1830VPM) los valores de densidad se encuentran entre los parámetros permitidos de 1.70 g/cm<sup>3</sup> a 2.3 g/cm<sup>3</sup>, mientras que con el apisonador manual solo la tasa de impacto de 653 GPM y 680 GPM la densidad seca del terreno se encuentra entre los valores permitidos.
  
- OE 4. En la presente tesis se determinó el efecto de la frecuencia de vibración con rodillo liso y la tasa de impacto con apisonador manual en el grado de compactación para la conformación de base para pavimento rígido. En la compactación de campo al variar la frecuencia de vibración y tasa de impacto de forma ascendente podemos conseguir resultados de mayor grado de compactación, Con respecto al rodillo vibratorio el porcentaje de compactación de las frecuencias de vibración de 1400, 1543, 1686 y 1830 se encuentran dentro del intervalo de 80% y 100%, además respecto al apisonador manual solo la tasa de impacto de 666 GPM y 680 GPM cumplen con los requisitos ya que los porcentajes de compactación son mayores a 80%.
  
- OE 5. Se evaluó las características físicas y mecánicas del afirmado para base de pavimento rígido, donde las características físicas y mecánicas del material granular de la cantera Carmen alto – Cusco, cumple con los requerimientos como afirmado para base de pavimento rígido, tiene gradación tipo “C”. con resultados de 34.31% a la Abrasión los Ángeles, 43.20% de CBR, Índice de

plasticidad de 6%, límite líquido de 24%, así como el Proctor para 56, 57, 58, 59 golpes, unas densidades de 1.73, 2.00, 2.15 y 2.09 Tn/m<sup>3</sup>, así como humedades de 8.42%, 8.30% 7.30% y 8.28% respectivamente.

## RECOMENDACIONES

- Para realizar trabajos de compactación en conformación de base con rodillo vibratorio, las velocidades de operación no deben ser mayores a lo estipulado en la tabla de (Lloret, 2009) , ya que su rendimiento caerá significativamente y la energía de compactación no sería suficiente para llegar al grado de compactación deseado.
- Se recomienda usar el apisonador manual para trabajos puntuales como relleno de zanjas y veredas, estos en áreas reducidas mas no para trabajos de conformación de base en una pavimentación.
- Se recomienda realizar una adecuada configuración del equipo mecánico de compactación empleado en obra, con golpe armónico al suelo y a velocidad moderada para poder conseguir la reducción de número de pasadas y así ser más eficaz en el proceso de compactación.
- Un estudio adecuado de Tránsito, ya que la importancia de este estudio radica primordialmente en los parámetros de diseño para este tipo de pavimentos urbanos, además, considerar una simulación de los equipos de compactación respecto a los ejes equivalentes para así tomar en consideración las cargas que se aplican en la superficie de rodadura.
- Se debe buscar más canteras aledañas a la cantera CARMEN ALTO y explorar para investigaciones posteriores las cuales van a permitir realizar más análisis de suelos granulares respecto a densidad máxima seca y optimo contenido de humedad teniendo como referencia la energía de compactación de este trabajo de investigación.
- Al efectuar una compactación se deberá graduar y controlar la cantidad de agua para humedecer, ya que, por efectos de vaporización, infiltración se pierde agua dentro de la mezcla a compactar.

- Se deben constatar los parámetros de humedad, densidad seca y energía de compactación para conseguir resultados adecuados que posteriormente serán analizados en campo y sobre todo tener material adecuado útil para obras viales.
  
- Se recomienda verificar eficiencia de compactación de cada tipo de máquina, dicha eficiencia también es notorio que variará por el tipo de material en el que se estará compactando.
  
- Configurar el equipo de compactación en sus más altas frecuencias y tasa de impactos para obtener más altas densidades.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Alcoser Porras, Martin. 2021.** *Control de la energía específica para la optimización de la resistencia del proceso de compactación de bases granulares de pavimentos urbanos en la localidad de Huancayo.* Huancayo- Peru : Universidad Peruana los Andes escuela de posgrado maestria en ingeniería civil, 2021.

**Alonso, Eduardo. 2019.** *SUELOS COMPACTADOS EN LA TEORÍA Y EN LA PRÁCTICA* . Barcelona : Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica. UPC, 2019.

**Arbulu, Cesar. 2020.** Análisis e interpretación de datos de compactación (Parte 02). *youtube*. [En línea] 12 de 05 de 2020. [https://www.youtube.com/watch?v=\\_CoJiJ7pd5Y](https://www.youtube.com/watch?v=_CoJiJ7pd5Y).

**Cacciola, Daniel. 2013.** Using Continuous Compaction Control. Newark, Delaware : GOVERNMENT OF INDIA MINI STRY OF RAILWAYS, 2013, pág. 313.

**Castillo, Alfonso. 2017.** *Consideraciones sobre compactación de suelos en obras de infraestructura de transporte.* Ciudad de Mexico : SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES , 2017. pág. 137.

**Colaboradores de Wikipedia. 2021.** Wikipedia, la enciclopedia libre. *Densidad húmeda aparente*. [En línea] 30 de 11 de 2021. [https://es.wikipedia.org/wiki/Densidad\\_aparente](https://es.wikipedia.org/wiki/Densidad_aparente).

**Das, Braja M. 2015.** *Fundamentos de ingeniería geotécnica.* México : Cengage Learning Editores, S.A., 2015.

**Escario, Ventura. 1989.** *Terraplenes y Pedraplenes.* Madrid : s.n., 1989.

**Estuardo de León Monroy, Eddy José. 2009.** *Ventajas y desventajas de la utilización del método de la arena y el densímetro.* Ciudad de Guatemala : Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009.

*Evaluación de la degradación por compactación de materiales granulares tipo subbase.*

**Geotechnical Engineering Directorate Research Designs & Standards Organization. 2005.** *COMPACTION EQUIPMENTS AND CONSTRUCTION MACHINERY.* Manak Nagar, Lucknow-11 : GOVERNMENT OF INDIA MINI STRY OF RAILWAYS, 2005. GE- R-76.

**Guerron Avecillas, Silvia Alexandra. 2013.** *Comparacion de resultados de densidad de campo.* QUITO : UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, 2013.

**Hudson, Joel. 2000.** FM 5-434: Earthmoving Operations [Operaciones de movimiento de Tierras]. *globalsecurity.org*. [En línea] 15 de 06 de 2000. <https://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/fm/5-434/>.

**Kelfkens, R. W. S. 2008.** *Vibratory Hammer Compaction of Bitumen Stabilised [Compactación con Martillo Vibratorio de Materiales Bituminosos Estabilizados ]*. Dissertation for Master of Science in Engineering, University of, s.l. : 2008.

**Lange, D. P. 2012.** *Validation of the Vibrating Hammer for Soil Compaction Control [Validación del Martillo Vibrador para Control de Compactación de Suelos]*. PQDT-Global, s.l. : 2012.

**León, Josecarlos. 2021.** *Influencia de la energía de compactación en la densidad seca máxima y contenido óptimo de humedad del suelo granular de la cantera Agocucho, Cajamarca – 2017.* Universidad Privada del Norte. Cajamarca : s.n., 2021.

**Llique Mondragón, Rosa Haydee y León Chávez, Luis Andrés. 2018.** *Influence of*

*compaction energy on the maximum dry density and on the optimal moisture content of granular soil*. Cajamarca : Universidad Nacional de Cajamarca, 2018.

**Lloret, Pedro Barber. 2009.** *Maquinaria de obras públicas II*. San Vicente : Club Universitario, 2009.

**Manual de Carreteras. 2013.** *Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Peru : 2013.

**Morales Cardenas, Pedro Joaquin, Chavez Arevalo, Oswaldo y Lopez Poveda, Luis . 2009.** *Efectos de la alta compactación de la capa de base en pavimentos flexibles*. Managua : Universidad Nacional de Ingeniería , 2009.

**Morales, Flor. 2018.** *Optimización de la eficiencia en el uso de vibro compactadoras para mejorar el nivel de compactación en la ejecución de pavimentos en la provincia de Pasco 2017-2018*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Cerro de Pasco : s.n., 2018.

**Nathan, Ntanda Chilukwa. 2013.** *VIBRATORY HAMMER COMPACTION OF GRANULAR [MARTILLO VIBRATORIO EN COMPACTACIÓN DE SUELOS GRANULARES]*. Facultad de Ingeniería de la Universidad de Stellenbosch, s.l. : 2013.

**Ortiz, Frida G. 2003.** *Diccionario de metodología de la Investigación Científica*. Ciudad de México : Limusa, 2003.

**Parano, J. 2012.** *Compactación de Suelos y Materiales Estabilizados*. México : s.n., 2012.

**Radeljak, P. 2014.** Compactación: Frecuencia Natural del Suelo. *linkedIn*. [En línea] 07 de 10 de 2014. <https://www.linkedin.com/pulse/20141008021155-220937-compactaci%C3%B3n-frecuencia-natural-del-suelo/?originalSubdomain=es>.

**Rico, Alfonso. 2005.** *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres: Carreteras, ferrocarriles y Aeropistas*. Mexico : Limusa, 2005.

**Ruiz, CRristian Alejandro. 2002.** *Rendimiento y Costo en las Maquinarias de Compactación*. Universidad Austral de Chile, Chile : 2002.

**Ugarte, Adolfo. 2013.** COMPACTACIÓN: Amplitud, Frecuencia y Resonancia. *Todo de ingeniería civil*. [En línea] 22 de 09 de 2013. <https://www.ingenieracivil.com/2013/09/compactacion-amplitud-frecuencia-y.html>.

**Veiga Manrique, María Fernanda. 2020.** *Análisis de la factibilidad técnica y económica de la compactación dinámica para mejoramiento de suelos*. Lima : Pontificia Universidad católica del Perú facultad de ciencias de ingeniería, 2020.

**XAVIER ZUBIRI. Zuburi, Xavier. 1974-1974.** 1974-1974, Trabajos del Seminario Xavier Zubiri, , págs. 7-47.

**Yanapa, Cynthia Yasmina. 2019.** *Análisis De Efectos Producidos Por La Aplicación De Mayor Energía De Compactación En El Ensayo Proctor Modificado En Suelos De Las Canteras De La Ciudad De Juliaca*. Juliaca : Universidad andina nestor caceres velasquez Facultad de ingenierías y ciencias puras, 2019.

**Yepes, Victor. 2011.** Selección de equipos de compactación. [En línea] 22 de 11 de 2011. <https://polimedia.upv.es/visor/?id=2d85d641-a789-4845-98ca-3828cfdb3603>.

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1.**

### **Matriz de Operacionalización.**

**TABLA 36.** Matriz de Operacionalización.

<b>TEMA: “ANÁLISIS DE ENERGÍA DE COMPACTACIÓN EN CONFORMACIÓN DE BASES PARA PAVIMENTO RÍGIDO URBANO EN EL DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, APURÍMAC.”</b>							
<b>VARIABLES</b>	<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL</b>	<b>DEFINICIÓN OPERACIONAL</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>NIVEL DE INDICADOR</b>	<b>INSTRUMENTOS</b>	<b>ESCALA DE MEDICIÓN</b>
<b>Variable independiente</b>  ENERGÍA DE COMPACTACIÓN	Es una energía mecánica externa que se aplica al material de distintas formas, la compactación dependerá de la energía aplicada por unidad de volumen e incide en la clasificación de un material. Morales y otros (2009).	Se ejecutará la programación y el ensayo de compactación variando la frecuencia de vibración y tasa de impacto en distintas áreas de compactación.	<b>D1:</b> Energía con rodillo liso vibratorio de suelos. (Cat CS56B)	<b>I1:</b> Frecuencia de vibración	<b>NI1:</b> 1400 vpm  <b>NI2:</b> 1543 vpm <b>NI3:</b> 1686 vpm <b>NI4:</b> 1830 vpm vpm = vibraciones por minuto	Fichas, Observación	De razón
			<b>D2:</b> Energía con Apisonador manual (MASALTA EMR70HP)	<b>I2:</b> Tasa de impacto	<b>NI1:</b> 640 gpm <b>NI2:</b> 653 gpm <b>NI3:</b> 666 gpm <b>NI4:</b> 680 gpm gpm = golpes por minuto	Fichas, Observación	De razón
<b>Variable dependiente</b>  CONFORMACIÓN DE BASE PARA PAVIMENTO RÍGIDO	La sección de un pavimento rígido se encuentra conformado por 2 capas (losa de concreto sobre una base, o sub base) que estos transmiten directamente esfuerzos al suelo en una forma minimizada, es auto-resistente, y la cantidad de concreto debe ser controlada. (PAVEMENT ANALYSIS AND DESIGN, 2004)	Se ejecutará la conformación de la capa base para pavimento rígido, con las condiciones ya establecidas, al finalizar se realizará el ensayo de densidad de campo para verificar las densidades, humedad y el grado de compactación, los resultados serán organizados en fichas y digitalizado en el software Excel para su operacionalización.	<b>D1:</b> Grado de compactación	<b>I1:</b> Densidad húmeda en campo	<b>NI1:</b> De 1.70 g/cm <sup>3</sup> a 2.3 g/cm <sup>3</sup>	Ficha de resultado	De intervalo
				<b>I2:</b> Contenido de Humedad en campo	<b>NI1:</b> Entre 7% y 8%		
				<b>I3:</b> Densidad seca en campo	<b>NI1:</b> De 1.70 g/cm <sup>3</sup> a 2.3 g/cm <sup>3</sup>		
				<b>I4:</b> Porcentaje de compactación	<b>NI1:</b> Entre 80% y 100%	EMS NTE E.050: Suelos y cimentaciones	

Fuente: Elaboración Propia.

## **ANEXO 2.**

### **Matriz de Consistencia**

**TABLA 37.** Matriz de Consistencia.

<b>TEMA: “ANÁLISIS DE ENERGÍA DE COMPACTACIÓN EN CONFORMACIÓN DE BASES PARA PAVIMENTO RÍGIDO URBANO EN EL DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, APURÍMAC.”</b>							
<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPOTESIS</b>	<b>VARIABLE</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>POBLACIÓN Y MUESTRA</b>		
<b>Problema general:</b>	<b>Objetivo general:</b>	<b>Hipótesis general:</b>	<b>Variable independiente:</b>	<b>ENFOQUE</b>	<b>POBLACIÓN DE ESTUDIO</b>		
¿Cuál es el efecto de la energía de compactación en la conformación de base para pavimento rígido?	Analizar el efecto de energía de compactación en la conformación de base para pavimento rígido.	La energía de compactación influye de forma significativamente en la compactación para conformación de base para pavimento rígido.	Energía de Compactación	Cuantitativo	conformación de base de pavimentos rígidos que se ejecuta en el Barrio los Álamos “Mejoramiento del servicio de transitabilidad vial interurbana en el distrito de Challhuahuacho”		
<b>Problemas específicos:</b>	<b>Objetivos específicos:</b>	<b>Hipótesis específicas:</b>	<b>Variable dependiente:</b>	<b>TIPO</b> Esta investigación es <b>Aplicada</b> ya que se dirigirá al uso del conocimiento para cubrir necesidades y problemas concretos.			
1. ¿Cuál es el efecto de la frecuencia de vibración con rodillo liso y la tasa de impacto con apisonador manual en la densidad húmeda en campo para la conformación de base para pavimento rígido?	1. Determinar el efecto de la frecuencia de vibración con rodillo liso y tasa de impacto con apisonador manual en la densidad húmeda en campo para la conformación de base para pavimento rígido.	1. A mayor frecuencia de vibración con rodillo liso y tasa de impacto con apisonador manual se alcanza mayor densidad húmeda en el afirmado para base de pavimento rígido.		<b>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</b> Cuasi-Experimental	<b>MUESTRA DE ESTUDIO</b>		
2. ¿Cuál es el efecto de la frecuencia de vibración con rodillo liso y la tasa de impacto con apisonador manual en el contenido de Humedad en campo para la conformación de base para pavimento rígido?	2. Determinar el efecto de la frecuencia de vibración con rodillo liso y la tasa de impacto con apisonador manual en el contenido de Humedad en campo para la conformación de base para pavimento rígido.	2. El contenido de humedad no varía con la frecuencia de vibración de rodillo liso y tasa de impacto con apisonador manual en el afirmado para base de pavimento rígido.					
3. ¿Cuál es el efecto de la frecuencia de vibración con rodillo liso y la tasa de impacto con apisonador manual en la densidad seca en campo para conformación de base para pavimento rígido?	3. Determinar el efecto de la frecuencia de vibración con rodillo liso y la tasa de impacto con apisonador manual en la densidad seca en campo para conformación de base para pavimento rígido.	3. A mayor frecuencia de vibración con rodillo liso vibratorio y tasa de impacto con apisonador manual se alcanza mayor densidad seca en el afirmado para base de pavimento rígido.	Conformación de bases para pavimento rígido			<b>NIVEL DE INVETIGACIÓN</b>	Material para Afirmado de conformación de base
4. ¿Cuál es el efecto de la frecuencia de vibración con rodillo liso y la tasa de impacto con apisonador manual en el grado de compactación para la conformación de base para pavimento rígido?	4. Determinar el efecto de la frecuencia de vibración con rodillo liso y la tasa de impacto con apisonador manual en el grado de compactación para la conformación de base para pavimento rígido.	4. A mayor frecuencia de vibración con rodillo liso y tasa de impacto con apisonador manual se alcanza mayor grado de compactación en el afirmado para base de pavimento rígido.				Correlacional	
5. ¿Cuáles son las condiciones físicas y mecánicas del afirmado para base de pavimento rígido?	5. Evaluar las características físicas y mecánicas del afirmado para base de pavimento rígido.	5. El afirmado cumple con las características mínimas requeridas del manual de pavimentos.					

Fuente: Elaboración propia.

## **ANEXO 3.**

### **Panel fotográfico**

ANEXO 3.1 Extracción de muestra de suelo proveniente de la cantera Carmen Alto para conformación de bases.



ANEXO 3.2 Muestreo y clasificación de suelo para realizar el ensayo de proctor.



ANEXO 3.3 Proctor modificado a 56, 57, 58 y 59 golpes por 5 capas.



TESIS: ANALISIS DE LA ENERGI  
DE COMPACTACION EN LA  
COMFORMACION DE BASES  
PARA PAVIMENTO RIGIDO  
URBANO EN EL DISTRITO DE  
CHALLHUAMUCHO - APURIMAC  
MUESTRA: CANTERA CARPENTERIA  
ENSAYO: Proctor Modificado

ANEXO 3.4 Material acarreado para realizar la actividad de compactación.



ANEXO 3.5 Medición y control de altura de relleno para realizar la compactación.



ANEXO 3.6 Trazo del área a compactar.



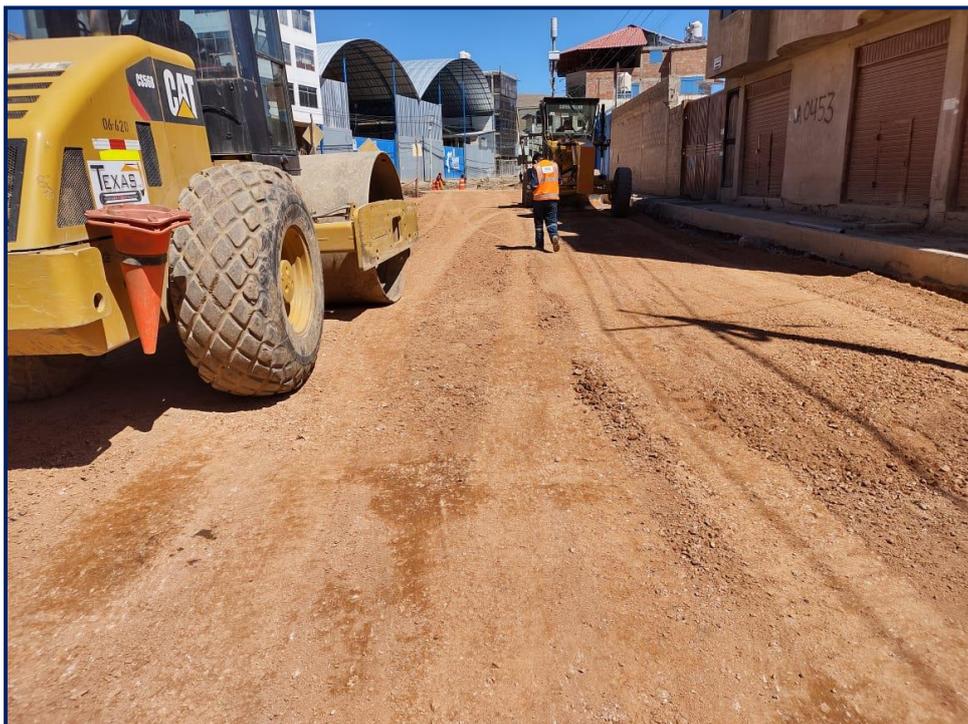
ANEXO 3.7 Compactación con Apisonador manual en los 4 putos determinados.



ANEXO 3.8 Compactación en área e1- a 15min, e2- a 15min, e3- a 15min, e4- a 15min para conformación de bases con apisonador manual



ANEXO 3.9 Compactación con rodillo vibratorio en el barrio los álamos progresiva 0+000 a 0+040 para conformación de bases en Av. Los Álamos.



ANEXO 3.10 Compactación con rodillo vibratorio en el barrio los álamos progresiva 0+040 a 0+080 para conformación de bases tiempo de compactado de 35min, 45min e=20 cm.



ANEXO 3.11 Ensayo de densidad de campo con cono de arena en área e1-, e-2, e-3, e-4.



ANEXO 3.12 Suelo extraído del orificio de ensayo de cono de arena.



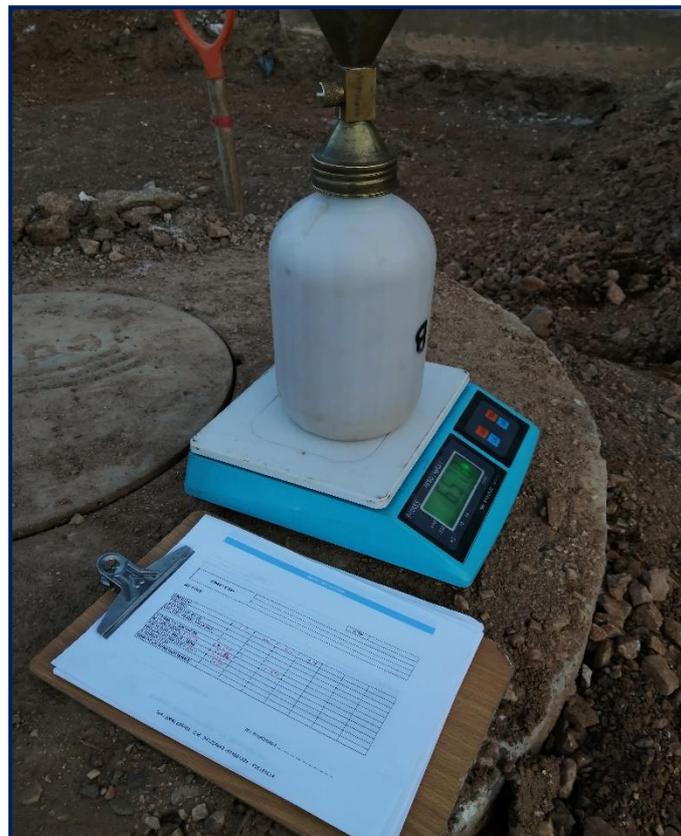
ANEXO 3.13 Peso de suelo retenido en la malla de 3/4".



ANEXO 3.14 Peso del material extraído.



ANEXO 3.15 Peso inicial del frasco + cono de arena.

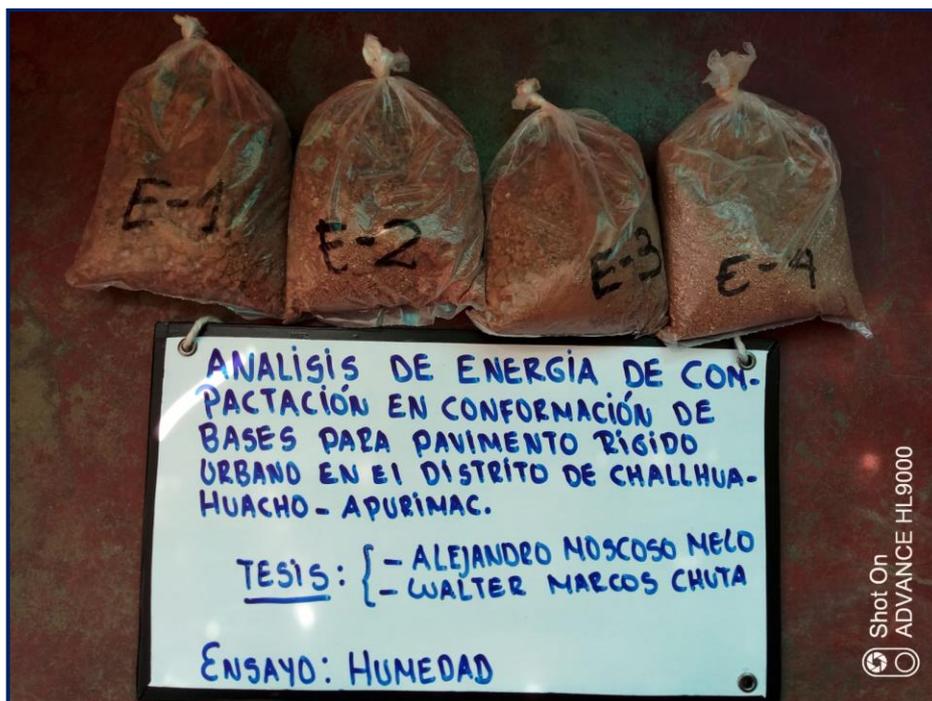




ANEXO 3.18 Ensayo de cono de arena in-situ en área compactada a diferentes tiempos con rodillo vibratorio.



ANEXO 3.19 Muestras de suelo extraídas del ensayo de cono de arena para verificar el contenido de humedad.



ANEXO 3.20 Peso de las muestras de suelo extraídas.



ANEXO 3.21 Peso de las muestras de suelo extraídas para ensayo de contenido de humedad.



## **ANEXO 4.**

### **Certificados de los Ensayos Realizados**



# LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



## PACHATUSAN CONTRATISTAS GENERALES S.C.R.L.

TESIS: ANALISIS DE ENERGIA DE COMPACTACION EN CONFORMACION DE BASES PARA PAVIMENTO RIGIDO URBANO EN EL DISTRITO DE

CHALLHUAHUACHO-APURIMAC.

PROCTOR MODIFICADO (RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD)

MTC E 115-2000, Basado en la Norma ASTM D-1557 y AASHTO T-180

TESIS: ANALISIS DE LA ENERGIA DE COMPACTACION EN CONFORMACION DE BASES ANALISIS DE ENERGIA DE COMPACTACION EN CONFORMACION DE BASES PARA PAVIMENTO RIGIDO URBANO EN EL DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO,

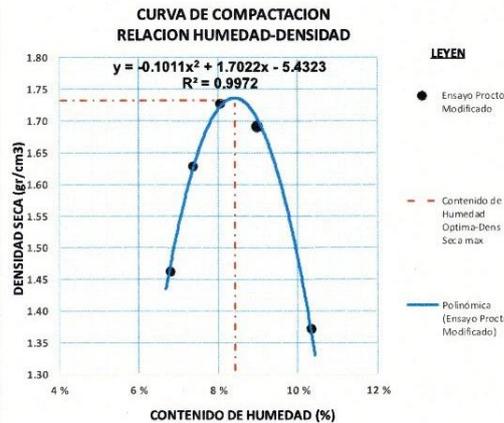
UBICACIÓN: DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO - PROVINCIA DE COTABAMBA - REGION DE APURIMAC  
SOLICITADO POR: \*BACH. ALEJANDRO MOSCOSO MELO  
\*BACH. WALTER RAUL MARCOS CHUTA

FECHA: JULIO DEL 2021  
MUESTRA: CANTERA CARMEN ALTO

DATOS GENERALES	
NUMERO DE CAPAS =	5
GOLPES POR CAPA =	56
PESO DEL MARTILLO =	4.54 KG
ALTURA DE CAIDA DEL MARTILLO =	45.72

DETERMINACION DE LA DENSIDAD						
	UNIDAD	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 05
Numero de proctor utilizado		P-1	P-1	P-1	P-1	P-1
Diámetro del molde	cm.	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24
Altura del molde	cm.	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64
Volumen del molde	cm <sup>3</sup> .	2123.85	2123.85	2123.85	2123.85	2123.85
Peso del molde	gr.	2785.00	2785.00	2785.00	2785.00	2785.00
Peso del molde + muestra compactada	gr.	6100.00	6500.00	6750.00	6700.00	6000.00
Peso de la muestra compactada	gr.	3315.00	3715.00	3965.00	3915.00	3215.00
Densidad Humeda	gr/cc	1.56	1.75	1.87	1.84	1.51
Densidad Seca	gr/cc	1.46	1.63	1.73	1.69	1.37

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD											
	UNIDAD	P-1-A	P-1-B	P-1-A	P-1-B	P-1-A	P-1-B	P-1-A	P-1-B	P-1-A	P-1-B
		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
Peso del Tarro	gr.	62.98	62.39	69.94	66.39	79.63	64.26	71.36	66.34	67.47	67.39
Peso del Tarro + Suelo Humedo	gr.	113.83	94.17	106.11	113.28	135.47	117.39	121.54	99.96	102.84	112.08
Peso del Tarro + Suelo Seco	gr.	110.20	92.40	103.60	110.10	131.90	112.90	117.08	97.40	99.80	107.56
Peso del Agua	gr.	3.63	1.77	2.51	3.18	3.57	4.49	4.46	2.56	3.04	4.52
Peso del Suelo Seco	gr.	47.22	30.01	33.66	43.71	52.27	48.64	45.72	31.06	32.33	40.17
Contenido de Humedad	%	7.89 %	5.90 %	7.46 %	7.28 %	6.83 %	9.23 %	9.76 %	8.24 %	9.40 %	11.25 %
Contenido de Humedad Promedio	%	6.79 %		7.37 %		8.03 %		9.00 %		10.33 %	



DENSIDAD SECA MÁXIMA =	1.73 Tn/m <sup>3</sup>
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO =	8.42 %

*ING. Rosalio Echegaray Salazar*  
CIP. 69594

**PACHATUSAN CONTRATISTAS GENERALES S.C.R.L.**  
*Julio Nerio Pacheco C.*  
Especialista en Mecánica de Suelos



# LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

## PACHATUSAN CONTRATISTAS GENERALES S.C.R.L.



TESIS: ANALISIS DE ENERGIA DE COMPACTACION EN CONFORMACION DE BASES PARA PAVIMENTO RIGIDO URBANO EN EL DISTRITO DE

CHALLHUAHUACHO-APURIMAC.  
PROCTOR MODIFICADO (RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD)  
MTC E 115-2000, Basado en la Norma ASTM D-1557 y AASHTO T-180

TESIS: ANALISIS DE LA ENERGIA DE COMPACTACION EN CONFORMACION DE BASES ANALISIS DE ENERGIA DE COMPACTACION EN CONFORMACION DE BASES PARA PAVIMENTO RIGIDO URBANO EN EL DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO.

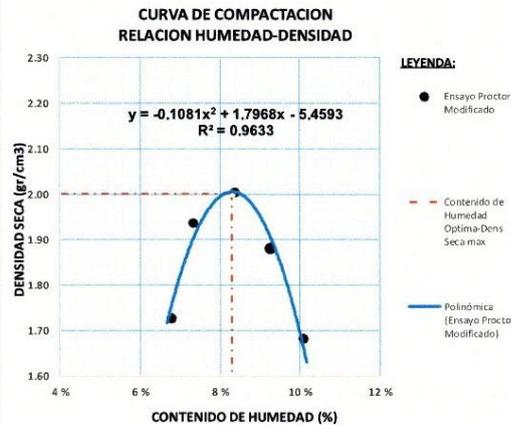
UBICACIÓN: DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO - PROVINCIA DE COTABAMBAS - REGION DE APURIMAC  
SOLICITADO POR: \*BACH. ALEJANDRO MOSCOSO MELO  
\*BACH. WALTER RAUL MARCOS CHUTA

FECHA: JULIO DEL 2021  
MUESTRA: CANTERA CARMEN ALTO

DATOS GENERALES	
NUMERO DE CAPAS =	5
GOLPES POR CAPA =	57
PESO DEL MARTILLO =	4.54 KG
ALTURA DE CAIDA DEL MARTILLO =	45.72

DETERMINACION DE LA DENSIDAD						
	UNIDAD	MUESTRA 06	MUESTRA 07	MUESTRA 08	MUESTRA 09	MUESTRA 10
		Q-1	Q-1	Q-1	Q-1	Q-1
Numero de proctor utilizado						
Diametro del molde	cm.	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24
Altura del molde	cm.	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64
Volumen del molde	cm <sup>3</sup> .	2123.85	2123.85	2123.85	2123.85	2123.85
Peso del molde	gr.	2787.00	2787.00	2787.00	2787.00	2787.00
Peso del molde + muestra compactada	gr.	6700.00	7200.00	7400.00	7150.00	6720.00
Peso de la muestra compactada	gr.	3913.00	4413.00	4613.00	4363.00	3933.00
Densidad Humeda	gr/cc	1.84	2.08	2.17	2.05	1.85
Densidad Seca	gr/cc	1.73	1.94	2.00	1.88	1.68

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD											
	UNIDAD	Q-1-A	Q-1-B	Q-1-A	Q-1-B	Q-1-A	Q-1-B	Q-1-A	Q-1-B	Q-1-A	Q-1-B
		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
Peso del Tarro	gr.	55.24	52.34	44.61	50.90	51.22	47.24	58.12	57.17	59.75	57.49
Peso del Tarro + Suelo Humedo	gr.	107.26	103.01	94.42	102.31	82.35	82.73	101.23	98.76	118.38	97.06
Peso del Tarro + Suelo Seco	gr.	104.01	99.75	91.10	98.72	79.90	80.05	97.45	95.36	113.45	93.15
Peso del Agua	gr.	3.25	3.26	3.32	3.59	2.45	2.68	3.78	3.40	4.93	3.91
Peso del Suelo Seco	gr.	48.77	47.41	46.49	47.82	28.68	32.81	39.33	38.19	53.70	35.66
Contenido de Humedad	%	6.66 %	6.88 %	7.14 %	7.51 %	8.54 %	8.17 %	9.61 %	8.90 %	9.18 %	10.96 %
Contenido de Humedad Promedio	%	6.77 %		7.32 %		8.36 %		9.26 %		10.07 %	



DENSIDAD SECA MÁXIMA =	2.00 Tn/m <sup>3</sup>
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO =	8.30 %

ING. Rosalio Echegaray Salazar  
CIP. 69594

PACHATUSAN CONTRATISTAS  
GENERALES S.C.R.L.  
Julio Nerio Pacheco C.  
Especialista en Mecánica de Suelos



# LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



## PACHATUSAN CONTRATISTAS GENERALES S.C.R.L.

TESIS: ANALISIS DE ENERGIA DE COMPACTACION EN CONFORMACION DE BASES PARA PAVIMENTO RIGIDO URBANO EN EL DISTRITO DE

CHALLHUAHUACHO- APURIMAC

PROCTOR MODIFICADO (RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD)

MTC E 115-2000, Basado en la Norma ASTM D-1557 y AASHTO T-180

TESIS: ANALISIS DE LA ENERGIA DE COMPACTACION EN CONFORMACION DE BASES ANALISIS DE ENERGIA DE COMPACTACION EN CONFORMACION DE BASES PARA PAVIMENTO RIGIDO URBANO EN EL DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO,

UBICACIÓN: DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO - PROVINCIA DE COTABAMBAS - REGION DE APURIMAC  
SOLICITADO POR: \*BACH. ALEJANDRO MOSCOSO MELO  
\*BACH. WALTER RAUL MARCOS CHUTA

FECHA: JULIO DEL 2021  
MUESTRA: CANTERA CARMEN ALTO

DATOS GENERALES	
NUMERO DE CAPAS =	5
GOLPES POR CAPA =	58
PESO DEL MARTILLO =	4.54 KG
ALTURA DE CADA DEL MARTILLO =	45.72

DETERMINACION DE LA DENSIDAD						
	UNIDAD	MUESTRA 16	MUESTRA 17	MUESTRA 18	MUESTRA 19	MUESTRA 20
Numero de proctor utilizado		S-1	S-1	S-1	S-1	S-1
Diametro del molde	cm.	15.72	15.72	15.72	15.72	15.72
Altura del molde	cm.	11.82	11.82	11.82	11.82	11.82
Volumen del molde	cm <sup>3</sup> .	2123.85	2123.85	2123.85	2123.85	2123.85
Peso del molde	gr.	6262.00	6262.00	6262.00	6262.00	6262.00
Peso del molde + muestra compactada	gr.	9598.00	10383.00	10912.00	11134.00	11107.00
Peso de muestra compactada	gr.	3336.00	4121.00	4650.00	4872.00	4845.00
Densidad Humeda	gr/cm <sup>3</sup>	1.57	1.94	2.19	2.29	2.28
Densidad Seca	gr/cm <sup>3</sup>	1.50	1.84	2.07	2.15	2.11

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD													
	UNIDAD	S-1-A		S-1-B		S-1-A		S-1-B		S-1-A		S-1-B	
		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO								
Peso del Tarro	gr.	17.36	15.98	21.00	18.00	21.80	21.17	21.08	20.80	23.02	21.55		
Peso del Tarro + Suelo Humedo	gr.	106.76	104.53	105.23	112.45	113.39	122.60	126.98	104.56	119.66	100.84		
Peso del Tarro + Suelo Seco	gr.	101.90	101.79	100.01	108.21	107.53	117.65	120.46	99.24	112.06	95.49		
Peso del Agua	gr.	4.86	2.74	5.22	4.24	5.86	4.95	6.52	5.32	7.60	5.35		
Peso del Suelo Seco	gr.	84.54	85.81	79.01	90.21	85.73	96.48	99.38	78.44	89.04	73.94		
Contenido de Humedad	%	5.75 %	3.19 %	6.61 %	4.70 %	6.84 %	5.13 %	6.56 %	6.78 %	8.54 %	7.24 %		
Contenido de Humedad Promedio	%	4.47 %		5.65 %		5.98 %		6.67 %		7.89 %			



ING. Rosalio Echeagaray Galazar  
CIP. 68594

PACHATUSAN CONTRATISTAS GENERALES S.C.R.L.  
Julio Nerio Pacheco C.  
Especialista en Mecánica de Suelos

**TESIS: ANALISIS DE ENERGIA DE COMPACTACION EN CONFORMACION DE BASES PARA PAVIMENTO RIGIDO URBANO EN EL DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO-APURIMAC.**  
**PROCTOR MODIFICADO (RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD)**  
 MTC E 115-2000, Basado en la Norma ASTM D-1557 y AASHTO T-180

**TESIS: ANALISIS DE LA ENERGIA DE COMPACTACION EN CONFORMACION DE BASES ANALISIS DE ENERGIA DE COMPACTACION EN CONFORMACION DE BASES PARA PAVIMENTO RIGIDO URBANO EN EL DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO.**

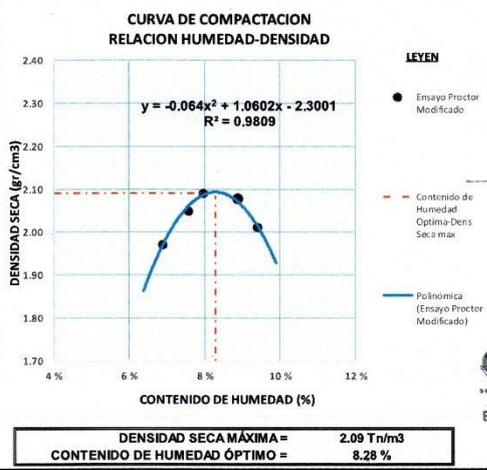
**UBICACIÓN:** DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO - PROVINCIA DE COTABAMBAS - REGION DE APURIMAC  
**SOLICITADO POR:** \*BACH. ALEJANDRO MOSCOSO MELO  
 \*BACH. WALTER RAUL MARCOS CHUTA

**FECHA:** JULIO DEL 2021  
**MUESTRA:** CANTERA CARMEN ALTO

DATOS GENERALES	
NUMERO DE CAPAS =	5
GOLPES POR CAPA =	59
PESO DEL MARTILLO =	4.54 KG
ALTURA DE CAIDA DEL MARTILLO =	45.72

DETERMINACION DE LA DENSIDAD						
	UNIDAD	MUESTRA 11	MUESTRA 12	MUESTRA 13	MUESTRA 14	MUESTRA 15
Numero de proctor utilizado		R-1	R-1	R-1	R-1	R-1
Diametro del molde	cm.	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24
Altura del molde	cm.	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64
Volumen del molde	cm <sup>3</sup> .	2123.85	2123.85	2123.85	2123.85	2123.85
Peso del molde	gr.	2778.00	2778.00	2778.00	2778.00	2778.00
Peso del molde + muestra compactada	gr.	7250.00	7460.00	7570.00	7580.00	7450.00
Peso del muestra compactada	gr.	4472.00	4682.00	4792.00	4802.00	4672.00
Densidad Humeda	gr/cm <sup>3</sup>	2.11	2.20	2.26	2.26	2.20
Densidad Seca	gr/cm <sup>3</sup>	1.97	2.05	2.09	2.08	2.01

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD											
	UNIDAD	R-1-A		R-1-B		R-1-A		R-1-B		R-1-A	
		ARRIBA	ABAJO								
Peso del Tarro	gr.	46.78	46.24	46.47	46.89	46.01	45.74	44.33	44.97	45.28	47.31
Peso del Tarro + Suelo Humedo	gr.	149.09	167.53	155.68	167.19	147.11	149.01	158.73	166.25	160.11	161.42
Peso del Tarro + Suelo Seco	gr.	142.93	159.22	147.93	158.80	139.53	141.55	149.33	156.46	150.54	151.33
Peso del Agua	gr.	6.16	8.31	7.75	8.39	7.58	7.46	9.40	9.79	9.57	10.09
Peso del Suelo Seco	gr.	96.15	112.96	101.46	111.91	93.52	95.81	105.00	111.49	105.26	104.02
Contenido de Humedad	%	6.41 %	7.36 %	7.64 %	7.50 %	8.11 %	7.79 %	8.95 %	8.78 %	9.09 %	9.70 %
Contenido de Humedad Promedio	%	6.88 %		7.57 %		7.95 %		8.87 %		9.40 %	



**ING. Rosalio Echegaray Salazar**  
 CIP. 69594

**PACHATUSAN CONTRATISTAS GENERALES S.C.R.L.**  
 Julio Nerio Pacheco C.  
 Especialista en Mecánica de Suelos



# LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

## PACHATUSAN CONTRATISTAS GENERALES S.C.R.L.



TESIS: ANÁLISIS DE ENERGÍA DE COMPACTACIÓN EN CONFORMACIÓN DE BASES PARA PAVIMENTO RÍGIDO URBANO EN EL DISTRITO DE CHALLHUACHO-APURIMAC.

### SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S.)

#### ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO MTC E-107 - ASTM D 422

TEMA: "ANÁLISIS DE ENERGÍA DE COMPACTACIÓN EN CONFORMACIÓN DE BASES PARA PAVIMENTO RÍGIDO URBANO EN EL DISTRITO DE CHALLHUACHO"

UBICACIÓN: APURIMAC, COTABAMBA- CHALLHUACHO

MUESTRA: M-01

SOLICITA: BACH ALEJANDRO MOSCOSO MELO

CANTERA: CANTERA CARMEN ALTO

BACH: WALTER RAUL MARCOS CHUTA

TIPO: Material de Préstamo (Base)

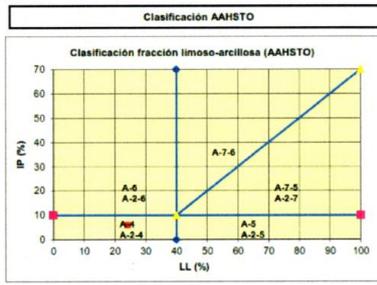
Tamiz N°	(mm)	Pasa (%)	Pasante (%)	Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Retenido Parcial (%)
4"	100	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00
3"	75	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00
2"	50	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00
1 1/2"	38.1	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00
1"	25.4	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	19	91.21	91.21	8.79	8.79	8.79
1/2"	12.7	81.41	81.41	18.59	9.80	9.80
3/8"	9.5	71.58	71.58	28.42	9.83	9.83
1/4"	6.35	59.79	59.79	40.21	11.79	11.79
4	4.75	53.01	53.01	46.99	6.78	6.78
10	2	38.63	38.63	61.37	14.38	14.38
20	0.85	28.84	28.84	71.16	9.79	9.79
40	0.425	21.69	21.69	78.31	7.15	7.15
60	0.25	17.71	17.71	82.29	3.98	3.98
100	0.15	14.85	14.85	85.15	2.86	2.86
200	0.075	11.45	11.45	88.55	3.40	3.40

Limite liquido LL	24	%
Limite plastico LP	18	%
Indice plasticidad IP	6	

Pasa tamiz N° 4 (5mm):	53.01 %
Pasa tamiz N° 200 (0.060 mm):	11.45 %
D <sub>60</sub> :	6.41 mm
D <sub>30</sub> :	0.99 mm
D <sub>10</sub> (diámetro efectivo):	mm
Coefficiente de uniformidad (Cu):	
Grado de curvatura (Cc):	

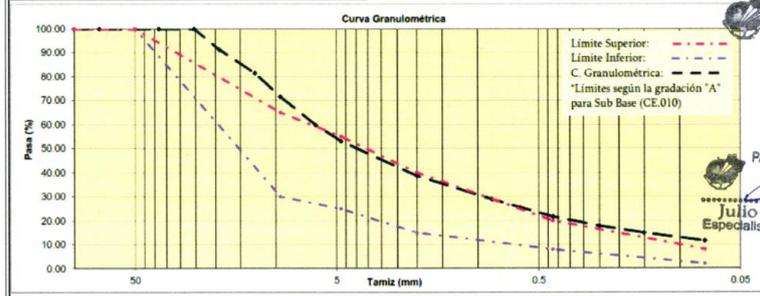
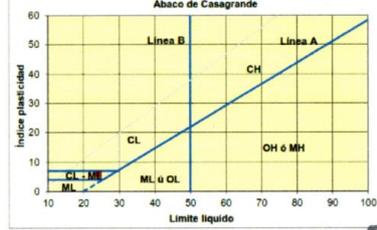
Gravas:	46.99 %
Arena:	38.16 %
Limo y Arcillas:	14.85 %
	100.00 %

SUELO DE GRUESO MEDIO	SUELO DE GRUESO FIN	SUELO DE GRUESO MUY FIN	SUELO DE GRUESO MUY MUY FIN	SUELO DE GRUESO MUY MUY MUY FIN	SUELO DE GRUESO MUY MUY MUY MUY FIN	SUELO DE GRUESO MUY MUY MUY MUY MUY FIN	SUELO DE GRUESO MUY MUY MUY MUY MUY MUY FIN	SUELO DE GRUESO MUY MUY MUY MUY MUY MUY MUY FIN
GW	GW	GW	GW	GW	GW	GW	GW	GW
GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM
GC	GC	GC	GC	GC	GC	GC	GC	GC
SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW
SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM
SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC
ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML
CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL
OL	OL	OL	OL	OL	OL	OL	OL	OL
MH	MH	MH	MH	MH	MH	MH	MH	MH
CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH
OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH
PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT



**Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.)**  
 Suelo de partículas gruesas (Nomenclatura con símbolo doble).  
**Grava mal graduada con arcilla y limo con arena GP GC**

**Materiales granular**  
 Excelente a bueno como subgrado  
**A-1-a Fragmentos de roca, grava y arena**  
 Valor del índice de grupo (IG): 0



Ing. Rosalío Echegaray Salazar  
 CIP: 69594

PACHATUSAN CONTRATISTAS GENERALES S.C.R.L.  
 Julio Nerio Pacheco C.  
 Especialista en Mecánica de Suelos



## LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

**PACHATUSAN CONTRATISTAS GENERALES S.C.R.L.**



TESIS: ANÁLISIS DE ENERGÍA DE COMPACTACIÓN EN CONFORMACIÓN DE BASES PARA PAVIMENTO RÍGIDO URBANO EN EL DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO-APURIMAC.

**DETERMINACION DE LOS LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTEBERG)**  
 LIMITE LIQUIDO (MTC E 110 - NTP 339.129), LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD (MTC E 111 - NTP 339.129)

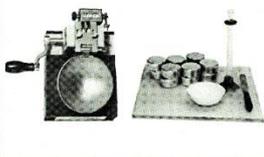
**TEMA** : ANALISIS DE ENERGÍA DE COMPACTACIÓN EN CONFORMACIÓN DE BASES PARA PAVIMENTO RÍGIDO URBANO EN EL DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, APURIMAC.

**UBICACIÓN** : APURIMAC- COTABAMBAS- CHALLHUAHUACHO. **CANTERA** : CANTERA CARMEN ALTO

**SOLICITA** : BACH. ALEJANDRO MOSCOSO MELO  
 BACH. WALTER RAUL MARCOS CHUTA **MUESTRA** : M-01

**FECHA** : JULIO DEL 2021. **TIPO** : Material de Préstamo (Base)

LIMITE LIQUIDO				
Muestra N°	1	2	3	4
Peso de la capsula	23.98	17.96	20.74	23.92
Peso capsula. + suelo humedo	37.18	40.32	39.27	40.5
Peso capsula + suelo seco	34.71	36.07	35.6	37.15
Numero de golpes	35	30	22	16
Peso suelo seco	10.73	18.11	14.86	13.23
Peso agua	2.47	4.25	3.67	3.35
% humedad	23.02%	23.47%	24.70%	25.32%



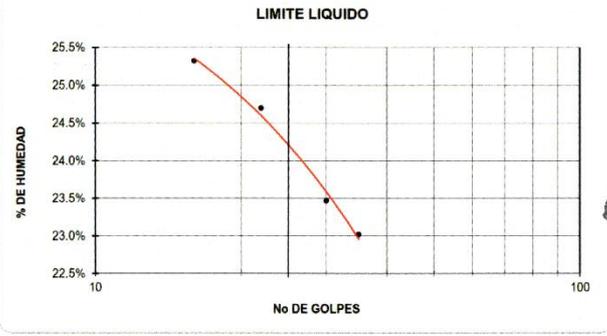
LIMITE PLASTICO				
Muestra	1	2	3	PROMEDIO
Peso de la capsula	14.49	14.84	14.18	
Peso capsula. + suelo humedo	20.71	20.05	20.73	
Peso capsula + suelo seco	19.73	19.26	19.72	
Peso suelo seco	5.24	4.42	5.54	
Peso agua	0.98	0.79	1.01	
% humedad	18.70%	17.87%	18.23%	18.27%

**RESULTADOS:**

**LIMITE LIQUIDO**

**LIMITE PLASTICO**

**INDICE PLASTICO**



**LIMITE LIQUIDO**

**OBSERVACIONES:** Material proporcionado por el solicitante.

  
 ING. Rosalio Echegaray Salazar  
 CIP. 69594

PACHATUSAN CONTRATISTAS  
 GENERALES S.C.R.L.  
 Julio Nerio Pacheco C.  
 Especialista en Mecánica de Suelos



**ABRASION LOS ANGELES (L.A.) AL DESGASTE DE LOS GREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37,5 mm (1 1/2")**  
**MTC E 207 - NTP 400.019**

**Objeto:** Determinar el porcentaje de desgaste de los agregados de tamaños menores a 1 1/2" (38mm) por medio de la máquina de los Angeles

**CANTERA CARMEN ALTO**

**TEMA :** ANALISIS DE ENERGÍA DE COMPACTACIÓN EN CONFORMACIÓN DE BASES PARA PAVIMENTO RÍGIDO URBANO EN EL DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, APURIMAC.

**SOLICITA :** BACH. ALEJANDRO MOSCOSO MELO  
 BACH. WALTER RAUL MARCOS CHUTA

**UBICACIÓN:** APURIMAC- COTABAMBA- CHALLHUAHUACHO.

**MUESTRA: M-1**  
**FECHA:** APURIMAC, JULIO DE 2021.

MATERIAL PARA SUB BASE		ESPECIFICACIONES:		TAMAÑO MAXIMO	
DATOS		Graduacion	N°esf.	PASA	RETENIDO
Pi = Peso inicial de la muestra	5001.54 gr	A	12	1 1/2"	1"
Pf= Peso final-muestra despues de pasada en malla N°12	3285.27 gr	B	11	3/4"	1/2"
Graduación	A	C	8	3/8"	1/4"
<b>Cálculo : % de Abrasión</b>		D	6	N° 4	N° 8
$\% \text{ Abrasion} = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} * 100$		N° de Revoluciones		500 rev.	
<b>Porcentaje de Abrasión = 34.31%</b>		Velocidad:		30rev / min	

**OBSERVACIONES:** Material proporcionado por el solicitante.

ING. Rosalio Echegaray Salazar  
 CIP. 69584

PACHATUSAN CONTRATISTAS  
 GENERALES S.C.R.L.  
 Julio Nerio Pacheco C.  
 Especialista en Mecánica de Suelos



PESO ESPECIFICO				
AASHTO T-84, T-85/ MTC E 113_206				
<b>PROYECTO</b>	: ANALISIS DE ENERGIA DE COMPACTACION EN CONFORMACION DE BASES PARA PAVIMENTO RIGIDO URBANO EN EL DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO-APURIMAC			
<b>UBICACION</b>	: APURIMAC- COTABAMBAS- CHALLHUAHUACHO.	<b>MUESTRA:</b>	M-01	
<b>SOLICITA</b>	: BACH. ALEJANDRO MOSCOSO MELO BACH. WALTER R. MARCOS CHUTA	<b>CANTERA:</b>	CANTERA CARMEN ALTO	
<b>FECHA</b>	: APURIMAC, JULIO DE 2021.	<b>TIPO:</b>	Material de Préstamo (Base)	
DATOS DE LA MUESTRA				
<b>AGREGADO</b>	: GRAVA DEL MATERIAL DE AFIRMADO			
GRAVA				
A	Peso Mat.Sat. Sup. Seca ( En Aire ) (gr)	778.29	762.73	
B	Peso Mat.Sat. Sup. Seca ( En Agua ) (gr)	474.60	468.47	
C	Vol. de masa + vol de vacios = A-B (gr)	303.69	294.26	
D	Peso material seco en estufa ( 105 °C )(gr)	759.39	745.45	
E	Vol. de masa = C- ( A - D ) (gr)	284.79	276.98	PROMEDIO
	Pe bulk ( Base seca ) = D/C	2.50	2.53	2.517
	Pe bulk ( Base saturada ) = A/C	2.56	2.59	2.577
	Pe Aparente ( Base Seca ) = D/E	2.67	2.69	2.679
	% de absorción = (( A - D ) / D * 100 )	2.49	2.32	2.40
<b>OBSERVACIONES:</b> Material proporcionado por el solicitante.				

ING. Rosalio Echegaray Salazar  
CIP. 69594

PACHATUSAN CONTRATISTAS  
GENERALES S.C.R.L.  
Julio Nerio Pacheco C.  
Especialista en Mecanica de Suelos

TESIS: ANALISIS DE ENERGIA DE COMPACTACION EN CONFORMACION DE BASES PARA PAVIMENTO RIGIDO URBANO EN EL DISTRITO DE

CHALLHUAHUACHO-APURIMAC.

**RELACION DE SOPORTE CALIFORNIA (CBR)**

MTC E 132-2000, Basado en la Norma ASTM D-1883 Y AASHTO T-193

**TESIS: ANALISIS DE LA ENERGIA DE COMPACTACION EN CONFORMACION DE BASES ANALISIS DE ENERGIA DE COMPACTACION EN CONFORMACION DE BASES PARA PAVIMENTO RIGIDO URBANO**

**UBICACIÓN:** DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO - PROVINCIA DE COTABAMBA - REGION DE APURIMAC  
**SOLICITADO POR:** \*BACH. ALEJANDRO MOSCOSO MELO  
 \*BACH. WALTER RAUL MARCOS CHUTA

**FECHA:** JULIO DEL 2021  
**MUESTRA:** CANTERA CARMEN ALTO

MOLDE N°	1	2	3
NUMERO DE CAPAS	5	5	5
N° DE GOLPES POR CAPA	55	25	12

DATOS DE COMPACTACION							
PESO DE LA MUESTRA HUM. + MOLDE	12033.1gr	11608.5gr	11213.4gr				
PESO MOLDE	7384.0gr	7384.0gr	7384.0gr				
PESO MUESTRA HUMEDA	4649.1gr	4224.5gr	3829.4gr				
CONSTANTE MOLDE (VOLUMEN)	2120.6gr	2120.6gr	2120.6gr				
DENSIDAD HUMEDAD	2.19gr/cm3	1.99gr/cm3	1.81gr/cm3				
DENSIDAD SECA	2.03gr/cm3	1.84gr/cm3	1.67gr/cm3				
CONTENIDO DE HUMEDAD		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
RECIPIENTE N°		1	2	3	4	5	6
PESO RECIPIENTE		50.71gr	51.21gr	50.35gr	50.51gr	51.34gr	51.79gr
PESO DE LA MUESTRA HUM. + RECIPIENTE		89.28gr	92.14gr	88.99gr	95.03gr	94.04gr	89.21gr
PESO DE LA MUESTRA SECA. + RECIPIENTE		86.34gr	89.02gr	86.05gr	91.63gr	90.78gr	86.36gr
PESO DE AGUA		2.94gr	3.12gr	2.94gr	3.40gr	3.26gr	2.85gr
PESO DE MUESTRA SECA		35.63gr	37.81gr	35.70gr	41.12gr	39.44gr	34.57gr
CONTENIDO DE HUMEDAD		8.25%	8.25%	8.24%	8.27%	8.27%	8.24%
CONTENIDO PROM. DE HUMEDAD		8.25%		8.25%		8.25%	

PORCENTAJE DE AGUA ABSORVIDA			
N° DE GOLPES POR CAPA	55	25	12
MOLDE N°	1	2	3
PESO DE MUESTRA HUMEDA+MOLDE DESPUES DE SATURACION	12282.2gr	12111.3gr	11973.4gr
PESO DE MUESTRA HUMEDA+MOLDE ANTES DE SATURACION	12033.1gr	11608.5gr	11213.4gr
PESO DE AGUA ABSORVIDA	249.1gr	502.8gr	760.0gr
PORCENTAJE DE AGUA ABSORVIDA	2.07%	4.33%	6.78%

DATOS DE ESPONJAMIENTO										
N° DE GOLPES POR CAPA		55			25			12		
MOLDE N°		1			2			3		
FECHA Y HORA	TIEMPO EN HORAS	ESPONJAMIENTO			ESPONJAMIENTO			ESPONJAMIENTO		
		DIAL	mm	%	DIAL	mm	%	DIAL	mm	%
03/06/2021	0	0.0	0	0.00%	0.0	0	0.00%	0.0	0	0.00%
04/06/2021	24	2.0	0.0508	0.04%	2.3	0.05842	0.05%	3.7	0.09398	0.08%
05/06/2021	48	3.0	0.0762	0.06%	3.3	0.08382	0.07%	4.7	0.12446	0.10%
06/06/2021	72	4.2	0.10668	0.09%	4.6	0.11684	0.10%	5.3	0.13462	0.11%
07/06/2021	96	5.1	0.12954	0.11%	5.7	0.14478	0.12%	10.1	0.25654	0.21%

DATOS DE ENSAYO DE PENETRACION										
1 kg=2.204622620000000 lb										
Area del Piston=3.00 Pulgadas Cuadradas										
PENETRACION EN PULGADAS	CARGAS TIPO lb/(pulg2) (psi)	56 GOLPES			25 GOLPES			12 GOLPES		
		MOLDE N°			MOLDE N°			MOLDE N°		
		CARGA DE ENSAYO	CBR/PAT	%	CARGA DE ENSAYO	CBR/PATR	%	CARGA DE ENSAYO	CBR/PATRON	%
0	0 Kg	0	0	0 Kg	0	0	0 Kg	0	0	
0.025	200.0 Kg	147		156.5 Kg	115		120.2 Kg	88		
0.050	361.1 Kg	265		292.2 Kg	215		228.8 Kg	168		
0.075	498.8 Kg	367		404.7 Kg	297		325.8 Kg	239		
0.100	1000	599.2 Kg	440	44.03%	503.9 Kg	370	37.03%	404.3 Kg	299	29.86%
0.200	1500	854.2 Kg	628	41.85%	736.0 Kg	541	36.06%	632.6 Kg	465	30.99%
0.300	1900	967.6 Kg	711	37.42%	841.3 Kg	618	32.54%	730.9 Kg	537	28.27%
0.400	2300	1025.1 Kg	753	32.75%	889.9 Kg	654	28.43%	776.7 Kg	571	24.82%
0.500	2600	1068.2 Kg	785	30.19%	910.8 Kg	669	25.74%	789.8 Kg	580	22.32%

Jr. Atahuallpa N° 405 – B Tahuantisuyo Telf. 084-776081 Cel. 984687599-984761906. Correo: pachatusan\_np@hotmail.com



# LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

## PACHATUSAN CONTRATISTAS GENERALES S.C.R.L.



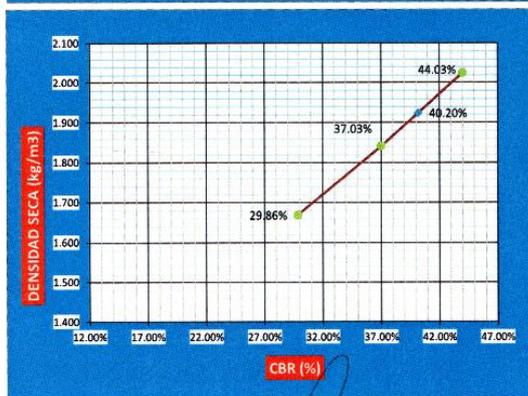
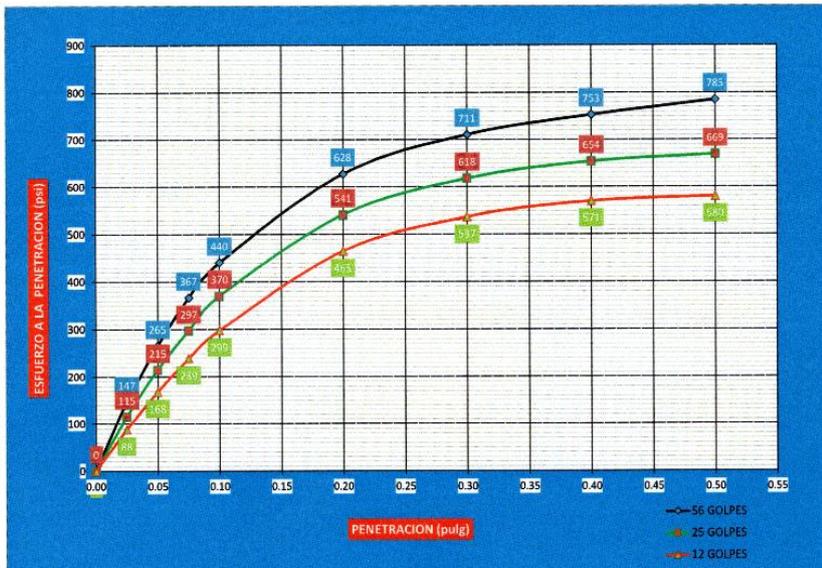
TESIS: ANALISIS DE ENERGÍA DE COMPACTACIÓN EN CONFORMACION DE BASES PARA PAVIMENTO RIGIDO URBANO EN EL DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO-APURIMAC.

### RELACION DE SOPORTE CALIFORNIA (CBR)

MTC E 132-2000, Basado en la Norma ASTM D-1883 Y AASHTO T-193

TESIS: ANALISIS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN EN CONFORMACION DE BASES ANALISIS DE ENERGÍA DE COMPACTACIÓN EN CONFORMACION DE BASES PARA PAVIMENTO RÍGIDO URBANO

**UBICACIÓN:** DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO - PROVINCIA DE COTABAMBAS - REGION DE APURIMAC  
**SOLICITADO POR:** \*BACH. ALEJANDRO MOSCOSO MELO  
 \*BACH. WALTER RAUL MARCOS CHUTA  
**FECHA:** JULIO DEL 2021  
**MUESTRA:** CANTERA CARMEN ALTO



#### RESULTADOS

	% EXPANSION	% ABSORCION
56 GOLFES	0.11%	2.07%
25 GOLFES	0.12%	4.33%
12 GOLFES	0.21%	6.78%

MAXIMA DENSIDAD SECA (kg/m3)	2.03gr
HUMEDAD OPTIMA (%)	8.25%
95% MDS (kg/m3)	1.92gr

CBR AL 100% DE MDS=	44.03%	OK
CBR AL 95% DE MDS=	40.20%	

Por lo tanto el CBR de diseño sera:

CBR= 40.20%

ING. Rosalio Echegaray Salazar  
 CIP. 69594

PACHATUSAN CONTRATISTAS  
 GENERALES S.C.R.L.  
 Julio Nerio Pacheco C.  
 Especialista en Mecánica de Suelos



**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**PCHATUSAN CONTRATISTAS GENERALES S.C.R.L.**

TESIS: ANÁLISIS DE ENERGÍA DE COMPACTACIÓN EN CONFORMACIÓN DE BASES PARA PAVIMENTO RÍGIDO URBANO EN EL DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO-APURIMAC.

**CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL**

MTC E 108-2000, Basado en la Norma ASTM D-2216

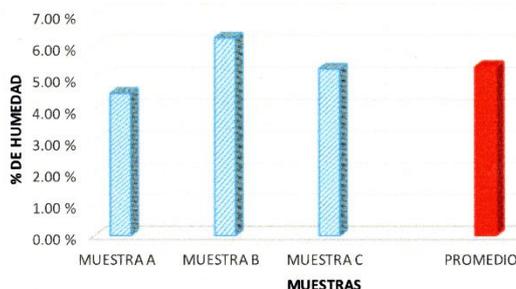
**TESIS: ANÁLISIS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACION EN CONFORMACION DE BASES ANÁLISIS DE ENERGÍA DE COMPACTACIÓN EN CONFORMACIÓN DE BASES PARA PAVIMENTO RÍGIDO URBANO**

**UBICACIÓN:** DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO - PROVINCIA DE COTABAMBAS - REGION DE APURIMAC  
**SOLICITADO POR:** \*BACH. ALEJANDRO MOSCOSO MELO  
\*BACH. WALTER RAUL MARCOS CHUTA

**FECHA:** JULIO DEL 2021  
**MUESTRA:** CANTERA CARMEN ALTO

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA A	MUESTRAB	MUESTRA C
Peso de la cápsula	gr.	22.40	22.00	22.20
Peso de la cápsula + Muestra húmeda	gr.	185.89	153.56	169.73
Peso de la cápsula + Muestra Seca	gr.	178.88	145.86	162.37
Peso del Agua	gr.	7.01	7.70	7.36
Peso del Muestra Seca	gr.	156.48	123.86	140.17
Contenido de Humedad	gr.	4.48 %	6.22 %	5.25 %

**CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL**



ING. Rosalio Echeagaray Salazar  
CIP. 68594

PCHATUSAN CONTRATISTAS GENERALES S.C.R.L.  
Julio Nerio Pacheco C.  
Especialista en Mecánica de Suelos

**CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 5.32 %**

Jr. Atahuallpa N° 405 – B Tahuantisuyo Telf. 084-776081 Cel. 984687599-984761906. Correo: pachatusan\_np@hotmail.com

## **ANEXO 5.**

### **Fichas Técnicas de Equipos Empleados.**



# Compactador Vibratorio de Suelos de Tambor Liso Cat® CS56B

El Cat® CS56B cuenta con un tambor liso y se adapta perfectamente a aplicaciones de suelos granulares o de suelos cohesivos con el uso de un kit de revestimiento de pisones opcional.

### Puesto del operador cómodo y ergonómico

- Cuenta con asiento giratorio con pantalla LCD multifuncional y consola de control integradas.
- Excelente visibilidad de la parte delantera y de la parte trasera de la máquina.
- Bajos niveles de ruido y vibración para mayor comodidad del operador y su productividad.

### Cámara de visión trasera

- La cámara de visión trasera mejora la visibilidad para proporcionar al operador un control total y una mayor seguridad.

### Sistema de propulsión excepcional

- Fabricado con el exclusivo sistema de propulsión de bomba doble Cat; las dos bombas proporcionan un flujo exclusivo hacia el motor de mando del tambor y hacia el motor del eje trasero para tener un rendimiento en pendientes y tracción excepcionales en avance y retroceso.
- Control electrónico de propulsión que permite obtener un control más preciso de la máquina.

### Prácticamente no requiere mantenimiento

- Cojinetes del enganche sin mantenimiento.
- Intervalos prolongados de mantenimiento del sistema vibratorio y del sistema hidráulico, lo que proporciona mayor tiempo de disponibilidad y menores costos de mantenimiento.

### Rendimiento de compactación mejorado

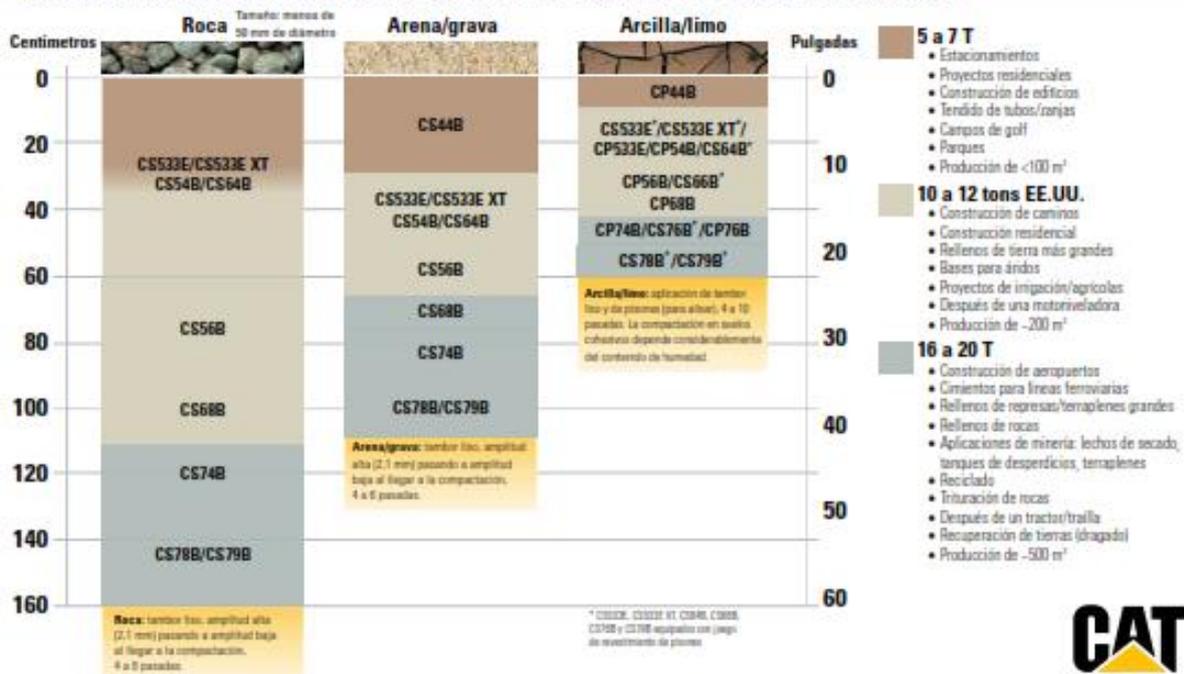
- Más peso en el tambor y mayor amplitud.
- Las funciones de control de velocidad automatizada y del sistema vibratorio permiten garantizar operaciones de compactación de calidad alta y uniforme de forma sencilla.

### Tecnologías que aumentan la calidad y la productividad

- La tecnología Command for Compaction, semiautónoma y exclusiva, automatiza la compactación para ofrecer un completo control del proceso e impulsar resultados más uniformes.
- Unas tecnologías de medición y documentación ayudan al operador a determinar cuándo se ha finalizado la compactación según las especificaciones para aumentar la productividad y ofrecer una calidad de compactación uniforme.
- Exclusivas tecnologías de medición de potencia de tracción de la máquina (MDP, Machine Drive Power) y basadas en acelerómetros (CMV) disponibles.

## GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE COMPACTADOR VIBRATORIO DE SUELOS

Se considera que la especificación de densidad es el 95 % del ensayo Proctor estándar y puede variar sustancialmente según las condiciones del suelo.



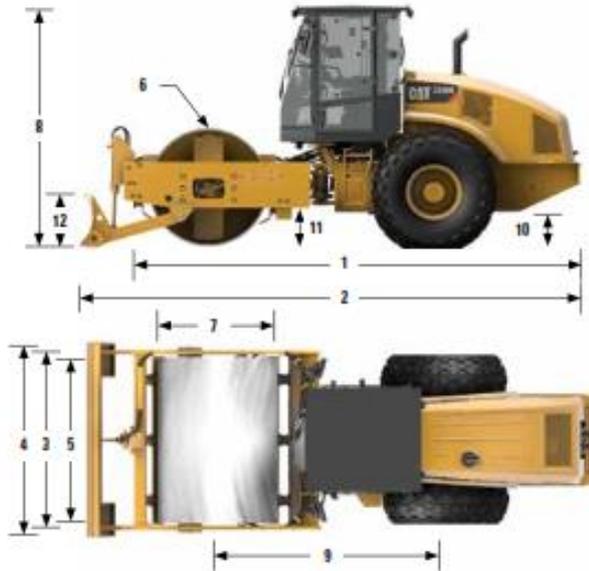
## Compactador Vibratorio de Suelos de Tambor Liso Cat® CS56B

### Especificaciones técnicas

Motor: tren de fuerza		Especificaciones del sistema vibratorio	
Modelo de motor	C4.4 Cat	Frecuencia	
Emisiones globales	Tier 4 Final de la EPA de EE. UU. fase IV de la UE	Estándar	30,5 Hz 1830 vpm
Potencia bruta ISO 14396	117,0 kW 156,9 hp	Durante la operación en modalidad ECO	27,7 Hz 1664 vpm
Potencia bruta SAE J1995	118,6 kW 159,0 hp	Frecuencia variable optativa	23,3 a 30,5 Hz 1400-1830 vpm
Potencia neta - ISO 9249*	98,1 kW 131,6 hp	Amplitud nominal a 30,5 Hz (1830 vpm)	
Potencia neta - SAE J1349*	96,9 kW 129,9 hp	Alta	2,1 mm
Cilindrada	4,4 l	Baja	0,98 mm
Carrera	127 mm	Fuerza centrífuga a 30,5 Hz (1830 vpm)	
Calibre	105 mm	Máxima	301 kN
Velocidad máx. de desplazamiento (de avance o de retroceso)	11,4 km/h	Mínima	141 kN
		Carga lineal estática	
		con techo ROPS/FOPS	29,3 kg/cm
		con cabina ROPS/FOPS	29,8 kg/cm
Pesos		Capacidades de llenado de servicio	
Peso en orden de trabajo con techo ROPS/FOPS	11 290 kg	Depósito de combustible, capacidad total	242 l
con kit de revestimiento de pisonos	12 700 kg	Capacidad de llenado de combustible de escape diésel	19 l
con hoja niveladora	11 915 kg	Sistema de enfriamiento	27,8 l
con kit de revestimiento de pisonos y hoja niveladora	13 325 kg	Aceite del motor con filtro	11,6 l
Peso en orden de trabajo con cabina ROPS/FOPS	11 500 kg	Cajas de las pesas excéntricas (combinadas)	26 l
con kit de revestimiento de pisonos	12 900 kg	Eje y mandos finales	18 l
con hoja niveladora	12 115 kg	Depósito hidráulico (llenado de servicio)	50 l
con kit de revestimiento de pisonos y hoja niveladora	13 525 kg		
Peso en el tambor con techo ROPS/FOPS	6255 kg		
con kit de revestimiento de pisonos	7660 kg		
con hoja niveladora	7145 kg		
con kit de revestimiento de pisonos y hoja niveladora	8550 kg		
Peso en el tambor con cabina ROPS/FOPS	6350 kg		
con kit de revestimiento de pisonos	7755 kg		
con hoja niveladora	7240 kg		
con kit de revestimiento de pisonos y hoja niveladora	8645 kg		

\* La potencia neta indicada es la potencia disponible en el volante del motor cuando está equipado con un ventilador que gira a máxima velocidad, un filtro de aire, un módulo de emisiones limpias y un alternador.

## Compactador Vibratorio de Suelos de Tambor Liso Cat® CS56B



### Dimensiones

1	Longitud total	5,86 m
2	Longitud total con hoja niveladora opcional	6,4 m
3	Ancho total	2,30 m
4	Anchura total con hoja niveladora opcional	2,5 m
5	Ancho del tambor	2.134 mm
6	Grosor del revestimiento del tambor	30 mm
7	Diámetro del tambor	1534 mm
8	Altura total	3,11 m
9	Distancia entre ejes	2,9 m
10	Altura libre sobre el suelo	442 mm
11	Espacio libre sobre el bordillo	494 mm
12	Altura de la hoja de nivelación opcional	688 mm
	Radio de giro interior	3,68 m
	Ángulo de articulación de enganche	34°
	Ángulo de oscilación de enganche	15°

### Especificaciones del kit de revestimiento de pisones opcional

Número de pisones	120
Altura del pisón, pisones ovalados	90 mm
Área de la superficie del pisón, pisones ovalados	63,5 cm <sup>2</sup>
Altura del pisón, pisones cuadrados opcionales	90 mm
Área del pisón, pisones cuadrados opcionales	123 cm <sup>2</sup>
Número de pisones por fila	16

## Compactador Vibratorio de Suelos de Tambor Liso Cat® CS56B

### Equipo estándar y opcional

Los equipos estándar y optativo pueden variar. Consulte a su distribuidor Cat para obtener más información.

	Estándar	Opcional		Estándar	Opcional
<b>ENTORNO DEL OPERADOR</b>			<b>TREN DE FUERZA</b>		
Techo ROPS/FOPS con pasamanos/barandas, alfombrilla	✓		Motor Diésel Cat C4.4	✓	
Asiento giratorio ajustable de vinilo con consola y pantalla LCD integradas	✓		Filtro de aire, elemento doble	✓	
Columna de dirección basculante y ajustable con sujetavaso integrados	✓		Interruptor del acelerador de tres velocidades, modo Eco y control de velocidad automático	✓	
Cámara de visión trasera con pantalla táctil en color	✓		Dos bombas de propulsión; una para la tracción del tambor, otra para el eje trasero	✓	
Cinturón de seguridad	✓		Filtro de combustible, separador de agua, bomba de cebado, indicador de agua	✓	
Tomacorriente de 12 voltios	✓		Radiador basculante/enfriador de aceite hidráulico	✓	
Bocina, alarma de retroceso	✓		Sistema de frenos doble	✓	
Cabina ROPS/FOPS con climatizador, asiento de tela		✓	Transmisión hidrostática de dos velocidades	✓	
Espejo retrovisor interno		✓	Protección de la transmisión		✓
Espejos retrovisores externos		✓	<b>SOLUCIONES DE TECNOLOGÍA</b>		
Parasol		✓	Medición: potencia de tracción de la máquina o CMV		✓
Cortina parasol enrollable interna para la cabina		✓	Mapa: mapeo SBAS (Satellite Based Augmentation System, Sistema de aumentación basado en satélites) GNSS (Global Navigation Satellite System, Sistema satelital de navegación global)		✓
<b>SISTEMA VIBRATORIO</b>			Connect - Conectividad con la máquina y la nube		✓
Tambor liso	✓		Command for Compaction		✓
Amplitud doble, una sola frecuencia	✓		<b>SISTEMA ELÉCTRICO</b>		
Cajas del contrapeso excéntrico encapsulado doble	✓		Sistema eléctrico de 24 voltios	✓	
Función de vibración automática	✓		Alternador de 100 amperios	✓	
Rascador delantero de acero ajustable	✓		Capacidad de la batería de 750 amperios para arranque en frío	✓	
Kit de revestimiento de pisonos (ovalados o cuadrados disponibles)		✓	<b>OTRO</b>		
Hoja niveladora		✓	Product Link™	✓	
Frecuencia variable		✓	Mirillas para el nivel de aceite hidráulico y nivel de refrigerante del radiador	✓	
Trailllas de acero dobles ajustables		✓	Válvulas de muestreo S-O-S™; aceite del motor, aceite hidráulico y refrigerante	✓	
Trailllas de poliuretano dobles ajustables		✓	Paquete de luces halógenas mejoradas		✓
			Baliza giratoria ámbar		✓
			Puerta de acceso de llenado de combustible		✓
			Homologación para circulación por carretera en Italia (IRH)		✓

Si desea más información sobre los productos Cat, los servicios de nuestros distribuidores o sobre cómo solucionar sus problemas profesionales, visite nuestra página web, [www.cat.com](http://www.cat.com).

© 2020 Caterpillar. Reservados todos los derechos.

Materiales y especificaciones sujetos a cambios sin previo aviso. Las máquinas que se muestran en este catálogo pueden incluir equipos opcionales. Consulte a su distribuidor Cat para conocer las opciones disponibles.

CAT, CATERPILLAR, LET'S DO THE WORK, sus respectivos logotipos, el color "Caterpillar Corporate Yellow", la imagen comercial de "Power Edge" y de Cat "Modern Mix", así como la identidad corporativa y de producto utilizada en el presente documento, son marcas registradas de Caterpillar y no pueden utilizarse sin autorización.

VisionLink es una marca registrada de Trimble Navigation Limited, registrada en Estados Unidos y en otros países.

QSH91558-04 (04-2020)  
(Traducción: 05-2020)



# MASALTA

## Apisonadora 5.5HP HONDA EMR70H



### MASALTA Apisonadora 5.5HP HONDA EMR70H

Una de las características de esta apisonadora es su bajo coste de mantenimiento y su confiable durabilidad. Es sin lugar a dudas el apisonador más económico del mercado sin dejar de lado la calidad.

Diseñado especialmente para suelos cohesivos, pues la compactación la realiza por impacto, pero también puede ser usado en arena y gravilla. Su diseño compacto le permite trabajar en áreas confinadas.

Cuenta con un poderoso motor Japonés HONDA.

#### Especificaciones técnicas:

<b>PESO OPERACION</b>	70Kg.
<b>FUERZA DE IMPACTO</b>	1500Kg.
<b>TASA DE IMPACTO</b>	640-680GPM
<b>VIBRACION DE SALTO</b>	50-80MM
<b>CAP. TANQUE DE COMB.</b>	2.8L
<b>DIMENSIONES DE ZAPATA</b>	13"X11"

#### MOTOR

<b>MARCA</b>	HONDA
<b>MODELO</b>	GX160
<b>POTENCIA</b>	5.5HP
<b>COMB.</b>	GASOLINA 90
<b>ARRANQUE</b>	RETRACTIL