

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Análisis de la implementación de muestras compactadas por vibración y su efecto en las propiedades mecánicas de la mezcla evaluada con el método Marshall, Huancayo 2020**

Mirella Mishell Salazar Sánchez

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Civil

Huancayo, 2020

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



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

**ASESOR**

Ing. Roberto Carlos Castillo Velarde

## **AGRADECIMIENTO**

De manera especial a los ingenieros de la Universidad Continental, quienes me dieron cátedra ejemplar de sus conocimientos, habilidades y competencias que sirvieron de peldaños firmes en mi formación profesional. Resalto el apoyo inconmensurable de mi asesor, el Ing. Roberto Carlos Castillo Velarde, por su disponibilidad de tiempo y orientación oportuna.

A mis compañeros de estudios, quienes en el transcurso de mi vida universitaria se convirtieron en amigos con los que compartí experiencias académicas gratificantes y momentos significativos que llevo impregnados en la memoria de mis pasos por la carrera de ingeniería civil.

Transitar por un sendero competitivo no es un proceso sencillo, pero las palabras oportunas, las manos amigas, las muestras de afecto y autoridad de mis seres amados me impulsaron a lograr culminar con éxito la carrera profesional que por vocación elegí. Por todo lo descrito, doy gracias a mi familia que siempre estuvo presta a alzar mis ideales sobre sus hombros para que pudiera ver más lejos y gracias a ellos veo el mundo.

En fin, gracias a todas las personas que contribuyeron en la planificación, desarrollo e informe de esta investigación.

## **DEDICATORIA**

A Dios, por la vida y su guía en mi día a día. A mis padres, que con su amor incondicional me apoyan en todo momento. A mi hermana, que entre risas motiva mis pasos y mitiga el cansancio de un día complicado. A mis tíos, por incentivar el logro de mis objetivos. A toda mi familia, por su inagotable apoyo.

## ÍNDICE

PORTADA .....	i
ASESOR.....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
ÍNDICE .....	v
LISTA DE TABLAS .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	x
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	xv
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	17
1.1.    PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	17
1.2.    FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	19
1.2.1.    PROBLEMA GENERAL .....	19
1.2.2.    PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	20
1.3.    OBJETIVO GENERAL .....	20
1.3.1.    OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	20
1.4.    JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA .....	20
1.4.1.    JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA .....	20
1.4.2.    JUSTIFICACIÓN TEÓRICA .....	21
1.4.3.    JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA .....	21
1.5.    DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
1.5.1.    DELIMITACIÓN ESPACIAL .....	22
1.5.2.    DELIMITACIÓN TEMPORAL .....	22
1.5.3.    DELIMITACIÓN CONCEPTUAL .....	22
1.6.    HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES.....	22
1.6.1.    HIPÓTESIS GENERAL.....	22
1.6.2.    HIPÓTESIS ESPECÍFICAS .....	23

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	24
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	24
2.1.1. ANTECEDENTES NACIONALES .....	24
2.1.2. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	28
2.2. BASES TEÓRICAS.....	32
2.2.1. MEZCLA ASFÁLTICA .....	32
2.2.2. MÉTODO MARSHALL DE DISEÑO DE MEZCLAS .....	35
2.2.2.1. MTC E 504 – Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall .....	36
2.2.3. COMPACTACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CAMPO .....	37
2.2.3.1 Tipos de Compactación.....	37
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	39
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	40
3.1. MÉTODOS Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN .....	40
3.1.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	40
3.1.2. NIVEL .....	40
3.1.3. TIPO .....	41
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	41
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	41
3.3.1. POBLACIÓN .....	41
3.3.2. MUESTRA .....	42
3.3.3. MUESTREO.....	42
3.4. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	42
3.5. INSTRUMENTO DE ANÁLISIS DE DATOS .....	42
3.6. VARIABLES .....	43
3.6.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	43
3.6.2. VARIABLE DEPENDIENTE .....	43
3.7. OPERACIONALIZACIÓN.....	44

CAPÍTULO IV RESULTADOS.....	45
4.1. DESCRIPCIÓN DE LA FORMA EFICAZ DE COMPACTACIÓN.....	45
4.1.1. ESPECIFICACIONES MÁQUINAS COMPACTADORAS.....	46
4.2. ESTUDIOS PREVIOS.....	48
4.2.1. ESTUDIOS DE CAMPO.....	48
4.2.2. ESTUDIOS DE LABORATORIO.....	50
4.3. RESULTADOS DEL ESTUDIO.....	61
4.3.1. OE 1 – ESTABILIDAD Y FLUJO, GRADO DE COMPACTACIÓN.....	75
4.3.2. OE 2 – VACÍOS DE AIRE POR GRADO DE COMPACTACIÓN.....	95
4.3.3. OE 3 – PESO UNITARIO POR GRADO DE COMPACTACIÓN.....	113
4.3.4. OE G – PROPIEDADES EN GRADO DE COMPACTACIÓN.....	119
4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	123
4.4.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	130
CONCLUSIONES.....	159
RECOMENDACIONES.....	161
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	163
ANEXOS.....	166
ANEXO 1. PANEL FOTOGRÁFICO.....	167
ANEXO 2. CERTIFICADOS DE ENSAYOS.....	181
ANEXO 3. MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	197



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de la variable .....	44
Tabla 2: Especificaciones técnicas básicas de rodillo compactador liso .....	46
Tabla 3: Especificaciones técnicas básicas de rodillo compactador vibratorio.....	47
Tabla 4: Análisis granulométrico por tamizado de la piedra de ½” .....	51
Tabla 5: Análisis granulométrico por tamizado de la arena procesada .....	53
Tabla 6: Análisis granulométrico por tamizado de la arena zarandeada .....	55
Tabla 7: Mezcla teórica de agregados para MAC - 02.....	57
Tabla 8: Especificaciones técnicas de mezcla para MAC - 02.....	58
Tabla 9: Combinación de agregados para elaboración de briquetas OCA.....	60
Tabla 10: Descripción de muestras elaboradas a un 4.00% de ligante asfáltico .....	62
Tabla 11: Descripción de muestras elaboradas a un 4.50% de ligante asfáltico .....	63
Tabla 12: Descripción de muestras elaboradas a un 5.00% de ligante asfáltico .....	64
Tabla 13: Descripción de muestras elaboradas a un 5.50% de ligante asfáltico .....	65
Tabla 14: Descripción de muestras elaboradas a un 6.00% de ligante asfáltico .....	66
Tabla 15: Descripción de muestras elaboradas a un 6.50% de ligante asfáltico .....	68
Tabla 16: Cuadro resumen de las propiedades mecánicas para el OCA.....	75
Tabla 17: Cuadro resultados del compactador liso con 1 pasada.....	75
Tabla 18: Cuadro resultados del compactador liso con 2 pasadas .....	77
Tabla 19: Cuadro resultados del compactador liso con 3 pasadas .....	78
Tabla 20: Cuadro resultados del compactador liso con 4 pasadas .....	79
Tabla 21: Cuadro resultados del compactador vibratorio con 1 pasada.....	85
Tabla 22: Cuadro resultados del compactador vibratorio con 2 pasadas.....	87
Tabla 23: Cuadro resultados del compactador vibratorio con 3 pasadas.....	88
Tabla 24: Cuadro resultados del compactador vibratorio con 4 pasadas.....	89
Tabla 25: Cuadro descriptivo de rodillo vibratorio para 2 cm de espesor.....	132

Tabla 26: Prueba de normalidad de rodillo vibratorio para 2 cm de espesor .....	134
Tabla 27: Prueba de correlación de rodillo vibratorio para 2 cm de espesor.....	134
Tabla 28: Cuadro descriptivo de rodillo vibratorio para 4 cm de espesor.....	136
Tabla 29: Prueba de normalidad de rodillo vibratorio para 4 cm de espesor .....	138
Tabla 30: Prueba de correlación de rodillo vibratorio para 4 cm de espesor.....	139
Tabla 31: Cuadro descriptivo de rodillo vibratorio para 6 cm de espesor.....	141
Tabla 32: Prueba de normalidad de rodillo vibratorio para 6 cm de espesor .....	143
Tabla 33: Prueba de correlación de rodillo vibratorio para 6 cm de espesor.....	143
Tabla 34: Cuadro descriptivo de rodillo liso para 2 cm de espesor .....	145
Tabla 35: Prueba de normalidad de rodillo liso para 2 cm de espesor.....	147
Tabla 36: Prueba de correlación de rodillo liso para 2 cm de espesor .....	148
Tabla 37: Cuadro descriptivo de rodillo liso para 4 cm de espesor .....	149
Tabla 38: Prueba de normalidad de rodillo liso para 4 cm de espesor.....	152
Tabla 36: Prueba de correlación de rodillo liso para 4 cm de espesor .....	152
Tabla 40: Cuadro descriptivo de rodillo liso para 6 cm de espesor .....	154
Tabla 41: Prueba de normalidad de rodillo liso para 6 cm de espesor.....	156
Tabla 42: Prueba de correlación de rodillo liso para 6 cm de espesor .....	157

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Trabajos para la constitución de la carpeta asfáltica en Huancayo.....	19
Figura 2: Problemas de fisuras y piel de cocodrilo en la Calle Real - Huancayo.....	19
Figura 3: Martillo de Compactación .....	36
Figura 4: Compactación estática con rodillo de neumáticos .....	38
Figura 5: Compactación por vibración con rodillos tándem.....	38
Figura 6: Flujograma de recolección de datos .....	43
Figura 7: Disposición de tramos de prueba para distintos niveles de compactación....	49
Figura 8: Curva granulométrica por tamizado de piedra ½” .....	52
Figura 9: Curva granulométrica por tamizado de arena procesada .....	54
Figura 10: Curva granulométrica por tamizado de arena natural .....	56
Figura 11: Curva granulométrica de combinación de agregados por MAC - 02.....	59
Figura 12: Análisis gráfico de la Estabilidad (kg) a distintos porcentajes de asfalto .....	69
Figura 13: Análisis gráfico del Flujo (mm) a distintos porcentajes de asfalto .....	70
Figura 14: Análisis gráfico de Vacíos (%) a distintos porcentajes de asfalto.....	71
Figura 15: Análisis gráfico de VMA (%) a distintos porcentajes de asfalto.....	72
Figura 16: Análisis gráfico de VLLA (%) a distintos porcentajes de asfalto .....	73
Figura 17: Análisis del Peso Unitario (gr/cm <sup>3</sup> ) a distintos porcentajes de asfalto .....	74
Figura 18: Análisis de la estabilidad (kg) a distinto grado de compactación – 2 cm.....	80
Figura 19: Análisis del flujo (mm) a distintos grados de compactación – 2 cm.....	81
Figura 20: Análisis de la estabilidad (kg) a distinto grado de compactación – 4 cm.....	82
Figura 21: Análisis del flujo (mm) a distintos grados de compactación – 4 cm.....	83
Figura 22: Análisis de la estabilidad (kg) a distinto grado de compactación – 6 cm.....	84
Figura 23: Análisis del flujo (mm) a distintos grados de compactación – 4 cm.....	85
Figura 24: Análisis de estabilidad (kg) con rodillo compactador vibratorio – 2 cm .....	90
Figura 25: Análisis del flujo (mm) con rodillo compactador vibratorio – 2 cm.....	91

Figura 26: Análisis de estabilidad (kg) con rodillo compactador vibratorio – 4 cm .....	92
Figura 27: Análisis del flujo (mm) con rodillo compactador vibratorio – 4 cm.....	93
Figura 28: Análisis de estabilidad (kg) con rodillo compactador vibratorio – 6 cm .....	94
Figura 29: Análisis del flujo (mm) con rodillo compactador vibratorio – 6 cm.....	95
Figura 30: Análisis de vacíos (%) con rodillo compactador liso a 2 cm de espesor.....	96
Figura 31: Análisis de VMA (%) con rodillo compactador liso a 2 cm de espesor .....	97
Figura 32: Análisis de VMA (%) con rodillo compactador liso a 2 cm de espesor .....	98
Figura 33: Análisis de vacíos (%) con rodillo compactador liso a 4 cm de espesor.....	99
Figura 34: Análisis de VMA (%) con rodillo compactador liso a 4 cm de espesor .....	100
Figura 35: Análisis de VMA (%) con rodillo compactador liso a 4 cm de espesor .....	101
Figura 36: Análisis de vacíos (%) con rodillo compactador liso a 6 cm de espesor....	102
Figura 37: Análisis de VMA (%) con rodillo compactador liso a 6 cm de espesor .....	103
Figura 38: Análisis de VMA (%) con rodillo compactador liso a 6 cm de espesor .....	104
Figura 39: Análisis de vacíos (%) con rodillo compactador vibratorio a 2 cm.....	105
Figura 40: Análisis de VMA (%) con rodillo compactador vibratorio a 2 cm .....	106
Figura 41: Análisis de VMA (%) con rodillo compactador vibratorio a 2 cm .....	107
Figura 42: Análisis de vacíos (%) con rodillo compactador vibratorio a 4 cm.....	108
Figura 43: Análisis de VMA (%) con rodillo compactador vibratorio a 4 cm .....	109
Figura 44: Análisis de VMA (%) con rodillo compactador vibratorio a 4 cm .....	110
Figura 45: Análisis de vacíos (%) con rodillo compactador vibratorio a 6 cm.....	111
Figura 46: Análisis de VMA (%) con rodillo compactador vibratorio a 6 cm .....	112
Figura 47: Análisis de VMA (%) con rodillo compactador vibratorio a 6 cm .....	113
Figura 48: Análisis del peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> ) con rodillo compactador liso a 2 cm ....	114
Figura 49: Análisis del peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> ) con rodillo compactador liso a 4 cm ....	115
Figura 50: Análisis del peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> ) con rodillo compactador liso a 6 cm ....	116
Figura 51: Análisis peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> ) con rodillo compactador vibratorio a 2 cm.	117
Figura 52: Análisis peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> ) con rodillo compactador vibratorio a 4 cm.	118

Figura 53: Análisis peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> ) con rodillo compactador vibratorio a 6 cm.	119
Figura 54: Porcentaje de compactación por número de pasadas del rodillo liso.....	120
Figura 55: Porcentaje compactación por número de pasadas del rodillo vibratorio ...	121
Figura 56: Resumen general del porcentaje compactación por número de pasadas.	122
Figura 57: Resumen general de la estabilidad (kg) por número de pasadas .....	124
Figura 58: Resumen general del flujo (mm) por número de pasadas .....	125
Figura 59: Resumen general del porcentaje de vacíos (%) por número de pasadas .	126
Figura 60: Resumen general del VMA (%) por número de pasadas .....	127
Figura 61: Resumen general del VLLA (%) por número de pasadas .....	128
Figura 62: Resumen general del peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> ) por número de pasadas.....	129
Figura 63: Diagrama de flujo del análisis estadístico .....	130
Figura 64: Cuadro de dispersión del rodillo vibratorio para 2 cm de espesor.....	135
Figura 65: Cuadro de dispersión del rodillo vibratorio para 4 cm de espesor.....	140
Figura 66: Cuadro de dispersión del rodillo vibratorio para 6 cm de espesor.....	144
Figura 67: Cuadro de dispersión del rodillo liso para 2 cm de espesor .....	149
Figura 68: Cuadro de dispersión del rodillo liso para 4 cm de espesor .....	153
Figura 69: Cuadro de dispersión del rodillo liso para 6 cm de espesor .....	158

## RESUMEN

La capacidad de simular el proceso de compactación de carreteras asfaltadas permite estimar en qué condiciones se puede utilizar una mezcla particular. Además, proporciona una indicación de qué rodillos compactadores son adecuados para mezclas específicas y cómo se debe gestionar el proceso de laminación para alcanzar el nivel de compactación deseado en condiciones climáticas adversas propias del lugar donde se desempeña. Por ello, en la presente investigación, se tiene por objetivo principal determinar en qué medida existe correlación de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente de acuerdo al grado de compactación obtenido.

Para llegar al objetivo planteado, se ha organizado una serie de pruebas técnicas viales en campo y en laboratorio para estimar la magnitud del efecto de diversos aspectos en la calidad final de la construcción de carreteras. Con base en los resultados obtenidos a través de un diseño de mezcla elaborado con los materiales y en las condiciones características de la región, se evaluó las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente mediante un contraste a distintos niveles de compactación. Con el objeto de contar con un margen amplio de aplicabilidad en mezclas asfálticas, también se estudió el comportamiento que genera la variación en el espesor de la capa de rodadura a 2, 4 y 6 centímetros, para de esta forma encontrar el número de pasadas necesario para evitar una sobrecompactación. Al mismo tiempo, garantizar el cumplimiento de las propiedades del diseño base propuesto.

Se concluyó que en la práctica el proceso de compactación es el elemento clave para establecer la calidad final de la carretera. La compactación del asfalto se basa principalmente en conocimientos experimentales. Si operamos fuera del dominio de la experiencia, los resultados de la compactación son inciertos. Es por eso que, a partir de las experiencias adquiridas en el pasado con la compactación de mezclas asfálticas, se puede estimar qué resultados esperar cuando se compactan mezclas comparables en circunstancias similares. Obteniendo de esta forma que las muestras compactadas por vibración requieren un menor número de pasadas para llegar al nivel de compactación de diseño, generando también variaciones menores al 1.04% para los valores de estabilidad y variaciones menores a 2.01% para el flujo de acuerdo a los contrastes realizados.

**Palabras clave:** compactación MAC, propiedades mecánicas, número de pasadas, espesor de capa

## ABSTRACT

The ability to simulate the compaction process of asphalt roads allows estimating under which conditions a particular mix can be used. In addition, it provides an indication of which compactors are suitable for specific mixes and how the lamination process should be managed to achieve the desired level of compaction in adverse weather conditions specific to where it is operating. For this reason, the main objective of this research is to determine to what extent there is a correlation of the mechanical properties of the hot mix asphalt according to the degree of compaction obtained.

To reach the stated objective, a series of technical road tests in the field and in the laboratory have been organized to estimate the magnitude of the effect of various aspects on the final quality of road construction. Based on the results obtained through a mixture design made with the materials and in the characteristic conditions of the region, the properties of the hot asphalt mixture were evaluated by means of a contrast at different levels of compaction. In order to have a wide range of applicability in asphalt mixtures, the behavior generated by the variation in the thickness of the tread layer at 2, 4 and 6 centimeters was also studied, in order to find the number of passes necessary to avoid over compaction. At the same time ensuring compliance with the properties of the proposed base design.

It was concluded that in practice the compaction process is the key element to establish the final quality of the road. Asphalt compaction is mainly based on experimental knowledge. If we operate outside the domain of experience, the results of compaction are uncertain. For this reason, based on past experiences with the compaction of asphalt mixtures, it is possible to estimate what results to expect when compacting mixtures are compacted under similar circumstances. Obtaining in this way that the samples compacted by vibration require a smaller number of passes to reach the design compaction level, also generating variations of less than 1.04% for the stability values and variations of less than 2.01% for the flow according to the contrasts made.

**Key words:** HMA compaction, mechanical properties, number of passes, layer thickness

## INTRODUCCIÓN

El transporte de personas, carga e información es fundamental para nuestra sociedad. Las personas requieren realizar viajes por motivos de trabajo, educación, cuidado personal, eventos sociales y recreación. La movilidad constituye una condición crucial para el desarrollo social y cultural de los seres humanos y la sociedad. La infraestructura vial es una condición esencial para la prosperidad y el bienestar. La movilidad debería ser posible para todos los grupos de la sociedad.

La red de carreteras representa un importante valor social y económico; debemos asegurarnos de que se mantenga en un estándar para que pueda cumplir con sus funciones. Sin embargo, a pesar de todas las inversiones y esfuerzos, todavía hay muchos daños y averías en las carreteras, debido al uso intensivo de la red vial, lo que provoca accidentes de tráfico, pérdidas económicas y atascos que pueden ser causados por el mantenimiento rutinario de las carreteras o la mala condición de estas.

Dado que la compactación tiene una gran influencia en la calidad de las mezclas asfálticas, el conocimiento sobre cómo controlar el proceso de compactación es muy importante. Desafortunadamente, este conocimiento genera incertidumbre por los distintos factores a los que está asociada. Por tanto, esta tesis es una base sólida para futuros estudios de compactación, ya que se centra en la compactación de pavimentos asfálticos y describe cómo se comporta un material suelto cuando este se compacta y cómo se puede modelar este comportamiento. Además, se describen los resultados de las simulaciones de compactación mediante el análisis de tramos de prueba, para de esta forma estudiar eficientemente el grado de relación que tiene el nivel de compactación con las propiedades mecánicas de un diseño de mezcla asfáltica en caliente.

Durante la compactación de mezclas asfálticas en caliente (MAC/HMA), tres factores importantes afectan el desempeño del pavimento (Asphalt Institute, 1989).

Primero, que la compresión ayuda a aumentar el contacto entre partículas, lo que da como resultado una mayor estabilidad y resistencia del material.

Segundo, que la reducción de los huecos de aire disminuye la permeabilidad del material. En un material poco compactado, los huecos están interconectados. Esto permite la intrusión de aire y agua en la construcción. El aire oxida el betún y lo vuelve quebradizo y susceptible a las grietas. El agua que penetra en el material puede iniciar un proceso de separación del betún y el agregado.



Finalmente, si no se logra un alto nivel de compactación durante la construcción, el tráfico subsiguiente consolidará aún más el material. Esta mayor consolidación se producirá principalmente en las trayectorias de las ruedas, lo que significa que se están produciendo surcos. Esta formación de surcos disminuye la suavidad de la superficie de conducción.

El objetivo de compactar un pavimento de concreto asfáltico es lograr un contenido óptimo de vacíos de aire, proporcionar una superficie de conducción suave y aumentar la capacidad de carga del material en construcción. Por ello, en la presente investigación, se analiza la corroboración de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente obtenida en campo y las obtenidas en laboratorio. De esta forma encontrar el número de pasadas óptimas de acuerdo al tipo de compactador empleado para distintos espesores en la carpeta de rodadura.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El Foro Económico Mundial realizó en el año 2019 un profundo análisis del estado de las carreteras de 141 países para clasificarlos según la calidad, básicamente midiendo los índices de rugosidad y la macrotextura de las redes viarias en base a 10 puntos. La primera posición la ocupó Singapur con 6.5 puntos; este país cuenta con las mejores carreteras del mundo, por ello se dice que circular por sus vías es toda una experiencia de conducción. Esto se debe a la metodología SUPERPAVE (metodología de diseño volumétrico) que usan para su diseño de mezclas asfálticas. A nivel mundial, Perú se encuentra en el 111° puesto con un puntaje de 3.2, mientras que a nivel de Sudamérica se localiza en 7° lugar. (World Economic Forum, 2019)

La Red Vial del Sistema Nacional de Carreteras, por superficie de rodadura existente (1990-2019), menciona que el Perú consta de 168 953.86 kilómetros de vías, de las cuales 28 769.63 kilómetros son pavimentadas. Según el informe de Infraestructura Vial existente, según departamento (2019), la región Junín consta de 12 015.57 kilómetros de vías, pero solo 1 326.09 kilómetros se encuentran pavimentados. De acuerdo con los datos que proporciona el MTC, el Perú solo cuenta con el 17% de vías pavimentadas, lo cual es un porcentaje muy bajo, mientras que el departamento de Junín solo cuenta con un 11%, siendo aún más bajo. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2020)

La ingeniería de pavimentos está establecida en la normativa del Perú; tiene como objetivo garantizar los requerimientos mínimos, es decir, condiciones que se deben cumplir en el laboratorio y en la construcción del pavimento flexible. La compactación que se emplea en laboratorio es con un martillo, este da ciertos números de golpes por lado, según el nivel de tráfico (ejes equivalentes). Mientras que en obra se hace uso de equipos de compactación. El control adecuado del proceso de construcción juega un papel muy importante. Es por eso que las mezclas asfálticas asumen un papel fundamental en los pavimentos flexibles no solo por los volúmenes requeridos en su construcción, sino porque influyen directamente en el movimiento económico local, dado que transitan miles de vehículos diariamente.

En la Región Centro, específicamente en la ciudad de Huancayo, se visualizan vías deterioradas prematuramente en diferentes distritos, que podrían ser consecuencia de un mal control de la compactación, temperatura u otros factores. Un ejemplo claro sería cuando la temperatura de la mezcla asfáltica en caliente se encuentra por debajo de la establecida en la norma, perdiendo viscosidad y trabajabilidad de la mezcla. Por experiencia empírica, los ingenieros proponen que el rodillo de compactación realice un mayor número de pasadas, pero el pavimento ya se estaría rigidizando excesivamente y causaría fisuras repentinas con el tiempo, afectando las propiedades mecánicas del diseño en laboratorio. A la vez, se estaría haciendo uso de un mayor tiempo de hora máquina; por lo tanto, la obra se estaría haciendo más costosa. Posteriormente, estos inconvenientes generan mayores gastos de mantenimiento y reparación para el Estado Peruano. Como también molestias hacia los usuarios, debido a que estos perciben con facilidad los deterioros en la superficie, tales como hundimientos, huecos, piel de cocodrilo, etc. En tal sentido, la investigación se encargará de ver cómo la compactación realizada en laboratorio se refleja en obra. Manipulando las variables controlables en la mezcla asfáltica como lo son la granulometría, tamaño máximo nominal y la energía de compactación en el diseño Marshall, ajustando y optimizando las necesidades propias de cada proyecto específico como el flujo vehicular, el costo, la disponibilidad de maquinaria y equipos constructivos, etc. En consecuencia, se podrá tener información acerca de las propiedades mecánicas de ambos y sobre

todo la calidad de la mezcla asfáltica, debiendo cumplir con el diseño óptimo y según se realice las pruebas se tenga una estandarización de procedimientos que aseguren vías más durables y de mejor calidad.



Figura 1: Trabajos para la constitución de la carpeta asfáltica en Huancayo.

Fuente: Blog – Obras de Huancayo



Figura 2: Problemas de fisuras y piel de cocodrilo en la Calle Real - Huancayo.

Fuente: NotiWanka

## 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

### 1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿En qué medida existe correlación de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente de acuerdo al grado de compactación en laboratorio y en campo en Huancayo 2020?

### **1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿Cuál es la correlación de la estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica en caliente de acuerdo al grado de compactación en laboratorio y en campo en Huancayo 2020?
- ¿De qué manera se da la correlación de los vacíos de aire de la mezcla asfáltica en caliente de acuerdo al grado de compactación en laboratorio y en campo en Huancayo 2020?
- ¿Cómo se da la correlación del peso específico de la mezcla asfáltica en caliente de acuerdo al grado de compactación en laboratorio y en campo en Huancayo 2020?

### **1.3. OBJETIVO GENERAL**

Determinar en qué medida existe correlación de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente de acuerdo al grado de compactación en laboratorio y en campo en Huancayo 2020.

#### **1.3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar la correlación de la estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica en caliente de acuerdo al grado de compactación en laboratorio y en campo en Huancayo 2020.
- Estimar la correlación de los vacíos de aire de la mezcla asfáltica en caliente de acuerdo al grado de compactación en laboratorio y en campo en Huancayo 2020.
- Evaluar la correlación del peso específico de la mezcla asfáltica en caliente de acuerdo al grado de compactación en laboratorio y en campo en Huancayo 2020.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

#### **1.4.1. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA**

En el presente estudio, se aportará información relevante, la cual busca aminorar el número de pasadas de compactación y comparar las variaciones

de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente realizadas con el martillo de compactación, Huancayo 2020.

#### **1.4.2. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

Esta investigación representa una respuesta ante la necesidad de ver el comportamiento de las propiedades mecánicas de acuerdo al grado de compactación, teniendo en cuenta que debe cumplir con el diseño óptimo de las mezclas asfálticas en caliente. La red vial de la ciudad de Huancayo presenta grandes deficiencias por la falta de pavimentos y deterioro acelerado de las vías existentes. Con este trabajo de investigación, se propone la construcción de carreteras durables y económicas que aumentarán el tiempo de vida útil de las vías evitando gastos adicionales, optimizando los procesos de compactación por vibración para el diseño de mezcla asfáltica en caliente.

#### **1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA**

La presente investigación contará con el uso de la normativa peruana en toda la etapa de experimentación y la toma de datos, por lo que se garantiza un correcto análisis y una adecuada evaluación de las propiedades mecánicas, las que se presentarán en el laboratorio y en obra, aplicando los ensayos MTC E 204 (Análisis Granulométrico de agregados gruesos y finos), MTC E 504 (Resistencia de mezcla bituminosa empleando el aparato Marshall), MTC 505 (Porcentaje de vacíos en mezclas asfálticas compactadas densas y abiertas) y MTC E 508 (Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas para pavimentos).

#### **1.4.4. IMPORTANCIA**

El valor del presente estudio es útil, debido a que expone el comportamiento de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente; esto se debe al tipo de compactación que se le da en un laboratorio y el otro en obra. Es así que se aportará una información útil para la aplicación de cierto grado de compactación en la construcción de carreteras, sin variar el diseño óptimo que se dio en laboratorio, pero buscando reducir el impacto económico.

## **1.5. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL**

Esta investigación se desarrollará en Huancayo, debido a que se usará agregados de la cantera de Matahuasi (agregado proveniente del río Seco), además que se hará uso del cemento asfáltico 85/100, el cual tiene excelente penetración, adherencia y resistencia para climas fríos y templados. Es así que se realizará los ensayos en laboratorio y la construcción de paños de pavimentos flexibles en la ciudad de Huancayo, simulando una vía de alto tránsito.

### **1.5.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL**

La delimitación temporal de la investigación se basa en el tiempo que representa realizar los ensayos de laboratorio para la obtención de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica y los ensayos de campo, ya que demandan bastante tiempo, además de que se requiere realizar ensayos previos de caracterización de los agregados y asfalto. Proyectando el estudio al menos unos 3 meses para su culminación.

### **1.5.3. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL**

La delimitación conceptual de la presente investigación se basa en la normativa nacional, ya que es suficiente para los ensayos en laboratorio, pero aun así existen vacíos de conocimiento en cuanto a la compactación en obra, es por esto que se realizará esta investigación.

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

### **1.6.1. HIPÓTESIS GENERAL**

Las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente de acuerdo al grado de compactación se ven afectadas considerablemente en campo respecto a las muestras de laboratorio en Huancayo 2020.

### **1.6.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- Los valores de estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica en caliente de acuerdo al grado de compactación se incrementan en campo respecto a las muestras de laboratorio en Huancayo 2020.
- Los valores de vacíos de aire de la mezcla asfáltica en caliente de acuerdo al grado de compactación se reducen en campo respecto a las muestras de laboratorio en Huancayo 2020.
- Los valores de peso específico de la mezcla asfáltica en caliente de acuerdo al grado de compactación se incrementan en campo respecto a las muestras de laboratorio en Huancayo 2020.



## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA**

Existen estudios previos respecto al tema de las mezclas asfálticas en caliente, propiedades mecánicas y niveles de compactación, en los que encontramos:

##### **2.1.1. ANTECEDENTES NACIONALES**

(Villalva Chanca, 2019) sustentó la tesis ***“Partículas chatas y alargadas y su efecto en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas en caliente para diferentes niveles de tránsito”***, para optar el título profesional de Ingeniero Civil de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Centro del Perú (Huancayo- Perú).

El objetivo principal de la investigación fue determinar el efecto que se tiene al adicionar partículas chatas y alargadas en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas en caliente para diferentes niveles de tránsito.

Los resultados obtenidos a través de la evaluación de lavado asfáltico de mezclas asfálticas en caliente compuesta por porcentajes de partículas chatas y alargadas, de 5,10,20,25,30,35 y 50%, el autor concluyó que las limitaciones de la normativa peruana MTC E 221 “Índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados para carreteras”, respecto al empleo de partículas chatas y alargadas de 10% para mezclas asfálticas, no es el límite máximo en porcentaje de partículas chatas y alargadas que se

podrían emplear para la mezclas asfálticas en caliente de diferentes niveles de tráfico en el pavimento flexible.

(Pilares Calla, 2018) sustentó la tesis **“Análisis del comportamiento de mezclas asfálticas en caliente con fibras de polipropileno incorporada para condiciones de zonas de altura”**, para optar el título profesional de Ingeniero Civil de la Facultad de Ingeniería - Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad San Ignacio De Loyola (Lima - Perú).

La investigación determinó la influencia de las fibras de polipropileno en el comportamiento de la mezcla asfáltica en caliente para condiciones de zonas de altura.

Esta investigación concluye que la mezcla óptima con fibra es de 0.6% de fibra de polipropileno registra 2.9 % de vacíos la cual favorece la respuesta estructural de la mezcla frente a problemas de hielo y deshielo. El contenido óptimo de asfalto fue 5.7% para la mezcla modificada. La utilización de fibra de polipropileno en un 0.6% incrementó la estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente en 38 % en relación al diseño de mezcla convencional. Este incremento de la estabilidad proporciona mayor respuesta estructural frente a cargas vehiculares.

(Arellano Loayza, y otros, 2018) sustentaron la tesis **“Importancia de la evaluación a las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente a más de 3000 msnm para el proyecto carretera desvío Imperial-Pampas”**, para optar el título profesional de Ingeniero Civil de la Facultad de Ingeniería – Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (Lima- Perú).

La presente investigación tuvo como objetivo establecer lineamientos para el control de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente y el concreto asfáltico, por medio de estándares de calidad con incidencia en las carreteras situadas a más de 3000 m.s.n.m., con lo que hicieron referencia a un clima con heladas, lluvias, fuertes radiaciones solares y vientos fríos, así como también a una geografía abrupta.

Este trabajo de investigación concluyó que es elemental establecer un control de calidad periódico con ensayos tales como granulometría, equivalente de arena y, principalmente, peso específico para verificar el porcentaje de absorción de los agregados que tengan mayor incidencia en la mezcla asfáltica; es primordial colocar carpetas mayores a 3" en una sola capa para que haga frente al gradiente térmico que varía entre  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  y la compactación sea realizada dentro de un rango de  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ . También identificaron que, para poder pavimentar, la temperatura del ambiente debe ser como mínimo  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  y en ascendente, problema que restringe el horario diario de producción y colocación de la mezcla en altura, siendo de 9:00 am a 4:00 pm condiciones aptas para la pavimentación.

(Vargas Malpartida, 2019) sustentó la tesis ***“Efecto de la temperatura de mezcla-compactación y la distancia de transporte en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente en la región centro”***, para obtener el título profesional de Ingeniero Civil de la Facultad de Ingeniería - Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Continental (Huancayo- Perú).

La investigación se basó en determinar el efecto de la temperatura de la compactación de la mezcla en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente y las distancias de transporte límite en la región centro.

El trabajo de investigación finalizó mencionando que la temperatura aceptable a compactar fue de  $138.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , donde se logró que la mezcla asfáltica cumpliera con todas las condiciones establecidas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones, la estabilidad que alcanzó fue  $1318.86\text{ kgf}$ , un flujo de  $3.52\text{ mm}$ , un porcentaje de vacíos de  $5$  y peso específico bulk de  $2.864\text{ gr/c.c}$ . En cuanto a la temperatura de compactación de la mezcla asfáltica, afecta de manera directa a los valores de Estabilidad y Fluencia, cuando la temperatura es baja la estabilidad decrece, desde valores de  $1469\text{ kgf}$  ( $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) hasta  $254\text{ kgf}$  ( $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Para el caso del flujo, se concluyó que este se vio afectado de manera inversa, debido a que cuando disminuye la temperatura de compactación el flujo incrementa

desde 3.5 mm (160 °C) hasta a 4.8 mm (60 °C). La distancia de transporte afecta a la temperatura de compactación, según el rendimiento de velocidad establecido por Provías del Ministerio de Transportes y Comunicaciones se calculó que para una velocidad de 15 km/h se tiene una distancia de influencia de la planta de asfalto de 5.9 km y para el caso de 20 km/h es de 7.9 km. Teniendo en cuenta que estas varían de acuerdo a la zona y al tráfico. Tener estos datos de distancias ayudará a controlar las velocidades de los camiones transportadores de mezclas asfálticas.

(Aranguri Lianres, y otros, 2018) sustentaron la tesis “**Análisis comparativo del comportamiento estructural de mezclas asfálticas en caliente y mezclas asfálticas emulsionadas en los pavimentos**”, para obtener el título profesional de Ingeniero Civil de la Facultad de Ingeniería-Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Privada Antenor Orrego (Trujillo - Perú).

El propósito de la investigación fue determinar el análisis comparativo de mezclas asfálticas en caliente y mezclas asfálticas emulsionadas en los pavimentos, utilizando agregados de la cantera Bauner.

La investigación finalizó concluyendo que el porcentaje de asfalto óptimo es de 5.47 % con un cemento asfáltico PEN 60/70, con 30% de agregado grueso y un 70 % de agregado fino, para la metodología Marshall. Mientras que para la mezcla asfáltica en frío se obtuvo un porcentaje óptimo de 6.63% con asfalto líquido RC-250, considerando el mismo porcentaje de agregado fino y grueso. La estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente con su óptimo contenido tiene un valor de 10.19 kN (10.39.09 Kg) y en el diseño de mezcla asfáltica en frío tiene un valor de 8.17 kN (833.11 Kg). Estos resultados cumplen según las especificaciones del instituto del asfalto para la metodología Marshall. Asimismo, se realizó una evaluación económica, indicando que la mezcla asfáltica en frío costó S/.281.11 soles y la mezcla en caliente costó S/.322.09. Siendo la mezcla asfáltica en frío de menor costo.

### 2.1.2. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

(Escobar Morocho, y otros, 2019) sustentaron la tesis **“Comparación del comportamiento de mezclas asfálticas tibias (WMA) y mezclas asfálticas en caliente (HMA) con agregados de la mina de Guayllabamba”**, para optar el título de Ingeniero Civil de la Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Civil de la Pontificia Universal Católica del Ecuador.

Esta investigación se realizó con el objetivo de comparar las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas WMA y HMA utilizando materiales de la mina de Guayllabamba.

El estudio concluyó que las mezclas con aditivo poseen menor porcentaje de vacíos al momento de compararlas con la mezcla asfáltica en caliente y tibia sin aditivo. Según los resultados de la metodología Marshall, las mezclas asfálticas en caliente presentaron una estabilidad de 2710 lb, en cuanto a las mezclas asfálticas modificadas tuvieron una estabilidad menor, pero superior a la mínima establecida por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas. Las mezclas asfálticas tibias sin aditivo no cumplen con los parámetros establecidos ni de estabilidad ni flujo. Al culminar el proceso de elaboración de mezclas asfálticas tibias se determinó que, al momento de iniciar el proceso de compactación, la temperatura de la muestra debe estar dentro de los 125 °C y 135 °C. Y terminar la compactación con una temperatura ideal de 115 °C. Las mezclas asfálticas tibias sin aditivo son más flexibles a medida que se incrementa la temperatura de 10 °C, 20 °C y 40 °C, ya que su rigidez disminuye. También se observó que las mezclas asfálticas tibias presentan módulos de rigidez ligeramente menores a los módulos de las mezclas asfálticas calientes.

(Chacón Oviedo, 2013) sustentó la tesis **“Influencia de la energía de compactación y granulometría del agregado en el desempeño de mezclas asfálticas para pavimentos de bajo tránsito mediante el método Marshall”**, para obtener el grado de Licenciado en Ingeniería Civil

de la Facultad de Ingeniería- Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica.

La investigación se enfocó en evaluar el efecto que genera la energía de compactación, la granulometría y el tamaño máximo del agregado en la dosificación de asfalto requerido para mezclas asfálticas en caliente diseñadas para alto y bajo volumen de tránsito, por medio de su influencia en la susceptibilidad al fisuramiento, la deformación permanente y la trabajabilidad, con el fin de determinar los mejores diseños para pavimentos de bajo tránsito.

El estudio finalizó mencionando que los contenidos de asfalto de las granulometrías diseñadas rondan el (6%) de asfalto por peso de agregado (5.66 por peso de mezcla), valores ligeramente más altos que los utilizados actualmente en la construcción de carreteras. Los valores de vacíos en el agregado mineral dependen directamente del tamaño máximo nominal (partículas más grandes, mayores vacíos en el agregado mineral), contenido de finos (mayor porcentaje que pasa la malla #8, menos VMA) y energía de compactación ( a mayor energía, menor VMA). Según los resultados de los ensayos de deformación permanente y las especificaciones internacionales, todas las mezclas diseñadas en la investigación cumplirán para mediano y bajo tránsito; sin embargo, el ensayo según el Analizador de pavimentos asfálticos (APA) no logró distinguir deformaciones de distintas granulometrías (gruesas y finas) que podrían conllevar a conclusiones erróneas y posibles deformaciones excesivas en campo por utilizar altas cantidades de finos que aportan poca fricción entre las partículas.

(Hernández Cabrera, y otros, 2016) sustentaron la tesis ***“Análisis de la influencia del grado de compactación de una mezcla asfáltica en su deformación permanente y la susceptibilidad a la humedad”***, para optar el título de Ingeniero Civil de la Facultad de Ingeniería – Programa de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Colombia.

La investigación tuvo como finalidad establecer la influencia que puede llegar a tener la densidad y su relación de vacíos dados por el grado de

compactación, con la falla de la deformación permanente (ahuellamiento) y la susceptibilidad al agua (humedad) en las capas de asfalto.

Los ensayos de susceptibilidad a la humedad y la deformación permanente en el pavimento flexible con variaciones en el nivel de compactación han permitido analizar de manera más clara y directa, con evidencias reales, que efectivamente se presenta una desmejora notable en el óptimo desempeño de los pavimentos flexibles que fueron compactados por debajo de los niveles solicitados. De acuerdo a los grados de compactación analizados y los resultados de cada ensayo ejecutado, se concluyó que para obtener una relación de resistencia mayor al 80% únicamente la compactación al 96.87 cumplió y realizando la relación en la gráfica los grados de compactación mayores al 96.1% cumplirían esa condición. En el ensayo en pista, los ahuellamientos obtenidos son claros al depender del grado de compactación, pese a que su diferencia en los valores no es muy significativa, y teniendo en cuenta que la norma no establece profundidades máximas, la mejor práctica sería garantizar los valores mínimos de compactación.

(Aguilar Añazco, y otros, 2019) sustentaron la tesis ***“Comparación del módulo de rigidez por tensión indirecta utilizando el método Marshall y método Superpave de mezclas asfálticas con polímeros SBS”***, para la obtención del título de Ingeniero Civil de la Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática – Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Central del Ecuador.

El objetivo principal de esta investigación fue comparar el desempeño de mezclas asfálticas en caliente, convencionales y las modificadas con polímeros SBS, mediante la determinación del módulo de rigidez por tracción indirecta.

Mediante los ensayos realizados a los agregados de las minas de Ripconciv y Naranjo-López fue posible hacer los diseños tanto Marshall como Superpave de mezclas asfálticas en caliente, donde se definió porcentajes de la mezcla de agregados: 27% de agregado grueso (3/4”), 22% de

agregado medio (1/2" VCI) y 51% de agregado fino (arena Ripconci), en este caso tanto para Marshall como para Superpave se utilizaron los mismos porcentajes de agregados y en ambas metodologías cumplía con sus especificaciones, el porcentaje óptimo de asfalto de diseño para Marshall fue de 5.5% en peso total de la mezcla asfáltica, y para Superpave fue de 5.6% en peso total de la mezcla asfáltica.

Los módulos de rigidez, obtenidos al ensayar briquetas elaboradas bajo dos metodologías de diseño que son el método Marshall y el método Superpave, se tiene que los valores de rigidez obtenidos de las mezclas convencionales, mezclas aditivadas y mezclas modificadas, elaboradas por diseño Superpave y testeadas a tres temperaturas de ensayo, son superiores a los valores obtenidos en mezclas diseñadas bajo metodología Marshall; por lo tanto, se concluyó que hubo aumento en los valores de módulo de rigidez y esto se debió al tipo de compactación, ya que al utilizar el compactador giratorio se tiene una presión constante y esta a su vez realiza un tipo de amasado, lo que evita la segregación de los agregados pétreos, favoreciendo una distribución adecuada de las partículas y del ligante asfáltico en la biqueta, haciendo que los esfuerzos de ensayos se apliquen de forma más uniforme al interior de la biqueta de ensayo.

(Pérez Campoverde, 2015-2016) sustentó el trabajo de titulación ***“Diseño de mezclas asfálticas en caliente utilizando el método Marshall y análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas con cemento asfáltico nacional (Ecuador) e importado (Perú)”***, para optar el título de Ingeniero Civil de la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas - Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de Guayaquil - Ecuador.

Este trabajo de titulación tuvo como objetivo principal analizar y comparar los parámetros obtenidos en los diseños de mezclas asfálticas con cemento asfáltico nacional (Ecuador) e importado (Perú) mediante el método Marshall con la finalidad de evaluar su comportamiento en las carpetas asfálticas usadas en las vías.



Se realizó ensayos para ambos cementos asfálticos (ecuatoriano y peruano) y el resultado fue que ambos cumplieron con todas las normas analizadas en este estudio comparativo. En cuanto al comportamiento de los dos tipos de asfalto en las mezclas, se concluye que el porcentaje óptimo cumple con todos los requerimientos físicos mecánicos de las normas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) y es el de (5,5 %) para los dos cementos asfálticos. Pero se llegó a deducir que el cemento asfáltico peruano es de mayor calidad, mayor estabilidad, de flujo óptimo y recomendado.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. MEZCLA ASFÁLTICA**

Es una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonado, de manera que estos queden cubiertos por una película continua de este. Las mezclas están conformadas aproximadamente por un 90% de agregados minerales gruesos y finos, un 5% de filler (polvo mineral) y otro 5% de cemento asfáltico. Se utilizan en la construcción de carreteras, pavimentos industriales, aeropuertos, entre otros.

#### **Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC)**

Los materiales para las mezclas asfálticas en caliente deberán cumplir los requisitos respecto a los agregados gruesos, agregados finos, gradación, filler y los tipos de cemento asfáltico. Asimismo, se debe cumplir los requisitos de equipos, requerimientos de construcción, control de calidad y aceptación de los trabajos. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013)

#### **Características de la mezcla**

A continuación, se detalla la influencia que estas tienen en el comportamiento de la mezcla.

- a. Densidad. Es una característica para obtener un rendimiento durable de la mezcla. La densidad se define como el peso unitario por un

volumen específico, por lo que su unidad de medida es de  $\text{kg/m}^3$ . Si la densidad es baja y la cantidad de vacíos es alta, origina que la mezcla compactada sea vulnerable al agua. En el caso de que la densidad sea alta y la cantidad de vacíos baja, origina que la carpeta de rodadura sea estable.

- b. Vacíos de aire. Son minúsculos espacios de aire que se encuentran entre los agregados cubiertos de asfalto en la mezcla compactada. Contar con estos vacíos permite que el asfalto fluya por dentro de la carpeta asfáltica y no genere fallas u otros debido al paso de los vehículos.
- c. Vacíos en el agregado mineral (VMA). Son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado y el asfalto en una mezcla compactada. El VMA es el espacio disponible del volumen efectivo de asfalto y el volumen de vacíos necesarios en la mezcla. Hay que tener en cuenta que entre más gruesa sea la película de asfalto, cubre más las partículas de agregado; por tanto, se obtiene mayor durabilidad de una mezcla.
- d. Contenido de asfalto. Es establecido por el método de diseño seleccionado. El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende de su granulometría y de la capacidad de absorción del agregado.
- e. Vacíos llenos de asfalto (VFA). Es el porcentaje de vacíos intergranulares de las partículas de agregado mineral (VMA) que se encuentran llenos de asfalto.

### **Propiedades de las mezclas asfálticas**

Para obtener una mezcla de buena calidad, esta debe poseer las propiedades siguientes:

- a. Estabilidad. Es la capacidad de una mezcla asfáltica de resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas impuestas por el tránsito de vehículos, la carpeta asfáltica debe mantener su forma y textura para su buen desempeño. La estabilidad está dada por la fricción y la resistencia inter-bloqueada del agregado pétreo en la mezcla.
- b. Durabilidad. Es la capacidad para resistir los efectos perjudiciales causados por el agua, aire, temperatura y las cargas debidas al tráfico. Estos efectos perjudiciales provocan desintegración del agregado, cambio en las propiedades del asfalto, envejecimiento, segregación, etc. Para evitar esos problemas, se propone tener un diseño y una compactación adecuada.
- c. Flexibilidad. Es la capacidad de la carpeta asfáltica para acomodarse ligeramente, sin sufrir agrietamiento, soportando los movimientos graduales y asentamientos de la base y sub-base. La flexibilidad de las mezclas asfálticas se logra con el contenido óptimo de asfalto, debido que si se aumenta asfalto en la carpeta tiende a ser extremadamente flexible y provoca entonces estabilidad baja, mientras que, si la mezcla tiene poco asfalto, esta se rigidiza.
- d. Resistencia a la fatiga. Es la capacidad del pavimento flexible para resistir la flexión repetida causada por las cargas de los vehículos. Si el porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica aumenta por un inadecuado diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento disminuye; es por eso que el uso de graduaciones densas presenta mayor resistencia a la fatiga.
- e. Resistencia al deslizamiento. Es la habilidad de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos. Esto implica que el neumático debe mantenerse en contacto con las partículas del agregado y no sobre una película de agua. Una buena resistencia al

deslizamiento lo contribuyen agregados con textura áspera y contenidos adecuados de asfalto.

f. Impermeabilidad. Es la resistencia de una carpeta asfáltica al paso del agua y aire hacia su interior o a través de él. El contenido de vacíos es un indicador de la susceptibilidad de una mezcla compactada; es decir, una mala compactación produce espacios vacíos, generando problemas a la carpeta asfáltica.

g. Trabajabilidad. Es la facilidad con la que puede ser colocada y compactada la mezcla asfáltica. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. Las mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso tienden a segregarse durante su manejo, haciendo difícil el compactado. El grado y el porcentaje de asfalto también influye y ni qué decir de la temperatura, debido a que si es baja hace que la mezcla sea poco trabajable.

### **2.2.2. MÉTODO MARSHALL DE DISEÑO DE MEZCLAS**

El concepto del método Marshall fue desarrollado por Bruce Marshall, ex-Ingeniero de Bitúmenes del Departamento de Carreteras del Estado de Misisipi-Estados Unidos.

El propósito del método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

El método Marshall sólo se aplica a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación que usan cemento asfáltico clasificado con viscosidad o penetración y que contienen agregados con tamaños máximos de 25.0 mm o menos. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como

para el control de campo de mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación.

La mezcla asfáltica en caliente preparada en laboratorio debe ser analizada para determinar el desempeño posible en la estructura del pavimento.

### 2.2.2.1. MTC E 504 – Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall

El ensayo tiene como objetivo determinar el diseño de una mezcla asfáltica y calcular sus diferentes parámetros de comportamiento, por medio del método manual Marshall, a partir de la preparación y compactación de especímenes de mezcla bituminosa para pavimentos, de altura nominal de 64 mm y 102 mm de diámetro. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

Se requiere para este ensayo materiales e insumos necesarios para la preparación de los especímenes y los equipos para el ensayo de estabilidad y flujo.

La compactación de especímenes se realiza con martillos de compactación de manubrio sostenido manualmente o manubrio fijo, ya sea operado mecánicamente o a mano.

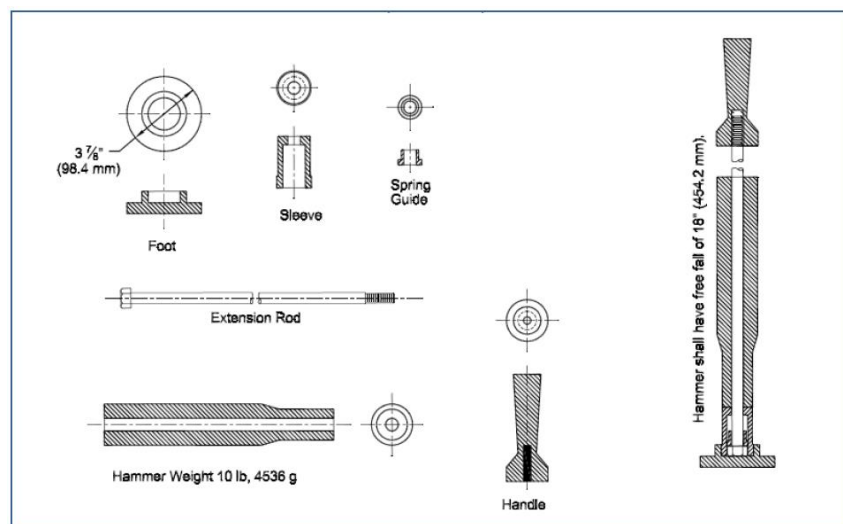


Figura 3: Martillo de Compactación  
Fuente: Manual de Ensayo de Materiales

Se emplea el número de golpes según sean los requerimientos; es decir, para vías de alto (75 golpes), medio (50 golpes) o bajo tránsito (35 golpes). La aplicación del número de golpes en ambas caras de la briqueta es el mismo.

Los procedimientos para la fabricación de briquetas de mezclas asfálticas parten por la preparación de los especímenes, luego aborda la preparación de los agregados finos y gruesos, la determinación de temperaturas de mezcla y compactación, preparación de la mezcla, compactación de los especímenes y finalmente la realización del ensayo de estabilidad y flujo. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

### **2.2.3. COMPACTACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CAMPO**

La mezcla recién aplicada debe compactarse con el fin de obtener una mayor densidad del material; es decir, obtener el grado de compactación y reducir los espacios vacíos de la capa de asfalto, pero manteniendo los valores que indican los parámetros de la norma.

La máquina compactadora debe dejar la capa de asfalto con una superficie lisa y plana, asegurando el confort de marcha de los vehículos que transitan en ella. Pero al mismo tiempo tiene que ser una capa uniforme y cerrada, con una textura superficial de agarre.

#### **2.2.3.1 Tipos de Compactación**

- a. Compactación estática. Tiene lugar por efecto del peso intrínseco del rodillo. Se utilizan rodillos tándem y rodillos de neumáticos. En los rodillos tándem, el rendimiento está determinado por la carga estática lineal (kg/cm) del tambor y en los rodillos neumáticos, por la carga de rueda (ton) y la presión interna del neumático (Mpa). **(Nociones fundamentales sobrecompactación de mezclas asfálticas, 2010)**

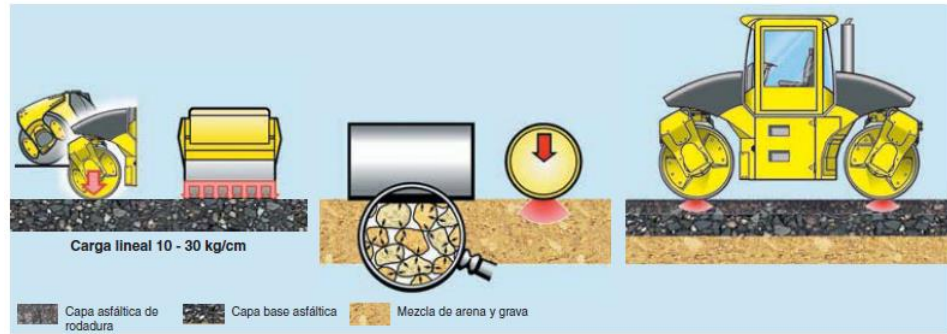


Figura 4: Compactación estática con rodillo de neumáticos

Fuente: BOMAG GmbH, FAYAT Group

- b. Compactación por vibración. Los rodillos vibrantes son potentes y tienen una amplitud de usos, estos requieren menos pasadas que los rodillos estáticos. La vibración reduce la fricción interna de la mezcla de los agregados, de manera que la densidad aumenta por el efecto combinado del peso propio y de la carga dinámica. Por eso, además de por la carga lineal estática, el efecto de compactación también está determinado por la masa en vibración, la amplitud y la frecuencia. **(Nociones fundamentales sobre compactación de mezclas asfálticas, 2010)**

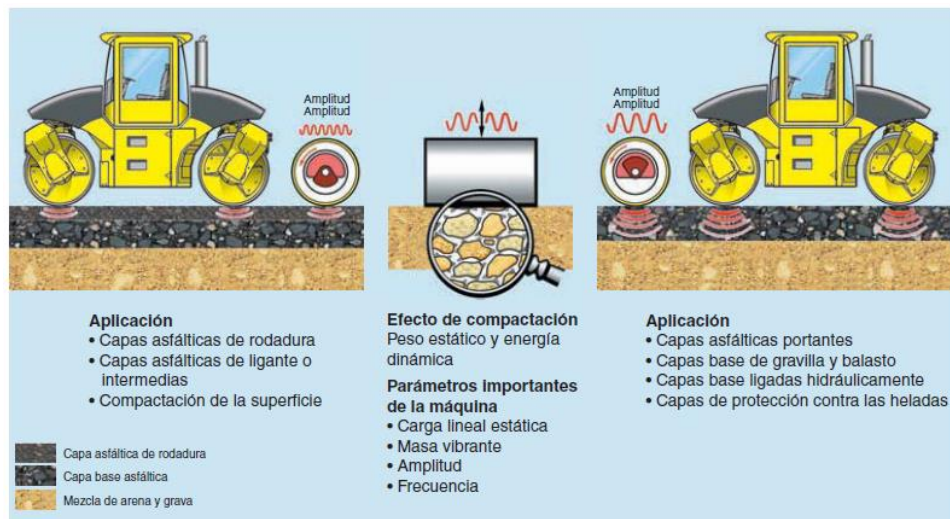


Figura 5: Compactación por vibración con rodillos tándem con sistema excitador circular

Fuente: BOMAG GmbH, FAYAT Group

## 2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Mezcla Asfáltica**

Una mezcla asfáltica es una combinación de un ligante hidrocarbonato y agregados minerales pétreos. ( Yepes Piqueras, 2014)

- **Agregados**

Material de carácter pétreo o no, de naturaleza inerte, proveniente de la desintegración natural o artificial de la roca madre.

- **Agregado mineral grueso**

La proporción de los agregados, retenida en la Malla N° 4, se designará agregado grueso y se compondrá de grava triturada y/o piedra triturada.

- **Agregado mineral fino**

Los agregados que pasan la malla N° 4 se designarán agregado fino y se compondrán de arena natural y/o material obtenido de la trituración de grava, piedra o escoria o de una combinación de ambos.

- **Filler**

El filler o relleno de origen mineral, que sea necesario emplear como relleno de vacíos, espesante del asfalto o como mejorador de adherencia

- **Cemento Asfáltico**

Material aglomerante sólido o semisólido de color negro o pardo oscuro, que se ablanda gradualmente al calentarse y cuyos constituyentes predominantes son hidrocarburos pesados, que se obtienen de la refinación del petróleo.

- **Superpave**

Es un sistema con nuevas especificaciones para los agregados, asfaltos y para sus ensayos, mediante un diseño volumétrico. Este sistema busca clasificar el cemento asfáltico mediante su grado de desempeño variando su temperatura, y así obtener los límites de los ensayos a temperaturas críticas.



## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. MÉTODOS Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **3.1.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN**

Según (Gómez Bastar, 2012), la investigación es un proceso mediante el cual se hace uso del método científico que adquiere información relevante y verdadera, con el fin de entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento.

El trabajo de investigación busca obtener los resultados de compactación en laboratorio y en campo, para luego comparar sus propiedades mecánicas. Es por ello que se aplicará el método científico, con el fin de realizar el análisis correspondiente.

##### **3.1.2. NIVEL**

(Hernández Sampieri, y otros, 2014) mencionan que la finalidad del estudio es conocer la relación o grado de asociación en cuanto a la intensidad que existe entre las variables en un contexto.

De acuerdo a las características de la investigación, el estudio reúne las condiciones para que la investigación sea **Correlacional**, debido a que se va a comparar los valores que arrojan los ensayos de las mezclas asfálticas en caliente (propiedades mecánicas), para los dos tipos de compactación.

### 3.1.3. TIPO

Según (Vargas Cordero, 2009), el tipo de investigación **Aplicada** está constituida por un importante enlace entre ciencia y sociedad. Busca examinar el problema con la teoría y resolver problemas de interés propio del ámbito disciplinar y profesional.

Lo fundamental en esta investigación es obtener los resultados para que la investigación determine la probabilidad que tiene el modelo aplicativo que se plantea.

## 3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Según (Hernández Sampieri, y otros, 2014), el diseño de investigación es **Cuasi experimental**, debido a que se realiza manipulación de al menos una variable independiente o más, permitiendo observar su efecto sobre las variables dependientes, pues estas son de interés para la investigación.

La estadística mediante el análisis correlacional bivariado ayudará a explicar las causas de los efectos de la investigación después de los ensayos y análisis de los mismos.

## 3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

### 3.3.1. POBLACIÓN

(Arias, 2006 pág. 81) menciona que la población es un conjunto finito o infinito de elementos con características similares, los cuales hacen extensivas las conclusiones del trabajo de investigación, la cual queda limitada por los objetivos del estudio de la investigación.

Es por ello que la población está conformada por la producción de 7 ton de mezcla asfáltica en caliente de una planta asfáltica de mediana capacidad.

### **3.3.2. MUESTRA**

(Monje Álvarez, 2011 pág. 123) indica que la muestra es un conjunto de sujetos que son parte de una población; en otras palabras, un subgrupo de la población que cumple con determinadas especificaciones.

Bajo una validación estadística, es recomendable usar 3 puntos como mínimo (muestras representativas) para un tramo de prueba de acuerdo a (Valderrama Mendoza, 2015). Se extraerá 72 muestras compactadas en campo con rodillo liso y rodillo vibratorio, de 6 tramos de prueba de carpeta asfáltica de 8 m x 2.2 m a diferentes niveles de compactación y 18 muestras compactadas para la obtención del diseño base Marshall.

### **3.3.3. MUESTREO**

Según (Ñaupas Paitán, y otros, 2014), existen métodos para realizar un cálculo de probabilidades, estos son llamados métodos probabilísticos. En esta investigación se hará uso del método no probabilístico de corte transversal. En este tipo de muestreo, existe clara influencia del investigador, debido a que se selecciona la muestra por conveniencia.

## **3.4. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

La recolección de datos implica elaborar un plan detallado de procedimientos que conduzcan a reunir datos con un propósito específico.

La técnica de recolección de datos en esta investigación será por observación directa y el análisis de los resultados de los ensayos serán según la normativa peruana de carreteras.

## **3.5. INSTRUMENTO DE ANÁLISIS DE DATOS**

El instrumento será evaluado con la ayuda de fichas de recolección de datos, instrumentos y equipos de compactación a emplear.



Figura 6: Flujoograma de recolección de datos

Fuente: Elaboración propia

### 3.6. VARIABLES

#### 3.6.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Compactación de muestras asfálticas

#### 3.6.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica

### 3.7. OPERACIONALIZACIÓN

Tabla 1: Operacionalización de la variable

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Escala
<b>Compactación de muestras asfálticas</b>	Es un proceso en donde se comprime un volumen dado de mezcla asfáltica en caliente hasta obtener un volumen más pequeño. (UNAM, 2006)	Tiene como fin aumentar resistencia y estabilidad de la mezcla, también se encarga de cerrar los espacios para que no ingrese agua ni aire.	1 pasada del rodillo vibratorio	EG- 2013 (Procedimiento de compactación)	Ficha recolección de datos	Razón
				MTC E 501 (Toma de muestras)		
				MTC E 504 (Ensayo Marshall)		
			2 pasadas del rodillo vibratorio	EG- 2013 (Procedimiento de compactación)		
				MTC E 501 (Toma de muestras)		
				MTC E 504 (Ensayo Marshall)		
			3 pasadas del rodillo vibratorio	EG- 2013 (Procedimiento de compactación)		
				MTC E 501 (Toma de muestras)		
				MTC E 504 (Ensayo Marshall)		
			4 pasadas del rodillo vibratorio	EG- 2013 (Procedimiento de compactación)		
				MTC E 501 (Toma de muestras)		
				MTC E 504 (Ensayo Marshall)		
<b>Propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica</b>	Contribuyen a la buena calidad de pavimentos flexibles como la durabilidad, la estabilidad, la impermeabilidad, la flexibilidad, la trabajabilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento. (Arellano Loayza, y otros, 2018)	Para obtener las propiedades deseadas en las mezclas asfálticas en caliente se debe tener un adecuado control del diseño, producción y colocación de las mismas	Estabilidad y Flujo	MTC E 201 (Muestreo para materiales de construcción)	Ficha de recolección de datos	Razón
				MTC E 204 (Análisis Granulométrico)		
				MTC E 504 (Ensayo Marshall)		
			Vacíos de Aire	MTC E 203 (Peso unitario y vacíos de los agregados)		
				MTC E 504 (Ensayo Marshall)		
				MTC 505 (Porcentaje de vacíos de aire)		
			Peso Específico	MTC E 203 (Peso unitario y vacíos de los agregados)		
				MTC 505 (Porcentaje de vacíos de aire)		
				MTC E 508 (Peso específico)		

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1. DESCRIPCIÓN DE LA FORMA EFICAZ DE COMPACTACIÓN**

Para llegar a los procedimientos realizados en los ensayos de laboratorio, es importante realizar una descripción teórica previa sobre los materiales granulares, debido a que estos se utilizan ampliamente en la construcción de carreteras, presas, esclusas, estructuras (de hormigón) para edificios, cimientos, movimientos de tierra, etc. Generalmente, los materiales se pueden clasificar en "consolidados" y "no consolidados".

Los materiales involucrados (es decir, agregados, ligante asfáltico) muestran grandes diferencias según el lugar de procedencia. Sin embargo, visto globalmente, el comportamiento de los materiales, especialmente en la etapa de construcción donde las matrices de partículas cambian de un empaque suelto a uno más denso, sí muestran grandes similitudes. Se trata de la etapa en la que el movimiento de partículas en la matriz gobierna el comportamiento global. Durante esta etapa, la presencia del tipo de fluido en la mezcla (agua, betún o ligante asfáltico) afecta la facilidad de deslizamiento de las partículas entre sí y por lo tanto el comportamiento mecánico de la mezcla compuesta puede verse alterada.

Es evidente que la compactación es esencial para el desempeño de carpeta de rodadura de hormigón asfáltico. Un alto nivel de compactación dará como resultado

un apilamiento de partículas estable, una gran cantidad de puntos de contacto entre partículas y un bajo contenido de huecos. Todos los aspectos juntos contribuyen a una buena durabilidad de la construcción de la carretera. La realización de un patrón de partículas más cercano debe lograrse durante el proceso de construcción. La compactación solo puede ocurrir cuando las partículas se mueven o se reorganizan. La presión, la vibración, el amasado u otros estímulos pueden lograr este resultado.

Lamentablemente, la proximidad de las partículas no se puede medir directamente. Los parámetros comúnmente utilizados en la práctica de la ingeniería vial son el peso específico, contenido de vacíos, vacíos en el agregado mineral (VMA) y grado de compactación. En mezclas asfálticas, también se hace uso del parámetro volumen específico del material. Este parámetro expresa, al igual que VMA, la proximidad real de las partículas. Para llegar al nivel de compactación requerido, es importante tener en cuenta el tipo de compactador empleado para este fin.

#### **4.1.1. ESPECIFICACIONES MÁQUINAS COMPACTADORAS**

Con la finalidad de lograr un nivel de compactación que cumpla con las propiedades de diseño realizado en laboratorio, se propone emplear un rodillo liso y un rodillo vibratorio para la compactación de los tramos de prueba. A continuación, en la tabla 2 y 3, se presentan las especificaciones básicas de cada compactador empleado para realizar los tramos prueba en campo.

Tabla 2: Especificaciones técnicas básicas de rodillo compactador liso

<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS BÁSICAS</b>	
<b>RODILLO COMPACTADOR LISO</b>	
<b>DESCRIPCIÓN GENERAL</b>	<b>ESPECIFICACIONES</b>
Peso operativo Canopy	11560 kilogramos

Ancho de compactación	2100 milímetros
Velocidad operativa / nominal	2000 / 2200 rpm
Radio de giro frontal	39 grados
Radio de giro trasero	34 grados
Modelo del motor	JCB DIESELMAX TCA-85
Potencia bruta	85 (114) - kW (hp)
Altura total Canopy	2995 mm
Diámetro del tambor	1500 mm

Fuente: Especificaciones técnicas JCB Rodillo compactador 116D

Tabla 3: Especificaciones técnicas básicas de rodillo compactador vibratorio

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS BÁSICAS	
RODILLO COMPACTADOR VIBRATORIO	
DESCRIPCIÓN GENERAL	ESPECIFICACIONES
Peso en orden de trabajo con cabina	10840 kilogramos
Ancho de compactación	2134 milímetros
Velocidad Máxima de desplazamiento	12 km/h
Radio de giro: dentro del tambor	3.68 m
Potencia bruta	97 W
Modelo del motor	3054 C



Diámetro del tambor	1534 mm
<b>SISTEMA VIBRATORIO</b>	
Fuerza centrífuga: máxima	234 kN
Fuerza centrífuga: mínima	133 kN
Amplitud nominal: alta	1.8 mm
Amplitud nominal: baja	0.85 mm
Frecuencia vibratoria: estándar	31 / 34 Hz (1.860/2.040 vpm)

Fuente: Especificaciones técnicas CS533E Rodillo compactador vibratorio

## **4.2. ESTUDIOS PREVIOS**

### **4.2.1. ESTUDIOS DE CAMPO**

De acuerdo a la teoría planteada, el nivel de compactación de una mezcla asfáltica en caliente es la facilidad con la que se puede compactar un material. Por ello, en esta investigación, también se medirán los valores de compactabilidad para diferentes espesores en la carpeta de rodadura y se compararán con los resultados obtenidos en laboratorio.

Para el planteamiento de los tramos de prueba, se tomó en consideración las medidas de trabajo óptimas para la maniobra y la obtención de diamantinas conforme a las condiciones de compactado planificadas. De esta forma, se optó por realizar 6 tramos de prueba de ocho metros en longitud, dentro del cual se subdividió en cuatro tramos de dos metros cada uno, con la finalidad de analizar los niveles de compactación mediante número de pasadas de los rodillos compactadores a una velocidad entre los 3 y 6 km/h. En la figura número 7, se presenta la disposición del tramo de prueba para la extracción de diamantinas según el nivel de compactación determinado.

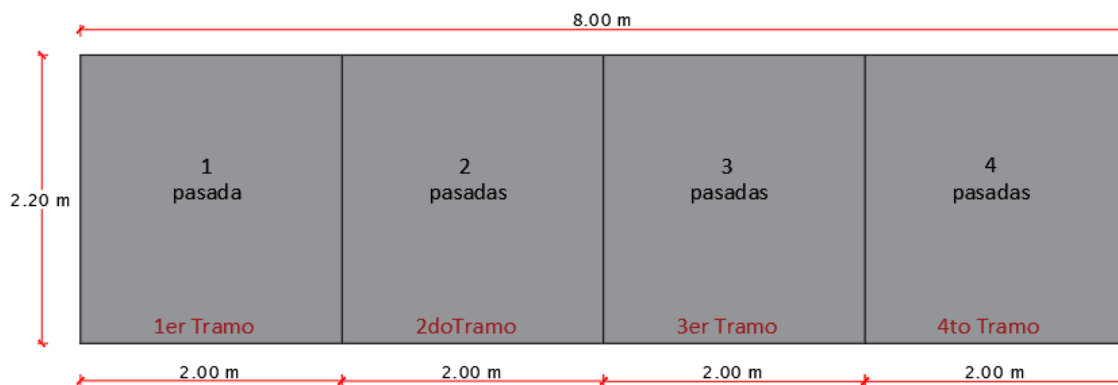


Figura 7: Disposición de tramos de prueba para distintos niveles de compactación

Fuente: Elaboración propia

De cada sección a evaluar, se procede a extraer tres diamantinas con la finalidad de obtener sus propiedades de Estabilidad, Flujo, Porcentaje de vacíos, Peso Unitario, Vacíos en el Agregado mineral y Vacíos Llenos con asfalto. Encontrando de esta forma una metodología de trabajo ordenada para definir correctamente el nivel de compactación necesario para llegar a los valores de diseño y al mismo tiempo brindar un margen amplio de aplicabilidad para mezclas asfálticas en caliente. Para contar con este campo de resultados obtenidos, es importante realizar estudios específicos a las muestras obtenidas de la siguiente forma:

- Doce diamantinas obtenidas de cada sección elaborada con 1, 2, 3 y 4 pasadas del rodillo liso como nivel de compactación de la mezcla asfáltica en caliente del tramo de prueba “A” con un espesor de 2 centímetros de la capa de rodadura.
- Doce diamantinas obtenidas de cada sección elaborada con 1, 2, 3 y 4 pasadas del rodillo liso como nivel de compactación de la mezcla asfáltica en caliente del tramo de prueba “B” con un espesor de 4 centímetros de la capa de rodadura.
- Doce diamantinas obtenidas de cada sección elaborada con 1, 2, 3 y 4 pasadas del rodillo liso como nivel de compactación de la mezcla asfáltica en caliente del tramo de prueba “C” con un espesor de 6 centímetros de la capa de rodadura.

- Doce diamantinas obtenidas de cada sección elaborada con 1, 2, 3 y 4 pasadas del rodillo vibratorio como nivel de compactación de la mezcla asfáltica en caliente del tramo de prueba “D” con un espesor de 2 centímetros de la capa de rodadura.
- Doce diamantinas obtenidas de cada sección elaborada con 1, 2, 3 y 4 pasadas del rodillo vibratorio como nivel de compactación de la mezcla asfáltica en caliente del tramo de prueba “E” con un espesor de 4 centímetros de la capa de rodadura.
- Doce diamantinas obtenidas de cada sección elaborada con 1, 2, 3 y 4 pasadas del rodillo vibratorio como nivel de compactación de la mezcla asfáltica en caliente del tramo de prueba “F” con un espesor de 6 centímetros de la capa de rodadura.

Con un total de 72 diamantinas tomadas en campo de distintos tramos de prueba elaborados, con la finalidad de brindar un óptimo nivel de compactación de la mezcla asfáltica en caliente, pero para poder realizar el análisis de estos resultados es necesario definir el diseño de mezcla asfáltica en laboratorio, elaborado bajo las condiciones climáticas características de la región y con materiales disponibles que cumplan con los estándares de calidad mínimos en su producción.

#### **4.2.2. ESTUDIOS DE LABORATORIO**

Para realizar los estudios de laboratorio que implican definir el diseño de mezcla con el cual se elaboraron los tramos de prueba en cuestión, es importante optar por una planta chancadora de agregados que cumpla con estándares mínimos en producción de agregados minerales, con el tamaño máximo nominal de 1/2" para una combinación de agregados de la gradación granulométrica MAC 2 y con el tamaño máximo nominal de 3/4" para una combinación de agregados de la gradación granulométrica MAC 1 establecida por la normativa Marshall; al mismo tiempo tiene que elegirse alguna cantera aluvial próxima a la región donde se elabora el estudio, ya que de esta manera se trabaja con un diseño de mezcla que simule las

condiciones específicas de las mejores propiedades mecánicas obtenibles en la región.

Por ello, se plantea emplear la planta chancadora de Matahuasi como fuente de los agregados minerales para el diseño de mezcla, obteniendo piedra procesada de tamaño máximo nominal  $\frac{1}{2}$ ", arena procesada y arena zarandeada. Estos materiales definidos para realizar la mezcla de agregados son los requeridos por el tipo de MAC – 02 de la normativa Marshall, debido a la disponibilidad de material granular.

Se entiende que para llegar a una correcta combinación de agregados es importante realizar un análisis de la gradación a cada material granular que compone la mezcla asfáltica. En la tabla 4, se presenta el análisis granulométrico por tamizado de la piedra de  $\frac{1}{2}$ ", el cual se trabajó a un peso total de 3000 gramos, de donde se obtuvo los pesos retenidos en cada tamiz, de esta forma obtener el porcentaje de pasantes de agregado mineral para el análisis correspondiente de los requerimientos del MAC -02.

Tabla 4: Análisis granulométrico por tamizado de la piedra de  $\frac{1}{2}$ "

Malla		Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumulado	% Pasante
Tamiz	mm				
tm - 1"	25.405	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 1/2"	12.700	774.50	25.82	25.82	74.18
tm - 3/8"	9.525	788.20	26.27	52.09	47.91
tm - N°4	4.750	1247.30	41.58	93.67	6.33
tm - N°8	2.550	86.40	2.88	96.55	3.45
tm - N°10	2.000	45.30	1.51	98.06	1.94
tm - N°16	1.185	33.30	1.11	99.17	0.83
tm - N°30	0.600	12.80	0.43	99.59	0.41

tm - N°40	0.425	2.70	0.09	99.68	0.32
tm - N°50	0.295	1.50	0.05	99.73	0.27
tm - N°80	0.175	1.20	0.04	99.77	0.23
tm - N°100	0.148	2.80	0.09	99.87	0.13
tm - N°200	0.072	1.50	0.05	99.92	0.08
< tm - N°200		2.50	0.08	100.00	0.00
<b>TOTAL =</b>		3000.00	gr		

Fuente: Elaboración propia

En la figura 8 se presenta la curva granulométrica de la piedra procesada de 1/2", la cual cumple con los tamaños máximos permisibles para un agregado grueso a emplear en una mezcla asfáltica en caliente según los requerimientos Marshall por MAC – 02.

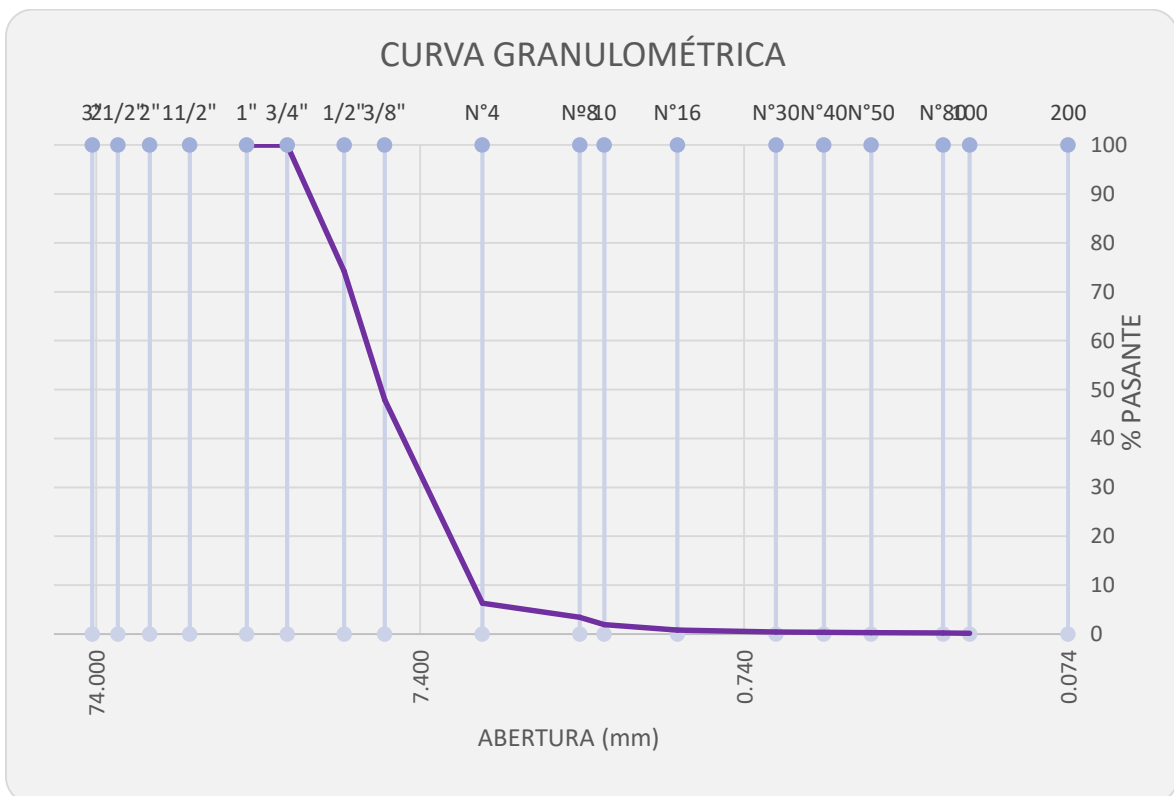


Figura 8: Curva granulométrica por tamizado de piedra 1/2"

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5, se presenta el análisis granulométrico por tamizado de la arena procesada, la cual se trabajó a un peso total de 1500 gramos de donde se obtuvo los pesos retenidos en cada tamiz; de esta forma obtener el porcentaje de pasantes de agregado mineral para el análisis correspondiente de los requerimientos del MAC -02.

Tabla 5: Análisis granulométrico por tamizado de la arena procesada

Malla		Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumulado	% Pasante
Tamiz	mm				
tm - 1"	25.405	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°4	4.750	89.75	5.98	5.98	94.02
tm - N°8	2.550	267.25	17.82	23.80	76.20
tm - N°10	2.000	96.30	6.42	30.22	69.78
tm - N°16	1.185	292.70	19.51	49.73	50.27
tm - N°30	0.600	118.75	7.92	57.65	42.35
tm - N°40	0.425	87.35	5.82	63.47	36.53
tm - N°50	0.295	102.85	6.86	70.33	29.67
tm - N°80	0.175	109.40	7.29	77.62	22.38
tm - N°100	0.148	99.85	6.66	84.28	15.72
tm - N°200	0.072	72.20	4.81	89.09	10.91
< tm - N°200		163.60	10.91	100.00	0.00
<b>TOTAL =</b>		1500.00	gr		

Fuente: Elaboración propia

En la figura 9, se presenta la curva granulométrica de la arena procesada, la cual cumple con los tamaños máximos permisibles para un agregado fino a emplear en una mezcla asfáltica en caliente según los requerimientos Marshall por MAC – 02.

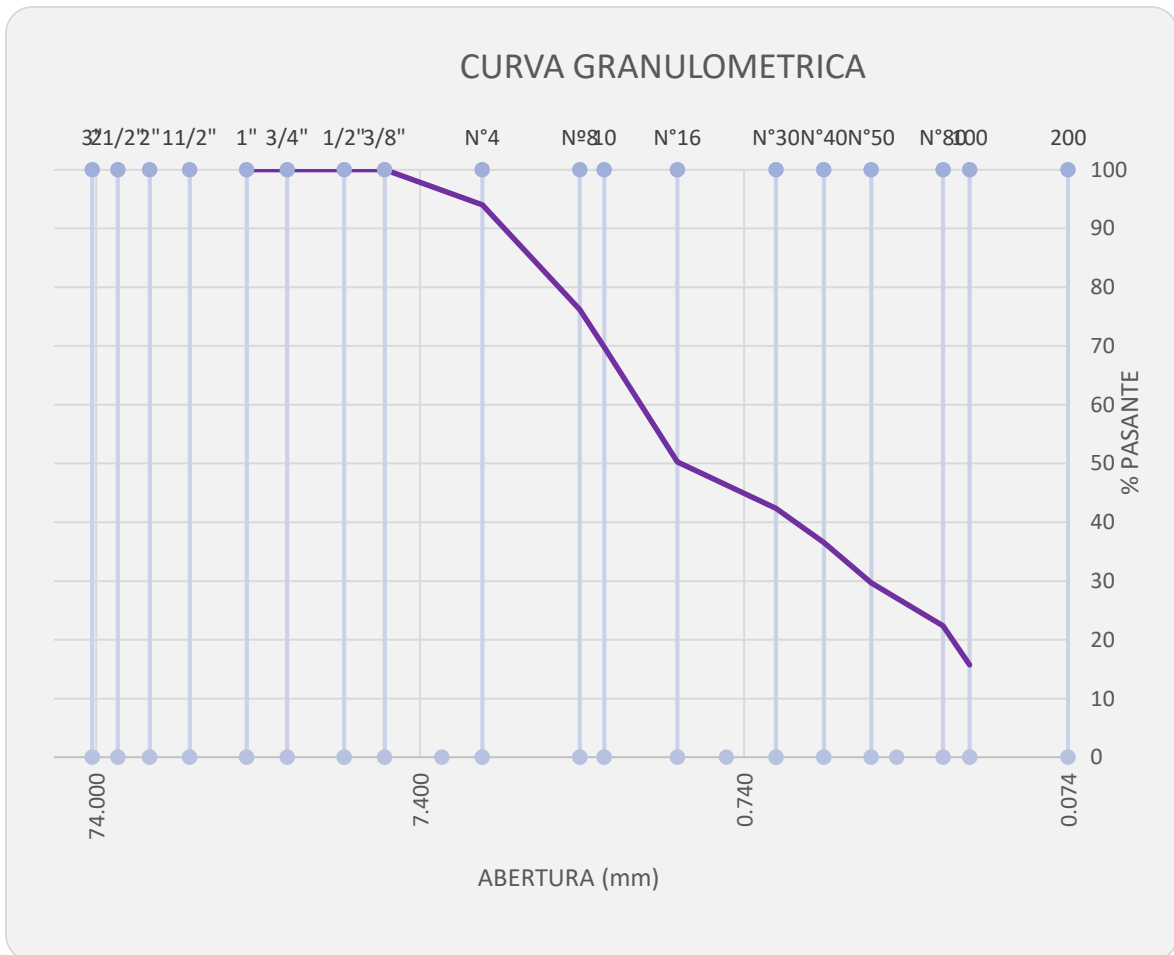


Figura 9: Curva granulométrica por tamizado de arena procesada

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 6, se presenta el análisis granulométrico por tamizado de la arena zarandeada la cual se trabajó a un peso total de 1500 gramos de donde se obtuvo los pesos retenidos en cada tamiz; de esta forma obtener el porcentaje de pasantes de agregado mineral para el análisis correspondiente de los requerimientos del MAC -02.

Tabla 6: Análisis granulométrico por tamizado de la arena natural

Malla		Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumulado	% Pasante
Tamiz	mm				
tm - 1"	25.405	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°4	4.750	294.25	19.62	19.62	80.38
tm - N°8	2.550	115.15	7.68	27.29	72.71
tm - N°10	2.000	206.70	13.78	41.07	58.93
tm - N°16	1.185	204.05	13.60	54.68	45.32
tm - N°30	0.600	118.95	7.93	62.61	37.39
tm - N°40	0.425	130.45	8.70	71.30	28.70
tm - N°50	0.295	110.30	7.35	78.66	21.34
tm - N°80	0.175	67.10	4.47	83.13	16.87
tm - N°100	0.148	71.75	4.78	87.91	12.09
tm - N°200	0.072	66.35	4.42	92.34	7.66
< tm - N°200		114.95	7.66	100.00	0.00
<b>TOTAL =</b>		1500.00	gr		

Fuente: Elaboración propia

En la figura 10, se presenta la curva granulométrica de la arena natural, la cual cumple con los tamaños máximos permisibles para un agregado fino a emplear en una mezcla asfáltica en caliente según los requerimientos Marshall por MAC – 02.



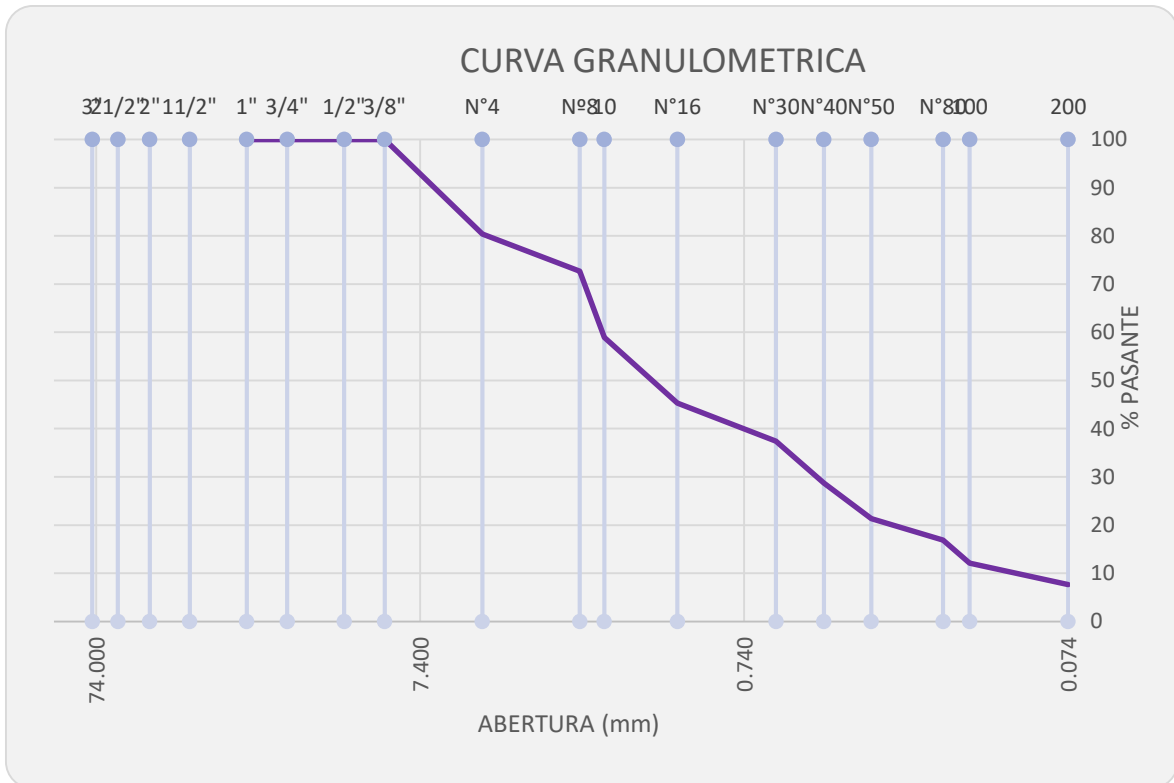


Figura 10: Curva granulométrica por tamizado de arena natural

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al análisis granulométrico realizado, se procede a emplear los porcentajes de pasantes resultantes de los agregados de piedra de 1/2", arena zarandeada y arena procesada con los cuales se combinan mediante el método del tanteo para encontrar porcentajes de mezcla que se encuentren dentro de los rangos especificados por el MAC – 02. En la tabla 7, se presentan los porcentajes obtenidos para una óptima combinación granular, donde se aplica un 37% de piedra de 1/2", un 34% de arena procesada, 28% de arena natural y para la conformación del mastico asfáltico se emplea cal como sellador a un porcentaje del 1%.

Tabla 7: Mezcla teórica de agregados para MAC - 02

Malla		% Pasantes				
Tamiz	mm	PIEDRAS		ARENAS		
Agregados		Piedra	Piedra	Arena	Arena	Cal
		3/4"	1/2"	Procesada	Natural	
Proporciones		3/4"	1/2"	PROCESADA	NATURAL	FINO
		0%	37%	34%	28%	1%
mll - 1"	25.405	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
mll - 3/4"	19.055	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
mll - 1/2"	12.700	100.00	74.18	100.00	100.00	100.00
mll - 3/8"	9.525	100.00	47.91	100.00	100.00	100.00
mll - N°4	4.750	100.00	6.33	94.02	80.38	100.00
mll - N°8	2.550	100.00	3.45	76.20	72.71	100.00
mll - N°10	2.000	100.00	1.94	69.78	58.93	100.00
mll - N°16	1.185	100.00	0.83	50.27	45.32	100.00
mll - N°30	0.600	100.00	0.41	42.35	37.39	100.00
mll - N°40	0.425	100.00	0.32	36.53	28.70	100.00
mll - N°50	0.295	100.00	0.27	29.67	21.34	100.00
mll - N°80	0.175	100.00	0.23	22.38	16.87	100.00
mll - N°100	0.148	100.00	0.13	15.72	12.09	100.00
mll - N°200	0.072	100.00	0.08	10.91	7.66	100.00
< mll - N°200		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8, se presenta los porcentajes de mezcla obtenidos con los porcentajes presentados en la tabla 7, con lo cual se puede verificar que los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos establecidos por el MAC -02 en todos los tamices evaluados.

Tabla 8: Especificaciones técnicas de mezcla para MAC - 02

Malla		% Pasantes	Especificaciones	
Tamiz	mm		MAC - 2	Tamaño máximo nominal
Agregados		MEZCLA	MTC	1/2"
Proporciones		100%		Curva Ideal
mll - 1"	25.405	100.0	100 - 100	100
mll - 3/4"	19.055	100.0	100 - 100	100
mll - 1/2"	12.700	90.4	80 - 100	90
mll - 3/8"	9.525	80.7	70 - 88	79
mll - N°4	4.750	57.8	51 - 68	60
mll - N°8	2.550	48.5		
mll - N°10	2.000	41.9	38 - 52	45
mll - N°16	1.185	31.1		
mll - N°30	0.600	26.0		
mll - N°40	0.425	21.6	17 - 28	23
mll - N°50	0.295	17.2		
mll - N°80	0.175	13.4	8 - 17	13
mll - N°100	0.148	9.8		
mll - N°200	0.072	6.9	4 - 8	6
< mll - N°200		0.0		

De acuerdo a la combinación granular realizada en la figura 11, se presenta la curva granulométrica resultante, donde las líneas punteadas de color verde representan los límites inferior y superior de los rangos establecidos por la normativa Marshall en el MAC -02; la línea punteada de color rojo representa la curva ideal obtenida de los promedios entre los límites y la curva de color morado es la curva resultante de la combinación granular realizada, donde se puede evidenciar que cumple con los parámetros determinados por la normativa Marshall con una distribución de sus partículas muy cercana a lo ideal.

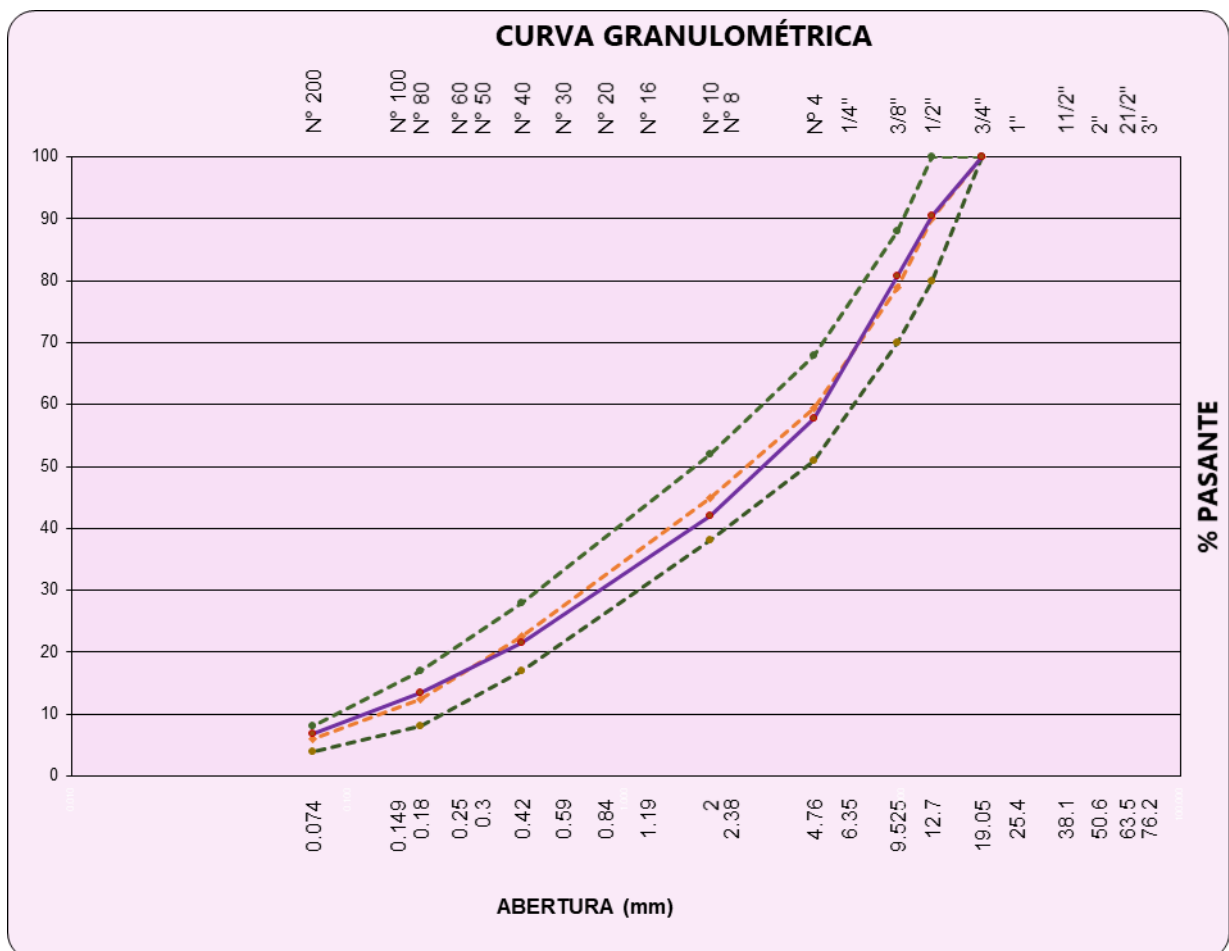


Figura 11: Curva granulométrica de combinación de agregados por MAC - 02

Fuente: Elaboración propia

Definidos los porcentajes de agregados según la combinación granular que cumple con las especificaciones del MAC - 02, es importante encontrar el óptimo contenido de asfalto que asegure el cumplimiento de las propiedades mecánicas exigidas por la normativa Marshall. Para lo cual se emplea un asfalto CAP PEN 85-100, debido a las condiciones climáticas de la región, clasificada como clima intermedio por la variabilidad de su temperatura en lapsos muy cortos de tiempo. Por ello, en la tabla 9, se presenta la combinación de agregados correspondiente a cada porcentaje de ligante asfáltico a analizar, teniendo porcentajes desde el 4% hasta el 6.5% variando los puntos de análisis cada 0.5%.

Tabla 9: Combinación de agregados para elaboración de briquetas OCA

<b>% Asfalto</b>	<b>4.0%</b>	<b>4.5%</b>	<b>5.0%</b>	<b>5.5%</b>	<b>6.0%</b>	<b>6.5%</b>
<b>TAMIZ</b>	<b>CAL – PESO (gr)</b>					
tm - 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - 3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
< N°10	12.0	11.9	11.9	11.8	11.8	11.7
<b>SUB-TOTAL</b>	<b>12.0</b>	<b>11.9</b>	<b>11.9</b>	<b>11.8</b>	<b>11.8</b>	<b>11.7</b>
<b>TAMIZ</b>	<b>ARENA PROCESADA – PESO (gr)</b>					
tm - 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - 3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°4	24.4	24.3	24.2	24.0	23.9	23.8
tm - N°10	98.9	98.4	97.9	97.3	96.8	96.3
< N°10	284.7	283.2	281.7	280.3	278.8	277.3
<b>SUB-TOTAL</b>	<b>408.0</b>	<b>405.9</b>	<b>403.8</b>	<b>401.6</b>	<b>399.5</b>	<b>397.4</b>
<b>TAMIZ</b>	<b>ARENA ZARANDEADA – PESO (gr)</b>					
tm - 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - 3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°4	65.9	65.6	65.2	64.9	64.5	64.2
tm - N°10	72.1	71.7	71.3	71.0	70.6	70.2
< N°10	198.0	197.0	195.9	194.9	193.9	192.8
<b>SUB-TOTAL</b>	<b>336.0</b>	<b>334.3</b>	<b>332.5</b>	<b>330.8</b>	<b>329.0</b>	<b>327.3</b>
<b>TAMIZ</b>	<b>PIEDRA 1/2" – PESO (gr)</b>					
tm - 1/2"	114.6	114.0	113.4	112.8	112.2	111.6
tm - 3/8"	116.7	116.0	115.4	114.8	114.2	113.6

tm - N°4	184.6	183.6	182.7	181.7	180.8	179.8
tm - N°10	19.5	19.4	19.3	19.2	19.1	19.0
< N°10	8.6	8.6	8.5	8.5	8.4	8.4
<b>SUB-TOTAL</b>	<b>444.0</b>	<b>441.7</b>	<b>439.4</b>	<b>437.1</b>	<b>434.8</b>	<b>432.4</b>
<b>TAMIZ</b>	<b>PIEDRA 3/4" – PESO (gr)</b>					
tm - 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - 3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
< N°10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>SUB-TOTAL</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>

<b>TOTAL (kg)</b>	<b>1200.00</b>	<b>1193.75</b>	<b>1187.50</b>	<b>1181.25</b>	<b>1175.00</b>	<b>1168.75</b>
<b>CAP PEN 85-100</b>	<b>50.00</b>	<b>56.25</b>	<b>62.50</b>	<b>68.75</b>	<b>75.00</b>	<b>81.25</b>
<b>TOTAL (kg)</b>	<b>1250.00</b>	<b>1250.00</b>	<b>1250.00</b>	<b>1250.00</b>	<b>1250.00</b>	<b>1250.00</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3. RESULTADOS DEL ESTUDIO

Los resultados del estudio se basan en la obtención de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente mediante un análisis del óptimo contenido de asfalto que representa la determinación de un diseño de mezcla bajo porcentajes específicos en su composición que incorporen las mejores cualidades en resistencia, fluencia y porcentaje de vacíos. Con la determinación de los pesos que componen la mezcla asfáltica de diseño, se puede pasar a comprobar el efecto del grado de compactación en los tramos de prueba y de esta forma llegar a los objetivos planteados en la presente investigación.

Siguiendo de forma ordenada la obtención de resultados, se presenta en la tabla 10 los datos descriptivos de tres muestras obtenidas a un 4.00% de ligante asfáltico en su composición, de acuerdo a las especificaciones MAC -02 y a la mezcla de agregados obtenidos en los estudios previos. Se presentan también la toma de pesos de cada briqueta en condición seca, superficialmente seca y saturada. De esta forma obtener todas las propiedades que aseguren un correcto funcionamiento de la mezcla en su conjunto para un diseño proyectado para un alto tráfico, simulado a 75 golpes de compactación por cara según lo que la metodología Marshall sugiere.

Tabla 10: Descripción de muestras elaboradas a un 4.00% de ligante asfáltico

	DESCRIPCIÓN MUESTRAS	N.º	1°	2°	3°
M1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	4.00	4.00	4.00
M2	Peso de la briqueta al aire	gr	1249.0	1250.2	1251.6
M3	Peso de la briqueta saturada	gr	1255.0	1255.4	1254.9
M4	Peso de la briqueta en agua	gr	752.9	755.1	751.3
M5	Volumen de briqueta + parafina	cm <sup>3</sup>	502.1	500.3	503.6
M6	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cm <sup>3</sup>	2.488	2.499	2.485
M7	Peso específico máximo	gr/cm <sup>3</sup>	2.681	2.681	2.681
M8	Vacíos (MTC E-505)	%	7.2	6.8	7.3
M9	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cm <sup>3</sup>	2.875	2.875	2.875
M10	V.M.A.	%	16.9	16.6	17.0
M11	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	57.4	59.0	57.1
M12	Peso específico del agregado total	gr/cm <sup>3</sup>	2.876	2.876	2.876
M13	Cemento asfáltico absorbido por el agregado	%	0.012	0.012	0.012
M14	Cemento asfáltico efectivo	%	3.99	3.99	3.99
M15	Flujo	mm	1.59	1.78	1.44
M16	Estabilidad sin corregir	kg	964.8	991.5	957.3
M17	Factor de estabilidad		1.00	1.00	1.00
M18	Estabilidad corregida	kg	965	992	957
M19	Estabilidad - Flujo	kg/cm	6068	5570	6648
M20	Compactación, número de golpes por cara		75 golpes		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 11, se presenta los datos descriptivos de tres muestras obtenidas a un 4.50% de ligante asfáltico en su composición, de acuerdo a las especificaciones MAC -02 y a la mezcla de agregados obtenidos en los estudios previos. Se presentan también la toma de pesos de cada briqueta en condición seca, superficialmente seca y saturada. Simulado a 75 golpes de compactación por cara según la metodología Marshall sugiere para un alto tráfico.

Tabla 11: Descripción de muestras elaboradas a un 4.50% de ligante asfáltico

	<b>DESCRIPCIÓN MUESTRAS</b>	<b>N.º</b>	<b>1°</b>	<b>2°</b>	<b>3°</b>
<b>M1</b>	<b>Cemento Asfáltico en peso de la mezcla</b>	<b>%</b>	<b>4.50</b>	<b>4.50</b>	<b>4.50</b>
<b>M2</b>	<b>Peso de la briqueta al aire</b>	<b>gr</b>	1251.7	1249.2	1250.6
<b>M3</b>	<b>Peso de la briqueta saturada</b>	<b>gr</b>	1254.6	1250.4	1254.3
<b>M4</b>	<b>Peso de la briqueta en agua</b>	<b>gr</b>	754.9	755.1	756.3
<b>M5</b>	<b>Volumen de briqueta + parafina</b>	<b>cm<sup>3</sup></b>	499.7	495.3	498.0
<b>M6</b>	<b>Peso específico Bulk de la briqueta</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>	2.505	2.522	2.511
<b>M7</b>	<b>Peso específico máximo</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>	2.660	2.660	2.660
<b>M8</b>	<b>Vacíos (MTC E-505)</b>	<b>%</b>	5.8	5.2	5.6
<b>M9</b>	<b>Peso específico Bulk del agregado total</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>	2.875	2.875	2.875
<b>M10</b>	<b>V.M.A.</b>	<b>%</b>	16.8	16.2	16.6
<b>M11</b>	<b>Vacíos llenos con cemento asfáltico</b>	<b>%</b>	65.3	68.1	66.3
<b>M12</b>	<b>Peso específico del agregado total</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>	2.878	2.878	2.878
<b>M13</b>	<b>Cemento asfáltico absorbido por el agregado</b>	<b>%</b>	0.036	0.036	0.036
<b>M14</b>	<b>Cemento asfáltico efectivo</b>	<b>%</b>	4.47	4.47	4.47
<b>M15</b>	<b>Flujo</b>	<b>mm</b>	2.65	2.34	2.53
<b>M16</b>	<b>Estabilidad sin corregir</b>	<b>kg</b>	1015.3	1066.2	1083.5
<b>M17</b>	<b>Factor de estabilidad</b>		1.00	1.00	1.00



<b>M18</b>	<b>Estabilidad corregida</b>	<b>kg</b>	1015	1066	1084
<b>M19</b>	<b>Estabilidad - Flujo</b>	<b>kg/cm</b>	3831	4556	4283
<b>M20</b>	<b>Compactación, número de golpes</b>		75 golpes		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 12, se presenta los datos descriptivos de tres muestras obtenidas a un 5.00% de ligante asfáltico en su composición, de acuerdo a las especificaciones MAC -02 y a la mezcla de agregados obtenidos en los estudios previos. Se presentan también la toma de pesos de cada briqueta en condición seca, superficialmente seca y saturada. Simulado a 75 golpes de compactación por cara según la metodología Marshall sugiere para un alto tráfico.

Tabla 12: Descripción de muestras elaboradas a un 5.00% de ligante asfáltico

	<b>DESCRIPCIÓN MUESTRAS</b>	<b>N.º</b>	<b>1°</b>	<b>2°</b>	<b>3°</b>
<b>M1</b>	<b>Cemento Asfáltico en peso de la mezcla</b>	<b>%</b>	<b>5.00</b>	<b>5.00</b>	<b>5.00</b>
<b>M2</b>	<b>Peso de la briqueta al aire</b>	<b>gr</b>	1249.0	1249.8	1251.6
<b>M3</b>	<b>Peso de la briqueta saturada</b>	<b>gr</b>	1252.4	1251.1	1253.9
<b>M4</b>	<b>Peso de la briqueta en agua</b>	<b>gr</b>	759.5	758.7	759.2
<b>M5</b>	<b>Volumen de briqueta + parafina</b>	<b>cm<sup>3</sup></b>	492.9	492.4	494.7
<b>M6</b>	<b>Peso específico Bulk de la briqueta</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>	2.534	2.538	2.530
<b>M7</b>	<b>Peso específico máximo</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>	2.641	2.641	2.641
<b>M8</b>	<b>Vacíos (MTC E-505)</b>	<b>%</b>	4.1	3.9	4.2
<b>M9</b>	<b>Peso específico Bulk del agregado total</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>	2.875	2.875	2.875
<b>M10</b>	<b>V.M.A.</b>	<b>%</b>	16.3	16.1	16.4
<b>M11</b>	<b>Vacíos llenos con cemento asfáltico</b>	<b>%</b>	75.1	75.9	74.4
<b>M12</b>	<b>Peso específico del agregado total</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>	2.882	2.882	2.882
<b>M13</b>	<b>Cemento asfáltico absorbido por el agregado</b>	<b>%</b>	0.085	0.085	0.085

<b>M14</b>	<b>Cemento asfáltico efectivo</b>	<b>%</b>	4.92	4.92	4.92
<b>M15</b>	<b>Flujo</b>	<b>mm</b>	2.87	3.16	3.02
<b>M16</b>	<b>Estabilidad sin corregir</b>	<b>kg</b>	1148.9	1102.9	1120.4
<b>M17</b>	<b>Factor de estabilidad</b>		1.00	1.00	1.00
<b>M18</b>	<b>Estabilidad corregida</b>	<b>kg</b>	1149	1103	1120
<b>M19</b>	<b>Estabilidad - Flujo</b>	<b>kg/cm</b>	4003	3490	3710
<b>M20</b>	<b>Compactación, número de golpes</b>		75 golpes		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 13, se presenta los datos descriptivos de tres muestras obtenidas a un 5.50% de ligante asfáltico en su composición, de acuerdo a las especificaciones MAC -02 y a la mezcla de agregados obtenidos en los estudios previos. Se presentan también la toma de pesos de cada briqueta en condición seca, superficialmente seca y saturada. Simulado a 75 golpes de compactación por cara según la metodología Marshall sugiere para un alto tráfico.

Tabla 13: Descripción de muestras elaboradas a un 5.50% de ligante asfáltico

	<b>DESCRIPCIÓN MUESTRAS</b>	<b>N.º</b>	<b>1°</b>	<b>2°</b>	<b>3°</b>
<b>M1</b>	<b>Cemento Asfáltico en peso de la mezcla</b>	<b>%</b>	<b>5.50</b>	<b>5.50</b>	<b>5.50</b>
<b>M2</b>	<b>Peso de la briqueta al aire</b>	<b>gr</b>	1249.6	1248.7	1247.9
<b>M3</b>	<b>Peso de la briqueta saturada</b>	<b>gr</b>	1251.8	1252.1	1250.4
<b>M4</b>	<b>Peso de la briqueta en agua</b>	<b>gr</b>	758.6	757.5	758.4
<b>M5</b>	<b>Volumen de briqueta + parafina</b>	<b>cm<sup>3</sup></b>	493.2	494.6	492.0
<b>M6</b>	<b>Peso específico Bulk de la briqueta</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>	2.534	2.525	2.536
<b>M7</b>	<b>Peso específico máximo</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>	2.616	2.616	2.616
<b>M8</b>	<b>Vacios (MTC E-505)</b>	<b>%</b>	3.1	3.5	3.0
<b>M9</b>	<b>Peso específico Bulk del agregado total</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>	2.875	2.875	2.875

<b>M10</b>	<b>V.M.A.</b>	<b>%</b>	16.7	17.0	16.6
<b>M11</b>	<b>Vacios llenos con cemento asfáltico</b>	<b>%</b>	81.2	79.5	81.7
<b>M12</b>	<b>Peso específico del agregado total</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>	2.878	2.878	2.878
<b>M13</b>	<b>Cemento asfáltico absorbido por el agregado</b>	<b>%</b>	0.036	0.036	0.036
<b>M14</b>	<b>Cemento asfáltico efectivo</b>	<b>%</b>	5.47	5.47	5.47
<b>M15</b>	<b>Flujo</b>	<b>mm</b>	3.63	3.51	3.85
<b>M16</b>	<b>Estabilidad sin corregir</b>	<b>kg</b>	1061.6	1045.1	1057.6
<b>M17</b>	<b>Factor de estabilidad</b>		1.00	1.00	1.00
<b>M18</b>	<b>Estabilidad corregida</b>	<b>kg</b>	1062	1045	1058
<b>M19</b>	<b>Estabilidad - Flujo</b>	<b>kg/cm</b>	2925	2977	2747
<b>M20</b>	<b>Compactación, número de golpes</b>		75 golpes		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 14, se presenta los datos descriptivos de tres muestras obtenidas a un 6.00% de ligante asfáltico en su composición, de acuerdo a las especificaciones MAC -02 y a la mezcla de agregados obtenidos en los estudios previos. Se presentan también la toma de pesos de cada briqueta en condición seca, superficialmente seca y saturada. Simulado a 75 golpes de compactación por cara según la metodología Marshall sugiere para un alto tráfico.

Tabla 14: Descripción de muestras elaboradas a un 6.00% de ligante asfáltico

	<b>DESCRIPCIÓN MUESTRAS</b>	<b>N.º</b>	<b>1º</b>	<b>2º</b>	<b>3º</b>
<b>M1</b>	<b>Cemento Asfáltico en peso de la mezcla</b>	<b>%</b>	<b>6.00</b>	<b>6.00</b>	<b>6.00</b>
<b>M2</b>	<b>Peso de la briqueta al aire</b>	<b>gr</b>	1248.5	1246.8	1249.0
<b>M3</b>	<b>Peso de la briqueta saturada</b>	<b>gr</b>	1252.2	1249.6	1253.0
<b>M4</b>	<b>Peso de la briqueta en agua</b>	<b>gr</b>	758.6	755.0	756.5
<b>M5</b>	<b>Volumen de briqueta + parafina</b>	<b>cm<sup>3</sup></b>	493.6	494.6	496.5

<b>M6</b>	<b>Peso específico Bulk de la briqueta</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>	2.529	2.521	2.516
<b>M7</b>	<b>Peso específico máximo</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>	2.580	2.580	2.580
<b>M8</b>	<b>Vacíos (MTC E-505)</b>	<b>%</b>	2.0	2.3	2.5
<b>M9</b>	<b>Peso específico Bulk del agregado total</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>	2.875	2.875	2.875
<b>M10</b>	<b>V.M.A.</b>	<b>%</b>	17.3	17.6	17.8
<b>M11</b>	<b>Vacíos llenos con cemento asfáltico</b>	<b>%</b>	88.7	87.0	85.9
<b>M12</b>	<b>Peso específico del agregado total</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>	2.859	2.859	2.859
<b>M13</b>	<b>Cemento asfáltico absorbido por el agregado</b>	<b>%</b>	-0.199	-0.199	-0.199
<b>M14</b>	<b>Cemento asfáltico efectivo</b>	<b>%</b>	6.19	6.19	6.19
<b>M15</b>	<b>Flujo</b>	<b>mm</b>	4.17	4.30	4.48
<b>M16</b>	<b>Estabilidad sin corregir</b>	<b>kg</b>	986.9	1007.9	959.3
<b>M17</b>	<b>Factor de estabilidad</b>		1.00	1.00	1.00
<b>M18</b>	<b>Estabilidad corregida</b>	<b>kg</b>	987	1008	959
<b>M19</b>	<b>Estabilidad - Flujo</b>	<b>kg/cm</b>	2367	2344	2141
<b>M20</b>	<b>Compactación, número de golpes</b>		75 golpes		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 15, se presenta los datos descriptivos de tres muestras obtenidas a un 6.50% de ligante asfáltico en su composición, de acuerdo a las especificaciones MAC -02 y a la mezcla de agregados obtenidos en los estudios previos. Se presentan también la toma de pesos de cada briqueta en condición seca, superficialmente seca y saturada. Simulado a 75 golpes de compactación por cara según la metodología Marshall sugiere para un alto tráfico.

Tabla 15: Descripción de muestras elaboradas a un 6.50% de ligante asfáltico

	DESCRIPCIÓN MUESTRAS	N.º	1º	2º	3º
M1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	6.50	6.50	6.50
M2	Peso de la briqueta al aire	gr	1246.8	1251.7	1249.9
M3	Peso de la briqueta saturada	gr	1251.2	1255.2	1255.8
M4	Peso de la briqueta en agua	gr	756.8	757.3	758.1
M5	Volumen de briqueta + parafina	cm <sup>3</sup>	494.4	497.9	497.7
M6	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cm <sup>3</sup>	2.522	2.514	2.511
M7	Peso específico máximo	gr/cm <sup>3</sup>	2.560	2.560	2.560
M8	Vacíos (MTC E-505)	%	1.5	1.8	1.9
M9	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cm <sup>3</sup>	2.875	2.875	2.875
M10	V.M.A.	%	18.0	18.2	18.3
M11	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	91.7	90.1	89.6
M12	Peso específico del agregado total	gr/cm <sup>3</sup>	2.860	2.860	2.860
M13	Cemento asfáltico absorbido por el agregado	%	-0.186	-0.186	-0.186
M14	Cemento asfáltico efectivo	%	6.67	6.67	6.67
M15	Flujo	mm	4.55	4.72	4.43
M16	Estabilidad sin corregir	kg	826.7	802.2	789.8
M17	Factor de estabilidad		1.00	1.00	1.00
M18	Estabilidad corregida	kg	827	802	790
M19	Estabilidad - Flujo	kg/cm	1817	1700	1783
M20	Compactación, número de golpes		75 golpes		

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los datos obtenidos, en la figura 12 se presenta el análisis de la variación en la estabilidad a medida que varía el porcentaje de asfalto en su composición, presentando de esta forma una línea tendencia promedio en forma de campana, donde se obtiene que el porcentaje de 6.50% de asfalto no cumple con el requerimiento mínimo establecido por la normativa Marshall. Al mismo tiempo, se presenta que existe un valor de máxima estabilidad para el óptimo contenido de asfalto al 5.01% en añadidura de mezcla asfáltica en caliente.

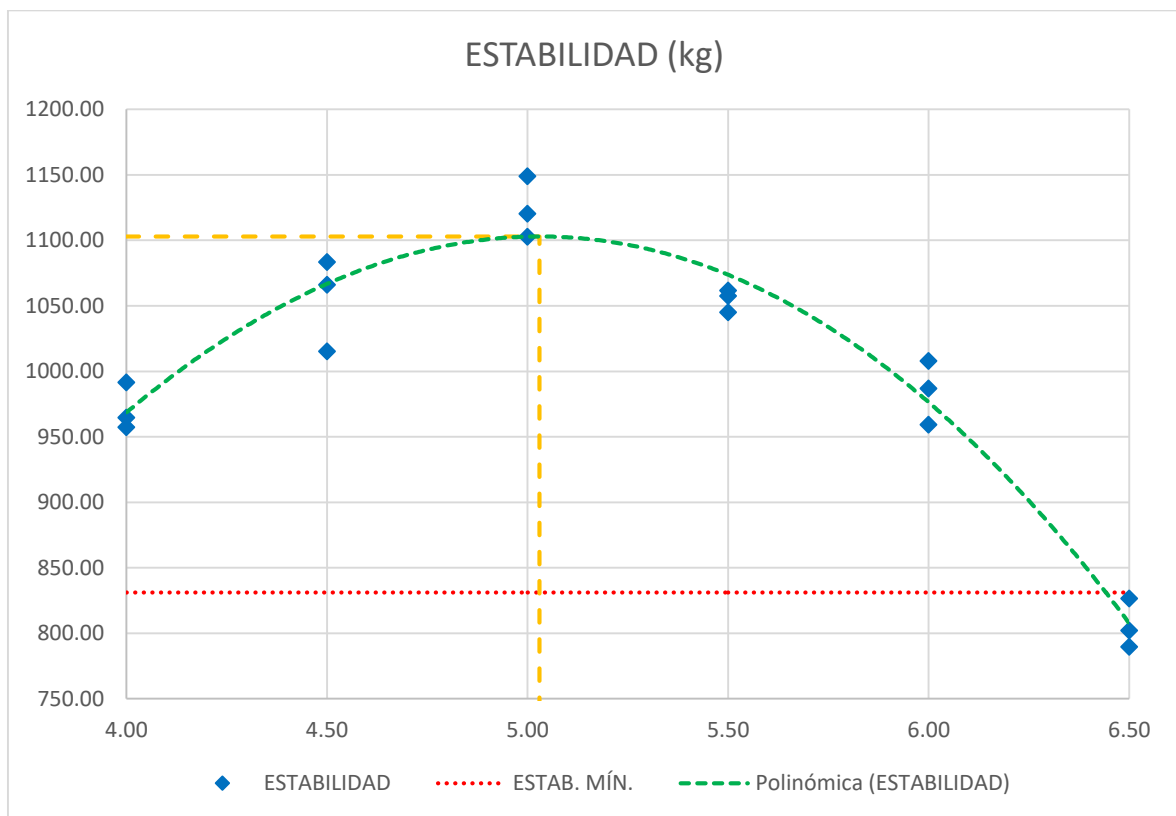


Figura 12: Análisis gráfico de la Estabilidad (kg) a distintos porcentajes de asfalto

Fuente: Elaboración propia

En la figura 13, se presenta el análisis de la variación en el flujo a medida que varía el porcentaje de asfalto en su composición, presentando de esta forma una línea tendencia promedio positiva, donde se obtiene que el porcentaje de 4.00%, 5.50%, 6.00% y 6.50% de asfalto no cumplen con el requerimiento establecido por la normativa Marshall del rango permisible entre 2.00 a 3.50 milímetros. Al mismo tiempo, se presenta que existe un valor de deformación que se ubica dentro del rango requerido para el óptimo contenido de asfalto al 5.01% en añadidura de

mezcla asfáltica en caliente. De esta forma, se previene que el diseño de mezcla pueda presentar problemas de fisuraciones tempranas o de ahuellamiento ante cargas pesadas de tránsito.

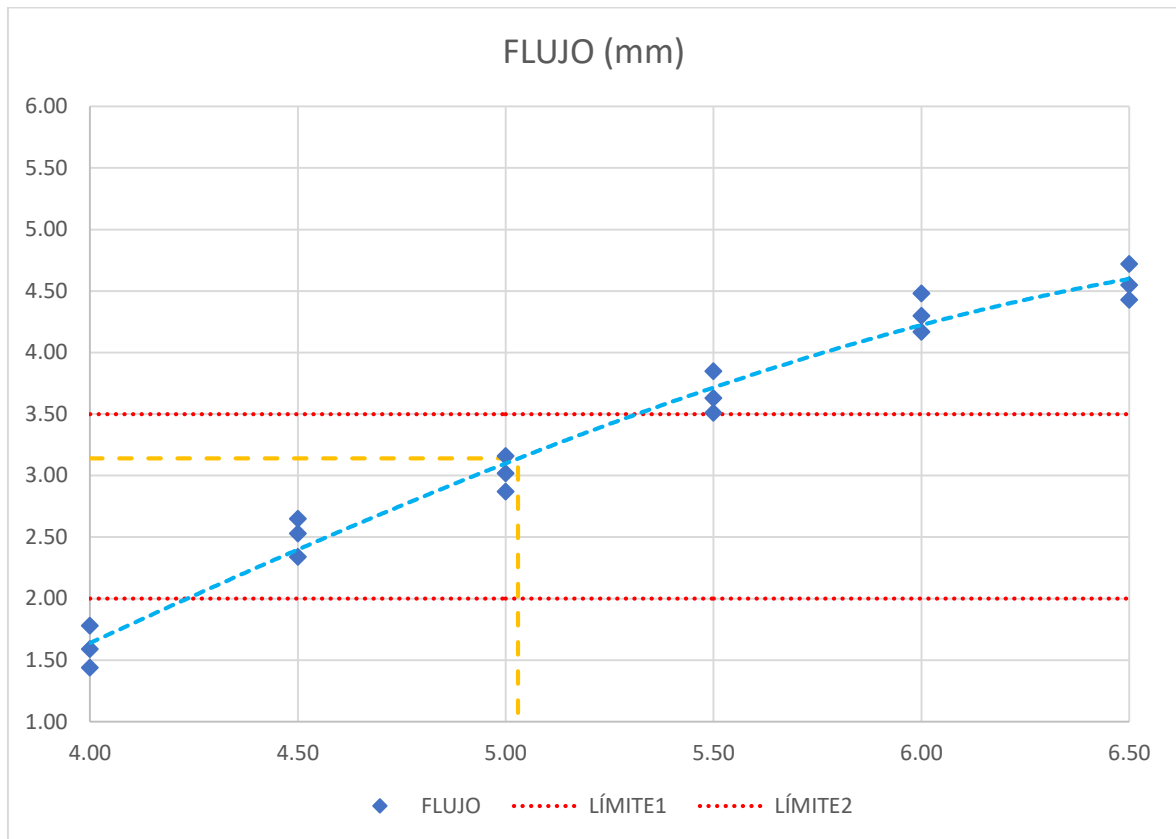


Figura 13: Análisis gráfico del Flujo (mm) a distintos porcentajes de asfalto

Fuente: Elaboración propia

En la figura 14, se presenta el análisis de la variación en el porcentaje de vacíos a medida que varía el porcentaje de asfalto en su composición, presentando de esta forma una línea tendencia promedio decreciente, donde se obtiene que el porcentaje de 4.00%, 4.50%, 6.00% y 6.50% de asfalto no cumplen con el requerimiento establecido por la normativa Marshall de un rango entre el 3.00% al 5.00% de vacíos. Al mismo tiempo, se presenta que existe un porcentaje de vacíos para el óptimo contenido de asfalto al 5.01% en añadidura de mezcla asfáltica en caliente que cumple con los requerimientos establecidos. Este valor de diseño obtenido es determinante para la comprobación según el grado de compactación llevado a campo en los tramos de prueba, ya que al existir una sobrecompactación,

el porcentaje de vacíos disminuirá y al existir una compactación pobre, el porcentaje de vacíos aumentará.

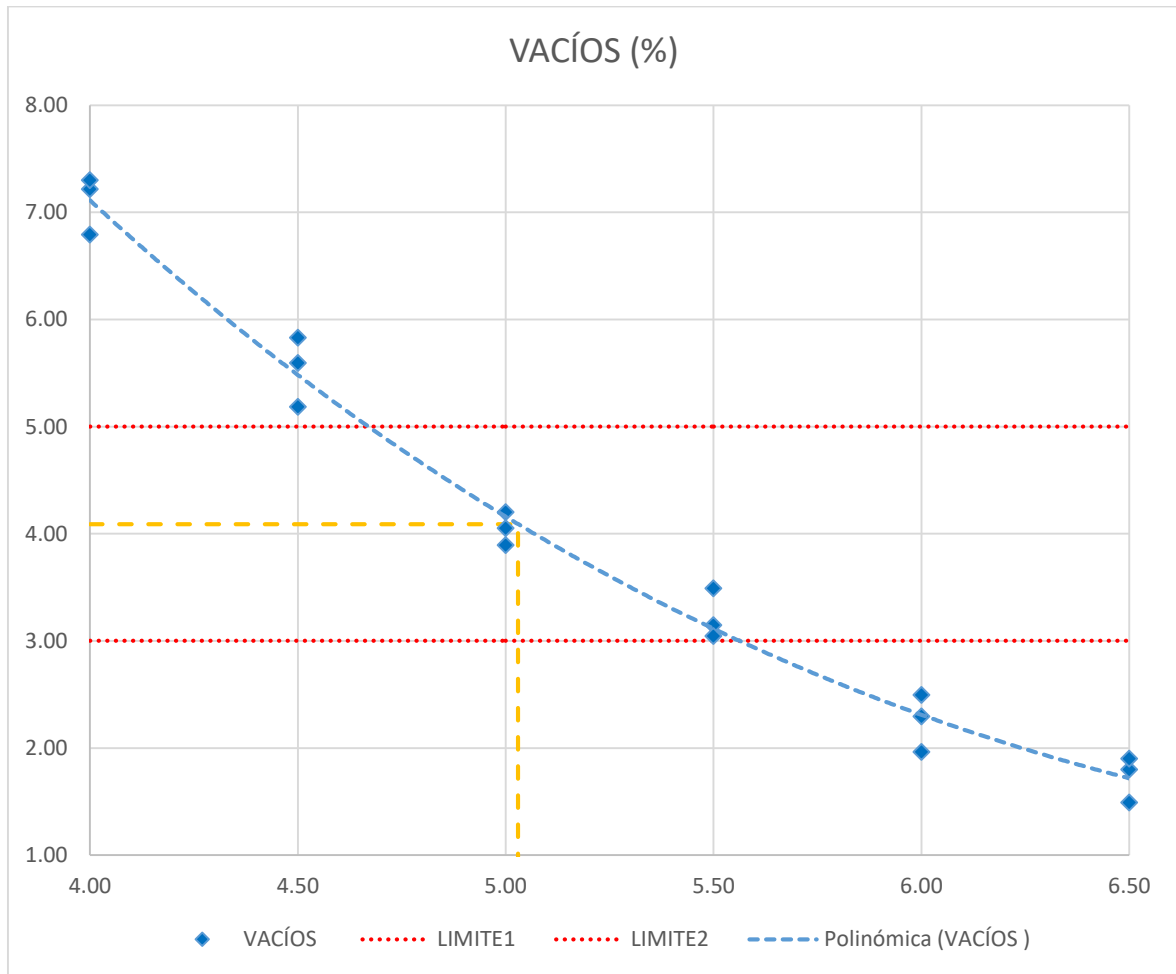


Figura 14: Análisis gráfico de Vacíos (%) a distintos porcentajes de asfalto

Fuente: Elaboración propia

En la figura 15, se presenta el análisis de la variación en el porcentaje de vacíos en el agregado mineral a medida que varía el porcentaje de asfalto en su composición, presentando de esta forma una línea tendencia promedio ligeramente ascendente, donde se obtiene que todos los porcentajes de contenido asfáltico cumplen con el requerimiento establecido por la normativa Marshall de un mínimo de 15.00% de vacíos en el agregado mineral para una mezcla con tamaño máximo nominal de 1/2". Al mismo tiempo, se presenta que existe un porcentaje de vacíos en el agregado mineral para el óptimo contenido de asfalto al 5.01% en añadidura de mezcla asfáltica en caliente que cumple con los requerimientos establecidos.



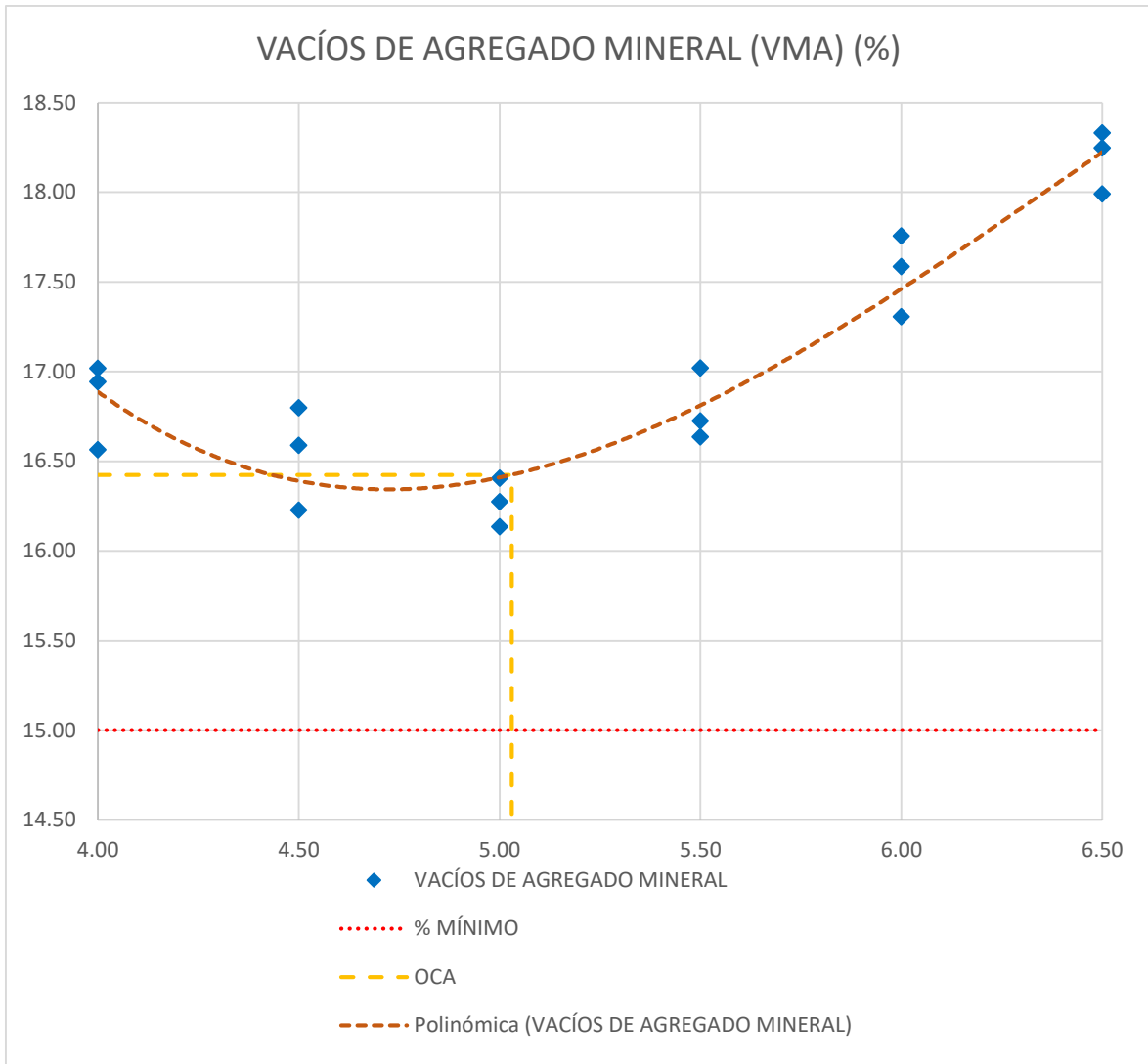


Figura 15: Análisis gráfico de VMA (%) a distintos porcentajes de asfalto

Fuente: Elaboración propia

En la figura 16, se presenta el análisis de la variación en el porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico a medida que varía el porcentaje de asfalto en su composición, presentando de esta forma una línea tendencia promedio ascendente, donde se obtiene que todos los porcentajes de contenido asfáltico presentan una tendencia establecida ante su variación. Al mismo tiempo, se presenta que existe un porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico para el óptimo contenido de asfalto al 5.01% en añadidura de mezcla asfáltica en caliente que es de 75.08%.

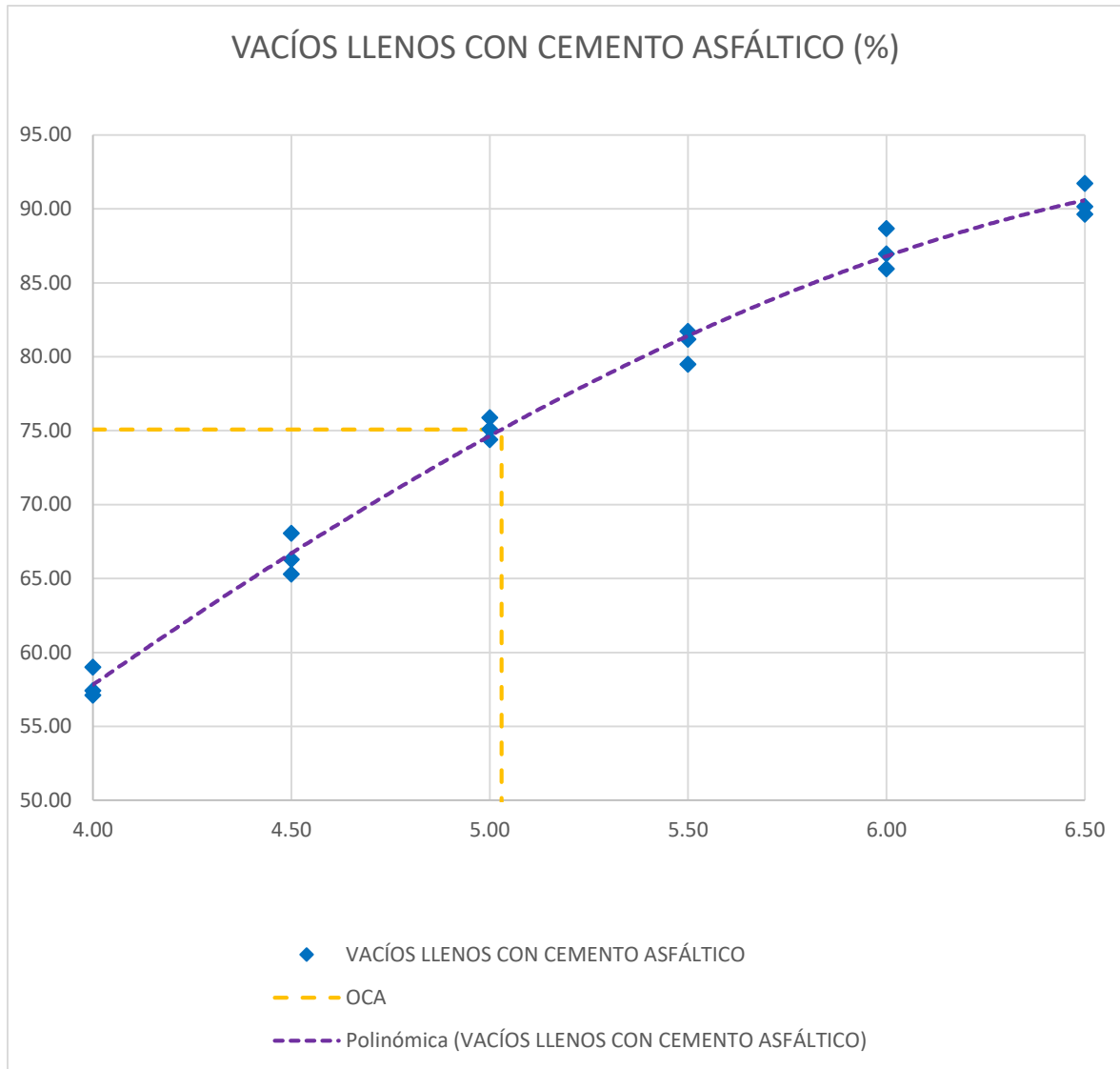


Figura 16: Análisis gráfico de VLLA (%) a distintos porcentajes de asfalto

Fuente: Elaboración propia

En la figura 17, se presenta el análisis de la variación en el peso unitario a medida que varía el porcentaje de asfalto en su composición, presentando de esta forma una línea con una tendencia en forma de campana, donde se obtiene que todos los porcentajes de contenido asfáltico presentan una predisposición establecida ante su variación. Al mismo tiempo, se presenta que existe un peso unitario para el óptimo contenido de asfalto al 5.01% en añadidura de mezcla asfáltica en caliente que es de 2.532 gr/cm<sup>3</sup> menor al 2.641 gr/cm<sup>3</sup> máximo especificado por la normativa Marshall.

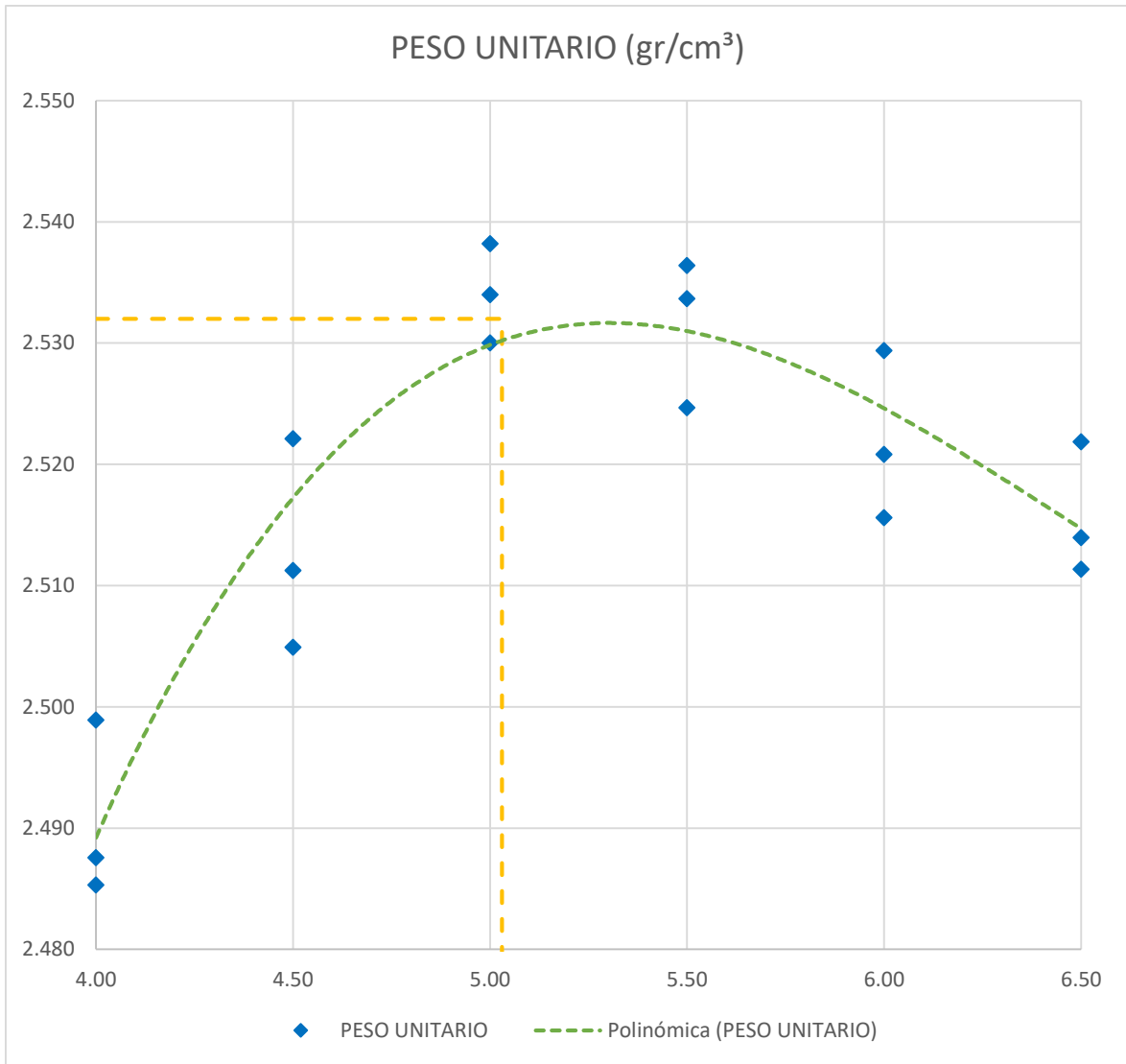


Figura 17: Análisis del Peso Unitario (gr/cm³) a distintos porcentajes de asfalto

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en la tabla 16, se muestra el cuadro resumen de las propiedades mecánicas obtenidas para el diseño de mezcla propuesto con un óptimo contenido de asfalto de 5.03%, de acuerdo al porcentaje de vacíos recomendado para una característica climática intermedia propia de la región donde se desempeñará el diseño. A su vez, se tiene que todas las propiedades cumplen con los requerimientos establecidos por la normativa Marshall y el valor de estabilidad obtenido coincide con el mayor valor obtenido durante el análisis. Estos resultados base tienen como función principal buscar su comprobación ante el grado de compactación simulado en los tramos de prueba.

Tabla 16: Cuadro resumen de las propiedades mecánicas para el OCA

	<b>ÓPTIMO CONTENIDO DE ASFALTO</b>	
<b>CEMENTO ASFÁLTICO</b>	5.03%	
<b>PESO UNITARIO</b>	2.532	gr/cm <sup>3</sup>
<b>VACÍOS</b>	4.090	%
<b>VACÍOS DE AGREGADO MINERAL</b>	16.424	%
<b>VACÍOS LLENOS CON CEMENTO ASFÁLTICO</b>	75.080	%
<b>FLUJO</b>	3.139	mm
<b>ESTABILIDAD</b>	1102.900	kg

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.1. OE 1 – ESTABILIDAD Y FLUJO, GRADO DE COMPACTACIÓN

Para tomar las propiedades de estabilidad y flujo obtenido de los tramos de prueba mediante diamantinas extraídas, es importante tener en consideración que los análisis se realizaron de forma independiente a cada variable estudiada, es decir, que se presentan los resultados a 1, 2, 3 y 4 pasadas de los dos rodillos empleados para la compactación del tramo de prueba.

#### RODILLO COMPACTADOR LISO

En la tabla 17, se presentan los resultados obtenidos para el análisis mecánico de las muestras elaboradas con un espesor de capa a 2, 4 y 6 centímetros y a un grado de compactación de 1 pasada con el rodillo compactador liso.

Tabla 17: Cuadro resultados del compactador liso con 1 pasada

Esesor	2 cm
Número de pasadas	1 pasada

Diamantina	D1	D2	D3
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	2.519	2.524	2.517
% Vacíos	4.55	4.41	4.61
% Vacíos de agregado mineral	16.83	16.72	16.88
% Vacíos llenos con cemento asfáltico	73.60	74.05	72.83
Flujo (mm)	4.01	3.91	4.21
Estabilidad (kg)	1042.3	1020	1051.9
% Óptimo Contenido de Asfalto	5.04	5.02	5.03
Espesor	4 cm		
Número de pasadas	1 pasada		
Diamantina	D1	D2	D3
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	2.505	2.496	2.499
% Vacíos	5.05	5.27	5.17
% Vacíos de agregado mineral	17.21	17.39	17.28
% Vacíos llenos con cemento asfáltico	70.39	69.81	70.06
Flujo (mm)	4.42	4.48	4.65
Estabilidad (kg)	866.3	879.2	910.1
% Óptimo Contenido de Asfalto	5.02	5.03	5.04
Espesor	6 cm		
Número de pasadas	1 pasada		
Diamantina	D1	D2	D3
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	2.48	2.473	2.476
% Vacíos	5.91	6.21	6.10
% Vacíos de agregado mineral	18.06	18.34	18.21
% Vacíos llenos con cemento asfáltico	66.97	65.75	66.56
Flujo (mm)	5.18	4.82	4.96
Estabilidad (kg)	922.7	962.1	942.3
% Óptimo Contenido de Asfalto	5.03	5.00	5.02

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 18, se presentan los resultados obtenidos para el análisis mecánico de las muestras elaboradas con un espesor de capa a 2, 4 y 6 centímetros y a un grado de compactación de 2 pasadas con el rodillo compactador liso.

Tabla 18: Cuadro resultados del compactador liso con 2 pasadas

Espesor	2 cm		
Número de pasadas	2 pasadas		
Diamantina	D1	D2	D3
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	2.522	2.526	2.528
% Vacíos	4.19	4.35	4.16
% Vacíos de agregado mineral	16.60	16.65	16.52
% Vacíos llenos con cemento asfáltico	74.31	73.78	74.81
Flujo (mm)	3.19	3.36	3.28
Estabilidad (kg)	1097.2	1070.8	1094.6
% Óptimo Contenido de Asfalto	5.03	5.01	5.03
Espesor	4 cm		
Número de pasadas	2 pasadas		
Diamantina	D1	D2	D3
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	2.517	2.514	2.513
% Vacíos	4.52	4.72	4.65
% Vacíos de agregado mineral	16.89	17.17	16.93
% Vacíos llenos con cemento asfáltico	72.88	71.89	72.48
Flujo (mm)	3.95	3.82	4.15
Estabilidad (kg)	1025.2	1005.7	1031.3
% Óptimo Contenido de Asfalto	5.01	5.01	5.03
Espesor	6 cm		
Número de pasadas	2 pasadas		
Diamantina	D1	D2	D3
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	2.501	2.492	2.498
% Vacíos	5.25	5.46	5.31
% Vacíos de agregado mineral	17.51	17.78	17.56
% Vacíos llenos con cemento asfáltico	69.93	68.51	69.52
Flujo (mm)	4.48	4.23	4.29
Estabilidad (kg)	982.3	965.6	958.47
% Óptimo Contenido de Asfalto	5.04	5.02	5.03

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 19, se presentan los resultados obtenidos para el análisis mecánico de las muestras elaboradas con un espesor de capa a 2, 4 y 6 centímetros y a un grado de compactación de 3 pasadas con el rodillo compactador liso.

Tabla 19: Cuadro resultados del compactador liso con 3 pasadas

Espesor	2 cm		
Número de pasadas	3 pasadas		
Diamantina	D1	D2	D3
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	2.533	2.537	2.531
% Vacíos	4.09	4.06	4.17
% Vacíos de agregado mineral	16.40	16.34	16.47
% Vacíos llenos con cemento asfáltico	75.08	75.41	74.86
Flujo (mm)	3.12	3.05	3.24
Estabilidad (kg)	1118.1	1095.1	1103.2
% Óptimo Contenido de Asfalto	5.03	5.00	5.03
Espesor	4 cm		
Número de pasadas	3 pasadas		
Diamantina	D1	D2	D3
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	2.523	2.516	2.519
% Vacíos	4.21	4.39	4.26
% Vacíos de agregado mineral	16.53	16.75	16.61
% Vacíos llenos con cemento asfáltico	74.32	73.52	73.95
Flujo (mm)	3.42	3.21	3.29
Estabilidad (kg)	1067.5	1087.7	1055.3
% Óptimo Contenido de Asfalto	5.04	5.02	5.03
Espesor	6 cm		
Número de pasadas	3 pasadas		
Diamantina	D1	D2	D3
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	2.513	2.511	2.507
% Vacíos	4.75	4.87	5.06
% Vacíos de agregado mineral	17.18	17.25	17.48
% Vacíos llenos con cemento asfáltico	72.47	71.15	70.65
Flujo (mm)	3.78	3.62	3.86

Estabilidad (kg)	1033.8	998.2	1021.7
% Óptimo Contenido de Asfalto	5.01	5.03	5.03

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 20, se presentan los resultados obtenidos para el análisis mecánico de las muestras elaboradas con un espesor de capa a 2, 4 y 6 centímetros y a un grado de compactación de 4 pasadas con el rodillo compactador liso.

Tabla 20: Cuadro resultados del compactador liso con 4 pasadas

Esesor	2 cm		
Número de pasadas	4 pasadas		
Diamantina	D1	D2	D3
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	2.544	2.548	2.54
% Vacíos	3.73	3.57	3.82
% Vacíos de agregado mineral	16.01	15.87	16.08
% Vacíos llenos con cemento asfáltico	77.39	78.06	76.89
Flujo (mm)	2.86	2.72	2.81
Estabilidad (kg)	1139.8	1165.5	1172.7
% Óptimo Contenido de Asfalto	5.02	5.04	5.03
Esesor	4 cm		
Número de pasadas	4 pasadas		
Diamantina	D1	D2	D3
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	2.531	2.536	2.533
% Vacíos	4.19	4.01	4.08
% Vacíos de agregado mineral	16.52	16.31	16.45
% Vacíos llenos con cemento asfáltico	74.82	75.22	75.56
Flujo (mm)	3.10	3.14	3.26
Estabilidad (kg)	1121.2	1097.2	1102.5
% Óptimo Contenido de Asfalto	5.02	5.01	5.02
Esesor	6 cm		
Número de pasadas	4 pasadas		
Diamantina	D1	D2	D3
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	2.528	2.52	2.526
% Vacíos	4.25	4.42	4.28



% Vacíos de agregado mineral	16.62	16.80	16.69
% Vacíos llenos con cemento asfáltico	74.26	73.18	73.89
Flujo (mm)	3.49	3.27	3.33
Estabilidad (kg)	1051.5	1082.2	1091.3
% Óptimo Contenido de Asfalto	5.02	5.03	5.04

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los datos resultantes del análisis mecánico a las diamantinas extraídas, se presenta en la figura 18 el comportamiento gráfico de la estabilidad (kg) obtenida en las muestras extraídas del tramo de prueba elaborado a 2 centímetros de espesor en la capa de rodadura. Donde se puede apreciar un ligero aumento de la estabilidad a medida que se aumenta el grado de compactación en el tramo.

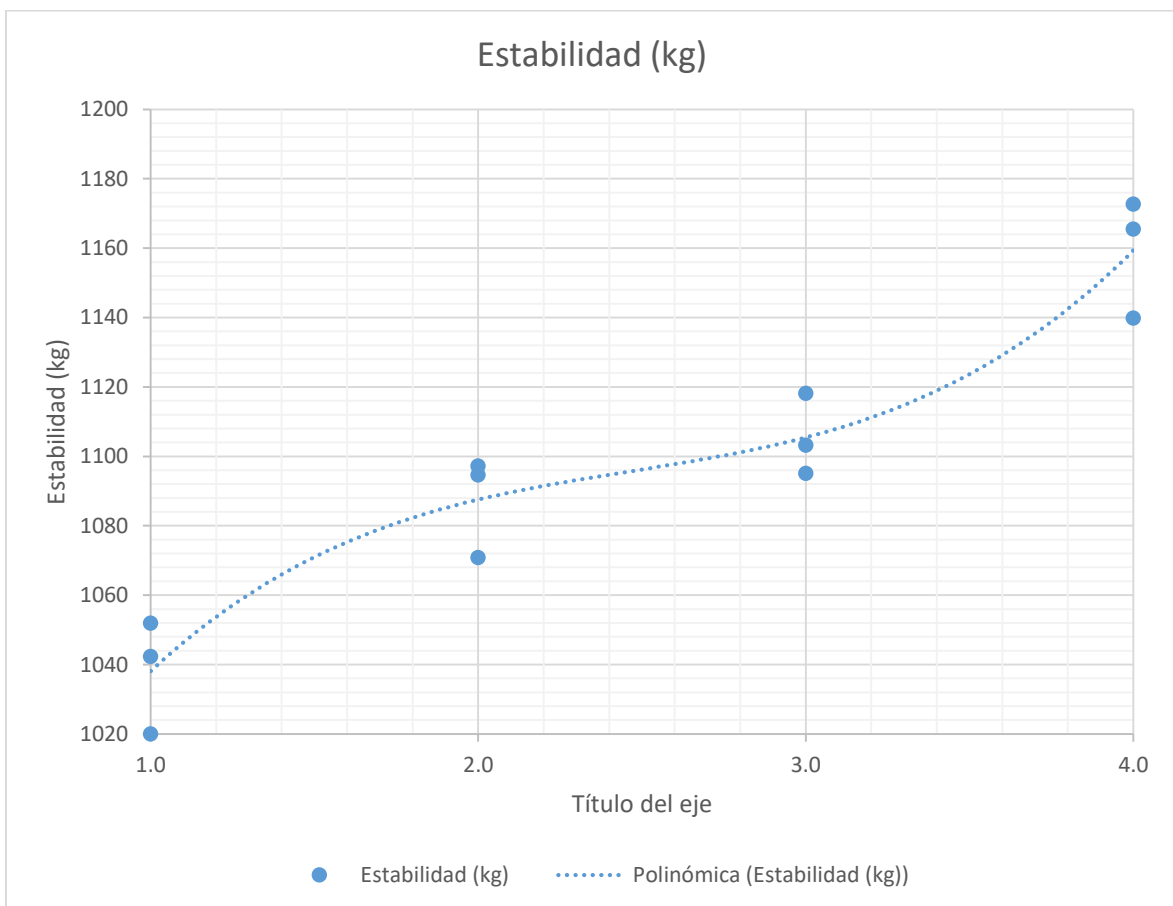


Figura 18: Análisis de la estabilidad (kg) con rodillo compactador liso– 2 cm

Fuente: Elaboración propia

Según los datos resultantes del análisis mecánico a las diamantinas extraídas, se presenta en la figura 19 el comportamiento gráfico del flujo (mm) obtenido en las muestras extraídas del tramo de prueba elaborado a 2 centímetros de espesor en la capa de rodadura. Donde se puede apreciar una tendencia descendente en la deformación presente a medida que se aumenta el grado de compactación, llegando a obtener que para 1 pasada del rodillo liso el flujo no cumple con los requerimientos normativos Marshall.

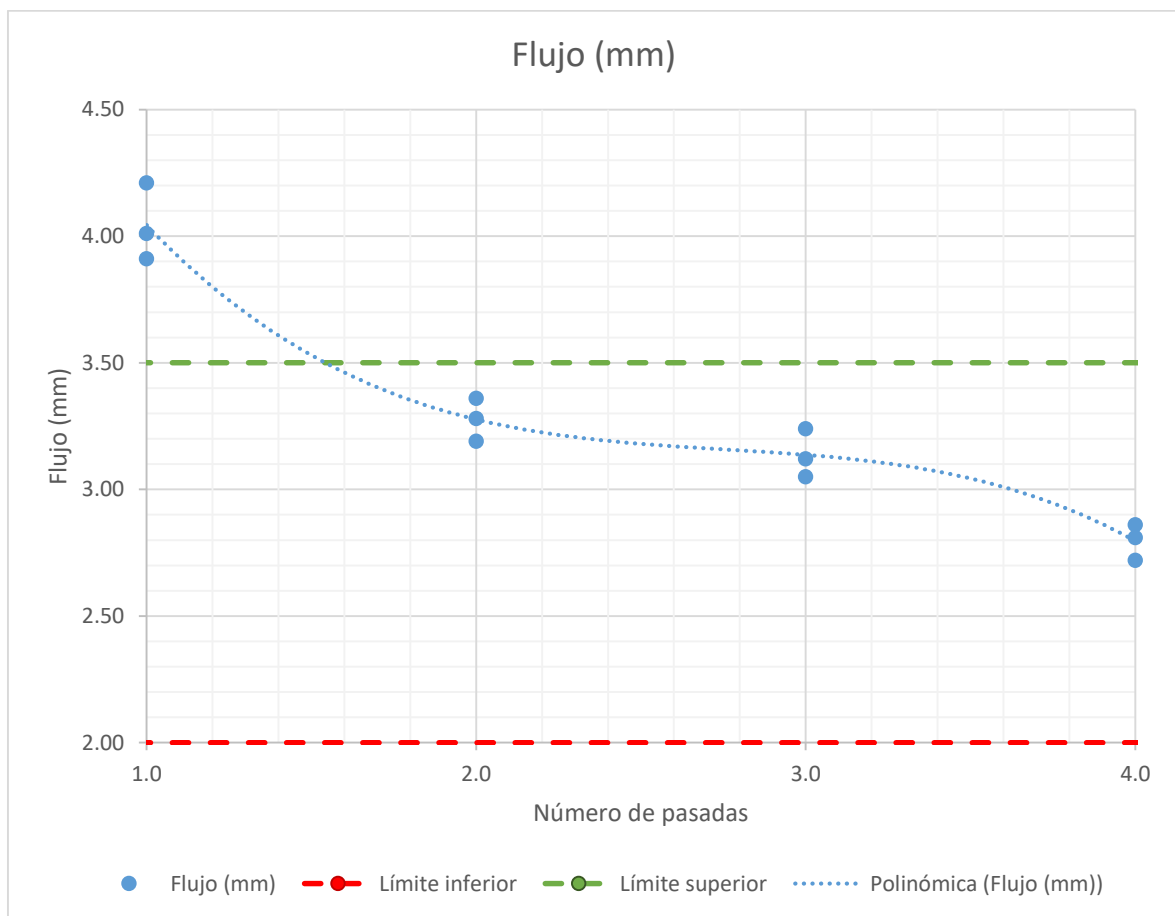


Figura 19: Análisis del flujo (mm) con rodillo compactador liso – 2 cm

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los datos resultantes del análisis mecánico a las diamantinas extraídas, se presenta en la figura 20 el comportamiento gráfico de la estabilidad (kg) obtenida en las muestras extraídas del tramo de prueba elaborado a 4 centímetros de espesor en la capa de rodadura. Donde se

puede apreciar un ligero aumento de la estabilidad a medida que se aumenta el grado de compactación en el tramo.

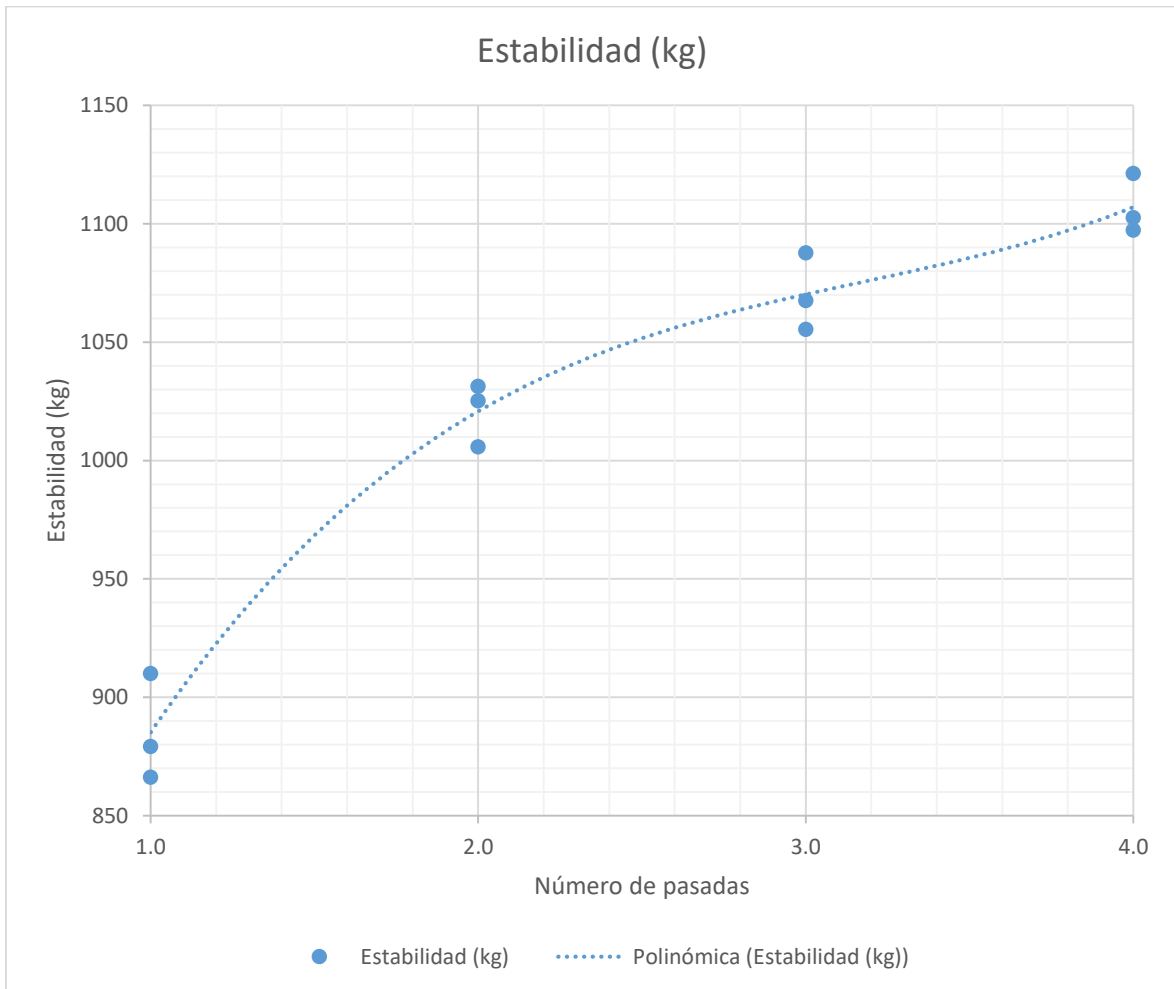


Figura 20: Análisis de la estabilidad (kg) con rodillo compactador liso – 4 cm

Fuente: Elaboración propia

Según los datos resultantes del análisis mecánico a las diamantinas extraídas, se presenta en la figura 21 el comportamiento gráfico del flujo (mm) obtenido en las muestras extraídas del tramo de prueba elaborado a 4 centímetros de espesor en la capa de rodadura. Donde se puede apreciar una tendencia descendente en la deformación presente a medida que se aumenta el grado de compactación, llegando a obtener que para 1 y 2 pasadas del rodillo liso el flujo no cumple con los requerimientos normativos Marshall.

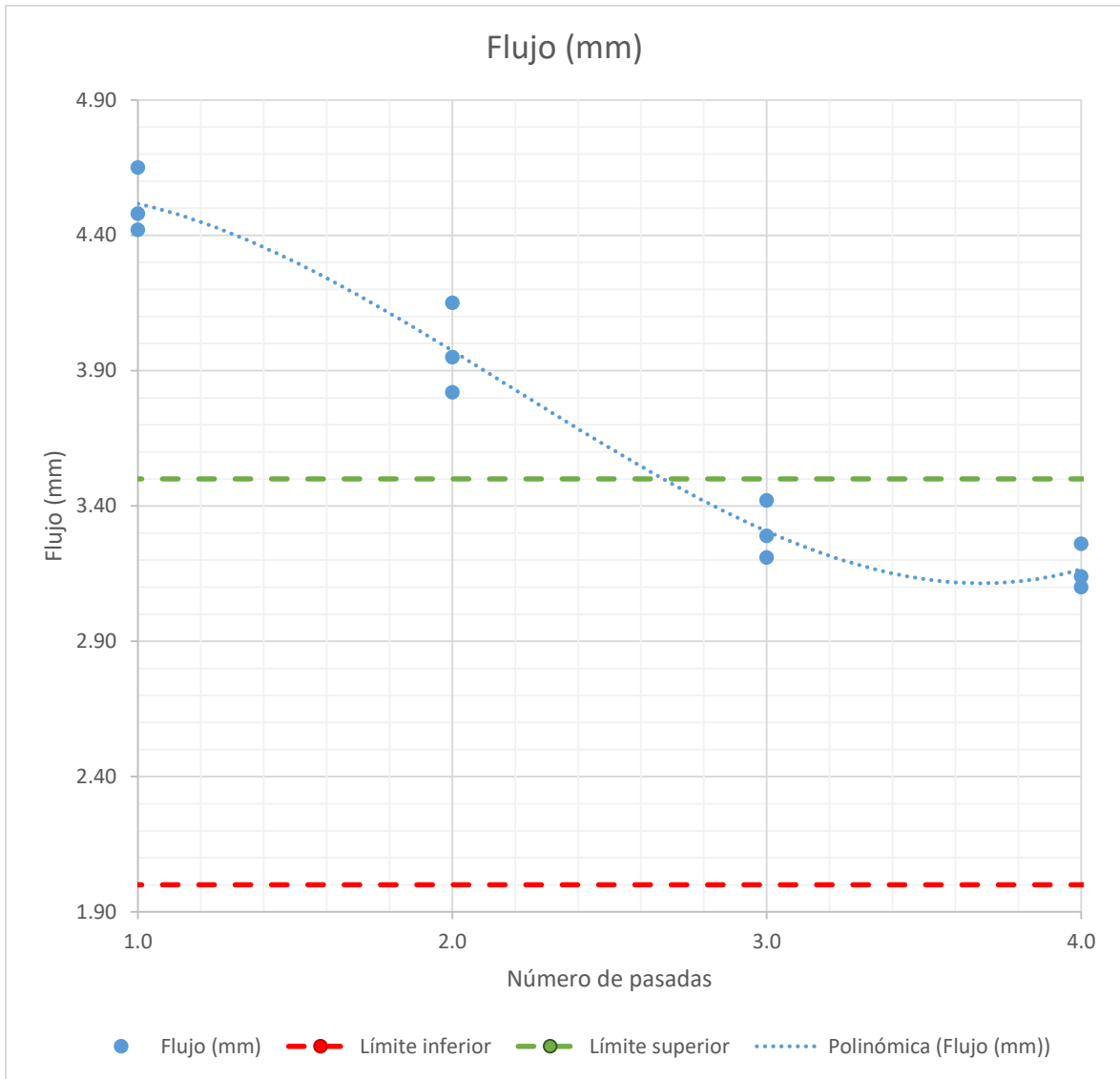


Figura 21: Análisis del flujo (mm) con rodillo compactador liso – 4 cm

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los datos resultantes del análisis mecánico a las diamantinas extraídas, se presenta en la figura 22 el comportamiento gráfico de la estabilidad (kg) obtenida en las muestras extraídas del tramo de prueba elaborado a 6 centímetros de espesor en la capa de rodadura. Donde se puede apreciar un ligero aumento de la estabilidad a medida que se aumenta el grado de compactación en el tramo.

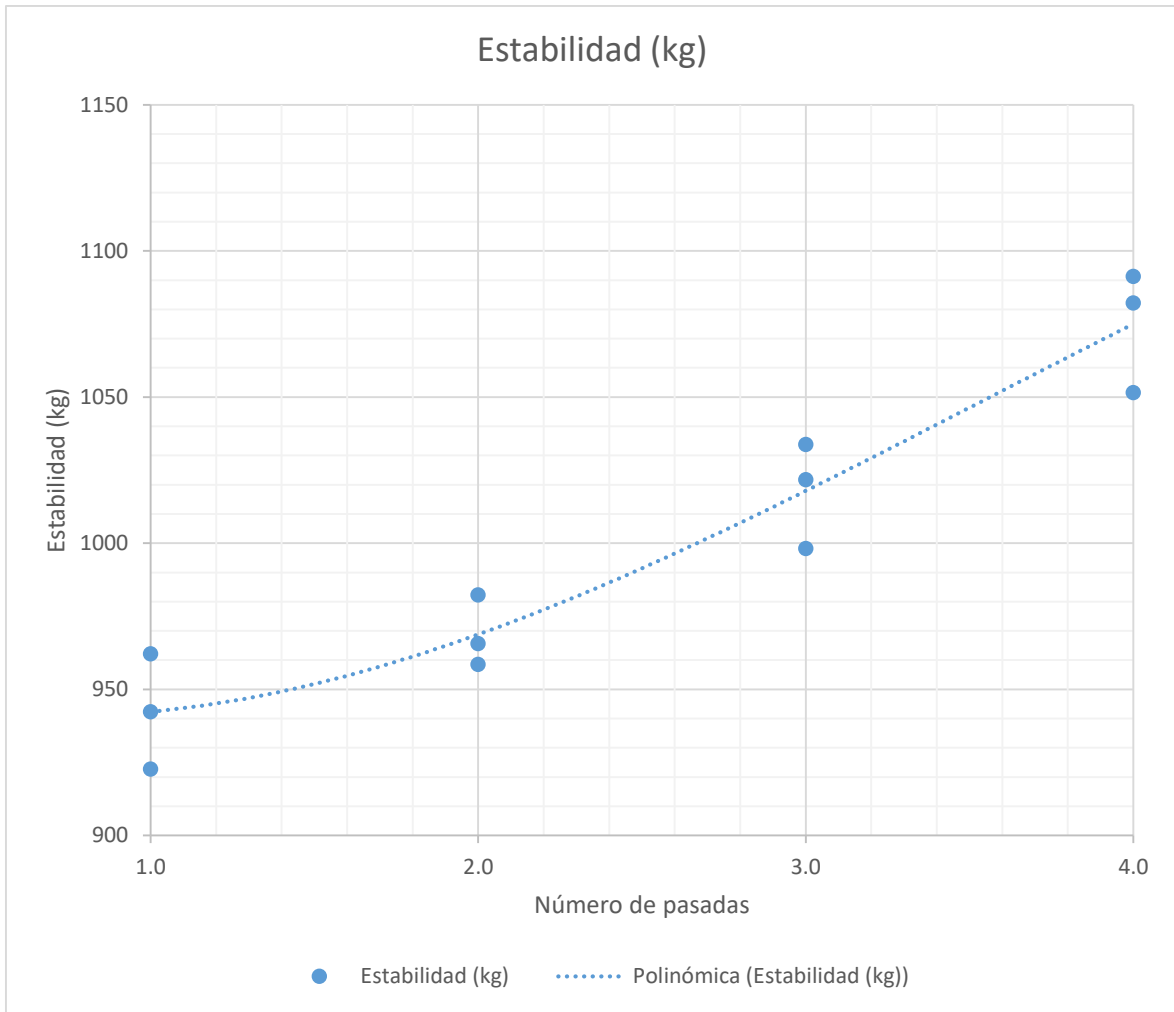


Figura 22: Análisis de la estabilidad (kg) con rodillo compactador liso – 6 cm

Fuente: Elaboración propia

Según los datos resultantes del análisis mecánico a las diamantinas extraídas, se presenta en la figura 23 el comportamiento gráfico del flujo (mm) obtenido en las muestras extraídas del tramo de prueba elaborado a 6 centímetros de espesor en la capa de rodadura. Donde se puede apreciar una tendencia descendente en la deformación presente a medida que se aumenta el grado de compactación, llegando a obtener que para 1, 2 y 3 pasadas del rodillo liso el flujo no cumple con los requerimientos normativos Marshall.

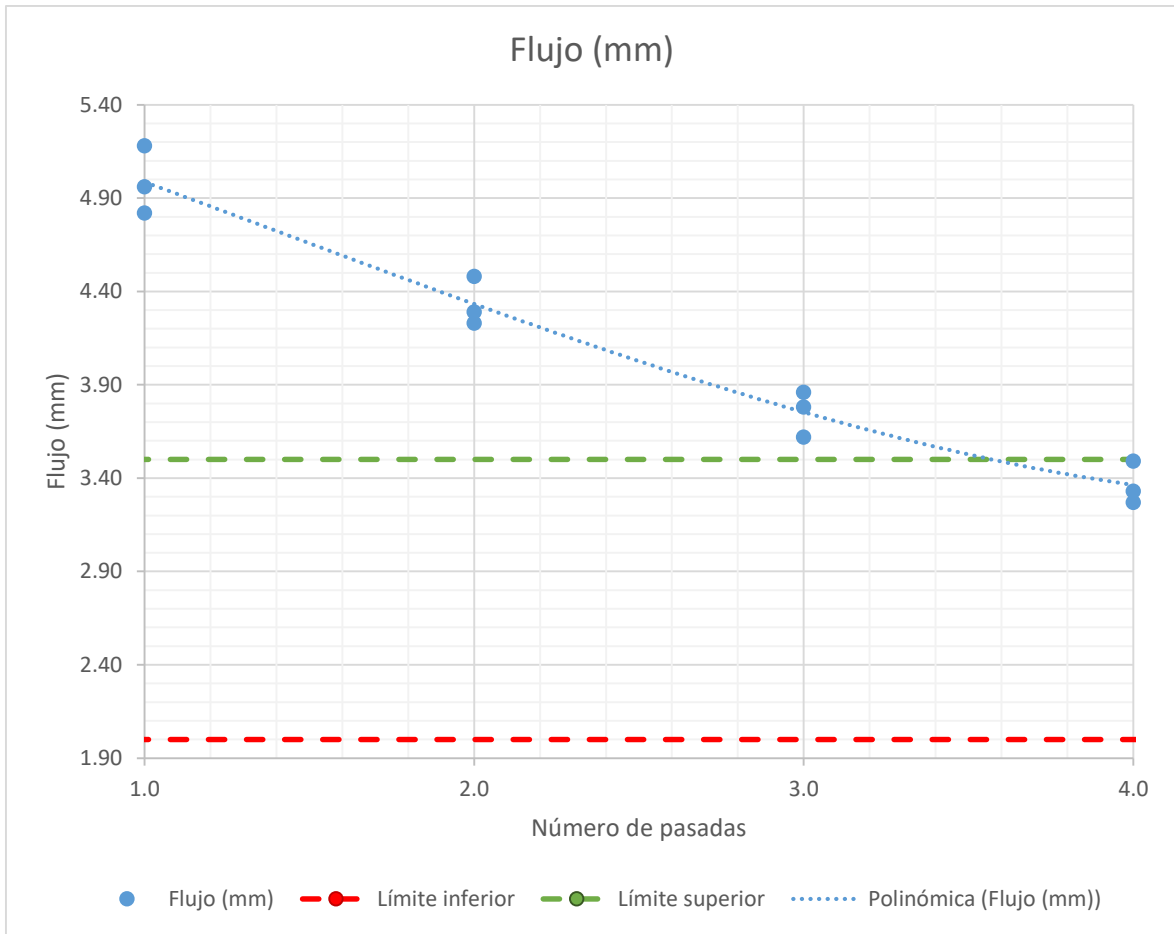


Figura 23: Análisis del flujo (mm) con rodillo compactador liso – 6 cm

Fuente: Elaboración propia

### RODILLO COMPACTADOR VIBRATORIO

En la tabla 21, se presentan los resultados obtenidos para el análisis mecánico de las muestras elaboradas con un espesor de capa a 2, 4 y 6 centímetros y a un grado de compactación de 1 pasada con el rodillo compactador vibratorio de 10 toneladas.

Tabla 21: Cuadro resultados del compactador vibratorio con 1 pasada

Esesor	2 cm		
Número de pasadas	1 pasada		
Diamantina	D1	D2	D3
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	2.537	2.532	2.53

% Vacíos	3.98	4.09	4.16
% Vacíos de agregado mineral	16.25	16.36	16.52
% Vacíos llenos con cemento asfáltico	75.49	75.18	74.81
Flujo (mm)	3.02	3.21	3.12
Estabilidad (kg)	1091.8	1104.1	1115.9
% Óptimo Contenido de Asfalto	5.01	5.00	5.02
Espesor	4 cm		
Número de pasadas	1 pasada		
Diamantina	D1	D2	D3
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	2.507	2.512	2.515
% Vacíos	4.82	4.71	4.66
% Vacíos de agregado mineral	17.11	17.02	16.94
% Vacíos llenos con cemento asfáltico	71.82	72.58	73.15
Flujo (mm)	3.35	3.38	3.24
Estabilidad (kg)	1042.4	1064.8	1073.9
% Óptimo Contenido de Asfalto	5.03	5.01	5.01
Espesor	6 cm		
Número de pasadas	1 pasada		
Diamantina	D1	D2	D3
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	2.491	2.485	2.49
% Vacíos	5.46	5.63	5.51
% Vacíos de agregado mineral	17.48	17.72	17.54
% Vacíos llenos con cemento asfáltico	69.18	67.91	68.80
Flujo (mm)	3.69	3.89	3.82
Estabilidad (kg)	1012.5	997.4	1028.1
% Óptimo Contenido de Asfalto	5.02	5.04	5.03

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 22, se presentan los resultados obtenidos para el análisis mecánico de las muestras elaboradas con un espesor de capa a 2, 4 y 6 centímetros y a un grado de compactación de 2 pasadas con el rodillo compactador vibratorio de 10 toneladas.

Tabla 22: Cuadro resultados del compactador vibratorio con 2 pasadas

Espesor	2 cm		
Número de pasadas	2 pasadas		
Diamantina	D1	D2	D3
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	2.536	2.542	2.535
% Vacíos	3.96	3.82	4.03
% Vacíos de agregado mineral	16.28	16.02	16.38
% Vacíos llenos con cemento asfáltico	76.05	76.92	75.78
Flujo (mm)	3.05	2.97	2.86
Estabilidad (kg)	1124.7	1119.3	1132.7
% Óptimo Contenido de Asfalto	5.02	5.03	5.02
Espesor	4 cm		
Número de pasadas	2 pasadas		
Diamantina	D1	D2	D3
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	2.532	2.529	2.534
% Vacíos	4.08	4.14	4.02
% Vacíos de agregado mineral	16.39	16.46	16.35
% Vacíos llenos con cemento asfáltico	75.19	74.88	75.39
Flujo (mm)	3.15	3.10	3.23
Estabilidad (kg)	1104.3	1092.8	1116.1
% Óptimo Contenido de Asfalto	5.03	5.03	5.04
Espesor	6 cm		
Número de pasadas	2 pasadas		
Diamantina	D1	D2	D3
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	2.509	2.506	2.511
% Vacíos	4.85	5.02	4.78
% Vacíos de agregado mineral	17.02	17.11	16.82
% Vacíos llenos con cemento asfáltico	71.47	70.87	72.16
Flujo (mm)	3.56	3.42	3.75
Estabilidad (kg)	1051.8	1085.2	1077.6
% Óptimo Contenido de Asfalto	5.01	5.01	5.02

Fuente: Elaboración propia



En la tabla 23, se presentan los resultados obtenidos para el análisis mecánico de las muestras elaboradas con un espesor de capa a 2, 4 y 6 centímetros y a un grado de compactación de 3 pasadas con el rodillo compactador vibratorio de 10 toneladas.

Tabla 23: Cuadro resultados del compactador vibratorio con 3 pasadas

Espesor	2 cm		
Número de pasadas	3 pasadas		
Diamantina	D1	D2	D3
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	2.563	2.557	2.553
% Vacíos	3.02	3.15	3.31
% Vacíos de agregado mineral	15.41	15.53	15.82
% Vacíos llenos con cemento asfáltico	80.56	79.87	78.95
Flujo (mm)	2.51	2.60	2.68
Estabilidad (kg)	1200.4	1180.2	1172.9
% Óptimo Contenido de Asfalto	5.01	5.03	5.02
Espesor	4 cm		
Número de pasadas	3 pasadas		
Diamantina	D1	D2	D3
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	2.543	2.539	2.537
% Vacíos	3.82	3.96	4.01
% Vacíos de agregado mineral	16.11	16.24	16.29
% Vacíos llenos con cemento asfáltico	76.75	76.09	75.71
Flujo (mm)	3.05	2.96	2.83
Estabilidad (kg)	1125.9	1138.7	1110.6
% Óptimo Contenido de Asfalto	5.02	5.01	5.00
Espesor	6 cm		
Número de pasadas	3 pasadas		
Diamantina	D1	D2	D3
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	2.537	2.528	2.534
% Vacíos	4.02	4.19	4.09
% Vacíos de agregado mineral	16.34	16.49	16.43
% Vacíos llenos con cemento asfáltico	75.19	74.60	74.91
Flujo (mm)	3.07	3.19	3.11

Estabilidad (kg)	1113	1124.6	1092.5
% Óptimo Contenido de Asfalto	5.03	5.04	5.03

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 24, se presentan los resultados obtenidos para el análisis mecánico de las muestras elaboradas con un espesor de capa a 2, 4 y 6 centímetros y a un grado de compactación de 4 pasadas con el rodillo compactador vibratorio de 10 toneladas.

Tabla 24: Cuadro resultados del compactador vibratorio con 4 pasadas

Espesor	2 cm		
Número de pasadas	4 pasadas		
Diamantina	D1	D2	D3
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	2.575	2.587	2.58
% Vacíos	2.53	2.21	2.31
% Vacíos de agregado mineral	14.96	14.61	14.81
% Vacíos llenos con cemento asfáltico	83.67	85.12	84.40
Flujo (mm)	2.56	2.32	2.41
Estabilidad (kg)	1225.3	1252.7	1201.8
% Óptimo Contenido de Asfalto	5.04	5.02	5.03
Espesor	4 cm		
Número de pasadas	4 pasadas		
Diamantina	D1	D2	D3
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	2.555	2.563	2.561
% Vacíos	3.21	2.91	3.14
% Vacíos de agregado mineral	15.72	15.35	15.56
% Vacíos llenos con cemento asfáltico	79.34	80.45	79.68
Flujo (mm)	2.13	2.25	2.09
Estabilidad (kg)	1295.3	1272.7	1212.8
% Óptimo Contenido de Asfalto	5.03	5.00	5.01
Espesor	6 cm		
Número de pasadas	4 pasadas		
Diamantina	D1	D2	D3
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	2.542	2.537	2.539
% Vacíos	3.91	4.05	4.01

% Vacíos de agregado mineral	16.20	16.32	16.25
% Vacíos llenos con cemento asfáltico	76.35	75.22	76.12
Flujo (mm)	2.87	3.05	2.98
Estabilidad (kg)	1127.8	1148.5	1113.1
% Óptimo Contenido de Asfalto	5.02	5.01	5.02

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los datos resultantes del análisis mecánico a las diamantinas extraídas, se presenta en la figura 24 el comportamiento gráfico de la estabilidad (kg) obtenida en las muestras extraídas del tramo de prueba elaborado a 2 centímetros de espesor en la capa de rodadura elaborada con el rodillo vibratorio. Donde se puede apreciar un ligero aumento de la estabilidad a medida que se aumenta el grado de compactación en el tramo.

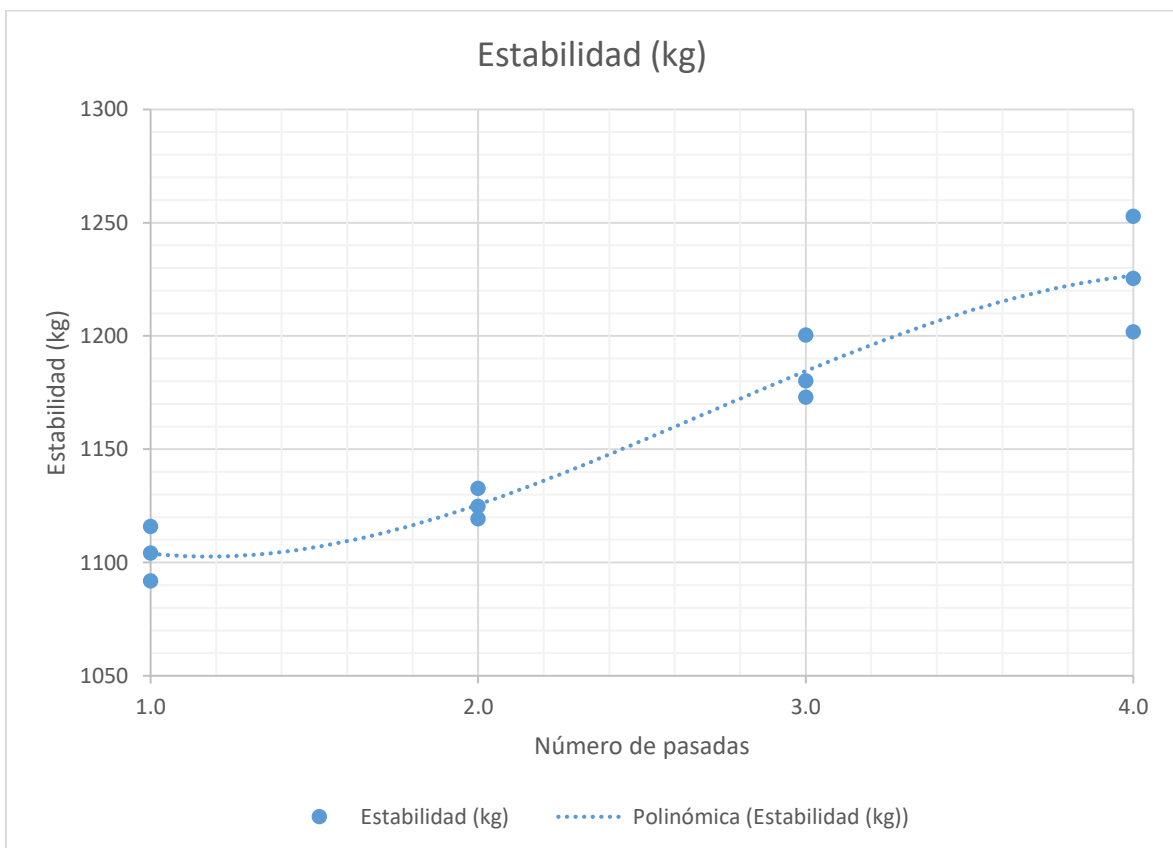


Figura 24: Análisis de estabilidad (kg) con rodillo compactador vibratorio – 2 cm

Fuente: Elaboración propia

Según los datos resultantes del análisis mecánico a las diamantinas extraídas, se presenta en la figura 25 el comportamiento gráfico del flujo (mm) obtenido en las muestras extraídas del tramo de prueba elaborado a 2 centímetros de espesor en la capa de rodadura elaborado con el rodillo vibratorio. Donde se puede apreciar una tendencia descendente en la deformación presente a medida que se aumenta el grado de compactación, llegando a obtener valores muy cercanos al de diseño, con el uso del rodillo vibratorio.

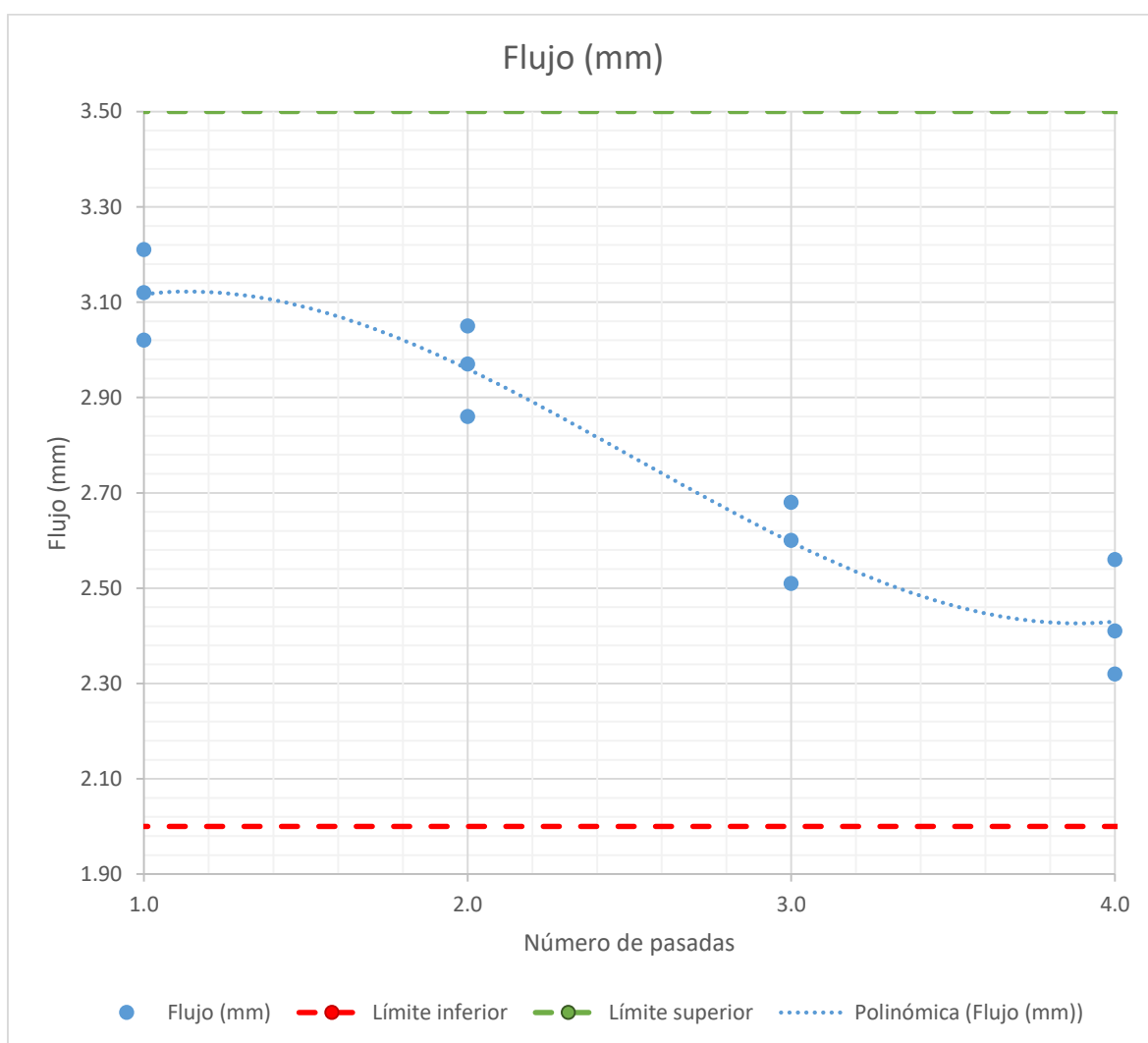


Figura 25: Análisis del flujo (mm) con rodillo compactador vibratorio – 2 cm

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los datos resultantes del análisis mecánico a las diamantinas extraídas, se presenta en la figura 26 el comportamiento gráfico de la estabilidad (kg) obtenida en las muestras extraídas del tramo de prueba elaborado a 4 centímetros de espesor en la capa de rodadura elaborada con el rodillo vibratorio. Donde se puede apreciar un ligero aumento de la estabilidad a medida que se aumenta el grado de compactación en el tramo.

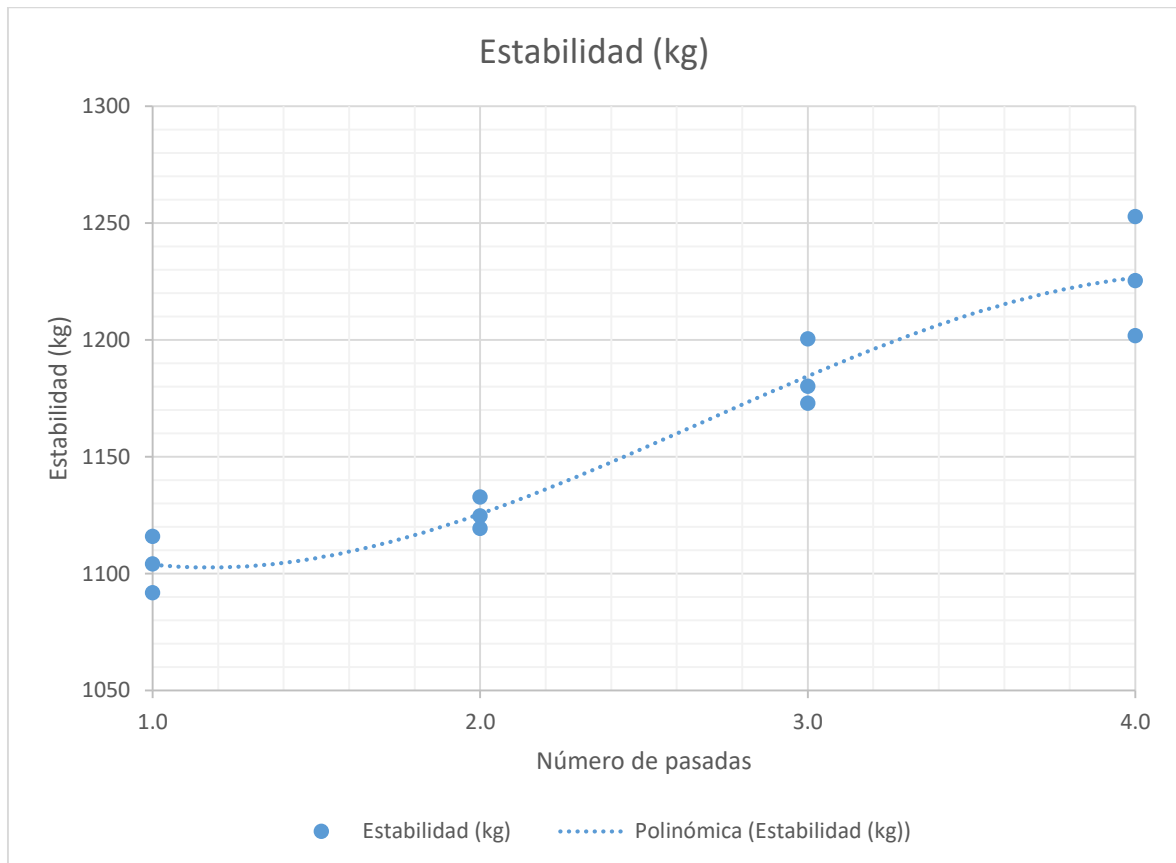


Figura 26: Análisis de estabilidad (kg) con rodillo compactador vibratorio – 4 cm

Fuente: Elaboración propia

Según los datos resultantes del análisis mecánico a las diamantinas extraídas, se presenta en la figura 27 el comportamiento gráfico del flujo (mm) obtenido en las muestras extraídas del tramo de prueba elaborado a 4 centímetros de espesor en la capa de rodadura elaborado con el rodillo vibratorio. Donde se puede apreciar una tendencia descendente en la deformación presente a medida que se aumenta el grado de compactación, llegando a obtener que para 4 pasadas del rodillo liso el flujo disminuye

notablemente, aunque aún manteniéndose en los parámetros normativos Marshall.

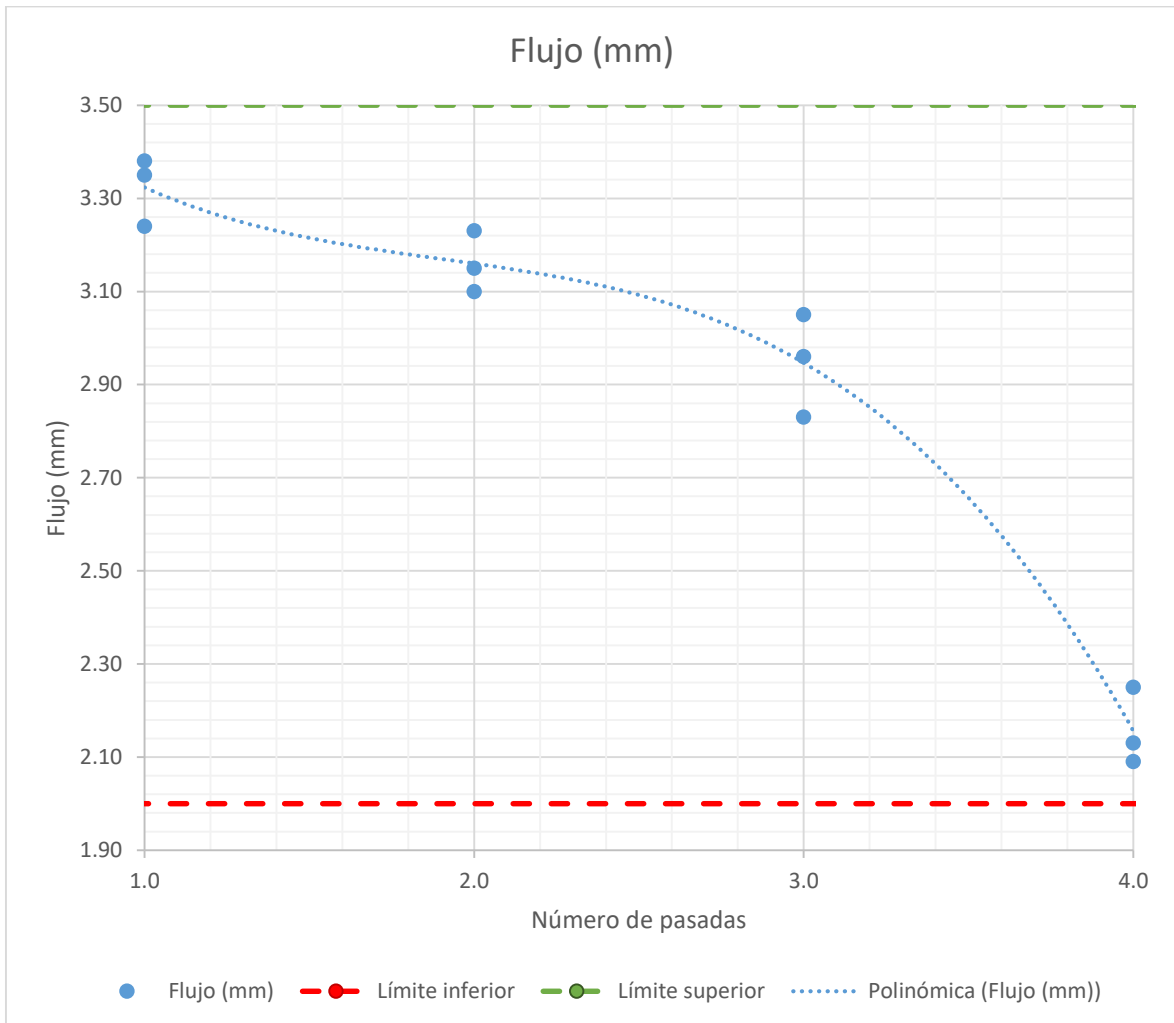


Figura 27: Análisis del flujo (mm) con rodillo compactador vibratorio – 4 cm

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los datos resultantes del análisis mecánico a las diamantinas extraídas, se presenta en la figura 28 el comportamiento gráfico de la estabilidad (kg) obtenida en las muestras extraídas del tramo de prueba elaborado a 6 centímetros de espesor en la capa de rodadura elaborada con el rodillo vibratorio. Donde se puede apreciar un ligero aumento de la estabilidad a medida que se aumenta el grado de compactación en el tramo.

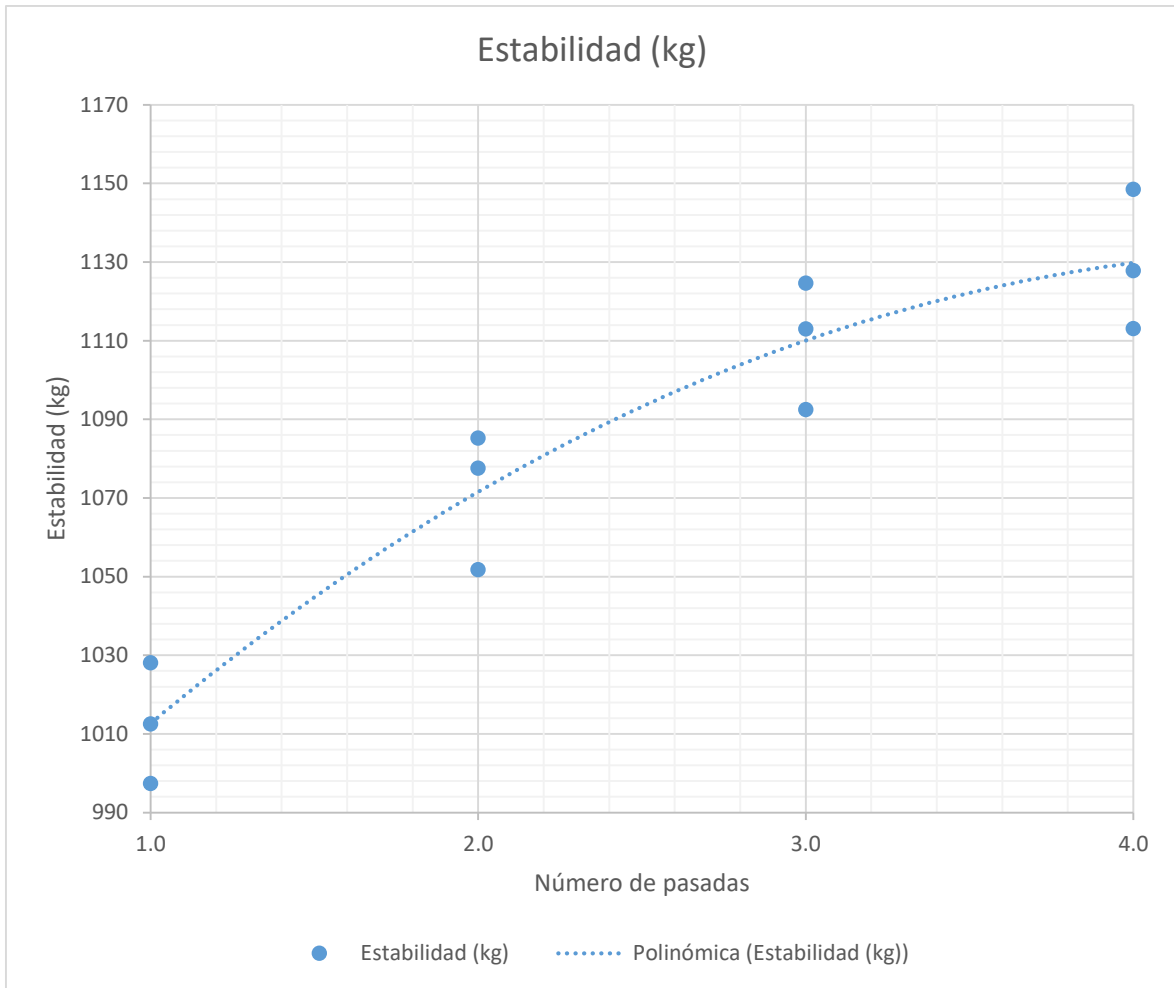


Figura 28: Análisis de estabilidad (kg) con rodillo compactador vibratorio – 6 cm

Fuente: Elaboración propia

Según los datos resultantes del análisis mecánico a las diamantinas extraídas, se presenta en la figura 29 el comportamiento gráfico del flujo (mm) obtenido en las muestras extraídas del tramo de prueba elaborado a 6 centímetros de espesor en la capa de rodadura elaborado con el rodillo vibratorio. Donde se puede apreciar una tendencia descendente en la deformación presente a medida que se aumenta el grado de compactación, llegando a obtener que para 1 y 2 pasadas del rodillo vibratorio el flujo no cumple con los requerimientos normativos Marshall. Al mismo tiempo, se tiene que el grado de compactación a 3 pasadas se asemeja más a las especificaciones de diseño.

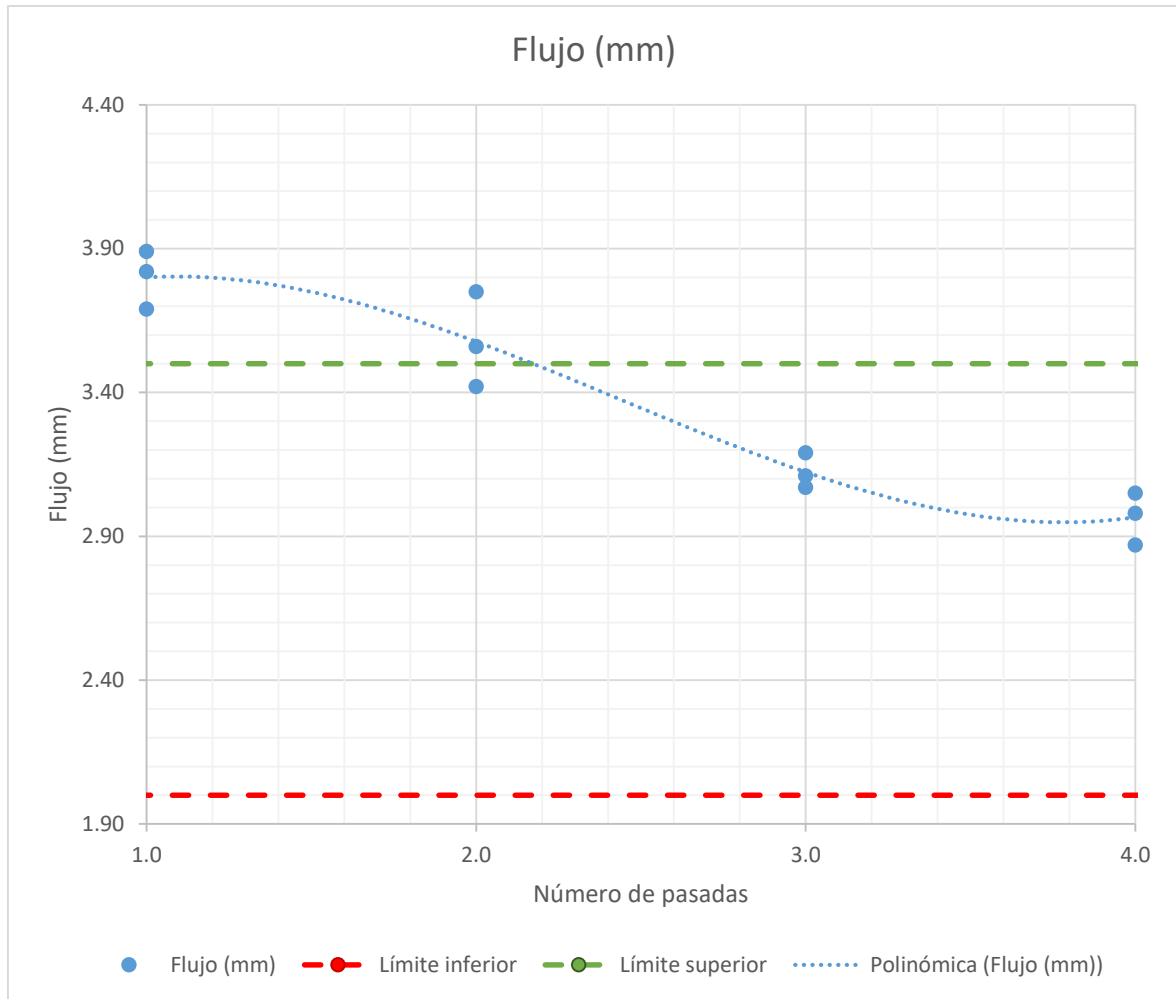


Figura 29: Análisis del flujo (mm) con rodillo compactador vibratorio – 6 cm

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.2. OE 2 – VACÍOS DE AIRE POR GRADO DE COMPACTACIÓN

El porcentaje de vacíos es una propiedad determinante para comprobar el grado de compactación ideal para el diseño de la mezcla asfáltica en los tramos de prueba, ya que mediante este medio se puede verificar si la mezcla cumple con las propiedades mecánicas a medida que pasa un determinado de veces el rodillo compactador. También se puede identificar la prevención de fallas futuras en la superficie de la carpeta de rodadura, ya que al presentar porcentajes de vacíos debajo del valor de diseño podrían presentarse problemas de sangrado en altas temperaturas y al presentar



porcentajes de vacíos por encima del valor de diseño podrían presentarse problemas de una erosión más acelerada al permitir saturarse de agua en los vacíos.

### RODILLO COMPACTADOR LISO

Por ello, se realizan los estudios respectivos, presentando en la figura 30 la variación del porcentaje de vacíos a medida que se aumenta el grado de compactación en la mezcla asfáltica en caliente elaborada con rodillo compactador liso de 10 toneladas para un espesor de 2 centímetros en la carpeta de rodadura. Obteniendo de esta forma una línea tendencia descendente a medida que varía el grado de compactación, de forma que a tres pasadas del rodillo compactador el porcentaje de vacíos se aproxima más al valor de diseño contemplado de 4%, aunque todos los valores se mantienen en el rango especificado por la normativa Marshall.

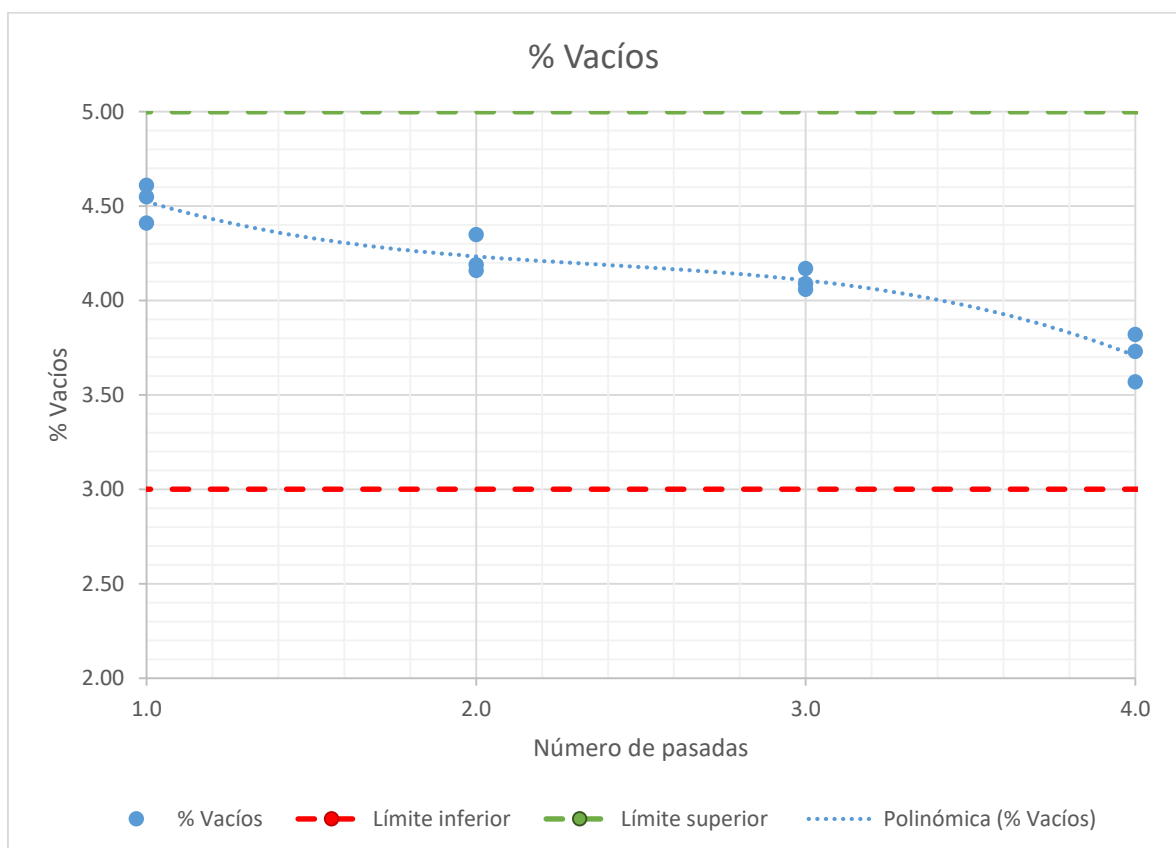


Figura 30: Análisis de vacíos (%) con rodillo compactador liso a 2 cm de espesor

Fuente: Elaboración propia

Se presenta en la figura 31 el porcentaje de vacíos en el agregado mineral, que también predispone su análisis ante la variación del grado de compactación con el rodillo compactador liso para un espesor de 2 centímetros en la carpeta de rodadura, donde se proyecta una línea tendencia ligeramente negativa, cumpliendo con los valores especificados por la normativa, donde Marshall indica un porcentaje mínimo de 15 % para una mezcla asfáltica de tamaño máximo nominal 1/2”.

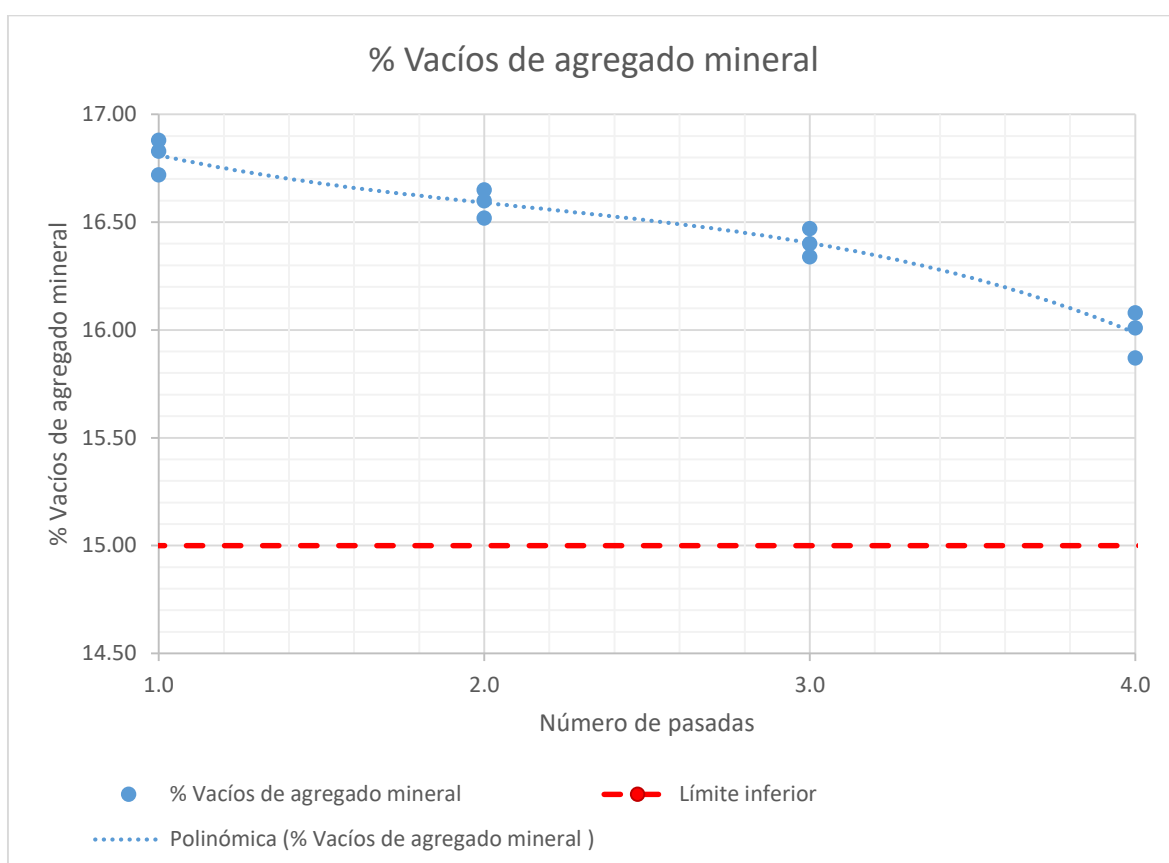


Figura 31: Análisis de VMA (%) con rodillo compactador liso a 2 cm de espesor

Fuente: Elaboración propia

Se presenta también en la figura 32 el porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico, que también predispone su análisis ante la variación del grado de compactación con el rodillo compactador liso para un espesor de 2 centímetros en la carpeta de rodadura, donde se proyecta una línea tendencia ascendente, cumpliendo con una distribución de datos típica.

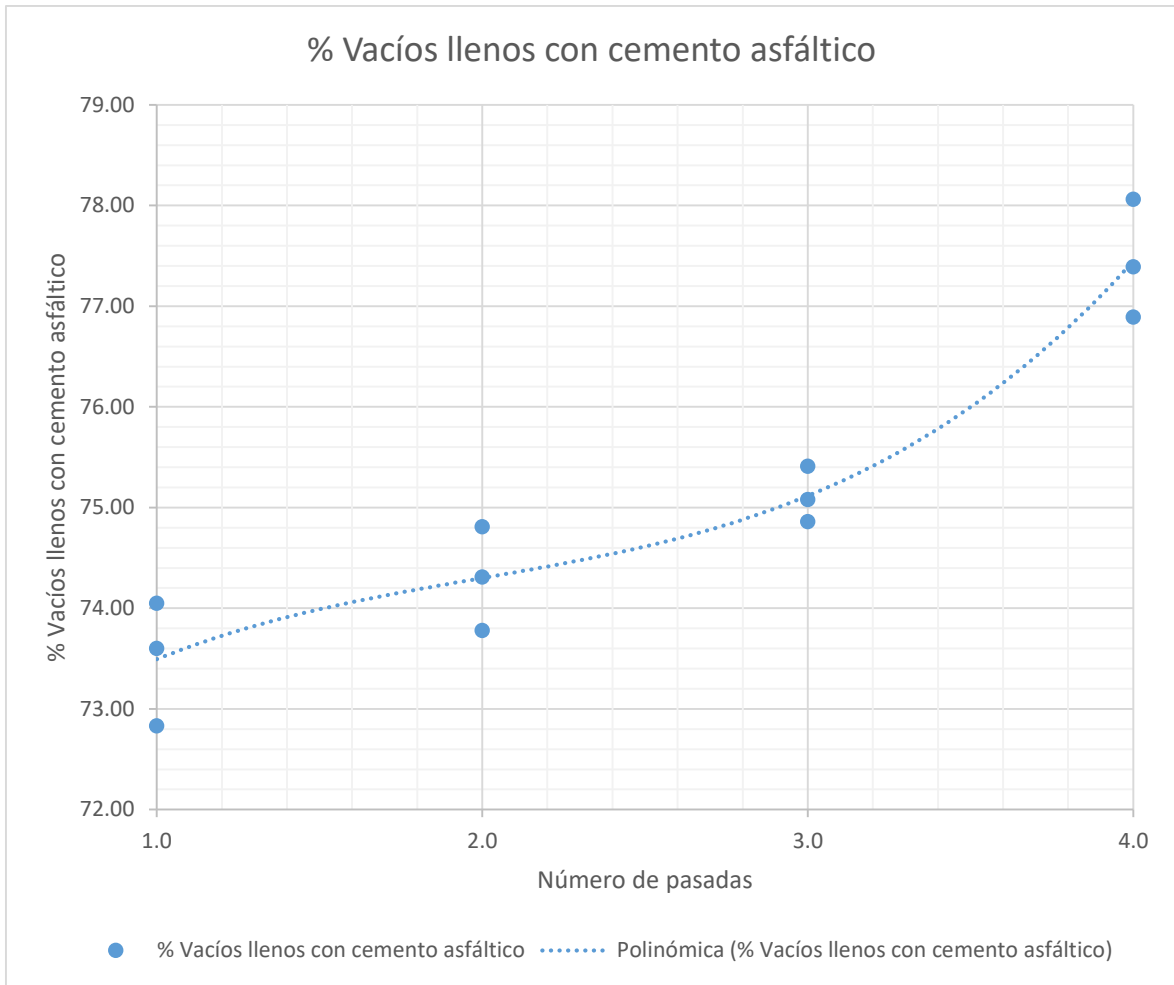


Figura 32: Análisis de VLLA (%) con rodillo compactador liso a 2 cm de espesor

Fuente: Elaboración propia

En la figura 33, la variación del porcentaje de vacíos a medida que se aumenta el grado de compactación en la mezcla asfáltica en caliente elabora con rodillo compactador liso de 10 toneladas para un espesor de 4 centímetros en la carpeta de rodadura. Obteniendo de esta forma una línea tendencia descendente a medida que varía el grado de compactación, de forma que se tiene que a cuatro pasadas del rodillo compactador el porcentaje de vacíos se aproxima más al valor de diseño contemplado de 4%, al mismo tiempo se tiene que para 1 pasada del rodillo compactador no se cumple con las disposiciones especificadas por la normativa Marshall en el rango establecido.

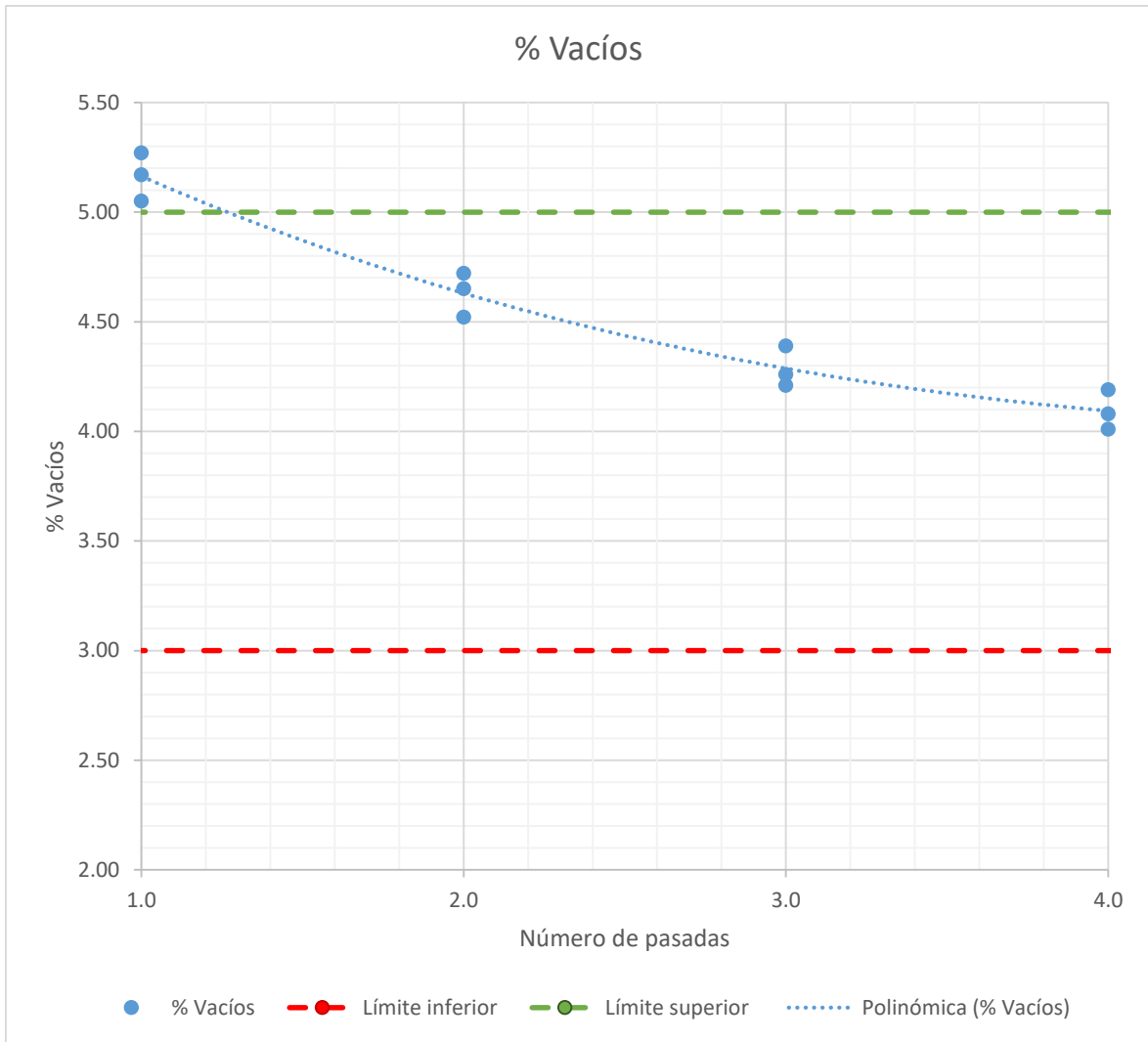


Figura 33: Análisis de vacíos (%) con rodillo compactador liso a 4 cm de espesor

Fuente: Elaboración propia

Se presenta en la figura 34 el porcentaje de vacíos en el agregado mineral, que también predispone su análisis ante la variación del grado de compactación con el rodillo compactador liso para un espesor de 4 centímetros en la carpeta de rodadura, donde se proyecta una línea tendencia ligeramente negativa, cumpliendo con los valores especificados por la normativa, donde Marshall indica un porcentaje mínimo de 15 % para una mezcla asfáltica de tamaño máximo nominal 1/2”.

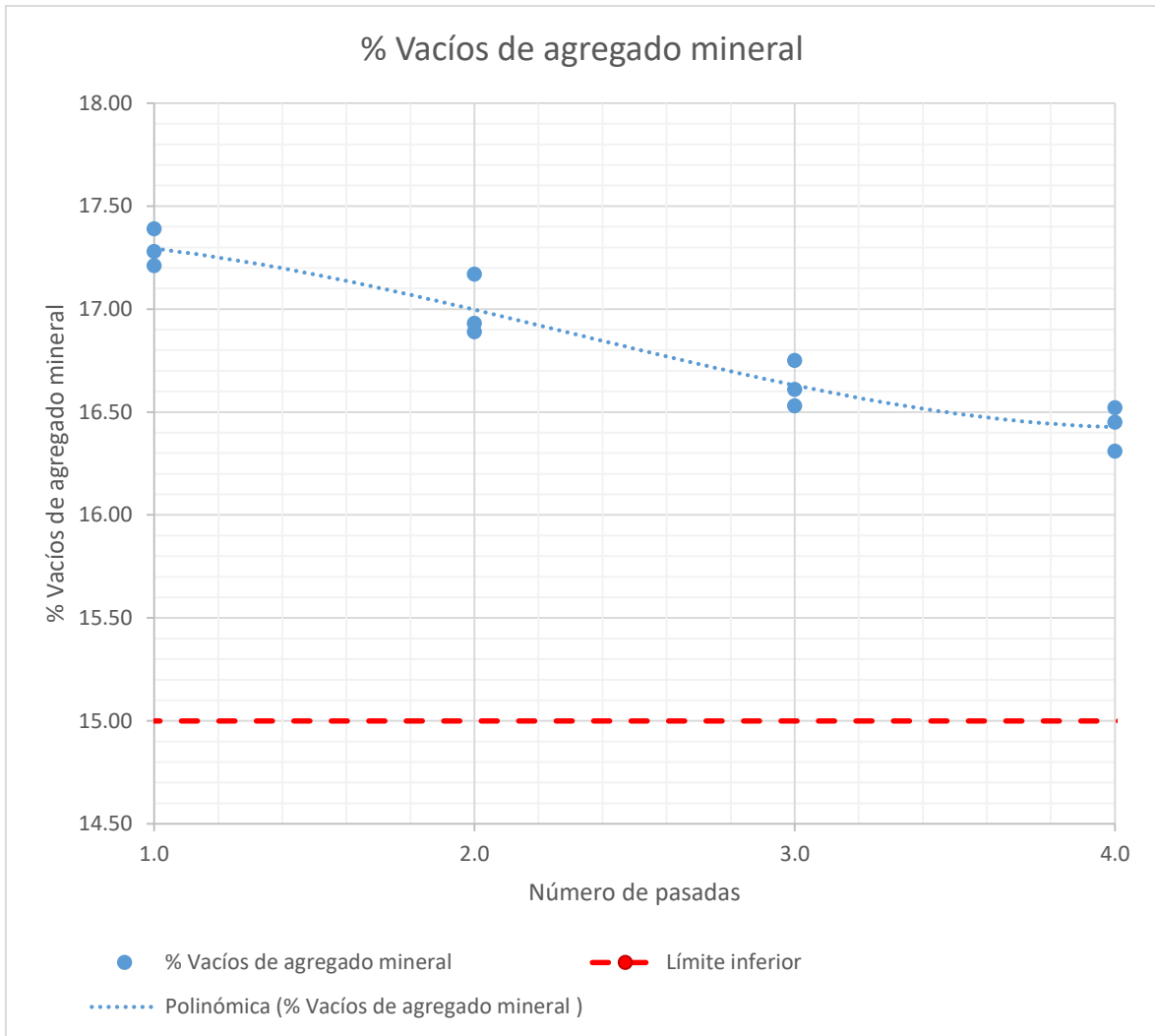


Figura 34: Análisis de VMA (%) con rodillo compactador liso a 4 cm de espesor

Fuente: Elaboración propia

Se presenta también en la figura 35 el porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico, que también predispone su análisis ante la variación del grado de compactación con el rodillo compactador liso para un espesor de 4 centímetros en la carpeta de rodadura, donde se proyecta una línea tendencia ascendente, cumpliendo con una distribución de datos típica en su variabilidad por punto ensayado.

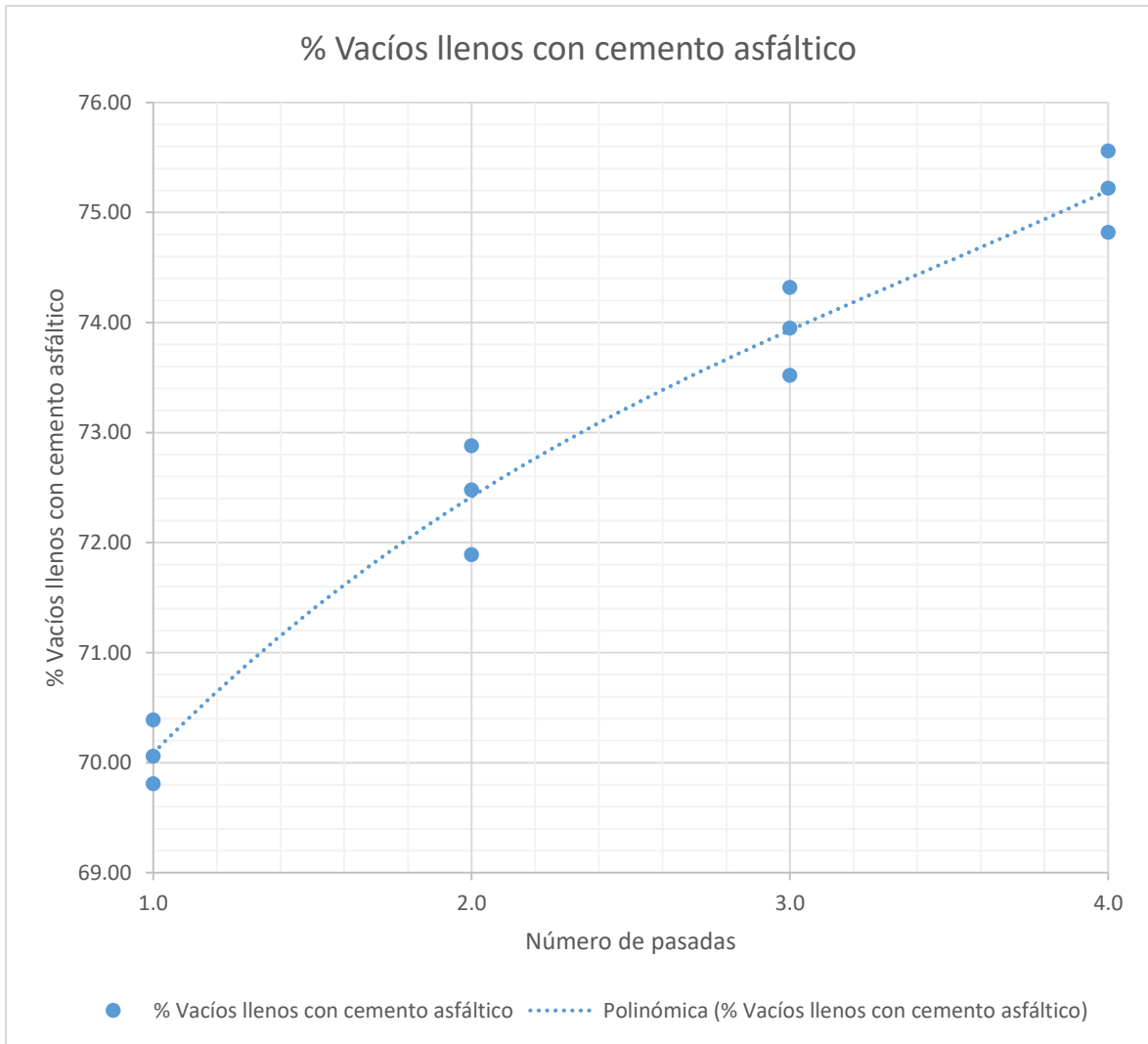


Figura 35: Análisis de VLLA (%) con rodillo compactador liso a 4 cm de espesor

Fuente: Elaboración propia

En la figura 36, la variación del porcentaje de vacíos a medida que se aumenta el grado de compactación en la mezcla asfáltica en caliente elabora con rodillo compactador liso de 10 toneladas para un espesor de 6 centímetros en la carpeta de rodadura. Obteniendo de esta forma una línea tendencia descendente a medida que varía el grado de compactación, de forma que se tiene que a cuatro pasadas del rodillo compactador el porcentaje de vacíos se aproxima más al valor de diseño contemplado de 4%, al mismo tiempo se tiene que para 1 y 2 pasadas del rodillo compactador no se cumple con las disposiciones especificadas por la normativa Marshall.

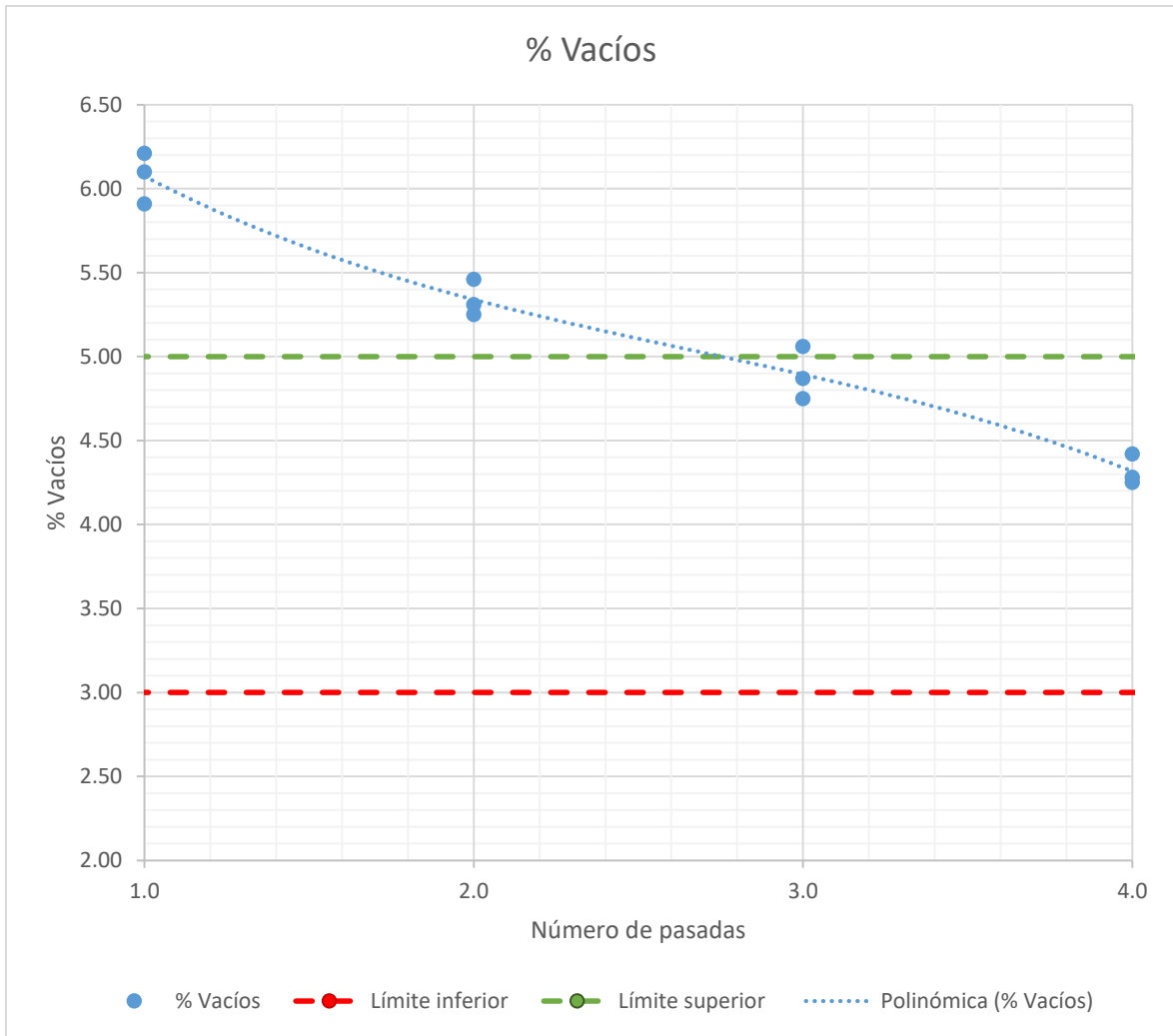


Figura 36: Análisis de vacíos (%) con rodillo compactador liso a 6 cm de espesor

Fuente: Elaboración propia

Se presenta en la figura 37 el porcentaje de vacíos en el agregado mineral, que también predispone su análisis ante la variación del grado de compactación con el rodillo compactador liso para un espesor de 6 centímetros en la carpeta de rodadura, donde se proyecta una línea tendencia ligeramente negativa, cumpliendo con los valores especificados por la normativa, donde Marshall indica un porcentaje mínimo de 15 % para una mezcla asfáltica de tamaño máximo nominal 1/2”.

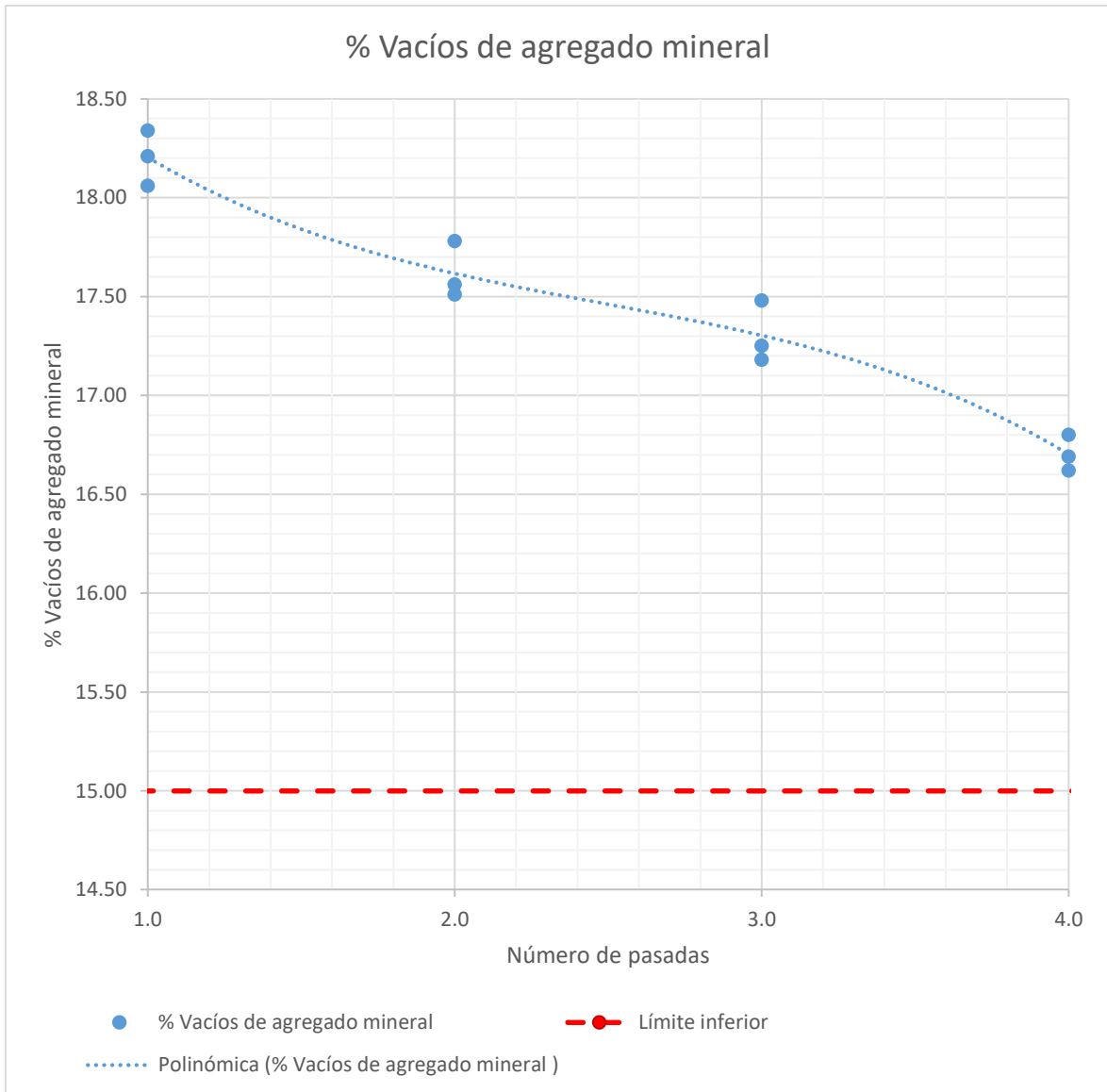


Figura 37: Análisis de VMA (%) con rodillo compactador liso a 6 cm de espesor

Fuente: Elaboración propia

Se presenta también en la figura 38 el porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico, que también predispone su análisis ante la variación del grado de compactación con el rodillo compactador liso para un espesor de 6 centímetros en la carpeta de rodadura, donde se proyecta una línea tendencia ascendente, cumpliendo con una distribución de datos típica en su variabilidad por punto ensayado.



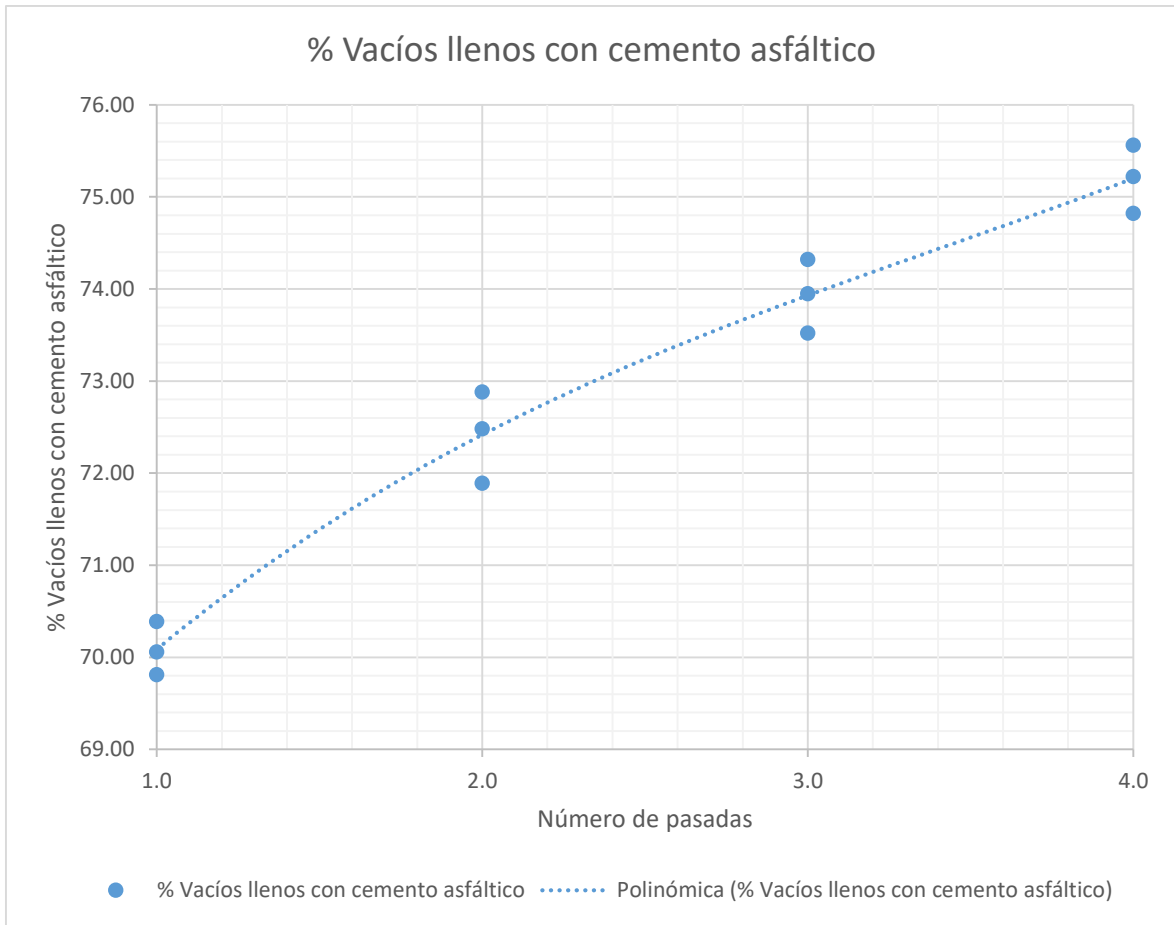


Figura 38: Análisis de VLLA (%) con rodillo compactador liso a 6 cm de espesor

Fuente: Elaboración propia

### RODILLO COMPACTADOR VIBRATORIO

Se realizan los estudios respectivos, presentando en la figura 39 la variación del porcentaje de vacíos a medida que se aumenta el grado de compactación en la mezcla asfáltica en caliente elabora con rodillo compactador vibratorio de 10 toneladas para un espesor de 2 centímetros en la carpeta de rodadura. Obteniendo de esta forma una línea tendencia descendente a medida que varía el grado de compactación, de forma que a 1 y 2 pasadas del rodillo compactador el porcentaje de vacíos se aproxima más al valor de diseño contemplado de 4%, al mismo tiempo para 4 pasadas del rodillo no se cumple con el rango especificado por la normativa Marshall.

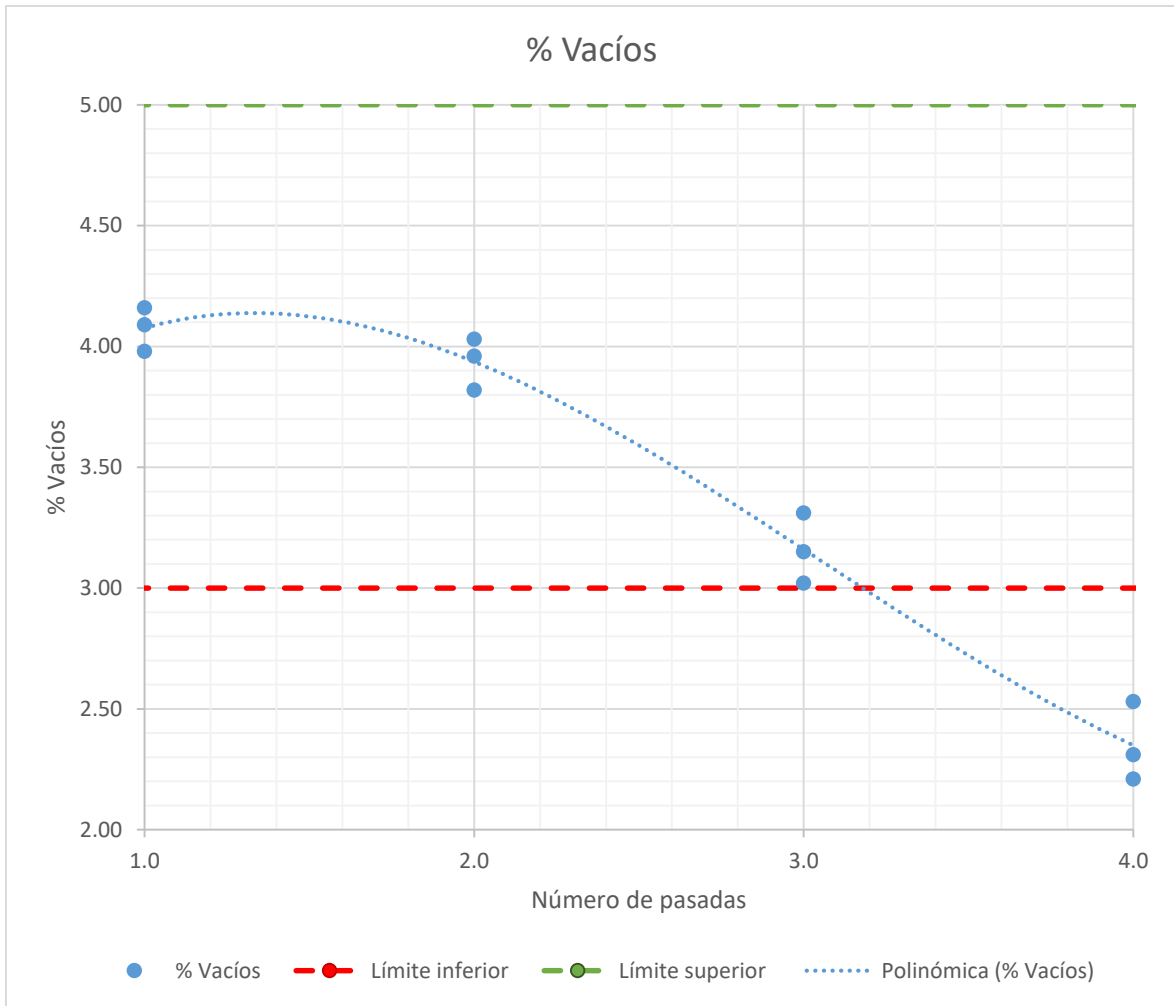


Figura 39: Análisis de vacíos (%) con rodillo compactador vibratorio a 2 cm

Fuente: Elaboración propia

Se presenta en la figura 40 el porcentaje de vacíos en el agregado mineral, que también predispone su análisis ante la variación del grado de compactación con el rodillo compactador vibratorio para un espesor de 2 centímetros en la carpeta de rodadura, donde se proyecta una línea tendencia ligeramente negativa, teniendo que para 4 pasadas no se cumple con los valores especificados por la normativa Marshall, que indica un porcentaje mínimo de 15 % para una mezcla asfáltica de tamaño máximo nominal 1/2".

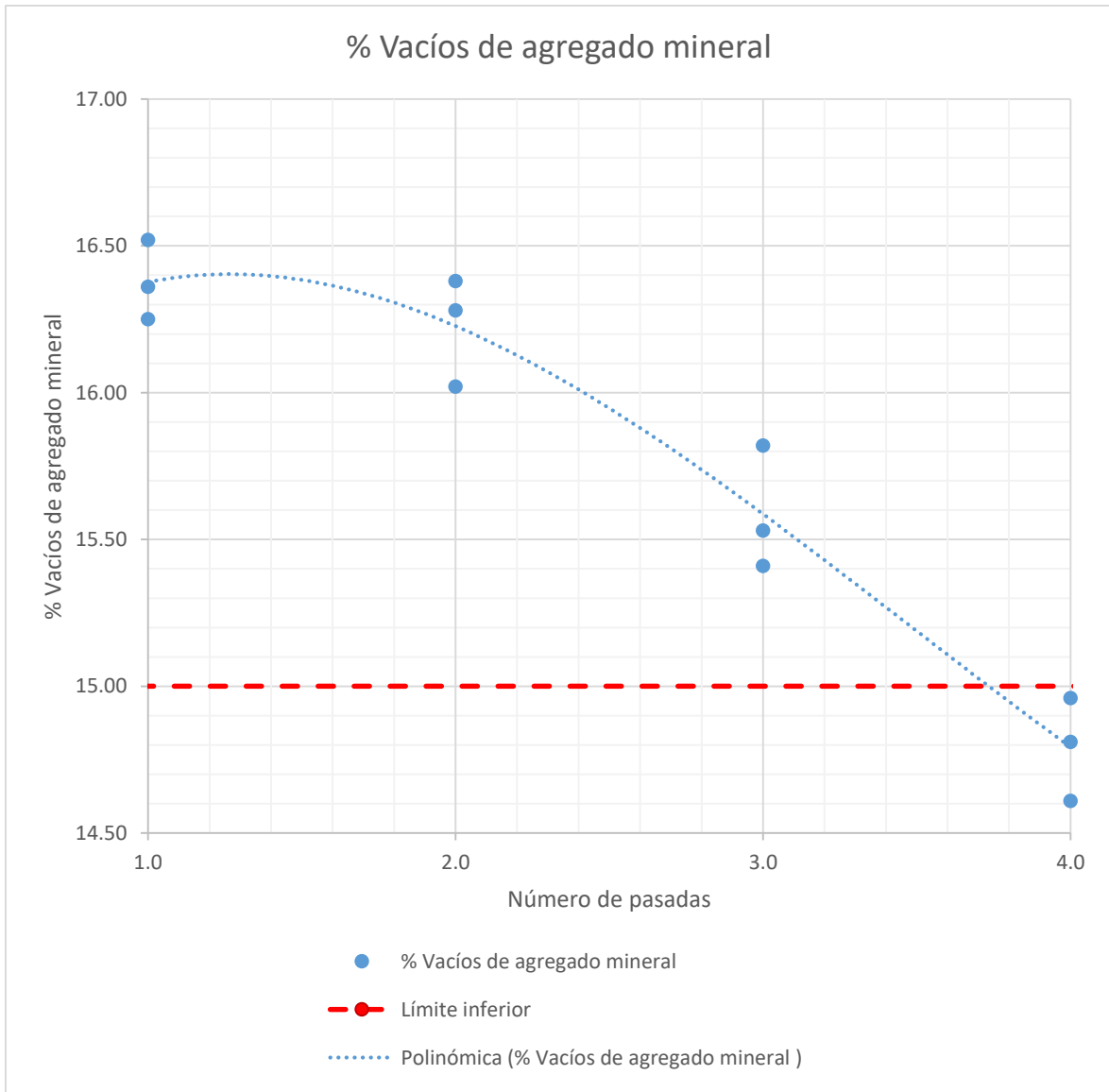


Figura 40: Análisis de VMA (%) con rodillo compactador vibratorio a 2 cm

Fuente: Elaboración propia

Se presenta también en la figura 41 el porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico, que también predispone su análisis ante la variación del grado de compactación con el rodillo compactador vibratorio para un espesor de 2 centímetros en la carpeta de rodadura, donde se proyecta una línea tendencia ascendente, cumpliendo con una distribución de datos típica.

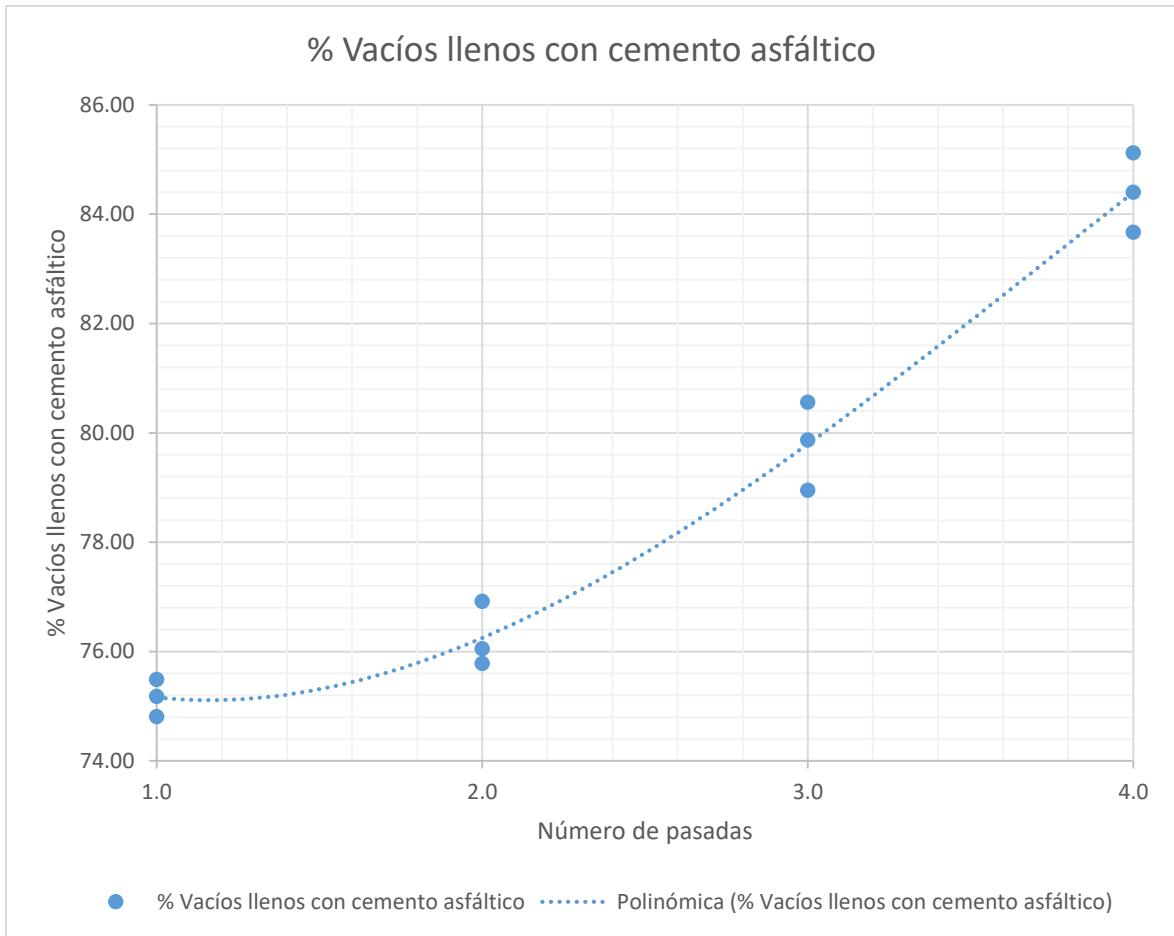


Figura 41: Análisis de VLLA (%) con rodillo compactador vibratorio a 2 cm

Fuente: Elaboración propia

En la figura 42, se presenta la variación del porcentaje de vacíos a medida que se aumenta el grado de compactación en la mezcla asfáltica en caliente elabora con rodillo compactador vibratorio de 10 toneladas para un espesor de 4 centímetros en la carpeta de rodadura. Obteniendo de esta forma una línea tendencia descendente a medida que varía el grado de compactación, de forma que se tiene que a tres pasadas del rodillo compactador el porcentaje de vacíos se aproxima más al valor de diseño contemplado de 4%, al mismo tiempo se tiene que para 1, 2, 3 y 4 pasadas del rodillo compactador se cumplen con las disposiciones especificadas por la normativa Marshall en el rango establecido.

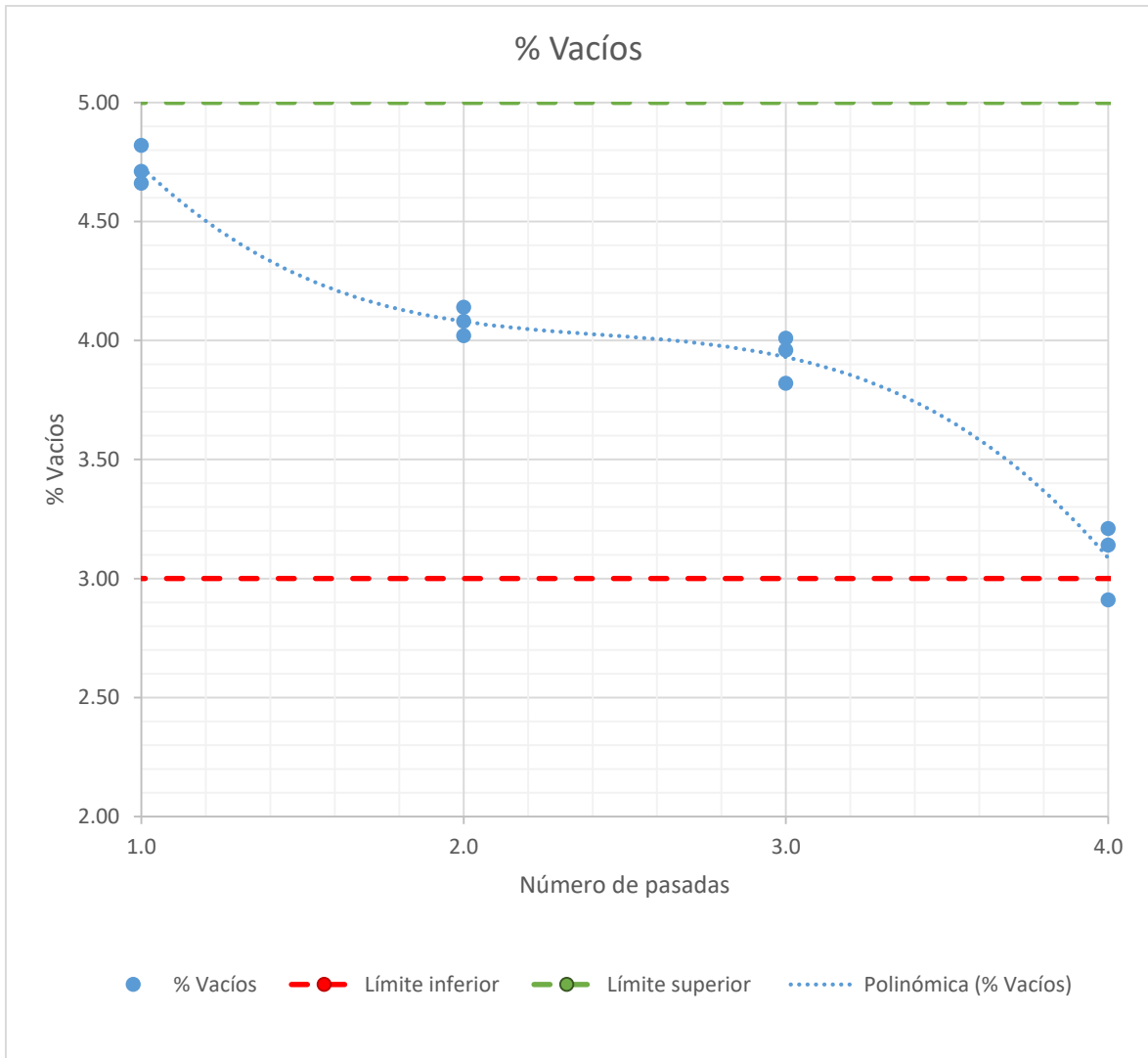


Figura 42: Análisis de vacíos (%) con rodillo compactador vibratorio a 4 cm

Fuente: Elaboración propia

Se presenta en la figura 43 el porcentaje de vacíos en el agregado mineral, que también predispone su análisis ante la variación del grado de compactación con el rodillo compactador vibratorio para un espesor de 4 centímetros en la carpeta de rodadura, donde se proyecta una línea tendencia ligeramente negativa, cumpliendo con los valores especificados por la normativa, donde Marshall indica un porcentaje mínimo de 15 % para una mezcla asfáltica de tamaño máximo nominal 1/2”.

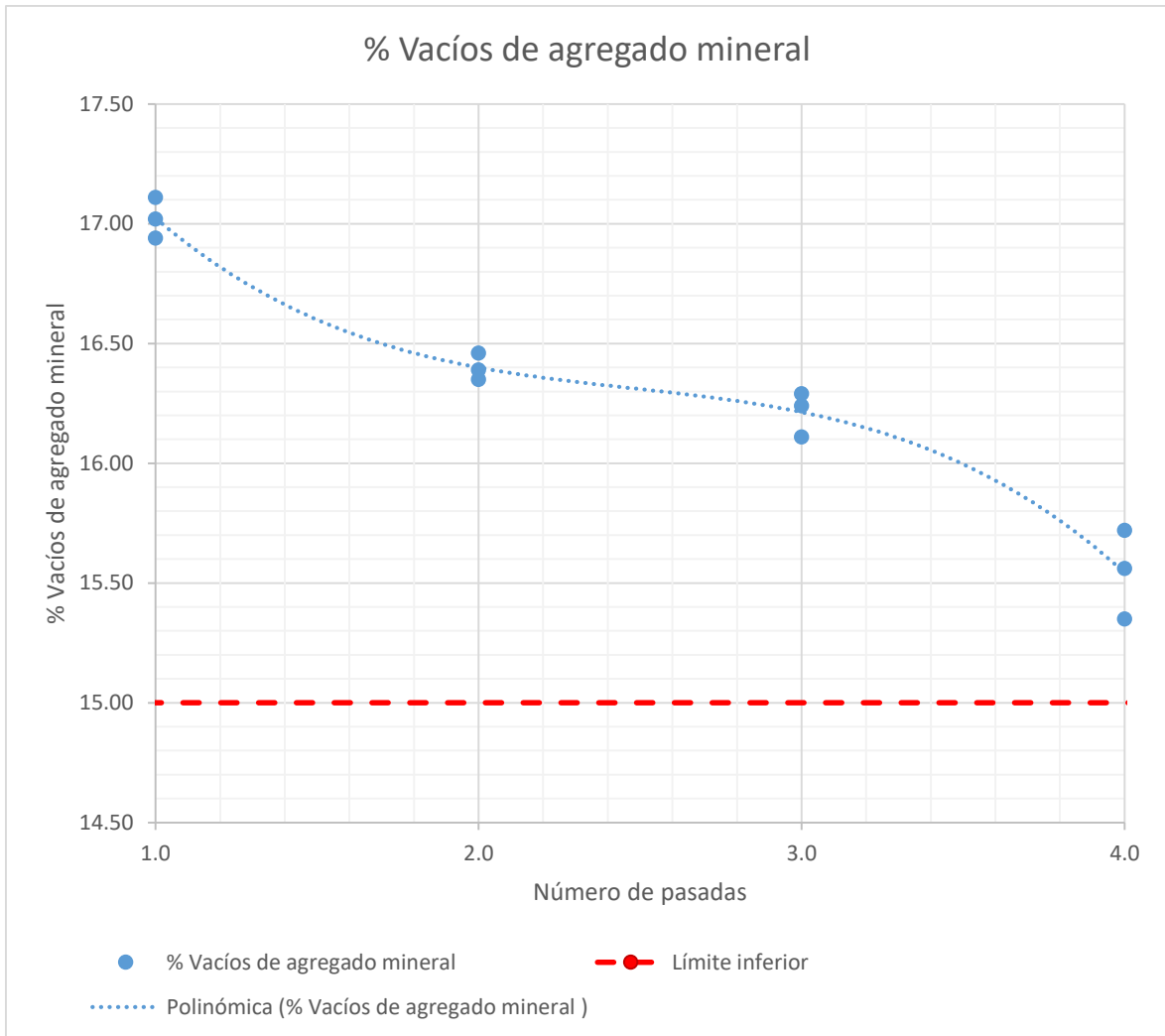


Figura 43: Análisis de VMA (%) con rodillo compactador vibratorio a 4 cm

Fuente: Elaboración propia

Se presenta también en la figura 44 el porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico, que también predispone su análisis ante la variación del grado de compactación con el rodillo compactador vibratorio para un espesor de 4 centímetros en la carpeta de rodadura, donde se proyecta una línea tendencia ascendente, cumpliendo con una distribución de datos típica en su variabilidad por punto ensayado.



Figura 44: Análisis de VLLA (%) con rodillo compactador vibratorio a 4 cm

Fuente: Elaboración propia

En la figura 45, se presenta la variación del porcentaje de vacíos a medida que se aumenta el grado de compactación en la mezcla asfáltica en caliente elabora con rodillo compactador vibratorio de 10 toneladas para un espesor de 6 centímetros en la carpeta de rodadura. Obteniendo de esta forma una línea tendencia descendente a medida que varía el grado de compactación, de forma que se tiene que a cuatro pasadas del rodillo compactador el porcentaje de vacíos se aproxima más al valor de diseño contemplado de 4%, al mismo tiempo se tiene que para 1 pasada del rodillo compactador no se cumple con las disposiciones especificadas por la normativa Marshall.

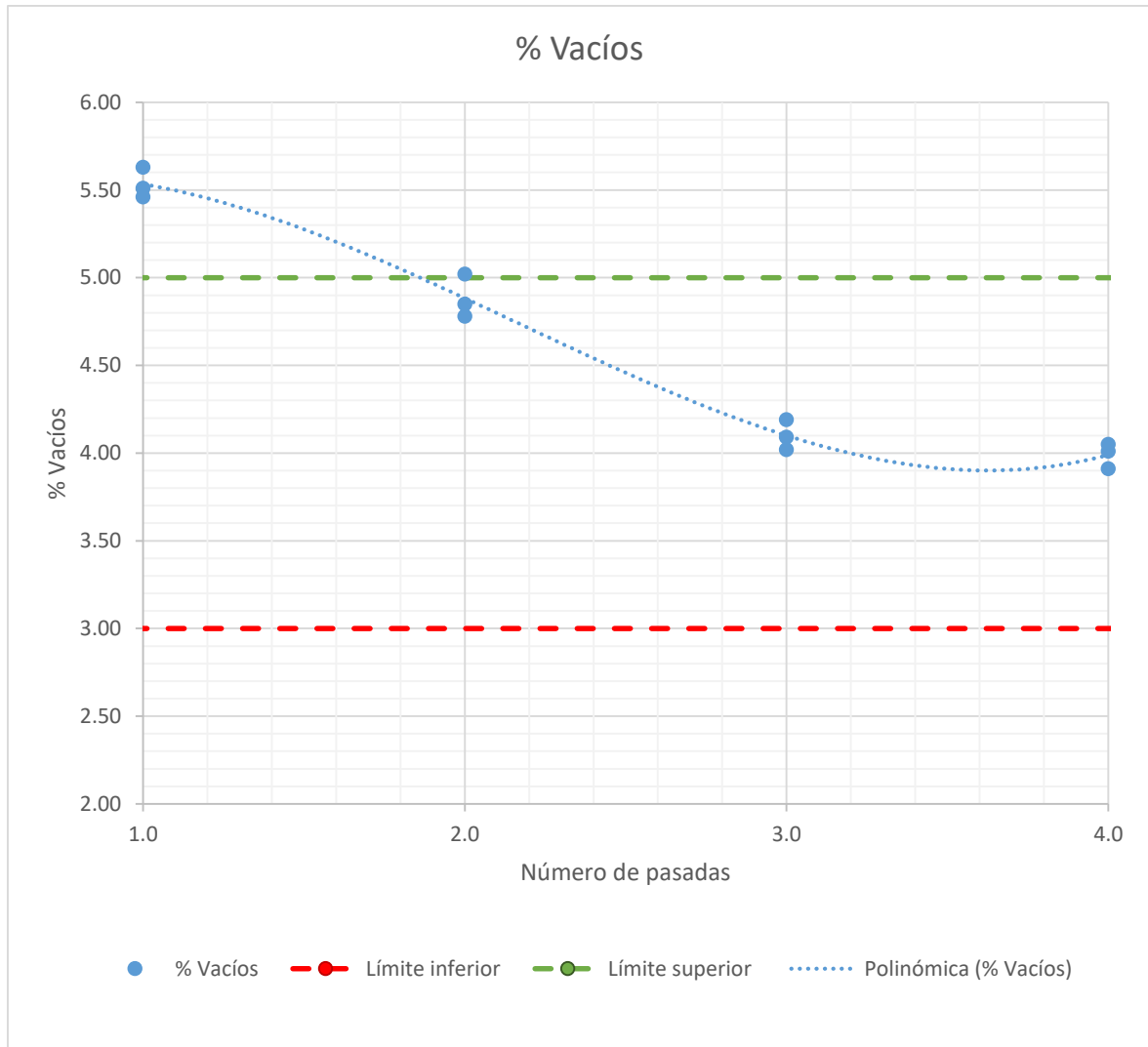


Figura 45: Análisis de vacíos (%) con rodillo compactador vibratorio a 6 cm

Fuente: Elaboración propia

Se presenta en la figura 46 el porcentaje de vacíos en el agregado mineral, que también predispone su análisis ante la variación del grado de compactación con el rodillo compactador vibratorio para un espesor de 6 centímetros en la carpeta de rodadura, donde se proyecta una línea tendencia ligeramente negativa, cumpliendo con los valores especificados por la normativa, donde Marshall indica un porcentaje mínimo de 15 % para una mezcla asfáltica de tamaño máximo nominal 1/2”.



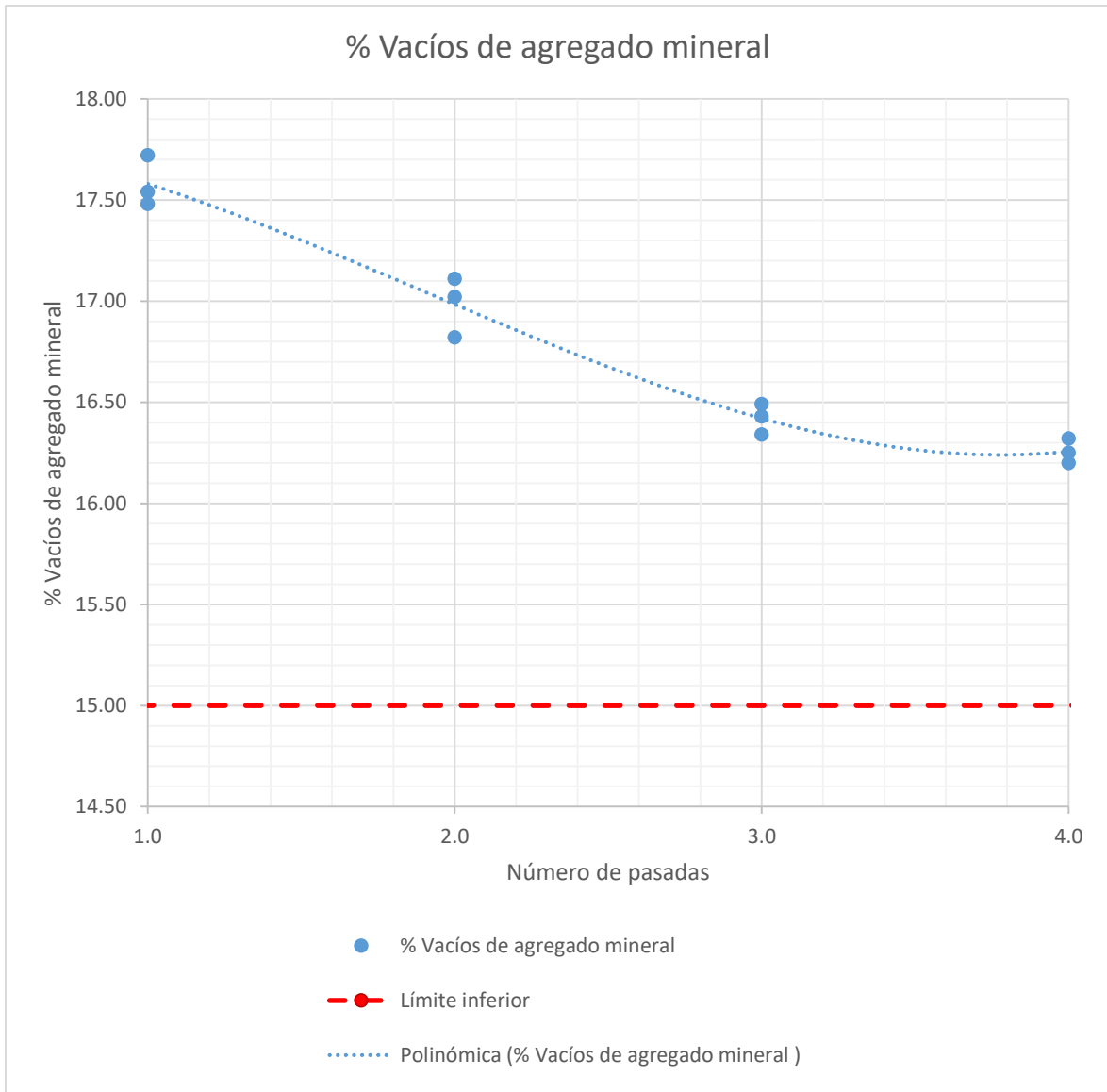


Figura 46: Análisis de VMA (%) con rodillo compactador vibratorio a 6 cm

Fuente: Elaboración propia

Se presenta también en la figura 47 el porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico, que también predispone su análisis ante la variación del grado de compactación con el rodillo compactador vibratorio para un espesor de 6 centímetros en la carpeta de rodadura, donde se proyecta una línea tendencia ascendente, cumpliendo con una distribución de datos típica en su variabilidad por punto ensayado.

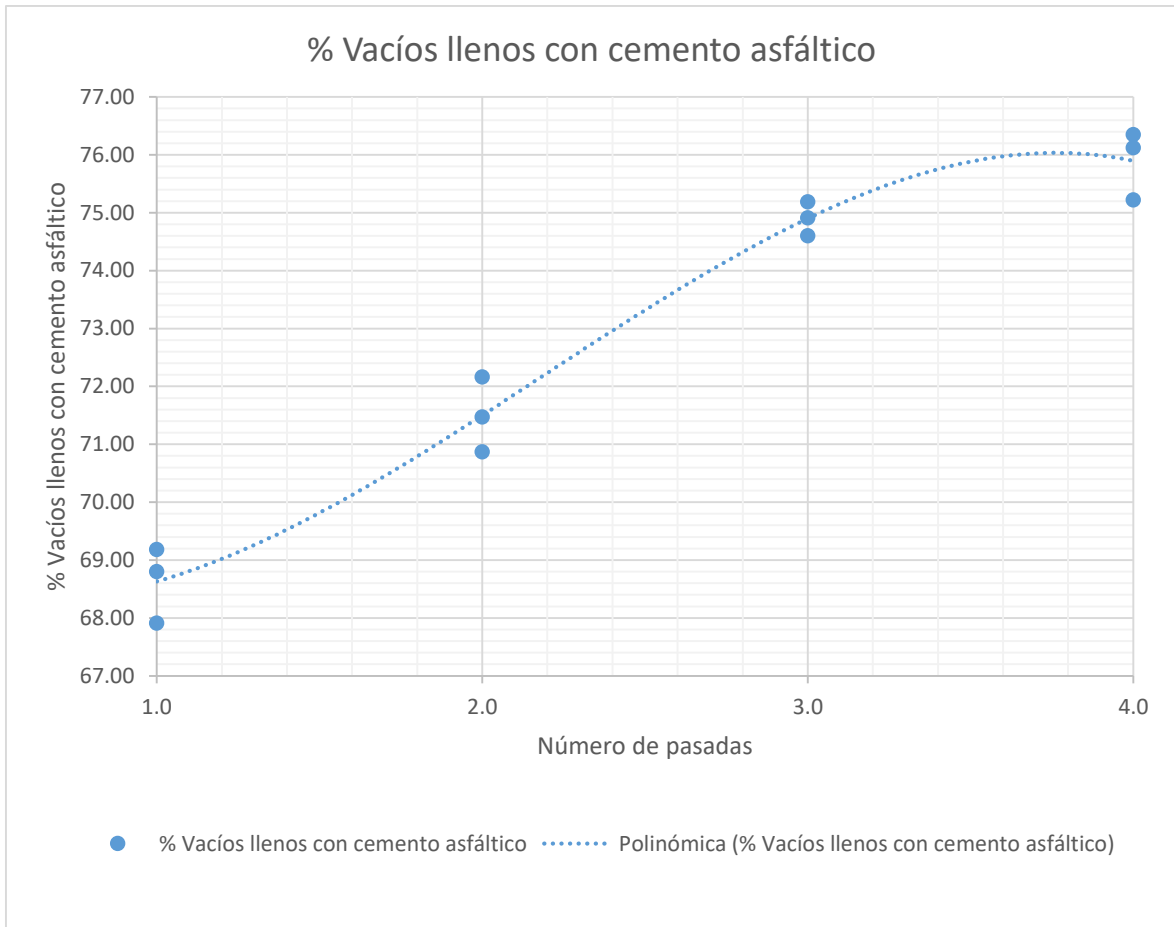


Figura 47: Análisis de VLLA (%) con rodillo compactador vibratorio a 6 cm

Fuente: Elaboración propia

### 4.3.3. OE 3 – PESO UNITARIO POR GRADO DE COMPACTACIÓN

El peso unitario o peso específico tomado de las diamantinas extraídas de los tramos de prueba definen como su peso por unidad de volumen respecto del grado de compactación al que se ven sometidos. Teniendo de esta forma un comportamiento específico para cada variable analizada y poder generar una idea de la disposición de las partículas que componen a la mezcla asfáltica en caliente diseñada.

#### RODILLO COMPACTADOR LISO

En la figura 48, se presenta el comportamiento del peso unitario a medida que aumenta el grado de compactación para 2 centímetros de carpeta de

rodadura elaborada con rodillo liso. Obteniendo de esta forma una línea tendencia ascendente para distribución de datos tomados por cada punto de análisis y con valores menores a 2.641 gr/cm<sup>3</sup>, siendo este el máximo resultado para una mezcla con 5.00% de asfalto en su composición, según la metodología Marshall.

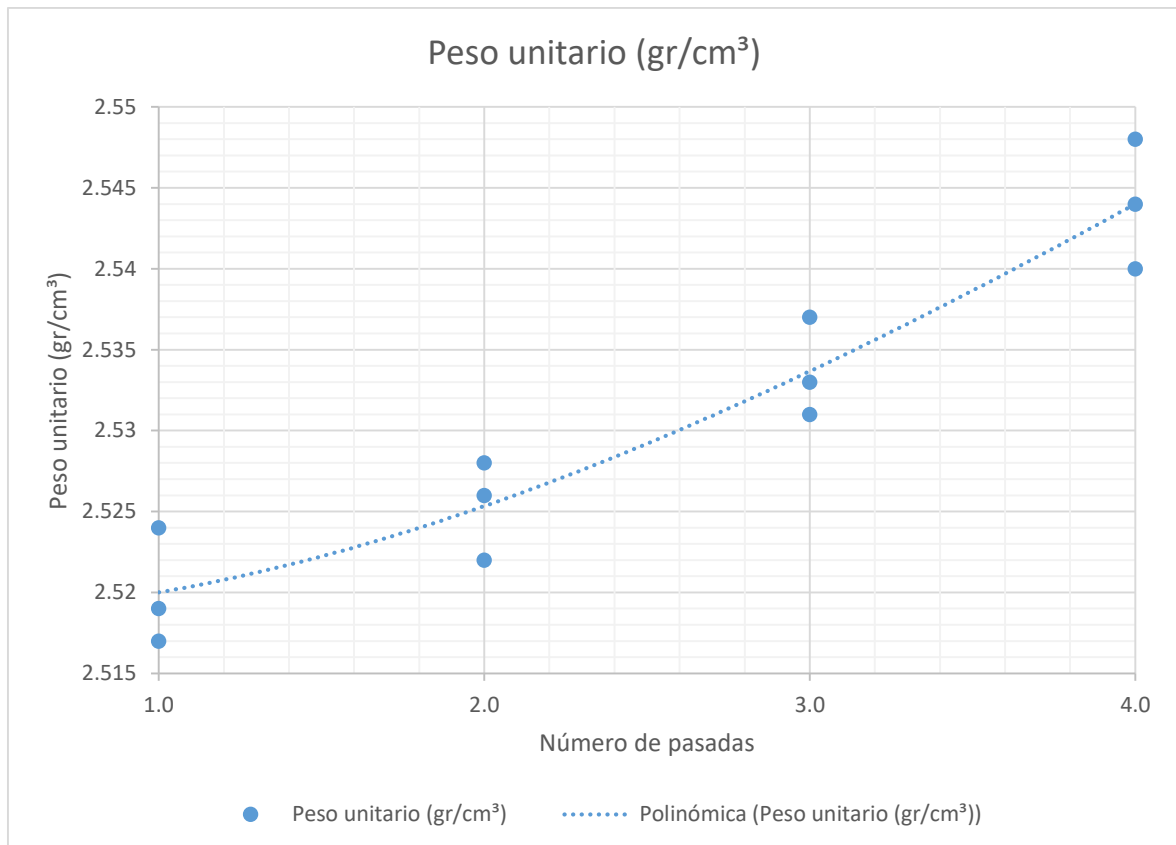


Figura 48: Análisis del peso unitario (gr/cm<sup>3</sup>) con rodillo compactador liso a 2 cm

Fuente: Elaboración propia

En la figura 49, se presenta el comportamiento del peso unitario a medida que aumenta el grado de compactación para 4 centímetros de carpeta de rodadura elaborada con rodillo liso. Obteniendo de esta forma una línea tendencia ascendente para distribución de datos tomados por cada punto de análisis y con valores menores a 2.641 gr/cm<sup>3</sup>, siendo este el máximo resultado para una mezcla con 5.00% de asfalto en su composición, según la metodología Marshall.

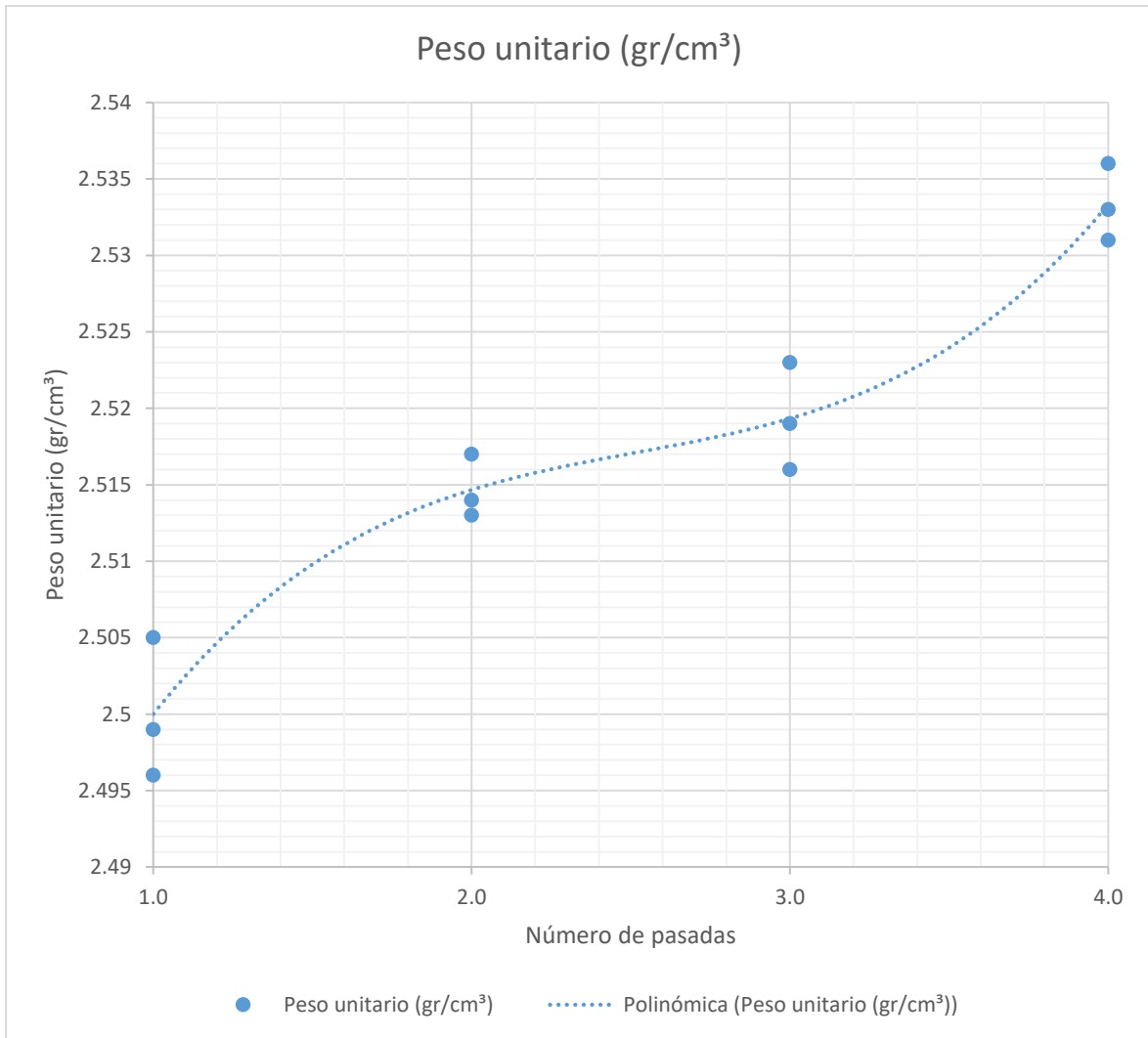


Figura 49: Análisis del peso unitario ( $\text{gr/cm}^3$ ) con rodillo compactador liso a 4 cm

Fuente: Elaboración propia

En la figura 50, se presenta el comportamiento del peso unitario a medida que aumenta el grado de compactación para 6 centímetros de carpeta de rodadura elaborada con rodillo liso. Obteniendo de esta forma una línea tendencia ascendente para distribución de datos tomados por cada punto de análisis y con valores menores a  $2.641 \text{ gr/cm}^3$ , siendo este el máximo resultado para una mezcla con 5.00% de asfalto en su composición, según la metodología Marshall.

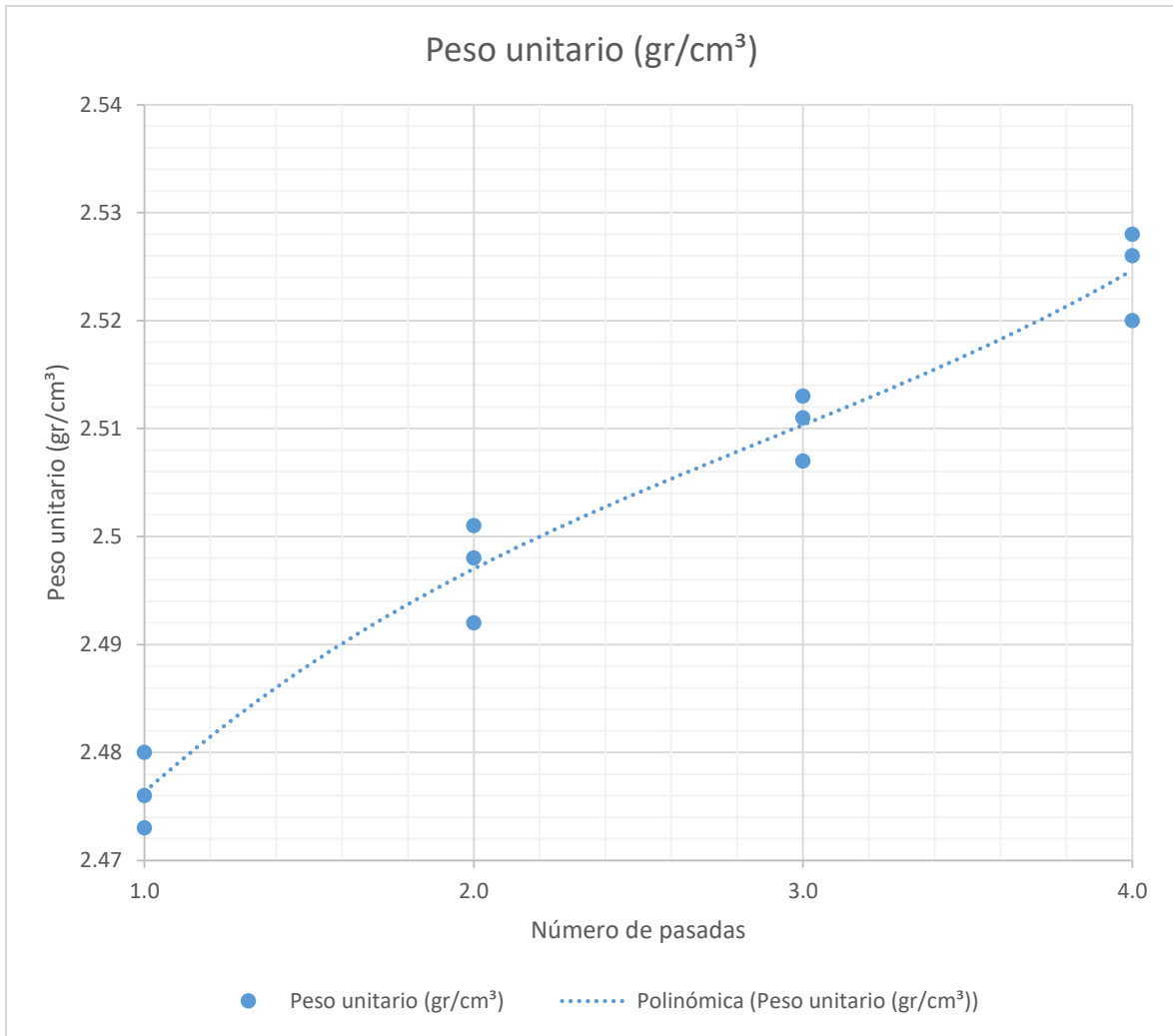


Figura 50: Análisis del peso unitario (gr/cm³) con rodillo compactador liso a 6 cm

Fuente: Elaboración propia

### RODILLO COMPACTADOR VIBRATORIO

En la figura 51, se presenta el comportamiento del peso unitario a medida que aumenta el grado de compactación para 2 centímetros de carpeta de rodadura elaborada con rodillo vibratorio. Obteniendo de esta forma una línea tendencia ascendente para distribución de datos tomados por cada punto de análisis y con valores menores a 2.641 gr/cm³, siendo este el máximo resultado para una mezcla con 5.00% de asfalto en su composición, según la metodología Marshall.

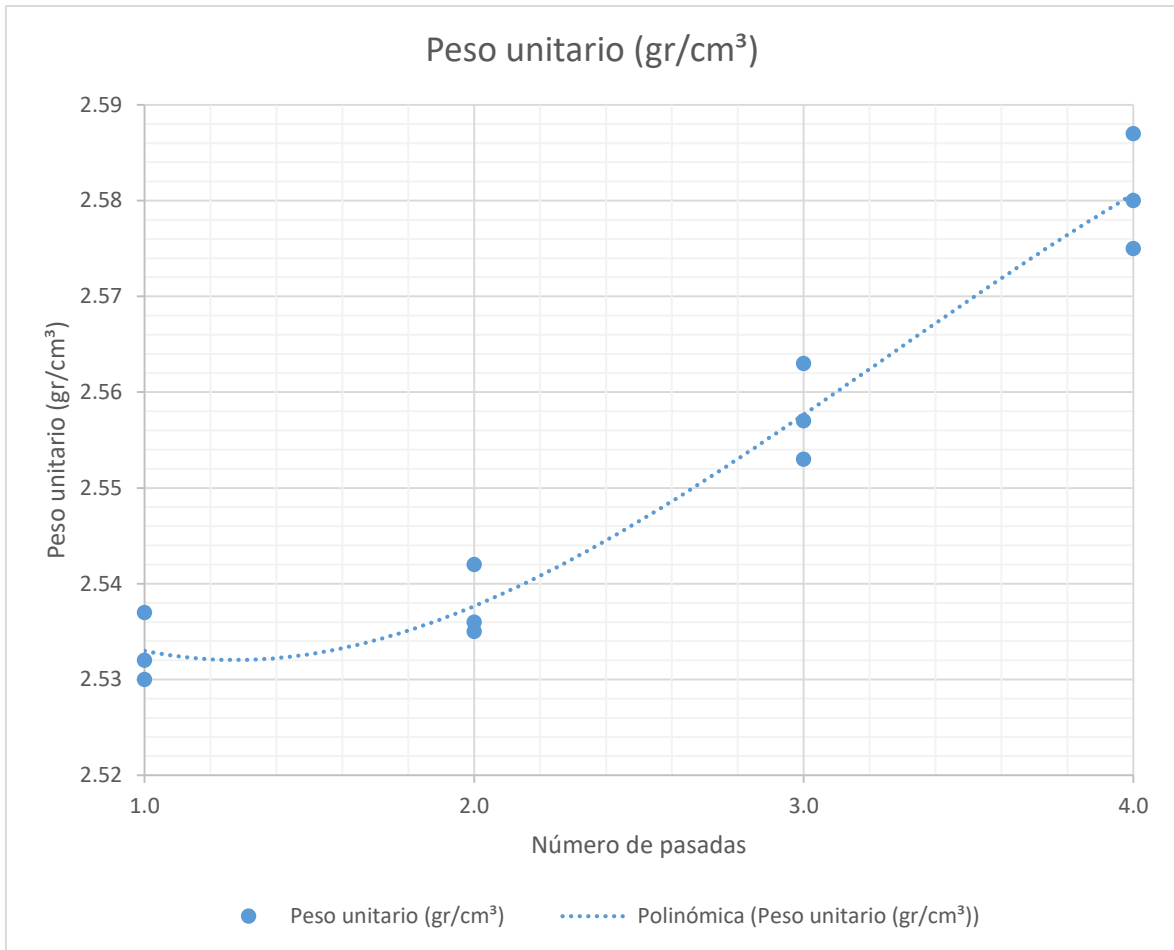


Figura 51: Análisis peso unitario ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ) con rodillo compactador vibratorio a 2 cm

Fuente: Elaboración propia

En la figura 52, se presenta el comportamiento del peso unitario a medida que aumenta el grado de compactación para 4 centímetros de carpeta de rodadura elaborada con rodillo vibratorio. Obteniendo de esta forma una línea tendencia ascendente para distribución de datos tomados por cada punto de análisis y con valores menores a  $2.641 \text{ gr}/\text{cm}^3$ , siendo este el máximo resultado para una mezcla con 5.00% de asfalto en su composición, según la metodología Marshall.

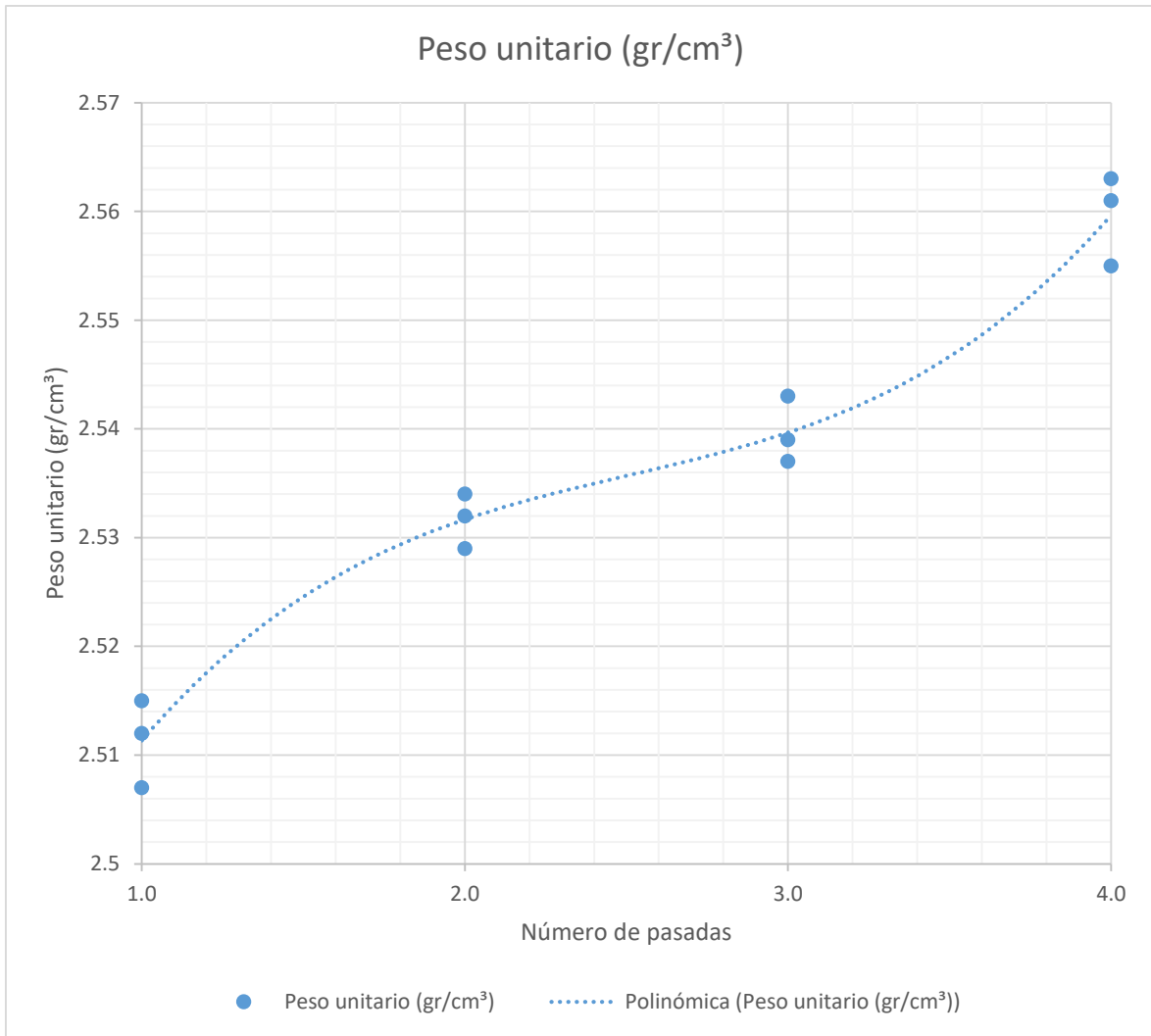


Figura 52: Análisis peso unitario ( $\text{gr/cm}^3$ ) con rodillo compactador vibratorio a 4 cm

Fuente: Elaboración propia

En la figura 53, se presenta el comportamiento del peso unitario a medida que aumenta el grado de compactación para 6 centímetros de carpeta de rodadura elaborada con rodillo vibratorio. Obteniendo de esta forma una línea tendencia ascendente para distribución de datos tomados por cada punto de análisis y con valores menores a  $2.641 \text{ gr/cm}^3$ , siendo este el máximo resultado para una mezcla con 5.00% de asfalto en su composición, según la metodología Marshall.

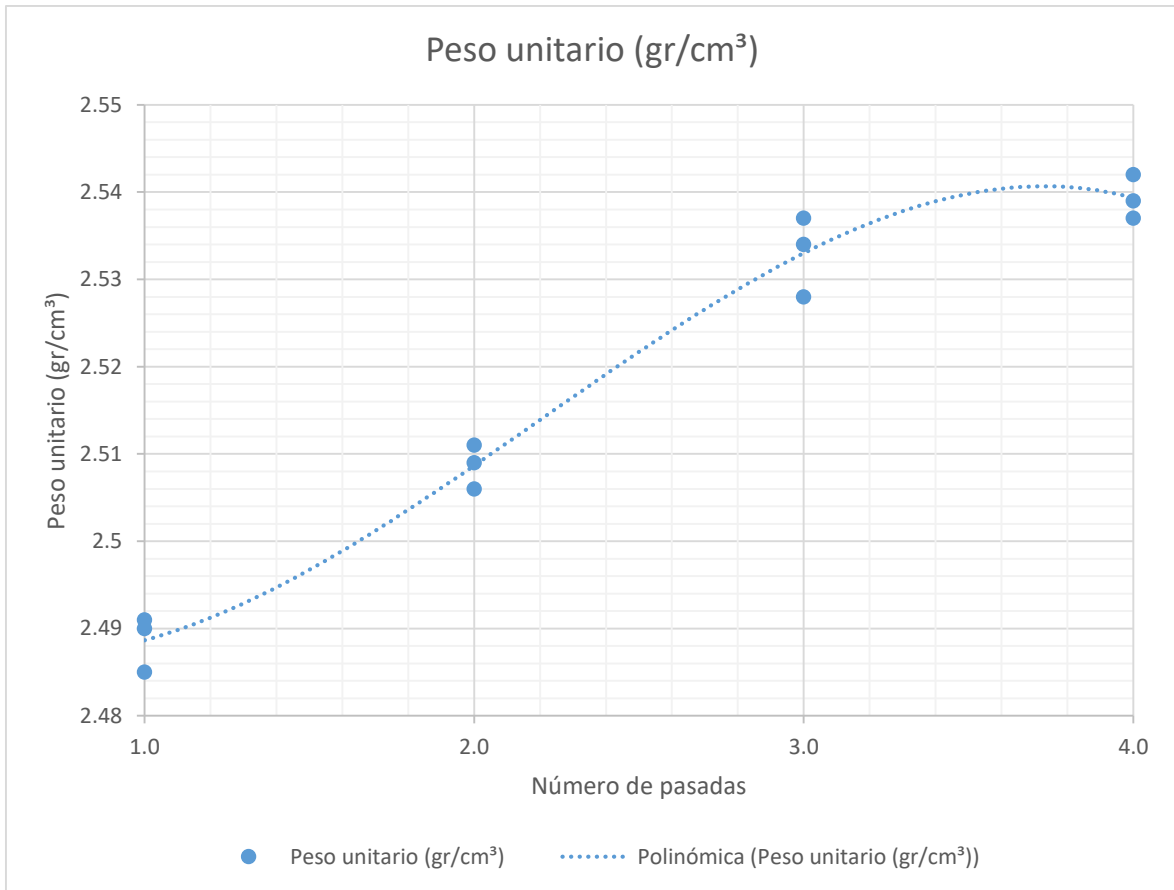


Figura 53: Análisis peso unitario ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ) con rodillo compactador vibratorio a 6 cm

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.4. OE G – PROPIEDADES EN GRADO DE COMPACTACIÓN

Con el objetivo de lograr un nivel de compactación que cumpla en campo con las propiedades de diseño proyectadas en laboratorio, se realiza un análisis del grado de compactación en función a las propiedades de diseño proyectadas por el MAC – 02. De esta forma, se obtiene en la figura 54 el porcentaje de compactación obtenido a partir de las propiedades mecánicas de diseño al cual se pretende llegar a medida que se aumenta el número de pasadas en los tramos de prueba realizados. Obteniendo que para 2 centímetros de espesor son necesarias 3 pasadas del rodillo liso, para 4 centímetros de espesor se requiere 4 pasadas del rodillo liso y para 6 centímetros de espesor se requiere 4 pasadas del rodillo liso.



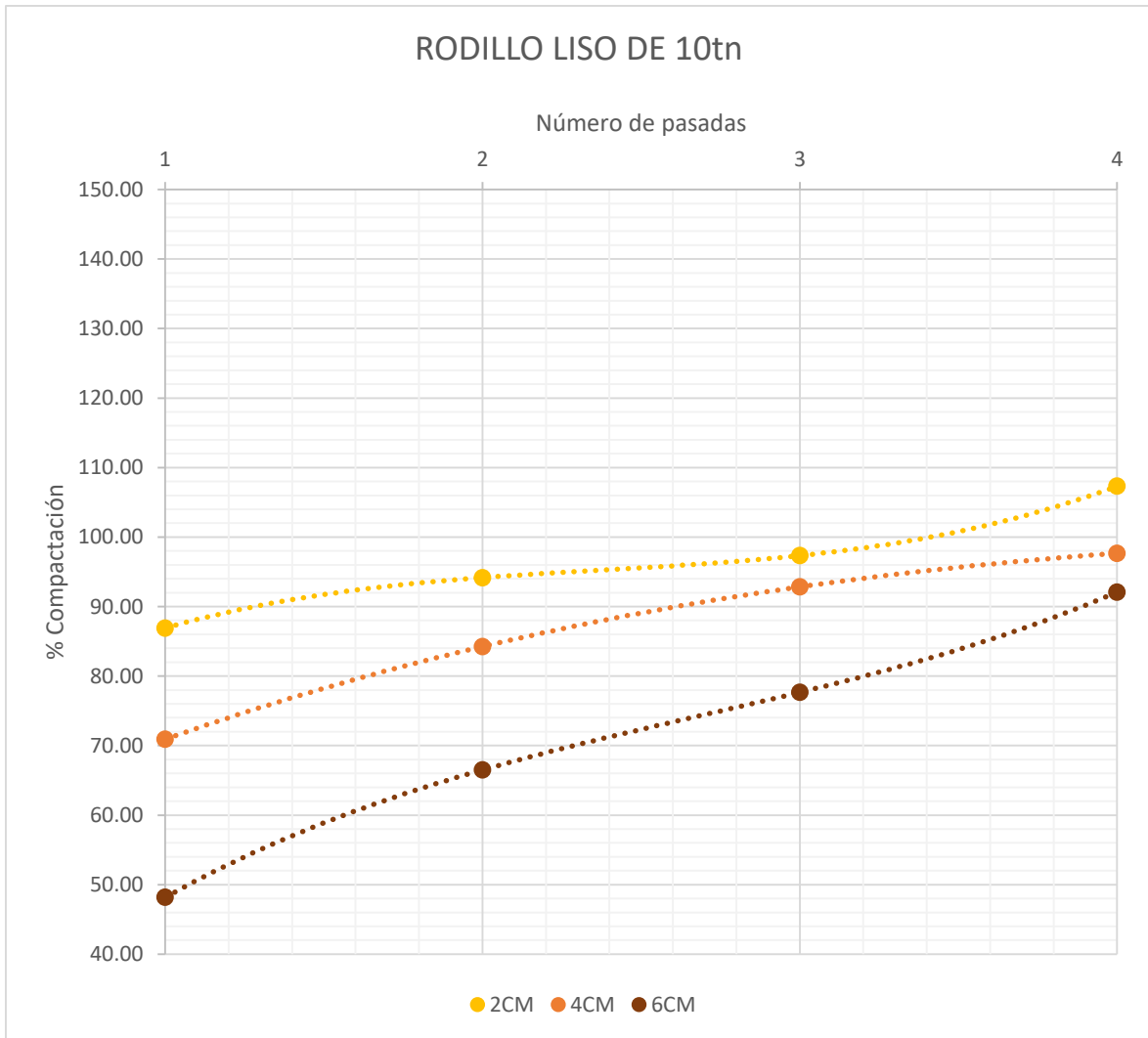


Figura 54: Porcentaje de compactación por número de pasadas del rodillo liso

Fuente: Elaboración propia

En la figura 55, se presenta el porcentaje de compactación obtenido a partir de las propiedades mecánicas de diseño al cual se pretende llegar a medida que se aumenta el número de pasadas en los tramos de prueba realizados. Obteniendo que para 2 centímetros de espesor es necesaria 1 pasada del rodillo vibratorio, para 4 centímetros de espesor se requiere 2 pasadas del rodillo vibratorio y para 6 centímetros de espesor se requiere 3 pasadas del rodillo vibratorio.

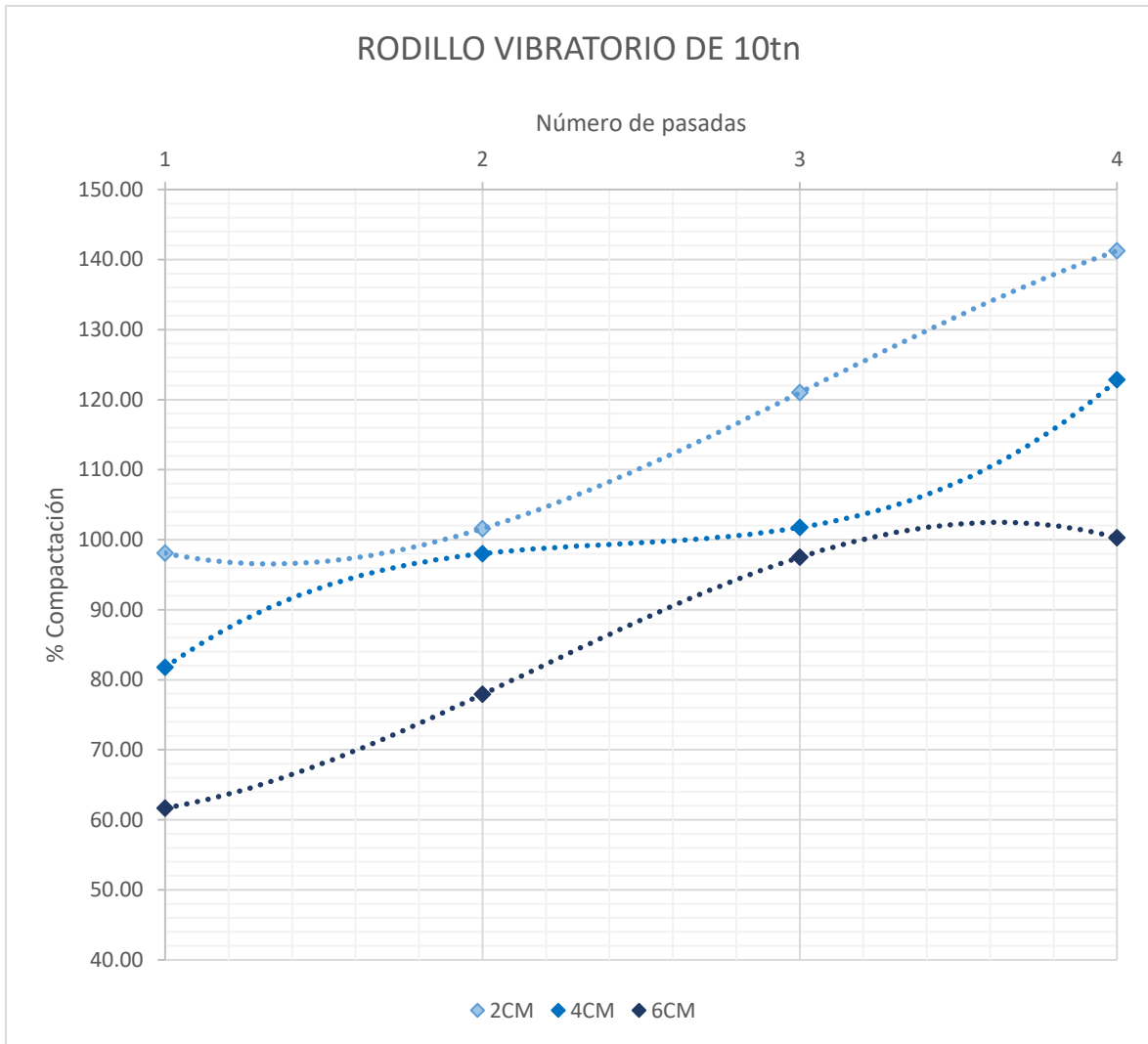


Figura 55: Porcentaje compactación por número de pasadas del rodillo vibratorio

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en la figura 56, se presenta el resumen general del porcentaje de compactación obtenido a partir de las propiedades mecánicas de diseño al cual se pretende llegar a medida que se aumenta el número de pasadas en los tramos de prueba realizados. Planteando una comparativa entre el rodillo compactador liso y el rodillo compactador vibratorio, obteniendo que se puede llegar a disminuir el número de pasadas con un rodillo compactador vibratorio, teniendo en cuenta que se requieren tener consideraciones especiales para evitar la sobrecompactación según se representa en los resultados obtenidos de las propiedades mecánicas resultantes.

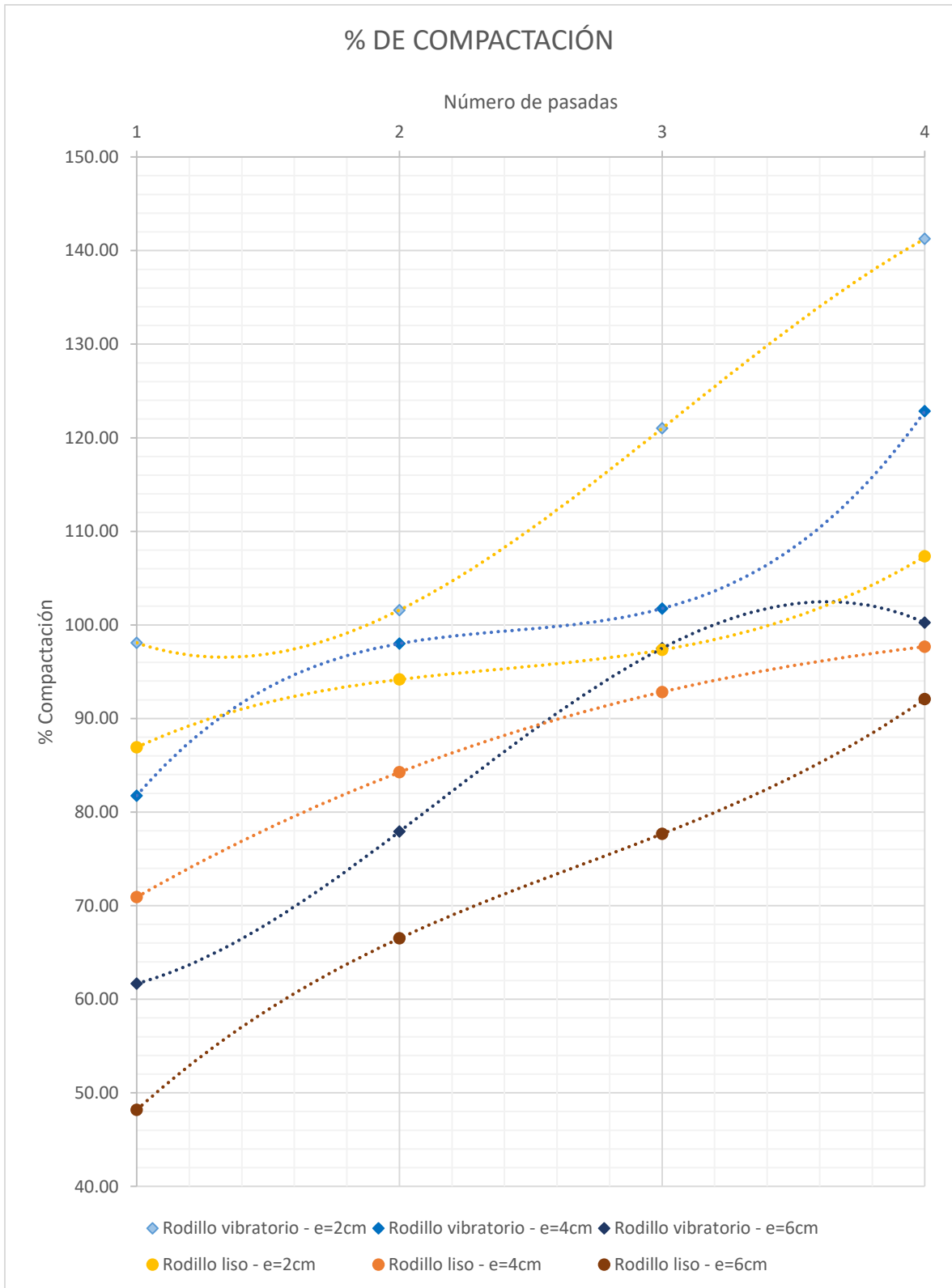


Figura 56: Resumen general del porcentaje compactación por número de pasadas

Fuente: Elaboración propia

#### **4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Los resultados del estudio se basan en el análisis de las propiedades mecánicas a medida que varía el grado de compactación de la mezcla asfáltica en caliente con el rodillo compactador liso y el rodillo compactador vibratorio. Por ello, es importante tener una visión amplia de los resultados obtenidos mediante una discusión general de todas las líneas tendencia obtenidas, comparando de esta forma con los valores de diseño obtenidos en laboratorio.

En la figura 57, se presenta el resumen general comparativo de la estabilidad obtenida bajo las diferentes condiciones de trabajo, de esta forma encontrar el grado de compactación que se aproxime más al valor de diseño, para cada espesor analizado. Donde se observa que para un rodillo liso se requiere más número de pasadas que para un rodillo vibratorio en todos los espesores evidenciados, para llegar a la estabilidad de diseño visualizada en la línea de color rojo.

En la figura 58, se presenta el resumen general comparativo del flujo evaluado en milímetros bajo las diferentes condiciones de trabajo, con el objeto de encontrar el grado de compactación que se afine más a la deformación obtenida en el diseño de laboratorio. Donde se observa que para un rodillo liso se requiere más número de pasadas que para un rodillo vibratorio en todos los espesores evidenciados, para llegar al flujo de diseño visualizado en la línea de color rojo.

En las figuras 59, 60 y 61, se presenta el resumen general comparativo de los porcentajes de vacíos resultantes bajo las diferentes condiciones de trabajo, de esta forma encontrar el grado de compactación que se aproxime más a los valores de diseño para cada espesor analizado. Obteniendo de igual forma que los porcentajes de vacíos son más rápidamente alcanzados con el rodillo vibratorio, pero es importante tener en consideración evitar la sobrecompactación, ya que las propiedades también se alteran negativamente al estar sobrecompactadas.

Finalmente, en la figura 62, se presenta el resumen general comparativo del peso unitario obtenido bajo las diferentes condiciones de trabajo, con el objeto de encontrar el grado de compactación que se afine más a la deformación obtenida en el diseño de laboratorio para cada espesor en la carpeta de rodadura trabajada.

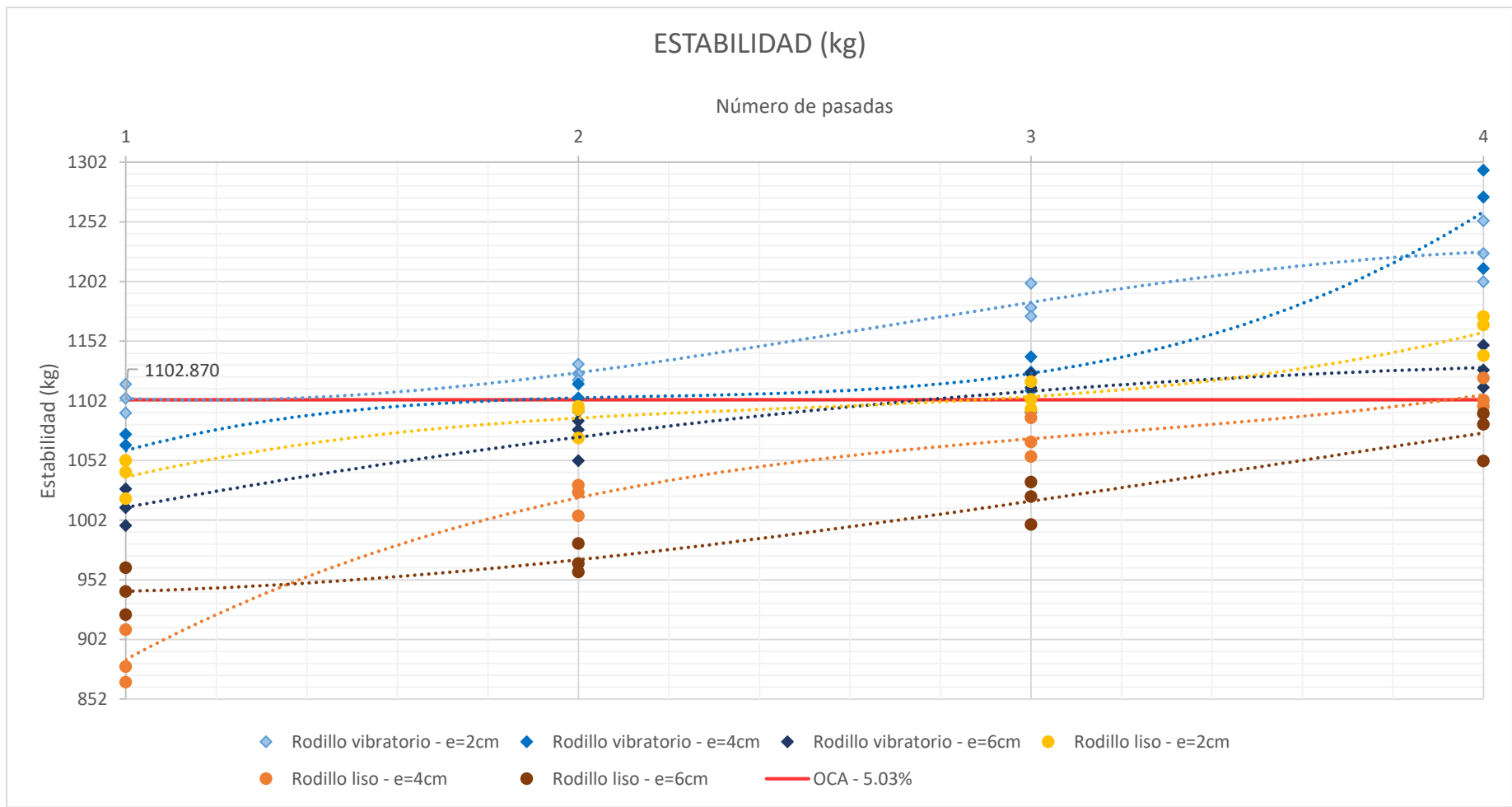


Figura 57: Resumen general de la estabilidad (kg) por número de pasadas

Fuente: Elaboración propia

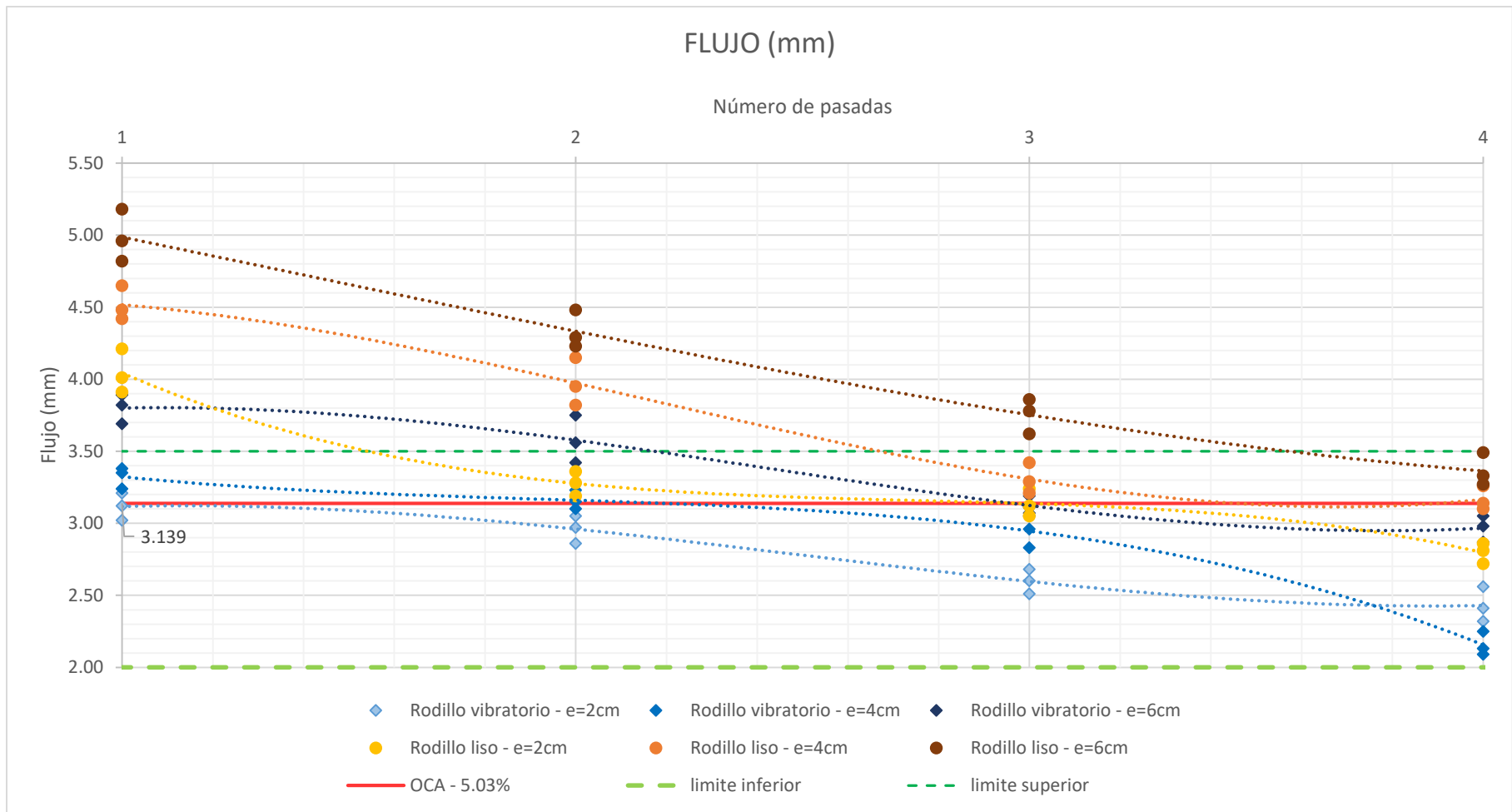


Figura 58: Resumen general del flujo (mm) por número de pasadas

Fuente: Elaboración propia

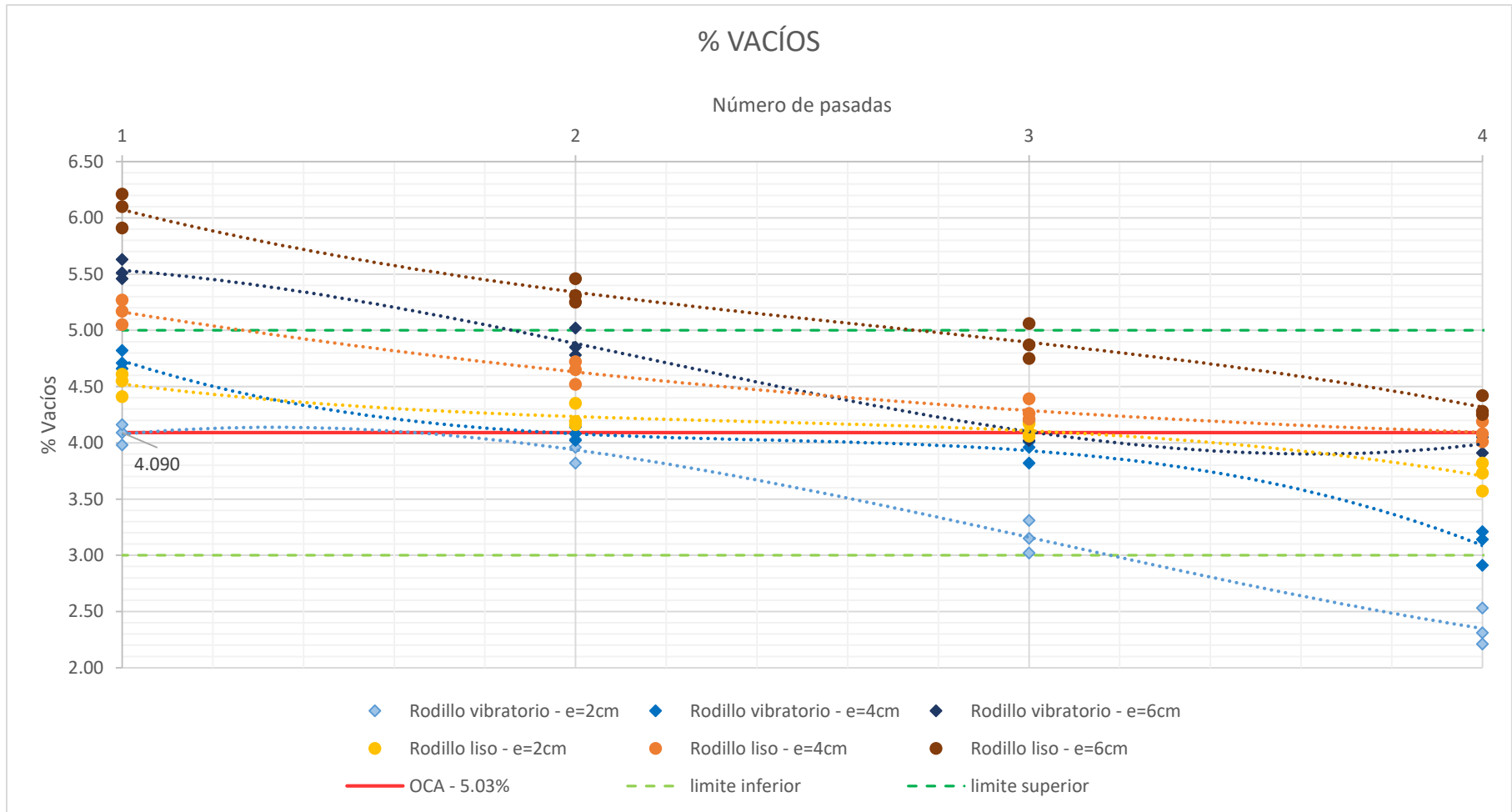


Figura 59: Resumen general del porcentaje de vacíos (%) por número de pasadas

Fuente: Elaboración propia

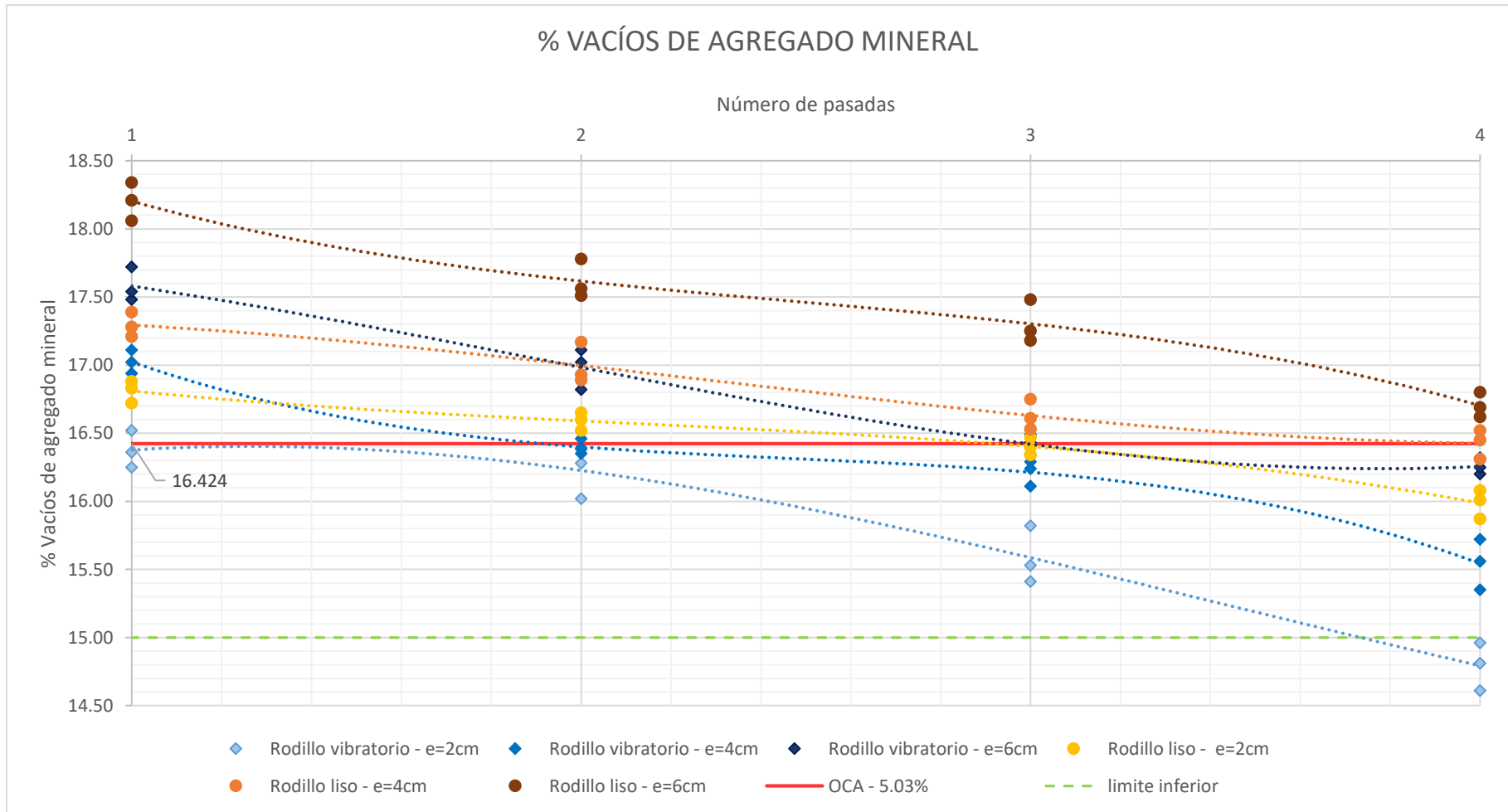


Figura 60: Resumen general del VMA (%) por número de pasadas

Fuente: Elaboración propia



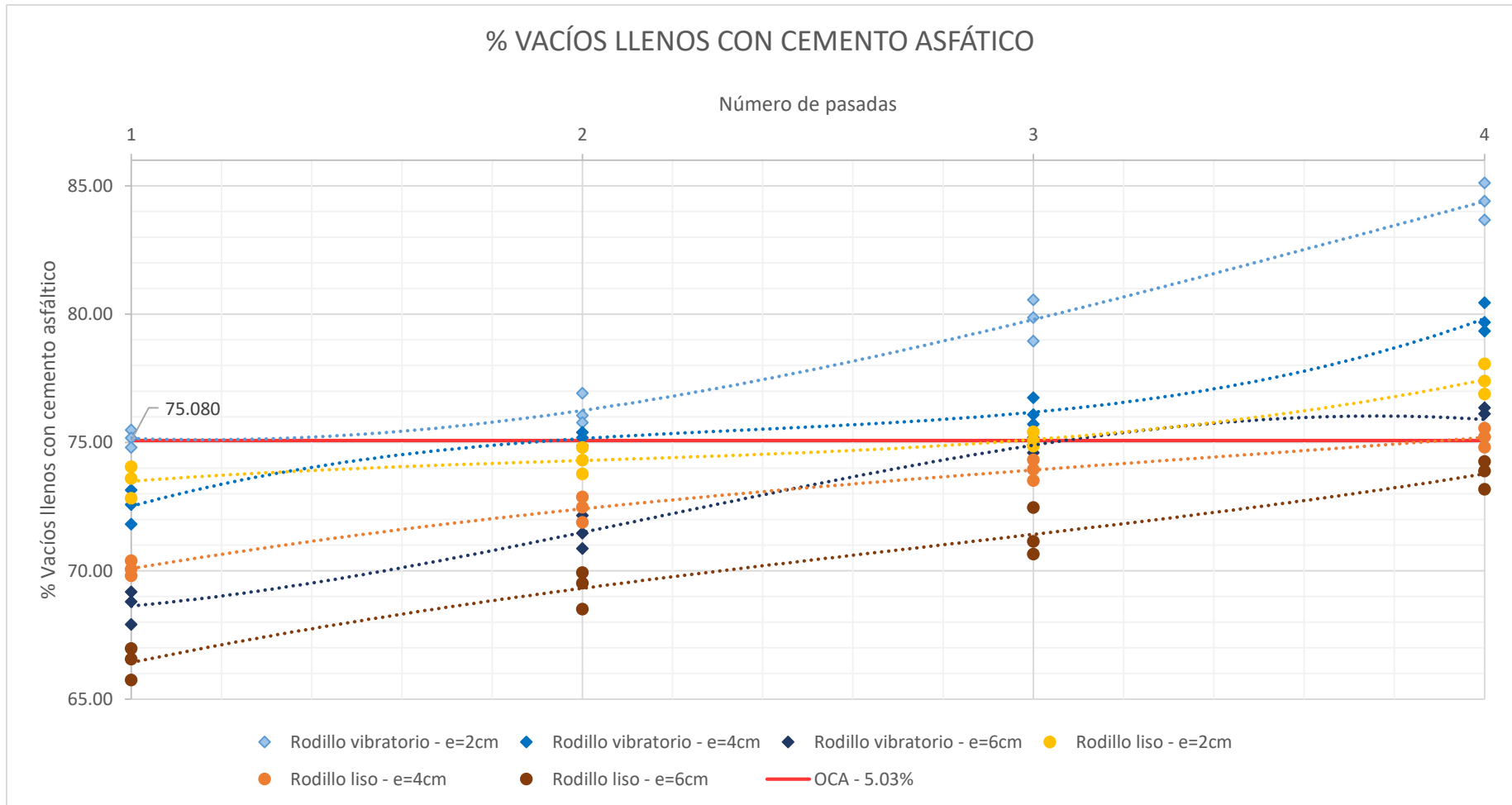


Figura 61: Resumen general del VLLA (%) por número de pasadas

Fuente: Elaboración propia

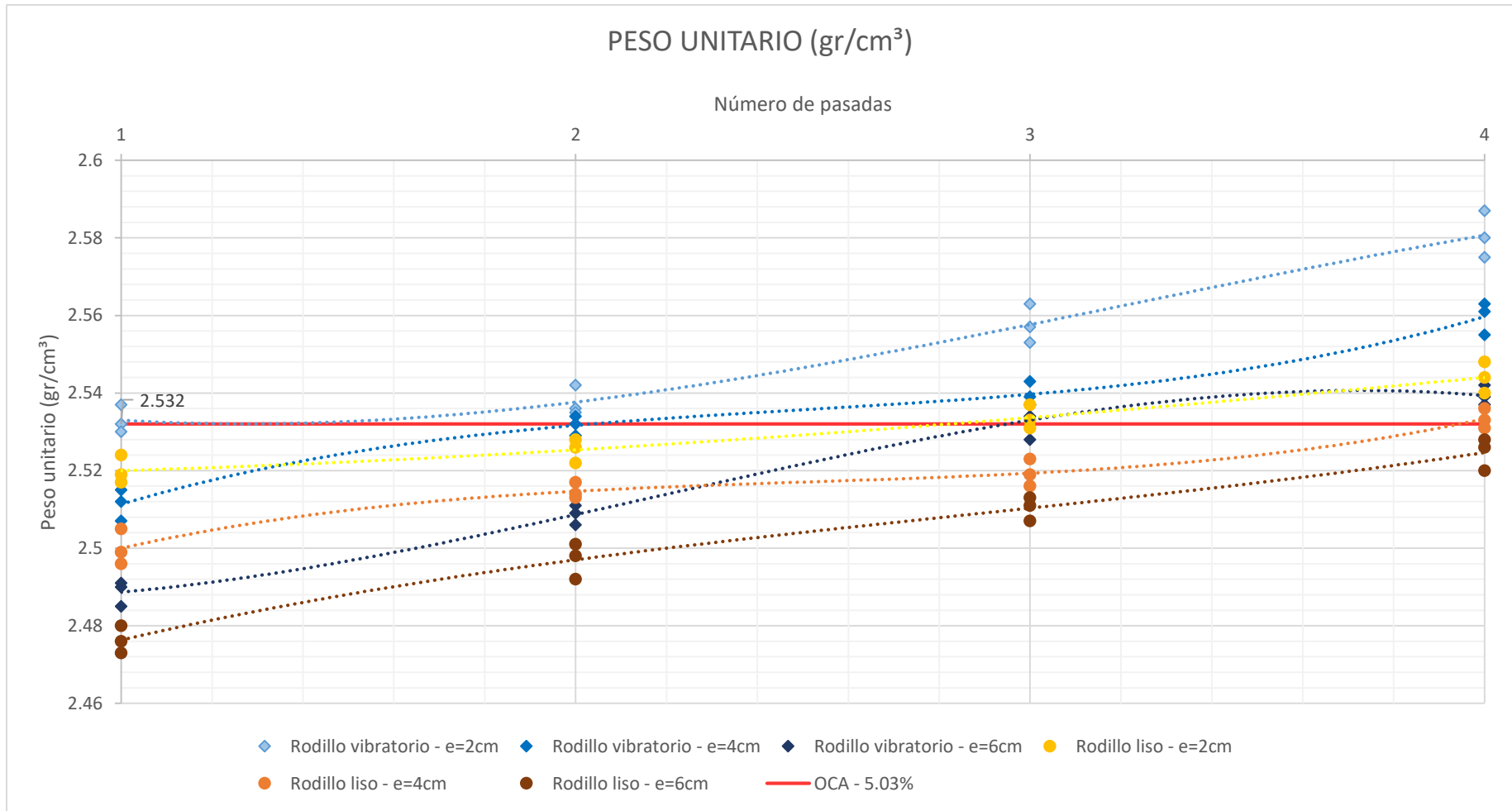


Figura 62: Resumen general del peso unitario (gr/cm<sup>3</sup>) por número de pasadas

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para validar las bases de datos obtenidas a partir de los resultados obtenidos, es importante realizar un análisis estadístico, el cual tiene por objeto una correlación bivariada de las variables en estudio mediante un análisis previo de la normalidad de los datos en estudio. Todo esto es evaluado mediante el apoyo del Software SPSS Statistics IBM. En la figura, se presenta el flujograma del análisis estadístico.

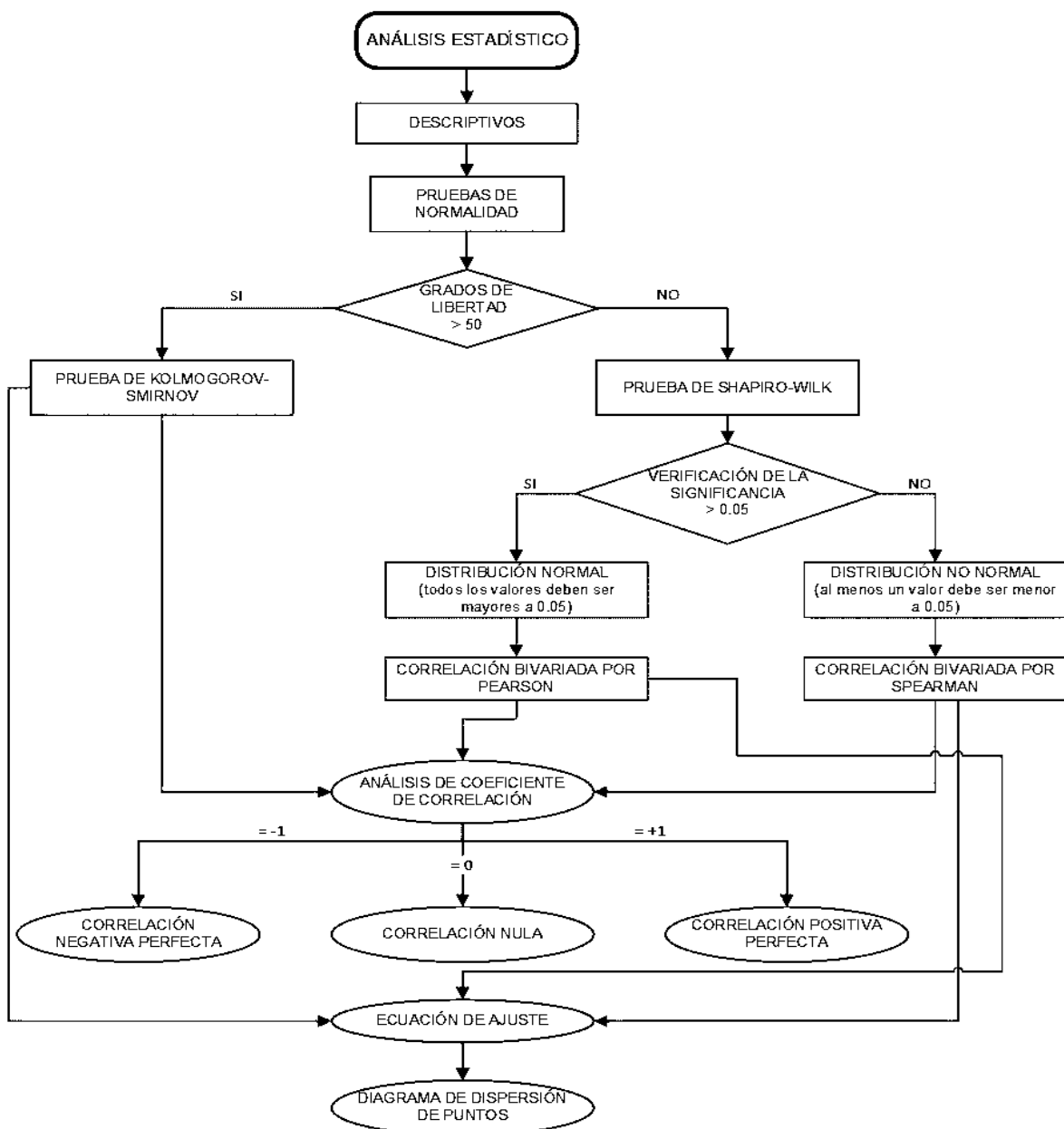


Figura 63: Diagrama de flujo del análisis estadístico

Fuente: Elaboración propia

Los estudios estadísticos son realizados de forma independiente para la base de datos obtenida para cada espesor en la carpeta de rodadura realizados en los tramos de prueba, tanto para el rodillo vibratorio como para el rodillo liso.

### **RODILLO COMPACTADOR VIBRATORIO**

En la tabla 25, se presentan los datos descriptivos obtenidos para 2 centímetros en la carpeta de rodadura realizado con rodillo vibratorio, el cual es analizado según el número de pasadas que se realizaron y las extracciones de diamantinas con grado de libertad de 3 muestras por punto.

Tabla 25: Cuadro descriptivo de rodillo vibratorio para 2 cm de espesor

**Descriptivos**

			Estadístico	Error estándar		
Número de pasadas						
% Vacíos empleando rodillo vibratorio de 10tn - e=2cm	1	Media	4,0767	,05239		
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 3,8513 Límite superior 4,3021			
		Media recortada al 5%	.			
		Mediana	4,0900			
		Varianza	,008			
		Desviación estándar	,09074			
		Mínimo	3,98			
		Máximo	4,16			
		Rango	,18			
		Rango intercuartil	.			
		Asimetría	-,647	1,225		
		Curtosis	.	.		
			2	Media	3,9367	,06173
				95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 3,6710 Límite superior 4,2023	
Media recortada al 5%	.					
Mediana	3,9600					
Varianza	,011					
Desviación estándar	,10693					
Mínimo	3,82					
Máximo	4,03					
Rango	,21					
Rango intercuartil	.					
Asimetría	-,935			1,225		
Curtosis	.			.		
	3			Media	3,1600	,08386
				95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 2,7992 Límite superior 3,5208	
		Media recortada al 5%	.			
		Mediana	3,1500			

		Varianza	,021	
		Desviación estándar	,14526	
		Mínimo	3,02	
		Máximo	3,31	
		Rango	,29	
		Rango intercuartil	.	
		Asimetría	,308	1,225
		Curtosis	.	.
	4	Media	2,3500	,09452
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	1,9433 2,7567
		Media recortada al 5%	.	
		Mediana	2,3100	
		Varianza	,027	
		Desviación estándar	,16371	
		Mínimo	2,21	
		Máximo	2,53	
		Rango	,32	
		Rango intercuartil	.	
		Asimetría	1,034	1,225
		Curtosis	.	.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 26, se presenta la prueba de normalidad para los datos obtenidos a 2 centímetros de espesor en la carpeta de rodadura realizada con rodillo vibratorio, analizados por Shapiro – Wilk, ya que los grados de libertad por número de pasadas del rodillo son menores a 50. Se tiene que la prueba determina si se presenta una distribución paramétrica o no paramétrica en su distribución de datos, por lo que se plantean dos hipótesis.

$H_0 < 0.05$ : Los porcentajes de vacíos para rodillo vibratorio por número de pasadas a 2 cm presentan una distribución no paramétrica

$H_0 > 0.05$ : Los porcentajes de vacíos para rodillo vibratorio por número de pasadas a 2 cm presentan una distribución paramétrica

Al obtener que todos los valores de significancia son mayores a 0.05 en los 4 distintos números de pasadas, se puede afirmar que los porcentajes de vacíos para rodillo vibratorio por número de pasadas a 2 cm presentan una distribución normal.

Tabla 26: Prueba de normalidad de rodillo vibratorio para 2 cm de espesor

**Pruebas de normalidad**

	Número de pasadas	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
% Vacíos empleando rodillo vibratorio de 10tn - e=2cm	1	,225	3	.	,984	3	,756
	2	,253	3	.	,964	3	,637
	3	,194	3	.	,996	3	,886
	4	,263	3	.	,955	3	,593

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la prueba de normalidad realizada, donde se determinó que la distribución de los datos es paramétrica para los resultados obtenidos a 2 centímetros de espesor en la carpeta de rodadura realizada con rodillo vibratorio, se presenta en la tabla 27 la correlación bivariada entre las variables de porcentaje de vacíos por número de pasadas analizada por Pearson, que presenta un coeficiente de correlación de -0.954, simbolizando una correlación negativa perfecta.

Tabla 27: Prueba de correlación de rodillo vibratorio para 2 cm de espesor

**Correlaciones**

		Número de pasadas	% Vacíos empleando rodillo vibratorio de 10tn - e=2cm
Número de pasadas	Correlación de Pearson	1	-,954**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	12	12
% Vacíos empleando rodillo vibratorio de 10tn - e=2cm	Correlación de Pearson	-,954**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	12	12

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se presenta en la figura 64 de dispersión de puntos para los resultados obtenidos a 2 centímetros de espesor en la carpeta de rodadura realizada con rodillo vibratorio, donde se observa también la ecuación de ajuste respectiva para aplicar el grado de compactación ajustado con un  $R^2=0.977$  que simboliza un valor representativo para la aplicación de la fórmula a distintos grados de compactación.

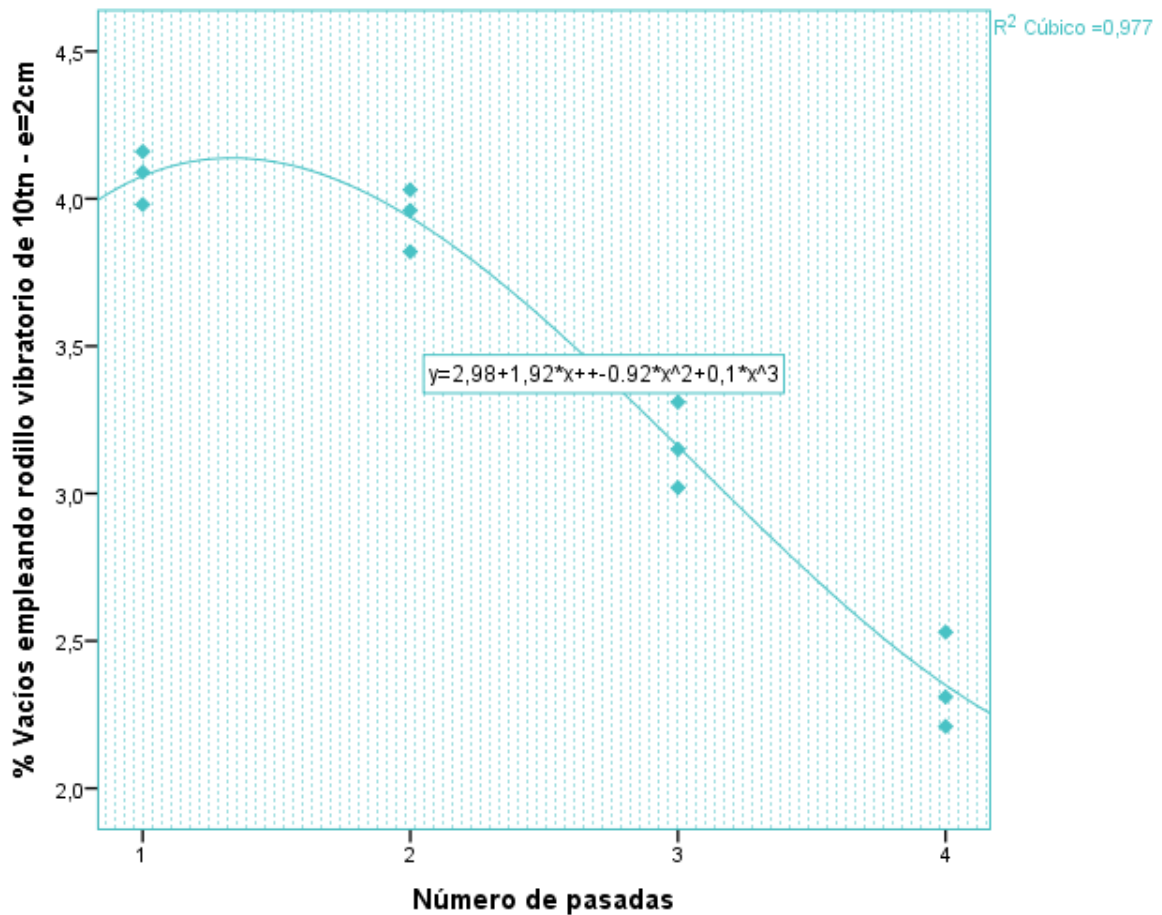


Figura 64: Cuadro de dispersión del rodillo vibratorio para 2 cm de espesor

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 28, se presentan los datos descriptivos obtenidos para 4 centímetros en la carpeta de rodadura realizado con rodillo vibratorio, el cual es analizado según el número de pasadas que se realizaron y las extracciones de diamantinas con grado de libertad de 3 muestras por punto.



Tabla 28: Cuadro descriptivo de rodillo vibratorio para 4 cm de espesor

**Descriptivos**

			Estadístico	Error estándar	
Número de pasadas					
% Vacíos empleando rodillo vibratorio de 10tn - e=4cm	1	Media	4,7300	,04726	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	4,5267 4,9333	
		Media recortada al 5%	.		
		Mediana	4,7100		
		Varianza	,007		
		Desviación estándar	,08185		
		Mínimo	4,66		
		Máximo	4,82		
		Rango	,16		
		Rango intercuartil	.		
	Asimetría	1,034	1,225		
	Curtosis	.	.		
	2	Media	4,0800	,03464	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	3,9310 4,2290	
		Media recortada al 5%	.		
		Mediana	4,0800		
		Varianza	,004		
		Desviación estándar	,06000		
		Mínimo	4,02		
		Máximo	4,14		
Rango		,12			
Rango intercuartil		.			
Asimetría	,000	1,225			
Curtosis	.	.			

3	Media		3,9300	,05686
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,6853	
		Límite superior	4,1747	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		3,9600	
	Varianza		,010	
	Desviación estándar		,09849	
	Mínimo		3,82	
	Máximo		4,01	
	Rango		,19	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-1,244	1,225
	Curtosis		.	.
	4	Media		3,0867
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	2,6968	
		Límite superior	3,4766	
Media recortada al 5%			.	
Mediana			3,1400	
Varianza			,025	
Desviación estándar			,15695	
Mínimo			2,91	
Máximo			3,21	
Rango			,30	
Rango intercuartil			.	
Asimetría			-1,353	1,225
Curtosis			.	.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 29, se presenta la prueba de normalidad para los datos obtenidos a 4 centímetros de espesor en la carpeta de rodadura realizada con rodillo vibratorio, analizados por Shapiro – Wilk, ya que los grados de libertad por número de pasadas del rodillo son menores a 50. Se tiene que la prueba determina si se presenta una distribución paramétrica o no paramétrica en su distribución de datos, por lo que se plantean dos hipótesis.

Ho < 0.05: Los porcentajes de vacíos para rodillo vibratorio por número de pasadas a 4 cm presentan una distribución no paramétrica

Ho > 0.05: Los porcentajes de vacíos para rodillo vibratorio por número de pasadas a 4 cm presentan una distribución paramétrica

Al obtener que todos los valores de significancia son mayores a 0.05 en los 4 distintos números de pasadas, se puede afirmar que los porcentajes de vacíos para rodillo vibratorio por número de pasadas a 4 cm presentan una distribución normal.

Tabla 29: Prueba de normalidad de rodillo vibratorio para 4 cm de espesor

**Pruebas de normalidad**

	Número de pasadas	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
% Vacíos empleando rodillo vibratorio de 10tn - e=4cm	1	,263	3	.	,955	3	,593
	2	,175	3	.	1,000	3	1,000
	3	,286	3	.	,930	3	,490
	4	,300	3	.	,913	3	,430

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la prueba de normalidad realizada, donde se determinó que la distribución de los datos es paramétrica para los resultados obtenidos a 4 centímetros de espesor en la carpeta de rodadura realizada con rodillo vibratorio, se presenta en la tabla 30 la correlación bivariada entre las variables de porcentaje de vacíos por número de pasadas analizada por Pearson, que presenta un coeficiente de correlación de -0.960, simbolizando una correlación negativa perfecta.

Tabla 30: Prueba de correlación de rodillo vibratorio para 4 cm de espesor

**Correlaciones**

		Número de pasadas	% Vacíos empleando rodillo vibratorio de 10tn - e=4cm
Número de pasadas	Correlación de Pearson	1	-,960**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	12	12
% Vacíos empleando rodillo vibratorio de 10tn - e=4cm	Correlación de Pearson	-,960**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	12	12

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se presenta en la figura 65 de dispersión de puntos para los resultados obtenidos a 4 centímetros de espesor en la carpeta de rodadura realizada con rodillo vibratorio, donde se observa también la ecuación de ajuste respectiva para aplicar el grado de compactación ajustado con un  $R^2=0.979$  que simboliza un valor representativo para la aplicación de la fórmula a distintos grados de compactación.

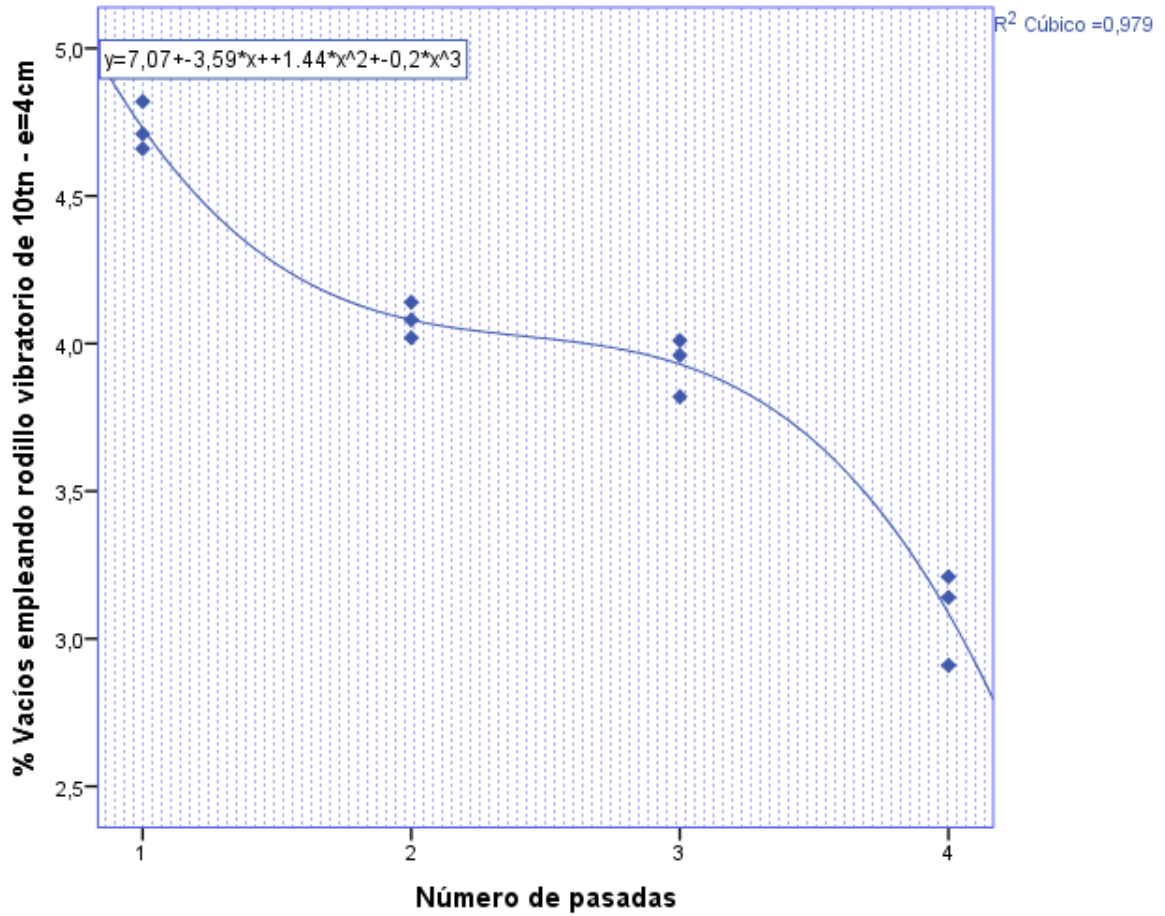


Figura 65: Cuadro de dispersión del rodillo vibratorio para 4 cm de espesor

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 31, se presentan los datos descriptivos obtenidos para 6 centímetros en la carpeta de rodadura realizado con rodillo vibratorio, el cual es analizado según el número de pasadas que se realizaron y las extracciones de diamantinas con grado de libertad de 3 muestras por punto.

Tabla 31: Cuadro descriptivo de rodillo vibratorio para 6 cm de espesor

<b>Descriptivos</b>				
	<b>Número de pasadas</b>		<b>Estadístico</b>	<b>Error estándar</b>
% Vacíos empleando rodillo vibratorio de 10tn - e=6cm	1	Media	5,5333	,05044
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 5,3163 Límite superior 5,7504	
		Media recortada al 5%	.	
		Mediana	5,5100	
		Varianza	,008	
		Desviación estándar	,08737	
		Mínimo	5,46	
		Máximo	5,63	
		Rango	,17	
		Rango intercuartil	.	
		Asimetría	1,116	1,225
		Curtosis	.	.
		2	Media	4,8833
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 4,5767 Límite superior 5,1899		
	Media recortada al 5%	.		
	Mediana	4,8500		
	Varianza	,015		
	Desviación estándar	,12342		
	Mínimo	4,78		
Máximo	5,02			
Rango	,24			
Rango intercuartil	.			
Asimetría	1,127	1,225		
Curtosis	.	.		
3	Media	4,1000	,04933	
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 3,8878 Límite superior 4,3122			
Media recortada al 5%	.			
Mediana	4,0900			
Varianza	,007			

	Desviación estándar		,08544	
	Mínimo		4,02	
	Máximo		4,19	
	Rango		,17	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		,519	1,225
	Curtosis		.	.
4	Media		3,9900	,04163
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,8109	
		Límite superior	4,1691	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		4,0100	
	Varianza		,005	
	Desviación estándar		,07211	
	Mínimo		3,91	
	Máximo		4,05	
	Rango		,14	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-1,152	1,225
	Curtosis		.	.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 32, se presenta la prueba de normalidad para los datos obtenidos a 6 centímetros de espesor en la carpeta de rodadura realizada con rodillo vibratorio, analizados por Shapiro – Wilk, ya que los grados de libertad por número de pasadas del rodillo son menores a 50. Se tiene que la prueba determina si se presenta una distribución paramétrica o no paramétrica en su distribución de datos, por lo que se plantean dos hipótesis.

$H_0 < 0.05$ : Los porcentajes de vacíos para rodillo vibratorio por número de pasadas a 6 cm presentan una distribución no paramétrica

$H_0 > 0.05$ : Los porcentajes de vacíos para rodillo vibratorio por número de pasadas a 6 cm presentan una distribución paramétrica

Al obtener que todos los valores de significancia son mayores a 0.05 en los 4 distintos números de pasadas, se puede afirmar que los porcentajes de

vacíos para rodillo vibratorio por número de pasadas a 6 cm presentan una distribución normal.

Tabla 32: Prueba de normalidad de rodillo vibratorio para 6 cm de espesor

**Pruebas de normalidad**

	Número de pasadas	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
% Vacíos empleando rodillo vibratorio de 10tn - e=6cm	1	,272	3	.	,947	3	,554
	2	,273	3	.	,945	3	,549
	3	,213	3	.	,990	3	,806
	4	,276	3	.	,942	3	,537

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la prueba de normalidad realizada, donde se determinó que la distribución de los datos es paramétrica para los resultados obtenidos a 6 centímetros de espesor en la carpeta de rodadura realizada con rodillo vibratorio, se presenta en la tabla 33 la correlación bivariada entre las variables de porcentaje de vacíos por número de pasadas analizada por Pearson, que presenta un coeficiente de correlación de -0.959, simbolizando una correlación negativa perfecta.

Tabla 33: Prueba de correlación de rodillo vibratorio para 6 cm de espesor

**Correlaciones**

		Número de pasadas	% Vacíos empleando rodillo vibratorio de 10tn - e=6cm
Número de pasadas	Correlación de Pearson	1	-,959**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	12	12
% Vacíos empleando rodillo vibratorio de 10tn - e=6cm	Correlación de Pearson	-,959**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	12	12

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

Fuente: Elaboración propia



Finalmente, se presenta en la figura 66 de dispersión de puntos para los resultados obtenidos a 6 centímetros de espesor en la carpeta de rodadura realizada con rodillo vibratorio, donde se observa también la ecuación de ajuste respectiva para aplicar el grado de compactación ajustado con un  $R^2=0.985$  que simboliza un valor representativo para la aplicación de la fórmula a distintos grados de compactación.

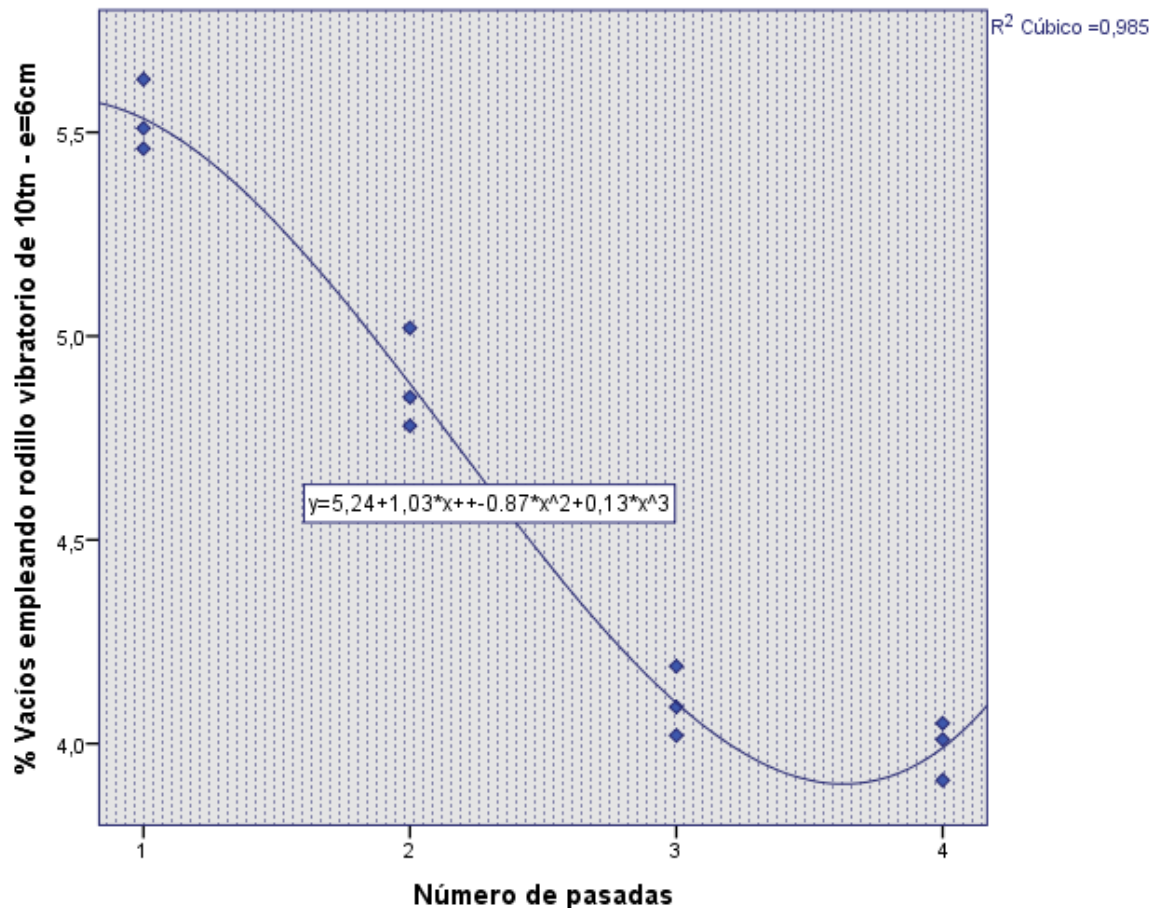


Figura 66: Cuadro de dispersión del rodillo vibratorio para 6 cm de espesor

Fuente: Elaboración propia

### RODILLO COMPACTADOR LISO

En la tabla 34, se presentan los datos descriptivos obtenidos para 2 centímetros en la carpeta de rodadura realizado con rodillo liso, el cual es

analizado según el número de pasadas que se realizaron y las extracciones de diamantinas con grado de libertad de 3 muestras por punto.

Tabla 34: Cuadro descriptivo de rodillo liso para 2 cm de espesor

<b>Descriptivos</b>					
		<b>Número de pasadas</b>	<b>Estadístico</b>	<b>Error estándar</b>	
% Vacíos empleando rodillo liso de 10tn - e=2cm	1	Media	4,5233	,05925	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	4,2684 4,7783	
		Media recortada al 5%	.		
		Mediana	4,5500		
		Varianza	,011		
		Desviación estándar	,10263		
		Mínimo	4,41		
		Máximo	4,61		
		Rango	,20		
		Rango intercuartil	.		
	Asimetría	-1,090	1,225		
	Curtosis	.	.		
	2	Media	4,2333	,05897	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	3,9796 4,4871	
		Media recortada al 5%	.		
		Mediana	4,1900		
		Varianza	,010		
		Desviación estándar	,10214		
		Mínimo	4,16		
		Máximo	4,35		
Rango		,19			
Rango intercuartil		.			
Asimetría	1,565	1,225			
Curtosis	.	.			

3	Media	4,1067	,03283	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	3,9654 4,2479	
	Media recortada al 5%	.	.	
	Mediana	4,0900	.	
	Varianza	,003	.	
	Desviación estándar	,05686	.	
	Mínimo	4,06	.	
	Máximo	4,17	.	
	Rango	,11	.	
	Rango intercuartil	.	.	
	Asimetría	1,206	1,225	
	Curtosis	.	.	
	4	Media	3,7067	,07311
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	3,3921 4,0212
Media recortada al 5%		.	.	
Mediana		3,7300	.	
Varianza		,016	.	
Desviación estándar		,12662	.	
Mínimo		3,57	.	
Máximo		3,82	.	
Rango		,25	.	
Rango intercuartil		.	.	
Asimetría		-,801	1,225	
Curtosis		.	.	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 35, se presenta la prueba de normalidad para los datos obtenidos a 2 centímetros de espesor en la carpeta de rodadura realizada con rodillo liso, analizados por Shapiro – Wilk, ya que los grados de libertad por número de pasadas del rodillo son menores a 50. Se tiene que la prueba determina si se presenta una distribución paramétrica o no paramétrica en su distribución de datos, por lo que se plantean dos hipótesis.

$H_0 < 0.05$ : Los porcentajes de vacíos para rodillo liso por número de pasadas a 2 cm presentan una distribución no paramétrica

$H_0 > 0.05$ : Los porcentajes de vacíos para rodillo liso por número de pasadas a 2 cm presentan una distribución paramétrica

Al obtener que todos los valores de significancia son mayores a 0.05 en los 4 distintos números de pasadas, se puede afirmar que los porcentajes de vacíos para rodillo liso por número de pasadas a 2 cm presentan una distribución normal.

Tabla 35: Prueba de normalidad de rodillo liso para 2 cm de espesor

**Pruebas de normalidad**

	Número de pasadas	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
% Vacíos	1	,269	3	.	,949	3	,567
empleando	2	,331	3	.	,865	3	,281
rodillo liso de	3	,282	3	.	,936	3	,510
10tn - e=2cm	4	,240	3	.	,975	3	,694

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la prueba de normalidad realizada, donde se determinó que la distribución de los datos es paramétrica para los resultados obtenidos a 2 centímetros de espesor en la carpeta de rodadura realizada con rodillo liso, se presenta en la tabla 36 la correlación bivariada entre las variables de porcentaje de vacíos por número de pasadas analizada por Pearson, que presenta un coeficiente de correlación de -0.945, simbolizando una correlación negativa perfecta.

Tabla 36: Prueba de correlación de rodillo liso para 2 cm de espesor

**Correlaciones**

		Número de pasadas	% Vacíos empleando rodillo liso de 10tn - e=2cm
Número de pasadas	Correlación de Pearson	1	-,945**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	12	12
% Vacíos empleando rodillo liso de 10tn - e=2cm	Correlación de Pearson	-,945**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	12	12

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se presenta en la figura 67 de dispersión de puntos para los resultados obtenidos a 2 centímetros de espesor en la carpeta de rodadura realizada con rodillo liso, donde se observa también la ecuación de ajuste respectiva para aplicar el grado de compactación ajustado con un  $R^2=0.928$  que simboliza un valor representativo para la aplicación de la fórmula a distintos grados de compactación.

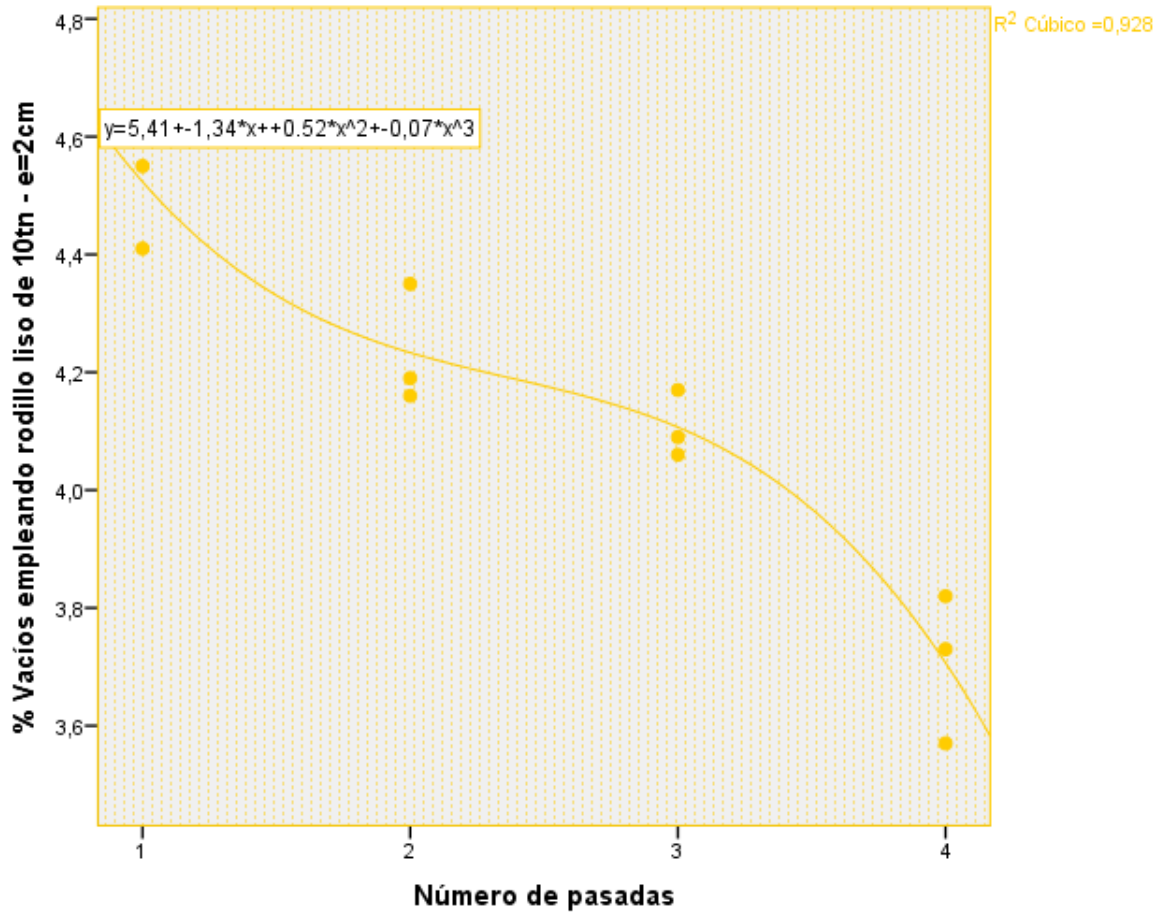


Figura 67: Cuadro de dispersión del rodillo liso para 2 cm de espesor

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 37, se presentan los datos descriptivos obtenidos para 4 centímetros en la carpeta de rodadura realizado con rodillo liso, el cual es analizado según el número de pasadas que se realizaron y las extracciones de diamantinas con grado de libertad de 3 muestras por punto.

Tabla 37: Cuadro descriptivo de rodillo liso para 4 cm de espesor

<b>Descriptivos</b>				
		<b>Número de pasadas</b>	<b>Estadístico</b>	<b>Error estándar</b>
% Vacíos empleando rodillo liso de 10tn - e=4cm	1	<b>Media</b>	5,1633	,06360
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	4,8897	
		Límite inferior	5,4370	
		Límite superior		
		<b>Media recortada al 5%</b>	.	

		Mediana	5,1700	
		Varianza	,012	
		Desviación estándar	,11015	
		Mínimo	5,05	
		Máximo	5,27	
		Rango	,22	
		Rango intercuartil	.	
		Asimetría	-,271	1,225
		Curtosis	.	.
	2	Media	4,6300	,05859
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 4,3779 Límite superior 4,8821	
		Media recortada al 5%	.	
		Mediana	4,6500	
		Varianza	,010	
		Desviación estándar	,10149	
		Mínimo	4,52	
		Máximo	4,72	
		Rango	,20	
		Rango intercuartil	.	
		Asimetría	-,852	1,225
		Curtosis	.	.
	3	Media	4,2867	,05364
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 4,0559 Límite superior 4,5175	
		Media recortada al 5%	.	
		Mediana	4,2600	
		Varianza	,009	
		Desviación estándar	,09292	
		Mínimo	4,21	
		Máximo	4,39	
		Rango	,18	
		Rango intercuartil	.	
		Asimetría	1,185	1,225
		Curtosis	.	.

4	Media	4,0933	,05239
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 3,8679 Límite superior 4,3187	
	Media recortada al 5%	.	
	Mediana	4,0800	
	Varianza	,008	
	Desviación estándar	,09074	
	Mínimo	4,01	
	Máximo	4,19	
	Rango	,18	
	Rango intercuartil	.	
	Asimetría	,647	1,225
	Curtosis	.	.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 38, se presenta la prueba de normalidad para los datos obtenidos a 4 centímetros de espesor en la carpeta de rodadura realizada con rodillo liso, analizados por Shapiro – Wilk, ya que los grados de libertad por número de pasadas del rodillo son menores a 50. Se tiene que la prueba determina si se presenta una distribución paramétrica o no paramétrica en su distribución de datos, por lo que se plantean dos hipótesis.

$H_0 < 0.05$ : Los porcentajes de vacíos para rodillo liso por número de pasadas a 4 cm presentan una distribución no paramétrica

$H_0 > 0.05$ : Los porcentajes de vacíos para rodillo liso por número de pasadas a 4 cm presentan una distribución paramétrica

Al obtener que todos los valores de significancia son mayores a 0.05 en los 4 distintos números de pasadas, se puede afirmar que los porcentajes de vacíos para rodillo liso por número de pasadas a 4 cm presentan una distribución normal.



Tabla 38: Prueba de normalidad de rodillo liso para 4 cm de espesor

**Pruebas de normalidad**

	Número de pasadas	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
% Vacíos	1	,191	3	.	,997	3	,900
empleando	2	,245	3	.	,971	3	,672
rodillo liso de	3	,280	3	.	,938	3	,520
10tn - e=4cm	4	,225	3	.	,984	3	,756

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la prueba de normalidad realizada, donde se determinó que la distribución de los datos es paramétrica para los resultados obtenidos a 4 centímetros de espesor en la carpeta de rodadura realizada con rodillo liso, se presenta en la tabla 36 la correlación bivariada entre las variables de porcentaje de vacíos por número de pasadas analizada por Pearson, que presenta un coeficiente de correlación de -0.959, simbolizando una correlación negativa perfecta.

Tabla 39: Prueba de correlación de rodillo liso para 4 cm de espesor

**Correlaciones**

		Número de pasadas	% Vacíos empleando rodillo liso de 10tn - e=4cm
Número de pasadas	Correlación de Pearson	1	-,959**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	12	12
% Vacíos empleando rodillo liso de 10tn - e=4cm	Correlación de Pearson	-,959**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	12	12

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se presenta en la figura 68 de dispersión de puntos para los resultados obtenidos a 4 centímetros de espesor en la carpeta de rodadura realizada con rodillo liso, donde se observa también la ecuación de ajuste respectiva para aplicar el grado de compactación ajustado con un  $R^2=0.962$  que simboliza un valor representativo para la aplicación de la fórmula a distintos grados de compactación.

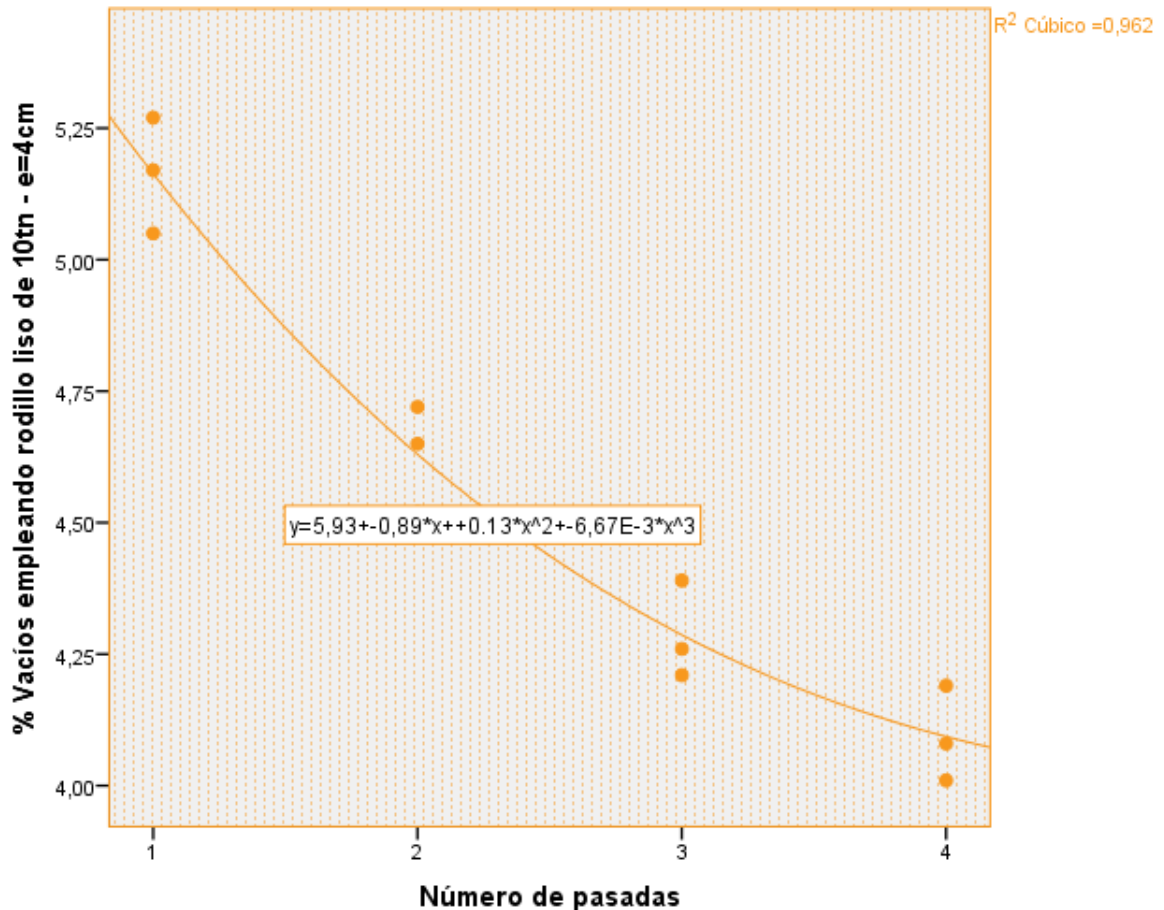


Figura 68: Cuadro de dispersión del rodillo liso para 4 cm de espesor

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 40, se presentan los datos descriptivos obtenidos para 6 centímetros en la carpeta de rodadura realizado con rodillo liso, el cual es analizado según el número de pasadas que se realizaron y las extracciones de diamantinas con grado de libertad de 3 muestras por punto.

Tabla 40: Cuadro descriptivo de rodillo liso para 6 cm de espesor

<b>Descriptivos</b>					
		<b>Número de pasadas</b>	<b>Estadístico</b>	<b>Error estándar</b>	
% Vacíos empleando rodillo liso de 10tn - e=6cm	1	Media	6,0733	,08762	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	5,6963 6,4503	
		Media recortada al 5%	.		
		Mediana	6,1000		
		Varianza	,023		
		Desviación estándar	,15177		
		Mínimo	5,91		
		Máximo	6,21		
		Rango	,30		
		Rango intercuartil	.		
		Asimetría	-,766	1,225	
		Curtosis	.	.	
		2	Media	5,3400	,06245
			95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	5,0713 5,6087
	Media recortada al 5%		.		
	Mediana		5,3100		
	Varianza		,012		
	Desviación estándar		,10817		
	Mínimo		5,25		
	Máximo		5,46		
Rango	,21				
Rango intercuartil	.				
Asimetría	1,152	1,225			
Curtosis	.	.			

3	Media		4,8933	,09025
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	4,5050	
		Límite superior	5,2816	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		4,8700	
	Varianza		,024	
	Desviación estándar		,15631	
	Mínimo		4,75	
	Máximo		5,06	
	Rango		,31	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		,657	1,225
	Curtosis		.	.
	4	Media		4,3167
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	4,0913	
		Límite superior	4,5421	
Media recortada al 5%			.	
Mediana			4,2800	
Varianza			,008	
Desviación estándar			,09074	
Mínimo			4,25	
Máximo			4,42	
Rango			,17	
Rango intercuartil			.	
Asimetría			1,521	1,225
Curtosis			.	.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 41, se presenta la prueba de normalidad para los datos obtenidos a 6 centímetros de espesor en la carpeta de rodadura realizada con rodillo liso, analizados por Shapiro – Wilk, ya que los grados de libertad por número de pasadas del rodillo son menores a 50. Se tiene que la prueba determina si se presenta una distribución paramétrica o no paramétrica en su distribución de datos, por lo que se plantean dos hipótesis.

Ho < 0.05: Los porcentajes de vacíos para rodillo liso por número de pasadas a 6 cm presentan una distribución no paramétrica

Ho > 0.05: Los porcentajes de vacíos para rodillo liso por número de pasadas a 6 cm presentan una distribución paramétrica

Al obtener que todos los valores de significancia son mayores a 0.05 en los 4 distintos números de pasadas, se puede afirmar que los porcentajes de vacíos para rodillo liso por número de pasadas a 6 cm presentan una distribución normal.

Tabla 41: Prueba de normalidad de rodillo liso para 6 cm de espesor

**Pruebas de normalidad**

	Número de pasadas	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
% Vacíos	1	,236	3	.	,977	3	,708
empleando	2	,276	3	.	,942	3	,537
rodillo liso de	3	,226	3	.	,983	3	,752
10tn - e=6cm	4	,324	3	.	,878	3	,317

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la prueba de normalidad realizada, donde se determinó que la distribución de los datos es paramétrica para los resultados obtenidos a 6 centímetros de espesor en la carpeta de rodadura realizada con rodillo liso, se presenta en la tabla 42 la correlación bivariada entre las variables de porcentaje de vacíos por número de pasadas analizada por Pearson, que presenta un coeficiente de correlación de -0.982, simbolizando una correlación negativa perfecta.

Tabla 42: Prueba de correlación de rodillo liso para 6 cm de espesor

**Correlaciones**

		Número de pasadas	% Vacíos empleando rodillo liso de 10tn - e=6cm
Número de pasadas	Correlación de Pearson	1	-,982**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	12	12
% Vacíos empleando rodillo liso de 10tn - e=6cm	Correlación de Pearson	-,982**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	12	12

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se presenta en la figura 69 de dispersión de puntos para los resultados obtenidos a 6 centímetros de espesor en la carpeta de rodadura realizada con rodillo liso, donde se observa también la ecuación de ajuste respectiva para aplicar el grado de compactación ajustado con un  $R^2=0.973$  que simboliza un valor representativo para la aplicación de la fórmula a distintos grados de compactación.

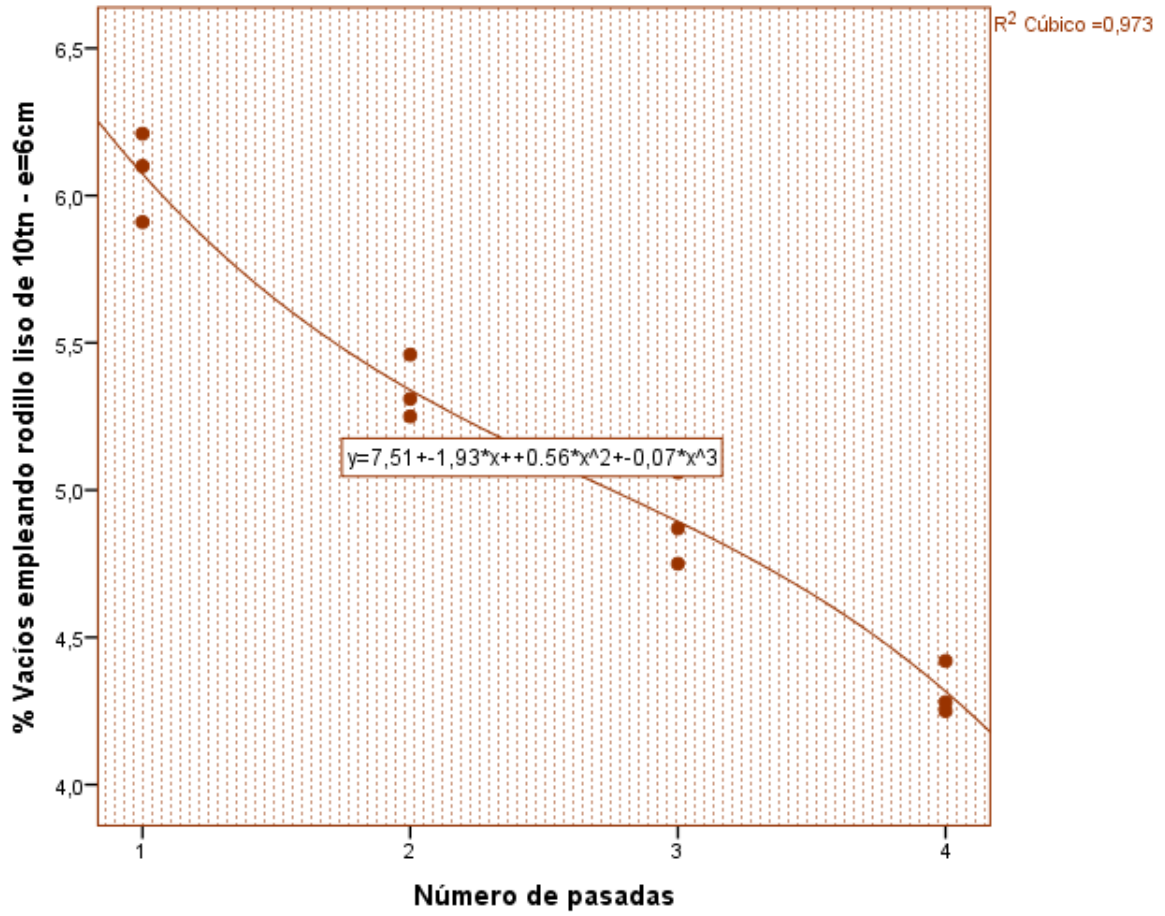


Figura 69: Cuadro de dispersión del rodillo liso para 6 cm de espesor

Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

1. Se puede concluir que, definitivamente, existe una diferenciación en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente ante la variación del grado de compactación al que se somete. Esta diferencia se basa en la comprobación de las propiedades mecánicas obtenidas en campo con las proyectadas en el diseño base con el cual se caracterizaron los materiales empleados, llegando a inferir que las muestras compactadas por vibración pueden optimizar el proceso de compactación de la mezcla asfáltica en caliente teniendo consideraciones presentes para evitar una sobrecompactación. Este fenómeno cuantificado puede aportar un ahorro en los tiempos de ejecución y programación de proyectos de inversión vial, teniendo una especial consideración con el espesor de diseño que se pretende compactar, debido a este puede variar según diversos factores como los ejes equivalentes o el tipo de suelo donde se desempeñará la carpeta de rodadura. De esta forma, se tiene que para 2 centímetros de espesor se puede llegar al nivel óptimo de compactación con 1 pasada del rodillo vibratorio; de la misma manera para 4 centímetros de espesor se puede llegar al óptimo nivel de compactación con 2 pasadas del rodillo vibratorio; y para 6 centímetros de espesor se requiere 3 pasadas para llegar al óptimo nivel de compactación. Todo este análisis mencionado abarca un porcentaje de compactación en función a todas las propiedades mecánicas contrastadas con el diseño de laboratorio realizado en la presente investigación, además nos permite contar con un margen amplio de aplicabilidad para futuros proyectos viales que lo requieran, teniendo siempre en consideración las condiciones básicas de diseño y gradación granulométrica.
2. Se concluye que la estabilidad se altera de forma evidente de acuerdo al grado de compactación que se aplique en campo, es decir, teniendo como base el valor de estabilidad obtenido en el diseño de mezcla en laboratorio al que se aspira llegar en campo. Cuando la mezcla asfáltica en caliente no llega al nivel de compactación requerido, su estabilidad disminuye en hasta 20.21% para el nivel de compactación más bajo analizado; de la misma forma, se evidencia un fenómeno ante la sobrecompactación de la mezcla asfáltica en caliente, llegando a aumentar su estabilidad en hasta un 11.77% para el nivel de compactación más alto analizado. Estos fenómenos se repiten para el flujo que presenta la mezcla asfáltica en caliente, generando un incremento de la deformación de hasta 36.71% para el nivel de compactación más bajo analizado y un descenso de la deformación de hasta 46.32%



en el nivel de compactación más alto analizado. Por ello, es de vital importancia encontrar el nivel apropiado para compactar la mezcla asfáltica en caliente.

3. Se concluye que el porcentaje de vacíos, como propiedad determinante en la evaluación del grado de compactación de la mezcla asfáltica en caliente, presenta alteraciones en función al número de pasadas aplicadas al tramo de prueba evaluado en la investigación. Donde, en función al porcentaje de vacíos obtenido en el diseño proyectado, se llegó a un aumento en los vacíos de hasta un 32.95% para el nivel de compactación más bajo analizado y un descenso en los vacíos de hasta 43.52% para el nivel de compactación más alto analizado. Los porcentajes de variación en los vacíos de la mezcla asfáltica que se puede dar de acuerdo al grado de compactación son elevados, por lo que se tiene que tener especial cuidado de no sobrecompactar la mezcla, ya que se podría sobre-rigidizar la carpeta, pudiendo presentar fallas tempranas en su superficie de tipo fisuramiento, por la alteración del grado de compactación de diseño proyectado.
4. Se concluye que el peso específico presenta un fenómeno particular de forma evidente, de acuerdo al grado de compactación que se aplique en campo, es decir, que teniendo como base el valor de peso unitario obtenido en el diseño de mezcla en laboratorio. Los resultados obtenidos en los tramos de prueba presentaron descensos en el peso unitario de hasta 2.21% para el nivel de compactación más bajo analizado y un aumento de su peso unitario de hasta 1.86% para el nivel de compactación más alto analizado.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar un estudio complementario del grado de compactación para trabajar mezclas asfálticas en caliente bajo condiciones climáticas extremas, es decir, en lugares que presenten temperaturas ambientales muy altas (como en la selva), donde son necesarios porcentajes de vacíos más elevados en su diseño para evitar fallas de tipo sangrado de la carpeta de rodadura, que puede generar accidentes por hidroplaneo y una disminución representativa en la durabilidad de la mezcla asfáltica en caliente. Así también en lugares que presenten temperaturas ambientales muy bajas (como en las alturas), donde es necesario evaluar el diseño de mezcla con porcentajes de vacíos más reducidos, con la finalidad de evitar las fallas por gelificación, donde producto de las temperaturas muy bajas se llega a congelar el agua dentro de los vacíos presentes en la carpeta de rodadura, lo cual erosiona rápidamente la mezcla generando diferentes tipos de problemáticas. La realización de un estudio complementario enfocado en estos climas podría generar conceptos particulares por la variación que podría diferir en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente.
2. De acuerdo a los análisis realizados enfocados en la determinación del efecto que causa el grado de compactación en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente, se recomienda realizar estudios complementarios que permitan analizar las propiedades físicas de la mezcla asfáltica en caliente, mediante ensayos de adherencia, envejecimiento, susceptibilidad térmica y cohesión de la mezcla asfáltica, donde podría evaluarse el desempeño de la carpeta en función al grado de compactación. Estos conceptos permitirían contemplar un panorama más amplio en función al comportamiento de la mezcla asfáltica y su desempeño a lo largo de su tiempo de vida útil.
3. Se recomienda evaluar el grado de compactación para distintos espesores de la carpeta asfáltica, enfocado en mezclas asfálticas frías, ya que el comportamiento de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas frías suele presentar muchos problemas al momento de aplicar en campo el diseño proyectado en laboratorio. Este aporte podría generar un impacto económico positivo al evaluar un tipo de mezcla asfáltica económica para vías de bajo tráfico con propiedades mecánicas que garanticen su correcto desempeño en la carpeta de rodadura, además de que requeriría un menor tiempo para su aplicación.

4. Se recomienda aplicar el grado de compactación en una investigación complementaria que se enfoque en evaluar pavimentos a nivel de afirmado, teniendo en consideración distintos tipos de suelo. Además, priorizando los suelos clasificados como malos, ya que una correcta compactación podría elevar su capacidad portante significativamente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Yepes Piqueras, Víctor. 2014.** *Elaboración de mezcla asfáltica.* España : Universidad Politécnica de Valencia, 2014.

**Aguilar Añazco, Armando Bladimir y Valdivieso Gaguancela, Dennis Mauricio. 2019.** *Comparación del módulo de rigidez por tensión indirecta utilizando el método Marshall y método Superpave de mezclas asfálticas con polímeros SBS.* Quito, Ecuador : Universidad Central del Ecuador, 2019.

**Aranguri Lianres, Juan Jose Segundo y Valverde Villacorta, Hristo Augusto. 2018.** *Análisis comparativo del comportamiento estructural de mezclas asfálticas en caliente y mezclas asfálticas emulsionadas en los pavimentos.* Trujillo - Perú : Universidad Privada Antenor Orrego, 2018.

**Arellano Loayza, Lady Laura y Caceres Candia, Claudia Stephanie. 2018.** *Importancia de la evaluación a las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente a más de 3000 msnm para el proyecto Carretera desvío Imperial-Pampas .* Lima-Perú : Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2018.

**Arias, Fidias. 2006.** *El proyecto de Investigación .* Caracas - Venezuela : Texto c.a., 2006.

**Bautista Sanchez, Monica Andrea. 2012.** *Características del Asfalto en el comportamiento de Mezclas Asfálticas MDC-2 del INVIAS.* Bogota : Universidad Militar Nueva Granada, 2012.

**Bernal Torres, César Augusto. 2010.** *Metodología de la investigación, administración, economía, humanidades y ciencias sociales.* Colombia : s.n., 2010.

**Chacón Oviedo, Daniel. 2013.** *Influencia de la energía de compactación y granulometría del agregado en el desempeño de mezclas asfálticas para pavimentos de bajo tránsito mediante el método Marshall.* Costa Rica : Universidad de Costa Rica, 2013.

**De la Cruz Bazán, Paulino y Porras Zavala, Mario José. 2015.** *Evaluación de desempeño de mezclas asfálticas en caliente diseñadas por la metodología Marshall con el ensayo de la Rueda Cargada de Hamburgo para el proyecto de rehabilitación de la carretera de Imperial - Pampas.* Lima, Perú : s.n., 2015.

**Escobar Morocho, Pedro Pablo y Tunala Salas, Andoni Sebastian. 2019.** *Comparación del comportamiento de mezclas asfálticas tibias (WMA) y mezclas asfálticas en caliente (HMA) con agregados de la mina de Guayllabamba.* Quito-Ecuador : Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2019.

**Gómez Bastar, Sergio. 2012.** *Metodología de la investigación.* Estado de México : Ma. Eugenia Buendía López, 2012.

**Hernández Cabrera, Gerardo Hamid y Ramírez Rodríguez, Fernando. 2016.** *Análisis de la influencia del grado de compactación de una mezcla asfáltica en su deformación permanente y la susceptibilidad a la humedad.* Bogotá : Universidad Católica de Colombia, 2016.

**Hernández Martínez, Oscar. 2014.** *Comportamiento de las mezclas asfálticas a diferentes niveles de compactación.* México D.F. : Universidad Nacional Autónoma de México, 2014.

**Hernández Sampieri, Roberto, Fernández Collado, Carlos y Baptista Lucio, María del Pilar. 2014.** *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.* México : McGraw-Hill, 2014.

**Lugo Gaia, Juan Diego. 2016.** *Suelos Aluviales.* Madrid : Madridmasd, 2016.

**Ministerio de Transporte y Comunicaciones. 2013.** *Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción - Manual de Carreteras EG-2013.* Lima : s.n., 2013.

**Ministerio de Transportes y Comunicaciones. 2020.** Estadística - Infraestructura de Transportes - Infraestructura Vial. [En línea] 29 de mayo de 2020. <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/344790-estadistica-infraestructura-de-transportes-infraestructura-vial>.

—. **2016.** *Manual de Ensayo de Materiales.* Lima : MTC, 2016.

**Monje Álvarez, Carlos Arturo. 2011.** *Metodología de la Investigación Cuantitativa y Cualitativa.* Colombia : Universidad Surcolombiana, 2011.

**Montesinos Clavijo, Carlos Javier y Reyes Velastegui, Patricio Javier. 2010.** *Comparación de módulos de rigidez por tensión indirecta utilizando método de compactación Marshall y Superpave para el diseño de mezclas asfálticas.* Quito-Ecuador : Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2010.

*Nociones fundamentales sobrecompactación de mezclas asfálticas.* **BOMAG GmbH, FAYAT Group. 2010.** Alemania : BOMAG GmbH, Hellerwald, D-56154 Boppard, 2010.

**Ñaupas Paitán, Humberto, y otros. 2014.** *Metodología de la investigación.* Bogotá : s.n., 2014.

**Pérez Campoverde, Juan Carlos. 2015-2016.** *Diseño de mezclas asfálticas en caliente utilizando el método Marshall y análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas con cemento asfáltico nacional (Ecuador) e importado (Perú).* Quayaquil-Ecuador : Universidad de Guayaquil, 2015-2016.

**Pilares Calla, Carlos Alberto. 2018.** *Análisis del comportamiento de mezclas asfálticas en caliente con fibras de polipropileno incorporada para condiciones de zonas de altura.* Lima-Perú : Universidad San Ignacio de Loyola, 2018.

**UNAM, División de Educación Continua Facultad de Ingeniería. 2006.** *Tendido de Carpeta Asfáltica.* México : UNAM, 2006. pág. 196.

**Universidad Nacional de Ingeniería. 2006.** *Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos.* Lima : Instituto de Construcción y Gerencia, 2006.

**Valderrama Mendoza, Santiago. 2015.** *Pasos para elaborar una investigación científica.* Lima : San Marcos, 2015.

**Vargas Cordero, Zoila Rosa. 2009.** *LA INVESTIGACIÓN APLICADA: UNA FORMA DE CONOCER LAS REALIDADES CON EVIDENCIA CIENTIFICA.* San José, Costa Rica : Universidad de Costa Rica, 2009.

**Vargas Malpartida, Evolym Jessenia. 2019.** *Efecto de la temperatura de mezcla-compactación y la distancia de transporte en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente en la región centro.* Huancayo-Junín-Perú : Universidad Continental, 2019.

**Villalva Chanca, Jorge Luis. 2019.** *Partículas chatas y alargadas y su efecto en propiedades mecánicas de mezclas asfálticas en caliente para diferentes niveles de tránsito.* Huancayo-Junín-Perú : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2019.

**World Economic Forum. 2019.** *The Global Economy. Calidad de las carreteras - Clasificaciones.* [En línea] 26 de diciembre de 2019. [https://es.theglobaleconomy.com/rankings/roads\\_quality/](https://es.theglobaleconomy.com/rankings/roads_quality/).

## **ANEXOS**

## ANEXO 1. PANEL FOTOGRÁFICO



a. **ENSAYO DE GRANULOMETRÍA**

**ANEXO 01. 1. MUESTRA DE PIEDRA DE ½ Y ARENA NATURAL Y PROCESADA**

Se emplearán 3000 g. de piedra de 1/2" y 1500 g. de muestra de arena procesada y arena natural.



## ANEXO 01. 2. TAMICES

Se realizará el tamizado de las muestras de piedra y arena empleando los tamices de 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8, N°10, N° 16, N°30, N°40, N°50, N°80, N°100, N°200, tapa y fondo.



### ANEXO 01. 3. DETERMINACIÓN DE PESO DE MUESTRAS

Para determinar los pesos retenidos en cada tamiz se emplearán balanzas con aproximación de 0.1 g para muestras de arena y balanzas con aproximación de 0.5 g para muestras de piedra.



**b. PREPARACIÓN DE LOS ESPECÍMENES POR EL MÉTODO MARSHALL**

**ANEXO 01. 4. EQUIPOS PARA ELABORAR LOS ESPECÍMENES**

Se emplearán moldes cilíndricos, placas de base, collarines y un pisón de compactación.



**ANEXO 01. 5. PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE ARENA Y PIEDRA**

Se obtendrán las cantidades de cada porción de muestras requeridas para la elaboración de los especímenes de acuerdo a la combinación MAC-2, y se calentarán las mezclas a 150 °C.



## ANEXO 01. 6. PREPARACIÓN DE LA MEZCLA

Habiendo calentado el ligante asfáltico en caliente a una temperatura de 150 °C, se procede a mezclarlo con las muestras de piedra y arena según las combinaciones a realizar.



## ANEXO 01. 7. COLOCACIÓN DE ESPECÍMENES EN EL MOLDE

Al limpiar completamente los moldes y la cara del pisón de compactación, calentándolos en baño María, se emplea papel filtro y se coloca la muestra en el molde, se chuseará la muestra con una varilla calentada.



## ANEXO 01. 8. COMPACTACIÓN DE ESPECÍMENES

Se colocará el molde obtenido en un pedestal de compactación y se aplicarán 75 golpes con el pisón de compactación a cada cara.



## ANEXO 01. 9. PROCESO DESPUÉS DE COMPACTACIÓN

Al dejar que los especímenes en los moldes enfríen a temperatura ambiente, se desmoldarán con cuidado de que no haya pérdida de muestra.



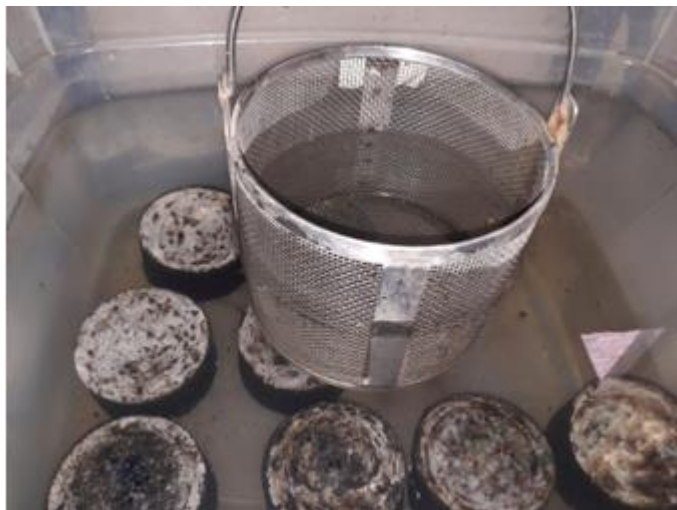
#### ANEXO 01. 10. ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE LOS ESPECÍMENES

Se empleará el aparato de Marshall y se colocarán los especímenes obtenidos en un cabezal a 40 °C de temperatura, se aplicará una carga a cada espécimen y se tomarán las lecturas de los diales, grabando el ensayo.



#### ANEXO 01. 11. ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO

Se colocarán los especímenes en estado de saturación por treinta minutos para obtener resultados correctos del peso específico.



## ANEXO 01. 12. PESO EN ESTADO DE SATURACIÓN DE LOS ESPECÍMENES

Se obtendrá el peso en estado de saturación de los especímenes al realizar un secado superficial de estos, pasados los treinta minutos de saturación.



## ANEXO 01. 13. PESO DE LOS ESPECÍMENES SUMERGIDOS EN AGUA

Después de obtener los pesos de los especímenes saturados superficialmente secos, se determinará el peso de estos especímenes sumergidos en agua mediante el empleo de una cesta.





#### ANEXO 01. 14. PESO EN SECO DE LOS ESPECÍMENES

Se pasará a realizar el secado de forma constante de los especímenes en estado de saturación, para obtener el peso en seco.



#### c. **MEZCLA ASFÁLTICA PARA PAVIMENTO DISEÑADO CON ESPESORES VARIADOS**

##### ANEXO 01. 15. PREPARACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

Se muestra los procedimientos de la realización de la mezcla asfáltica en una planta asfáltica, las cuales serán colocadas en los tramos de 2.2 m x 8 m de pavimento de espesores de 2 cm, 4 cm y 6 cm.



## ANEXO 01. 166. COLOCACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

Se registra la colocación de la MAC-2 sobre los tramos de 2.2 m x 8 m de pavimento de espesores de 2 cm, 4 cm y 6 cm, sobre los que se realizarán los ensayos de compactación.



## ANEXO 01. 7. PASADA DE RODILLO VIBRATORIO DE 10tn

Se registrarán los números de pasadas del rodillo vibratorio sobre los tramos de 2.2 m x 8 m de pavimento de espesores de 2 cm, 4 cm y 6 cm, sobre los que se realizarán los ensayos.



#### ANEXO 01. 178. PASADA DE RODILLO LISO DE 10tn

Se registrarán los números de pasadas del rodillo liso sobre los tramos de 2.2 m x 8 m de pavimento de espesores de 2 cm, 4 cm y 6 cm, sobre los que se realizarán los ensayos.



#### d. ENSAYO DE DIAMANTINAS

##### ANEXO 01. 19. EXTRACCIÓN DE DIAMANTINAS

Se extraerán tres diamantinas de cada tramo de pavimento para una, dos, tres y cuatro pasadas de los rodillos, tanto vibratorio como liso, y para cada espesor de pavimento para el que se realizó el ensayo.



#### ANEXO 01.20. PESO DE DIAMANTINAS

Se tomarán los pesos de cada diamantina extraída en cada tramo de pavimento con espesores de 2 cm, 4 cm y 6 cm.



#### ANEXO 01.21. ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO – DIAMANTINAS OBTENIDAS AL EMPLEAR RODILLO VIBRATORIO DE 10tn

Se obtendrán los datos de estabilidad y flujo para las diamantinas extraídas del pavimento sobre el que pasó el rodillo vibratorio.



**ANEXO 01.22. ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO – DIAMANTINAS  
OBTENIDAS AL EMPLEAR RODILLO LISO DE 10tn**

Se obtendrán los datos de estabilidad y flujo para las diamantinas extraídas del pavimento sobre el que pasó el rodillo liso.



ANEXO 2. CERTIFICADOS DE ENSAYOS



INGENIERÍA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.

### LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

**TEMA** : ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE MUESTRAS COMPACTADAS POR VIBRACIÓN Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA EVALUADA CON EL MÉTODO MARSHALL, HUANCAYO 2020

**PROVINCIA** : HUANCAYO **DEPARTAMENTO** : JUNIN

**CLIENTE** : SALAZAR SÁNCHEZ, MIRELLA MISHELL **FECHA** : 05-10-20

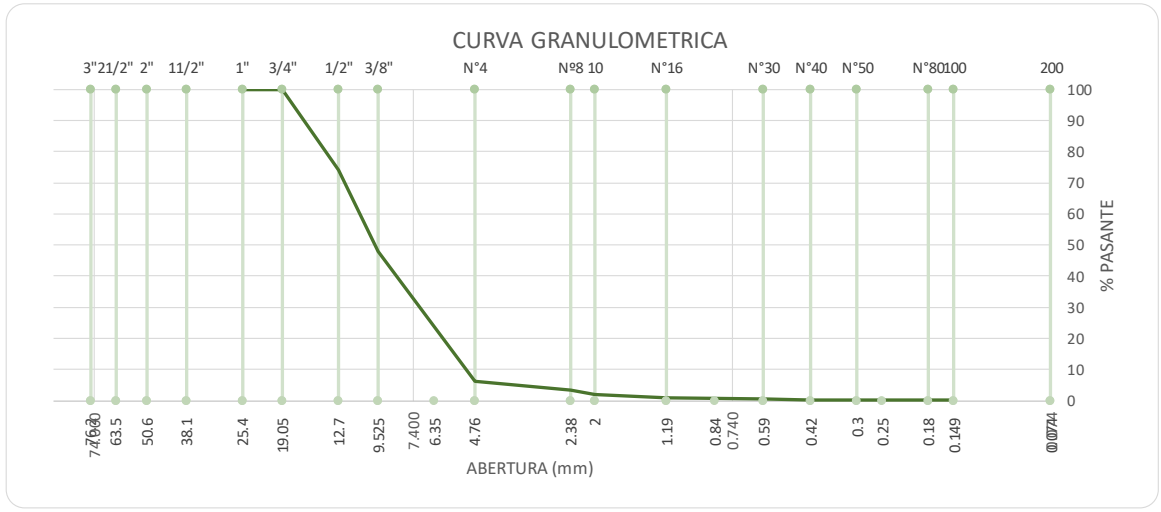
**DÍAS** : 1 día

**CANTERA** : Matahuasi

**MUESTRA** : AG-0001

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E 204)

PIEDRA DE 1/2"					
Malla		Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumul.	% Pasante
Tamiz	mm				
tm - 3"	76.200				
tm - 2 1/2"	63.550				
tm - 2"	50.800				
tm - 1 1/2"	38.110	0.00	0.00	0.00	0.00
tm - 1"	25.405	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 1/2"	12.700	774.50	25.82	25.82	74.18
tm - 3/8"	9.525	788.20	26.27	52.09	47.91
tm - N°4	4.750	1247.30	41.58	93.67	6.33
tm - N°8	2.550	86.40	2.88	96.55	3.45
tm - N°10	2.000	45.30	1.51	98.06	1.94
tm - N°16	1.185	33.30	1.11	99.17	0.83
tm - N°30	0.600	12.80	0.43	99.59	0.41
tm - N°40	0.425	2.70	0.09	99.68	0.32
tm - N°50	0.295	1.50	0.05	99.73	0.27
tm - N°80	0.175	1.20	0.04	99.77	0.23
tm - N°100	0.148	2.80	0.09	99.87	0.13
tm - N°200	0.072	1.50	0.05	99.92	0.08
< tm - N°200		2.50	0.08	100	0.00
<b>TOTAL MUESTRA =</b>		3000.00	gr		





INGENIERÍA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.

### LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

**TEMA** : ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE MUESTRAS COMPACTADAS POR VIBRACIÓN Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA EVALUADA CON EL MÉTODO MARSHALL, HUANCAYO 2020

**PROVINCIA** : HUANCAYO **DEPARTAMENTO** : JUNIN

**CLIENTE** : SALAZAR SÁNCHEZ, MIRELLA MISHELL **FECHA** : 05-10-20

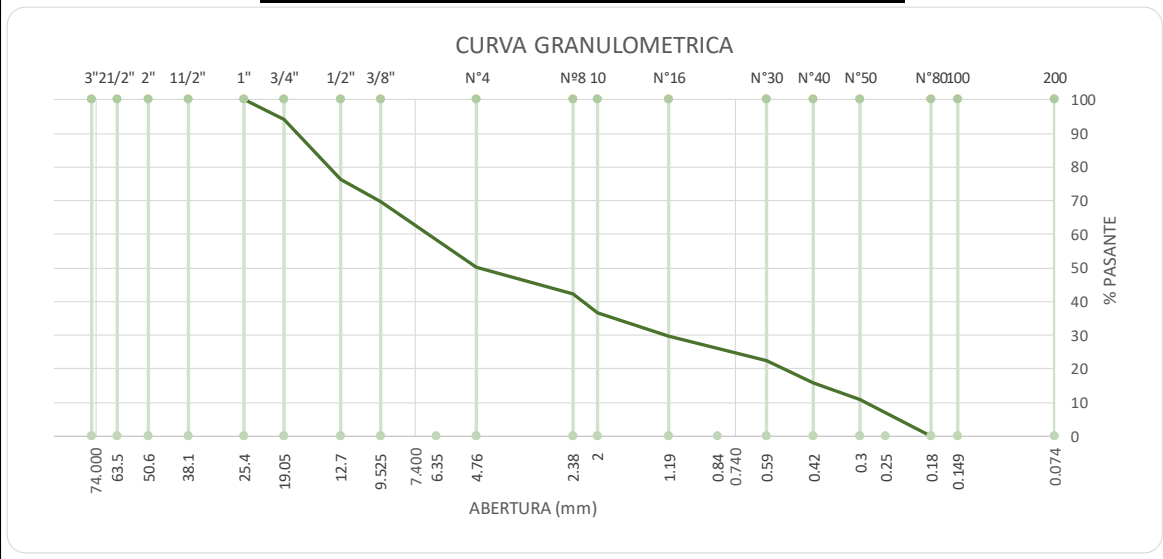
**DIAS** : 1 día

**CANTERA** : Matahuasi

**MUESTRA** : AG-0002

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E 204)

ARENA PROCESADA					
Malla Tamiz	mm	Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumul.	% Pasante
tm - 3"	76.200				
tm - 2 1/2"	63.550				
tm - 2"	50.800				
tm - 1 1/2"	38.110				
tm - 1"	25.405				
tm - 3/4"	19.055				
tm - 1/2"	12.700				
tm - 3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°4	4.750	89.75	5.98	5.98	94.02
tm - N°8	2.550	267.25	17.82	23.80	76.20
tm - N°10	2.000	96.30	6.42	30.22	69.78
tm - N°16	1.185	292.70	19.51	49.73	50.27
tm - N°30	0.600	118.75	7.92	57.65	42.35
tm - N°40	0.425	87.35	5.82	63.47	36.53
tm - N°50	0.295	102.85	6.86	70.33	29.67
tm - N°80	0.175	109.40	7.29	77.62	22.38
tm - N°100	0.148	99.85	6.66	84.28	15.72
tm - N°200	0.072	72.20	4.81	89.09	10.91
< tm - N°200		163.60	10.91	100.00	0.00
<b>TOTAL MUESTRA =</b>		1500.00	gr		







INGENIERÍA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.

### LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

**TEMA** : ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE MUESTRAS COMPACTADAS POR VIBRACIÓN Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA EVALUADA CON EL MÉTODO MARSHALL, HUANCAYO 2020

**PROVINCIA** : HUANCAYO **DEPARTAMENTO** : JUNIN

**CLIENTE** : SALAZAR SÁNCHEZ, MIRELLA MISHELL **FECHA** : 05-10-20

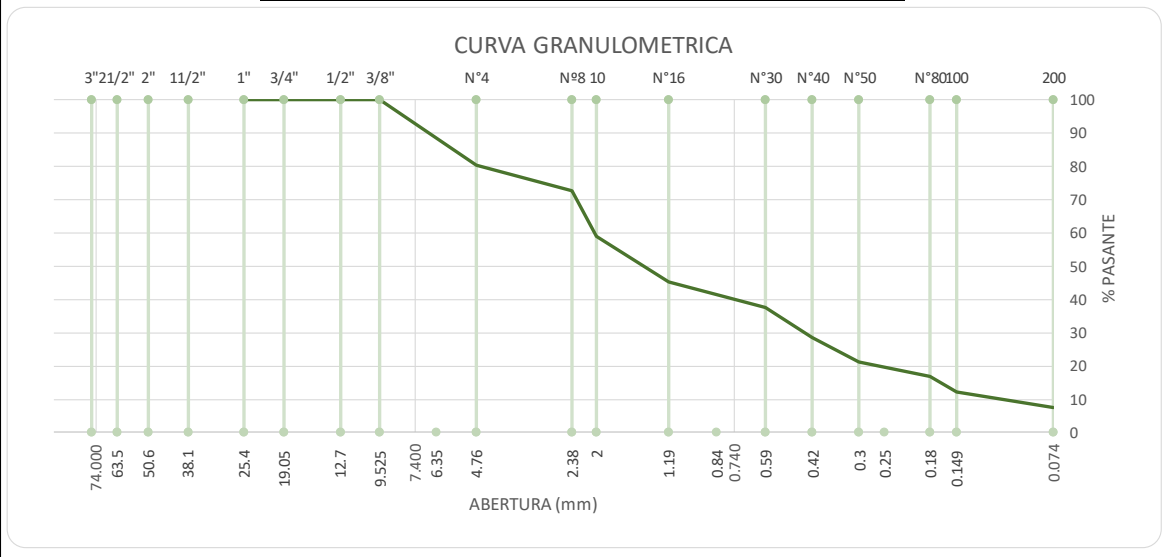
**DÍAS** : 1 día

**CANTERA** : Matahuasi

**MUESTRA** : AG-0003

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E 204)

ARENA NATURAL					
Malla Tamiz	mm	Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumul.	% Pasante
tm - 3"	76.200				
tm - 2 1/2"	63.550				
tm - 2"	50.800				
tm - 1 1/2"	38.110				
tm - 1"	25.405				
tm - 3/4"	19.055				
tm - 1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°4	4.750	294.25	19.62	19.62	80.38
tm - N°8	2.550	115.15	7.68	27.29	72.71
tm - N°10	2.000	206.70	13.78	41.07	58.93
tm - N°16	1.185	204.05	13.60	54.68	45.32
tm - N°30	0.600	118.95	7.93	62.61	37.39
tm - N°40	0.425	130.45	8.70	71.30	28.70
tm - N°50	0.295	110.30	7.35	78.66	21.34
tm - N°80	0.175	67.10	4.47	83.13	16.87
tm - N°100	0.148	71.75	4.78	87.91	12.09
tm - N°200	0.072	66.35	4.42	92.34	7.66
< tm - N°200		114.95	7.66	100.00	0.00
<b>TOTAL MUESTRA =</b>		1500.00	gr		





INGENIERÍA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.

### LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

**TEMA** : ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE MUESTRAS COMPACTADAS POR VIBRACIÓN Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA EVALUADA CON EL MÉTODO MARSHALL, HUANCAYO 2020

**PROVINCIA** : HUANCAYO **DEPARTAMENTO** : JUNIN

**CLIENTE** : SALAZAR SÁNCHEZ, MIRELLA MISHELL **FECHA** : 06-10-20

**DIAS** : 1 día

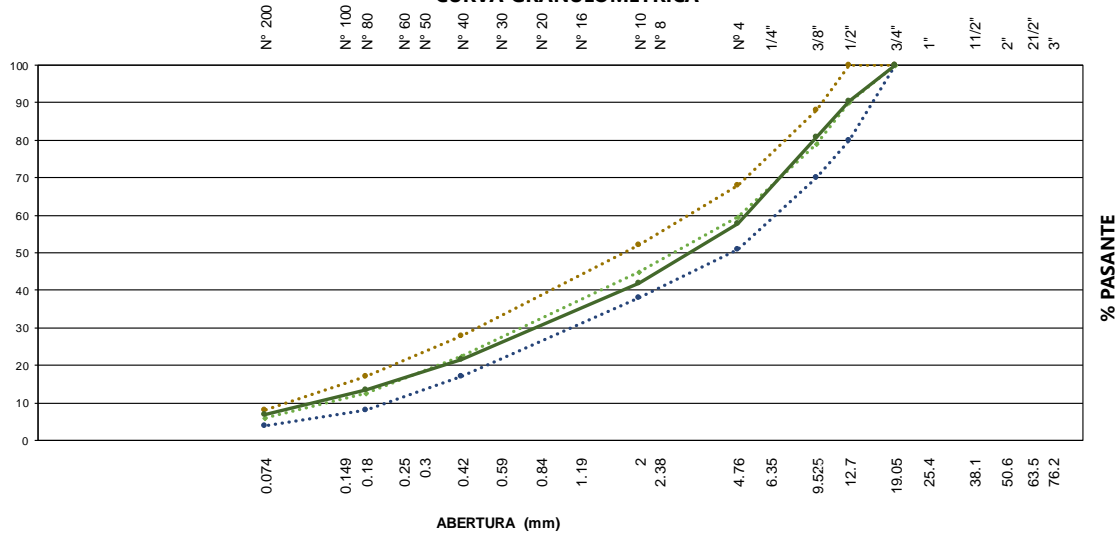
**CANTERA** : Matahuasi

**MUESTRA** :

### MEZCLA TEÓRICA DE AGREGADOS PARA ASFALTO

Malla		% Pasantes					Especificaciones		
Tamiz	mm	PIEDRAS		ARENAS			MEZCLA	MAC - 1	Tamaño máximo
Agregados		Piedra 3/4"	Piedra 1/2"	Arena Procesada	Arena Natural	Cal		MTC	3/4"
Proporciones		0%	37%	34%	28%	1%	100%	Curva Ideal	
tm - 1"	25.405	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	<b>100.0</b>	100 - 100	100
tm - 3/4"	19.055	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	<b>100.0</b>	100 - 100	100
tm - 1/2"	12.700	100.00	74.18	100.00	100.00	100.00	<b>90.4</b>	80 - 100	90
tm - 3/8"	9.525	100.00	47.91	100.00	100.00	100.00	<b>80.7</b>	70 - 88	79
tm - N°4	4.750	100.00	6.33	94.02	80.38	100.00	<b>57.8</b>	51 - 68	60
tm - N°8	2.550	100.00	3.45	76.20	72.71	100.00	<b>48.5</b>		
tm - N°10	2.000	100.00	1.94	69.78	58.93	100.00	<b>41.9</b>	38 - 52	45
tm - N°16	1.185	100.00	0.83	50.27	45.32	100.00	<b>31.1</b>		
tm - N°30	0.600	100.00	0.41	42.35	37.39	100.00	<b>26.0</b>		
tm - N°40	0.425	100.00	0.32	36.53	28.70	100.00	<b>21.6</b>	17 - 28	23
tm - N°50	0.295	100.00	0.27	29.67	21.34	100.00	<b>17.2</b>		
tm - N°80	0.175	100.00	0.23	22.38	16.87	100.00	<b>13.4</b>	8 - 17	13
tm - N°100	0.148	100.00	0.13	15.72	12.09	100.00	<b>9.8</b>		
tm - N°200	0.072	100.00	0.08	10.91	7.66	100.00	<b>6.9</b>	4 - 8	6
< tm - N°200		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.0</b>		

CURVA GRANULOMÉTRICA





INGENIERÍA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.

### LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

**TEMA** : ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE MUESTRAS COMPACTADAS POR VIBRACIÓN Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA EVALUADA CON EL MÉTODO MARSHALL, HUANCAYO 2020

**PROVINCIA** : HUANCAYO **DEPARTAMENTO** : JUNIN

**CLIENTE** : SALAZAR SÁNCHEZ, MIRELLA MISHELL **FECHA** : 07-10-20

**DIAS** : 1 día **OCA** : 1/3

**CANTERA** : Matahuasi

**MUESTRA** : AG-0001/AG-0002/AG-0003

### RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

BRIQUETAS		Nº	1°	2°	3°	1°	2°	3°
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	4.00	4.00	4.00	4.50	4.50	4.50
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > Nº 4	%	35.52	35.52	35.52	35.34	35.34	35.34
3	Agregado fino en peso de la mezcla < Nº 4	%	60.48	60.48	60.48	60.17	60.17	60.17
4	Filler en peso de la mezcla	%		----			----	
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cm <sup>3</sup>	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
6	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cm <sup>3</sup>	2.884	2.884	2.884	2.884	2.884	2.884
7	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cm <sup>3</sup>	2.870	2.870	2.870	2.870	2.870	2.870
8	Peso específico del filler - aparente	gr/cm <sup>3</sup>		----			----	
9	Peso de la briqueta al aire	gr	1249.0	1250.2	1251.6	1251.7	1249.2	1250.6
10	Peso de la briqueta saturada	gr	1255.0	1255.4	1254.9	1254.6	1250.4	1254.3
11	Peso de la briqueta en agua	gr	752.9	755.1	751.3	754.9	755.1	756.3
12	Volumen de briqueta + parafina	cm <sup>3</sup>	502.1	500.3	503.6	499.7	495.3	498
13	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cm <sup>3</sup>	2.488	2.499	2.485	2.505	2.522	2.511
14	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cm <sup>3</sup>	2.681	2.681	2.681	2.660	2.660	2.660
15	Vacios (MTC E-505)	%	7.22	6.79	7.30	5.83	5.18	5.59
16	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cm <sup>3</sup>	2.875	2.875	2.875	2.875	2.875	2.875
17	V.M.A.	%	16.94	16.56	17.02	16.80	16.23	16.59
18	Vacios llenos con cemento asfáltico	%	57.41	58.99	57.11	65.29	68.05	66.29
19	Peso específico del agregado total	gr/cm <sup>3</sup>	2.876	2.876	2.876	2.878	2.878	2.878
20	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	0.012	0.012	0.012	0.036	0.036	0.036
21	Cemento asfáltico efectivo	%	3.99	3.99	3.99	4.47	4.47	4.47
22	Flujo	mm	1.59	1.78	1.44	2.65	2.34	2.53
23	Estabilidad sin corregir (Según Carta de Calibración)	kg	964.8	991.5	957.3	1015.3	1066.2	1083.5
25	Factor de estabilidad (Factor de Corrección según alturas)		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
26	Estabilidad corregida	kg	965	992	957	1015	1066	1084
27	Estabilidad - Flujo	kg/cm	6068	5570	6648	3831	4556	4283
28	Compactación, número de golpes por cara			75 golp.			75 golp.	

**LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS**

**TEMA** : ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE MUESTRAS COMPACTADAS POR VIBRACIÓN Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA EVALUADA CON EL MÉTODO MARSHALL, HUANCAYO 2020

**PROVINCIA** : HUANCAYO **DEPARTAMENTO** : JUNIN

**CLIENTE** : SALAZAR SÁNCHEZ, MIRELLA MISHELL **FECHA** : 07-10-20

**DÍAS** : 1 día **OCA** : 2/3

**CANTERA** : Matahuasi

**MUESTRA** : AG-0001/AG-0002/AG-0003

**RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL**

BRIQUETAS		Nº	1°	2°	3°	1°	2°	3°
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	5.00	5.00	5.00	5.50	5.50	5.50
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > Nº 4	%	35.15	35.15	35.15	34.97	34.97	34.97
3	Agregado fino en peso de la mezcla < Nº 4	%	59.85	59.85	59.85	59.54	59.54	59.54
4	Filler en peso de la mezcla	%		----			----	
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cm <sup>3</sup>	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
6	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cm <sup>3</sup>	2.884	2.884	2.884	2.884	2.884	2.884
7	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cm <sup>3</sup>	2.870	2.870	2.870	2.870	2.870	2.870
8	Peso específico del filler - aparente	gr/cm <sup>3</sup>		----			----	
9	Peso de la briqueta al aire	gr	1249.0	1249.8	1251.6	1249.6	1248.7	1247.9
10	Peso de la briqueta saturada	gr	1252.4	1251.1	1253.9	1251.8	1252.1	1250.4
11	Peso de la briqueta en agua	gr	759.5	758.7	759.2	758.6	757.5	758.4
12	Volumen de briqueta + parafina	cm <sup>3</sup>	492.9	492.4	494.7	493.2	494.6	492
13	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cm <sup>3</sup>	2.534	2.538	2.530	2.534	2.525	2.536
14	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cm <sup>3</sup>	2.641	2.641	2.641	2.616	2.616	2.616
15	Vacios (MTC E-505)	%	4.05	3.89	4.20	3.15	3.49	3.04
16	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cm <sup>3</sup>	2.875	2.875	2.875	2.875	2.875	2.875
17	V.M.A.	%	16.27	16.13	16.40	16.72	17.02	16.63
18	Vacios llenos con cemento asfáltico	%	75.10	75.87	74.38	81.18	79.49	81.70
19	Peso específico del agregado total	gr/cm <sup>3</sup>	2.882	2.882	2.882	2.878	2.878	2.878
20	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	0.085	0.085	0.085	0.036	0.036	0.036
21	Cemento asfáltico efectivo	%	4.92	4.92	4.92	5.47	5.47	5.47
22	Flujo	mm	2.87	3.16	3.02	3.63	3.51	3.85
23	Estabilidad sin corregir (Según Carta de Calibración)	kg	1148.9	1102.9	1120.4	1061.6	1045.1	1057.6
25	Factor de estabilidad (Factor de Corrección según alturas)		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
26	Estabilidad corregida	kg	1149	1103	1120	1062	1045	1058
27	Estabilidad - Flujo	kg/cm	4003	3490	3710	2925	2977	2747
28	Compactación, número de golpes por cara			75 golp.			75 golp.	

**LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS**

**TEMA** : ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE MUESTRAS COMPACTADAS POR VIBRACIÓN Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA EVALUADA CON EL MÉTODO MARSHALL, HUANCAYO 2020

**PROVINCIA** : HUANCAYO **DEPARTAMENTO** : JUNIN

**CLIENTE** : SALAZAR SÁNCHEZ, MIRELLA MISHELL **FECHA** : 07-10-20

**DIAS** : 1 día **OCA** : 3/3

**CANTERA** : Matahuasi

**MUESTRA** : AG-0001/AG-0002/AG-0003

**RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL**

BRIQUETAS		Nº	1°	2°	3°	1°	2°	3°
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	6.00	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > Nº 4	%	39.48	39.48	39.48	39.27	39.27	39.27
3	Agregado fino en peso de la mezcla < Nº 4	%	54.52	54.52	54.52	54.23	54.23	54.23
4	Filler en peso de la mezcla	%		----			----	
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cm <sup>3</sup>	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
6	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cm <sup>3</sup>	2.884	2.884	2.884	2.884	2.884	2.884
7	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cm <sup>3</sup>	2.870	2.870	2.870	2.870	2.870	2.870
8	Peso específico del filler - aparente	gr/cm <sup>3</sup>		----			----	
9	Peso de la briqueta al aire	gr	1249.8	1249.5	1250.0	1249.1	1249.9	1250.0
10	Peso de la briqueta saturada	gr	1252.5	1251.8	1251.9	1250.4	1252.3	1251.7
11	Peso de la briqueta en agua	gr	753.4	759.4	759.6	754.1	754.5	755.5
12	Volumen de briqueta + parafina	cm <sup>3</sup>	499.1	492.4	492.3	496.3	497.8	496.2
13	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cm <sup>3</sup>	2.504	2.538	2.539	2.517	2.511	2.519
14	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cm <sup>3</sup>	2.580	2.580	2.580	2.560	2.560	2.560
15	Vacios (MTC E-505)	%	2.94	1.64	1.59	1.69	1.92	1.60
16	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cm <sup>3</sup>	2.876	2.876	2.876	2.876	2.876	2.876
17	V.M.A.	%	18.15	17.06	17.01	18.17	18.37	18.10
18	Vacios llenos con cemento asfáltico	%	83.79	90.36	90.68	90.72	89.55	91.18
19	Peso específico del agregado total	gr/cm <sup>3</sup>	2.859	2.859	2.859	2.860	2.860	2.860
20	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	-0.208	-0.208	-0.208	-0.194	-0.194	-0.194
21	Cemento asfáltico efectivo	%	6.20	6.20	6.20	6.68	6.68	6.68
22	Flujo	mm	3.92	4.08	4.1	4.71	4.72	4.72
23	Estabilidad sin corregir (Según Carta de Calibración)	kg	1010.1	980.7	962.9	823.9	842.9	802.3
25	Factor de estabilidad (Factor de Corrección según alturas)		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
26	Estabilidad corregida	kg	1010	981	963	824	843	802
27	Estabilidad - Flujo	kg/cm	2577	2404	2349	1749	1786	1700
28	Compactación, número de golpes por cara			75 golp.			75 golp.	

**LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS**

**TEMA :** ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE MUESTRAS COMPACTADAS POR VIBRACIÓN Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA EVALUADA CON EL MÉTODO MARSHALL, HUANCAYO 2020

**PROVINCIA :** HUANCAYO **DEPARTAMENTO :** JUNIN

**CLIENTE :** SALAZAR SÁNCHEZ, MIRELLA MISHELL **FECHA :** 08-10-20

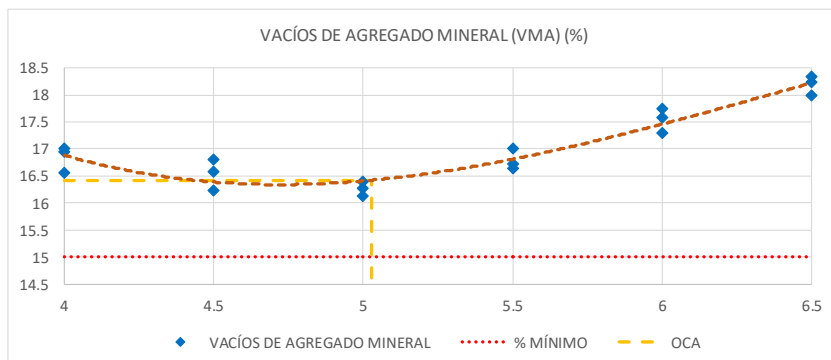
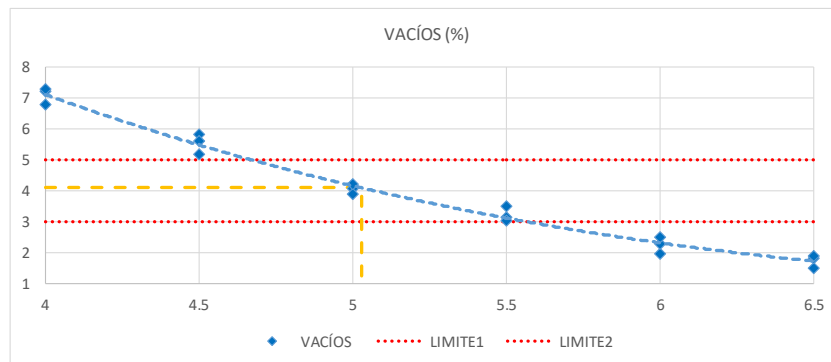
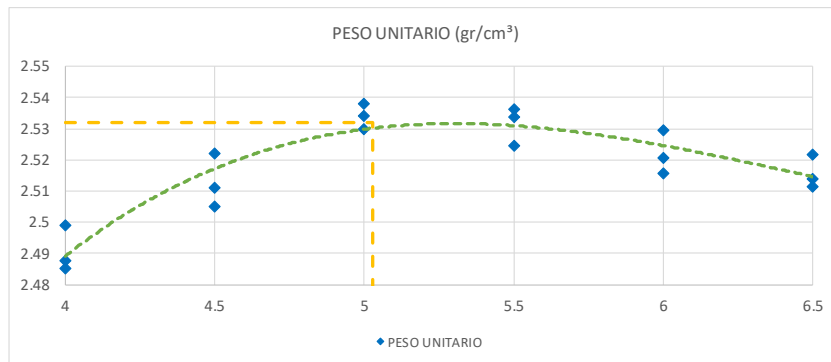
**DIAS :** 1 día **MARSHALL:** 1/2

**CANTERA :** Matahuasi

**MUESTRA :**

**ENSAYO MARSHALL - MTC E 504**

<b>CEMENTO ASFÁLTICO</b>	<b>%</b>	<b>4.00</b>	<b>4.00</b>	<b>4.00</b>	<b>4.50</b>	<b>4.50</b>	<b>4.50</b>	<b>5.00</b>	<b>5.00</b>	<b>5.00</b>
<b>PESO UNITARIO</b>	<b>gr/cm³</b>	2.488	2.499	2.485	2.505	2.522	2.511	2.534	2.538	2.530
<b>VACÍOS</b>	<b>%</b>	7.22	6.79	7.30	5.83	5.18	5.59	4.05	3.89	4.20
<b>VACÍOS DE AGREGADO MINERAL</b>	<b>%</b>	16.94	16.56	17.02	16.80	16.23	16.59	16.27	16.13	16.40
<b>CEMENTO ASFÁLTICO</b>	<b>%</b>	<b>5.50</b>	<b>5.50</b>	<b>5.50</b>	<b>6.00</b>	<b>6.00</b>	<b>6.00</b>	<b>6.50</b>	<b>6.50</b>	<b>6.50</b>
<b>PESO UNITARIO</b>	<b>gr/cm³</b>	2.534	2.525	2.536	2.529	2.521	2.516	2.522	2.514	2.511
<b>VACÍOS</b>	<b>%</b>	3.15	3.49	3.04	1.96	2.29	2.50	1.49	1.80	1.90
<b>VACÍOS DE AGREGADO MINERAL</b>	<b>%</b>	16.72	17.02	16.63	17.31	17.58	17.76	17.99	18.25	18.33



**LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS**

**TEMA** : ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE MUESTRAS COMPACTADAS POR VIBRACIÓN Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA EVALUADA CON EL MÉTODO MARSHALL, HUANCAYO 2020

**PROVINCIA** : HUANCAYO **DEPARTAMENTO** : JUNIN

**CLIENTE** : SALAZAR SÁNCHEZ, MIRELLA MISHELL **FECHA** : 08-10-20

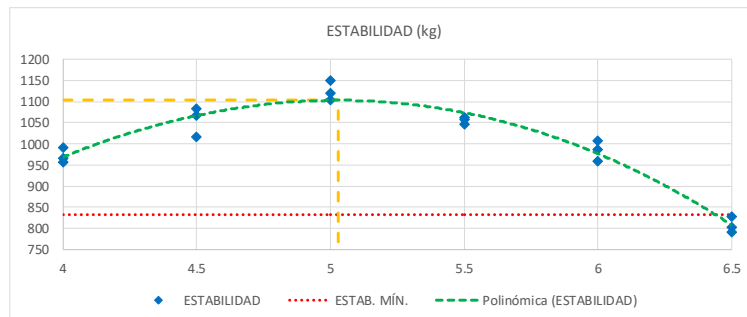
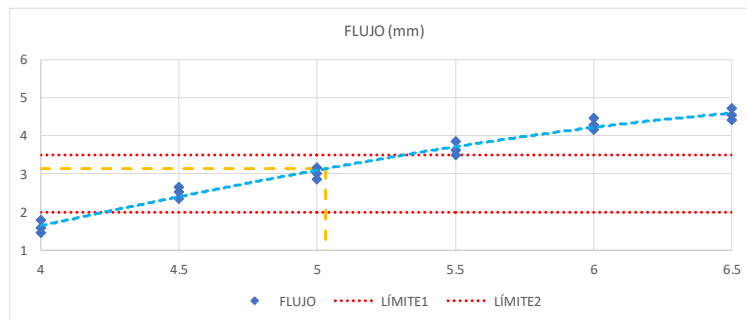
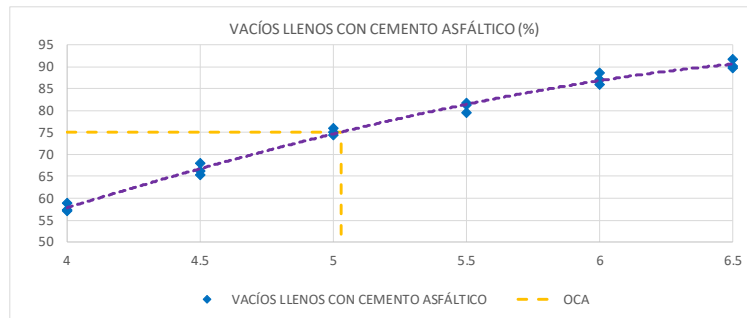
**DIAS** : 1 día **MARSHALL**: 2/2

**CANTERA** : Matahuasi

**MUESTRA** :

**ENSAYO MARSHALL - MTC E 504**

CEMENTO ASFÁLTICO	%	4.00	4.00	4.00	4.50	4.50	4.50	5.00	5.00	5.00
VACÍOS LLENOS CON CEMENTO ASFÁLTICO	%	57.41	58.99	57.11	65.29	68.05	66.29	75.10	75.87	74.38
FLUJO	mm	1.59	1.78	1.44	2.65	2.34	2.53	2.87	3.16	3.02
ESTABILIDAD	kg	964.80	991.50	957.30	1015.30	1066.20	1083.50	1148.90	1102.90	1120.40
CEMENTO ASFÁLTICO	%	5.50	5.50	5.50	6.00	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50
VACÍOS LLENOS CON CEMENTO ASFÁLTICO	%	81.179	79.487	81.704	88.661	86.957	85.943	91.715	90.143	89.633
FLUJO	mm	3.63	3.51	3.85	4.17	4.30	4.48	4.55	4.72	4.43
ESTABILIDAD	kg	1061.60	1045.10	1057.60	986.90	1007.90	959.30	826.70	802.20	789.80



**LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS**

**TEMA** : ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE MUESTRAS COMPACTADAS POR VIBRACIÓN Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA EVALUADA CON EL MÉTODO MARSHALL, HUANCAYO 2020

**PROVINCIA** : HUANCAYO **DEPARTAMENTO** : JUNIN

**CLIENTE** : SALAZAR SÁNCHEZ, MIRELLA MISHELL **FECHA** : 10-10-20

**DÍAS** : 1 día

**CANTERA** : Matahuasi

**MUESTRA** :

**EMPLEANDO RODILLO VIBRATORIO DE 10tn  
ENSAYO MARSHALL - MTC E 504**

Espesor		ESPESOR DE 2cm											
Número de pasadas		1 pasada			2 pasada			3 pasada			4 pasada		
DIAMANTINA	N°	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
PESO UNITARIO	gr/cm <sup>3</sup>	2.54	2.53	2.53	2.54	2.54	2.54	2.56	2.56	2.55	2.58	2.59	2.58
VACÍOS	%	3.98	4.09	4.16	3.96	3.82	4.03	3.02	3.15	3.31	2.53	2.21	2.31
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL	%	16.25	16.36	16.52	16.28	16.02	16.38	15.41	15.53	15.82	14.96	14.61	14.81
VACÍOS LLENOS CON CEMENTO ASFÁLTICO	%	75.490	75.180	74.810	76.050	76.920	75.780	80.560	79.870	78.950	83.670	85.120	84.400
FLUJO	mm	3.02	3.21	3.12	3.05	2.97	2.86	2.51	2.60	2.68	2.56	2.32	2.41
ESTABILIDAD	kg	1091.80	1104.10	1115.90	1124.70	1119.30	1132.70	1200.40	1180.20	1172.90	1225.30	1252.70	1201.80

Espesor		ESPESOR DE 4cm											
Número de pasadas		1 pasada			2 pasada			3 pasada			4 pasada		
DIAMANTINA	N°	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
PESO UNITARIO	gr/cm <sup>3</sup>	2.51	2.51	2.52	2.53	2.53	2.53	2.54	2.54	2.54	2.56	2.56	2.56
VACÍOS	%	4.82	4.71	4.66	4.08	4.14	4.02	3.82	3.96	4.01	3.21	2.91	3.14
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL	%	17.11	17.02	16.94	16.39	16.46	16.35	16.11	16.24	16.29	15.72	15.35	15.56
VACÍOS LLENOS CON CEMENTO ASFÁLTICO	%	71.820	72.580	73.150	75.190	74.880	75.390	76.750	76.090	75.710	79.340	80.450	79.680
FLUJO	mm	3.35	3.38	3.24	3.15	3.10	3.23	3.05	2.96	2.83	2.13	2.25	2.09
ESTABILIDAD	kg	1042.40	1064.80	1073.90	1104.30	1092.80	1116.10	1125.90	1138.70	1110.60	1295.30	1272.70	1212.80

Espesor		ESPESOR DE 6cm											
Número de pasadas		1 pasada			2 pasada			3 pasada			4 pasada		
DIAMANTINA	N°	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
PESO UNITARIO	gr/cm <sup>3</sup>	2.49	2.49	2.49	2.51	2.51	2.51	2.54	2.53	2.53	2.54	2.54	2.54
VACÍOS	%	5.46	5.63	5.51	4.85	5.02	4.78	4.02	4.19	4.09	3.91	4.05	4.01
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL	%	17.48	17.72	17.54	17.02	17.11	16.82	16.34	16.49	16.43	16.20	16.32	16.25
VACÍOS LLENOS CON CEMENTO ASFÁLTICO	%	69.180	67.910	68.800	71.470	70.870	72.160	75.190	74.600	74.910	76.350	75.220	76.120
FLUJO	mm	3.69	3.89	3.82	3.56	3.42	3.75	3.07	3.19	3.11	2.87	3.05	2.98
ESTABILIDAD	kg	1012.50	997.40	1028.10	1051.80	1085.20	1077.60	1113.00	1124.60	1092.50	1127.80	1148.50	1113.10





INGENIERÍA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.

### LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

**TEMA** : ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE MUESTRAS COMPACTADAS POR VIBRACIÓN Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA EVALUADA CON EL MÉTODO MARSHALL, HUANCAYO 2020

**PROVINCIA** : HUANCAYO

**DEPARTAMENTO** : JUNIN

**CLIENTE** : SALAZAR SÁNCHEZ, MIRELLA MISHELL

**FECHA** : 16-10-20

**DIAS** : 1 día

**CANTERA** : Matahuasi

**MUESTRA** :

### EMPLEANDO RODILLO LISO DE 10tn ENSAYO MARSHALL - MTC E 504

Espesor		ESPESOR DE 2cm											
Número de pasadas		1 pasada			2 pasada			3 pasada			4 pasada		
DIAMANTINA	N°	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
PESO UNITARIO	gr/cm <sup>3</sup>	2.52	2.52	2.52	2.52	2.53	2.53	2.53	2.54	2.53	2.54	2.55	2.54
VACÍOS	%	4.55	4.41	4.61	4.19	4.35	4.16	4.09	4.06	4.17	3.73	3.57	3.82
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL	%	16.83	16.72	16.88	16.60	16.65	16.52	16.40	16.34	16.47	16.01	15.87	16.08
VACÍOS LLENOS CON CEMENTO ASFÁLTICO	%	73.600	74.050	72.830	74.310	73.780	74.810	75.080	75.410	74.860	77.390	78.060	76.890
FLUJO	mm	4.01	3.91	4.21	3.19	3.36	3.28	3.12	3.05	3.24	2.86	2.72	2.81
ESTABILIDAD	kg	1042.30	1020.00	1051.90	1097.20	1070.80	1094.60	1118.10	1095.10	1103.20	1139.80	1165.50	1172.70

Espesor		ESPESOR DE 4cm											
Número de pasadas		1 pasada			2 pasada			3 pasada			4 pasada		
DIAMANTINA	N°	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
PESO UNITARIO	gr/cm <sup>3</sup>	2.51	2.50	2.50	2.52	2.51	2.51	2.52	2.52	2.52	2.53	2.54	2.53
VACÍOS	%	5.05	5.27	5.17	4.52	4.72	4.65	4.21	4.39	4.26	4.19	4.01	4.08
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL	%	17.21	17.39	17.28	16.89	17.17	16.93	16.53	16.75	16.61	16.52	16.31	16.45
VACÍOS LLENOS CON CEMENTO ASFÁLTICO	%	70.390	69.810	70.060	72.880	71.890	72.480	74.320	73.520	73.950	74.820	75.220	75.560
FLUJO	mm	4.42	4.48	4.65	3.95	3.82	4.15	3.42	3.21	3.29	3.10	3.14	3.26
ESTABILIDAD	kg	866.30	879.20	910.10	1025.20	1005.70	1031.30	1067.50	1087.70	1055.30	1121.20	1097.20	1102.50

Espesor		ESPESOR DE 6cm											
Número de pasadas		1 pasada			2 pasada			3 pasada			4 pasada		
DIAMANTINA	N°	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
PESO UNITARIO	gr/cm <sup>3</sup>	2.48	2.47	2.48	2.50	2.49	2.50	2.51	2.51	2.51	2.53	2.52	2.53
VACÍOS	%	5.91	6.21	6.10	5.25	5.46	5.31	4.75	4.87	5.06	4.25	4.42	4.28
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL	%	18.06	18.34	18.21	17.51	17.78	17.56	17.18	17.25	17.48	16.62	16.80	16.69
VACÍOS LLENOS CON CEMENTO ASFÁLTICO	%	66.970	65.750	66.560	69.930	68.510	69.520	72.470	71.150	70.650	74.260	73.180	73.890
FLUJO	mm	5.18	4.82	4.96	4.48	4.23	4.29	3.78	3.62	3.86	3.49	3.27	3.33
ESTABILIDAD	kg	922.70	962.10	942.30	982.30	965.60	958.47	1033.80	998.20	1021.70	1051.50	1082.20	1091.30



INGENIERÍA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.

### LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

**TEMA** : ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE MUESTRAS COMPACTADAS POR VIBRACIÓN Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA EVALUADA CON EL MÉTODO MARSHALL, HUANCAYO 2020

**PROVINCIA** : HUANCAYO

**DEPARTAMENTO** : JUNIN

**CLIENTE** : SALAZAR SÁNCHEZ, MIRELLA MISHHELL

**FECHA** : 20-10-20

**DIAS** : 1 día

**CANTERA** : Matahuasi

**MUESTRA** :

#### SALES SOLUBLES EN AGREGADOS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES - NTP 339.152

		ARENA PROCESADA		
MUESTRA	N°	M1	M2	M3
RELACIÓN DE MEZCLA SUELO + AGUA DESTILADA		1:3	1:3	1:3
PESO DE MUESTRA SECA	gr	100.562	101.452	100.897
PESO DE MUESTRA SECA + RESIDUOS DE SALES	gr	100.591	101.499	100.938
PESO DEL RESIDUO DE SALES	gr	0.029	0.047	0.041
VOLUMEN DE SOLUCIÓN TOMADA	ml	60	60.00	60.00
CONSTITUYENTES DE SALES SOLUBLES EN LICUOTA	p.p.m.	483.33	783.33	683.33
CONSTITUYENTES DE SALES SOLUBLES EN MUESTRA	p.p.m.	1450.00	2350.00	2050.00
CONSTITUYENTES DE SALES SOLUBLES EN PESO SECO	%	0.14	0.23	0.20
CONSTITUYENTES DE SALES SOLUBLES EN PESO SECO	%	0.19		

		ARENA NATURAL		
MUESTRA	N°	M1	M2	M3
RELACIÓN DE MEZCLA SUELO + AGUA DESTILADA		1:3	1:3	1:3
PESO DE MUESTRA SECA	gr	101.189	102.748	101.961
PESO DE MUESTRA SECA + RESIDUOS DE SALES	gr	101.209	102.781	101.988
PESO DEL RESIDUO DE SALES	gr	0.020	0.033	0.027
VOLUMEN DE SOLUCIÓN TOMADA	ml	60	60.00	60.00
CONSTITUYENTES DE SALES SOLUBLES EN LICUOTA	p.p.m.	333.33	550.00	450.00
CONSTITUYENTES DE SALES SOLUBLES EN MUESTRA	p.p.m.	1000.00	1650.00	1350.00
CONSTITUYENTES DE SALES SOLUBLES EN PESO SECO	%	0.10	0.17	0.14
CONSTITUYENTES DE SALES SOLUBLES EN PESO SECO	%	0.13		

		AGREGADO GRUESO		
MUESTRA	N°	M1	M2	M3
RELACIÓN DE MEZCLA SUELO + AGUA DESTILADA		1:1	1:1	1:1
PESO DE MUESTRA SECA	gr	501.875	500.156	502.355
PESO DE MUESTRA SECA + RESIDUOS DE SALES	gr	502.012	500.278	502.518
PESO DEL RESIDUO DE SALES	gr	0.137	0.122	0.163
VOLUMEN DE SOLUCIÓN TOMADA	ml	100	100.00	100.00
CONSTITUYENTES DE SALES SOLUBLES EN LICUOTA	p.p.m.	1370.00	1220.00	1630.00
CONSTITUYENTES DE SALES SOLUBLES EN MUESTRA	p.p.m.	4110.00	3660.00	4890.00
CONSTITUYENTES DE SALES SOLUBLES EN PESO SECO	%	0.41	0.37	0.49
CONSTITUYENTES DE SALES SOLUBLES EN PESO SECO	%	0.42		

**LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS**

**TEMA** : ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE MUESTRAS COMPACTADAS POR VIBRACIÓN Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA EVALUADA CON EL MÉTODO MARSHALL, HUANCAYO 2020

**PROVINCIA** : HUANCAYO

**DEPARTAMENTO** : JUNIN

**CLIENTE** : SALAZAR SÁNCHEZ, MIRELLA MISHHELL

**FECHA** : 21-10-20

**DIAS** : 1 día

**CANTERA** : Matahuasi

**MUESTRA** :

**MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADO FINO**  
**- MTC E 114**

		ARENA PROCESADA		
MUESTRA	N°	M1	M2	M3
LECTURA DE ARENA		3.70	4.10	4.00
LECTURA DE ARCILLA		5.40	6.50	5.50
EQUIVALENTE DE ARENA	%	68.52%	63.08%	72.73%
EQUIVALENTE DE ARENA	%	<b>68.11%</b>		

		ARENA NATURAL		
MUESTRA	N°	M1	M2	M3
LECTURA DE ARENA		3.90	3.30	4.20
LECTURA DE ARCILLA		5.50	4.80	5.90
EQUIVALENTE DE ARENA	%	70.91%	68.75%	71.19%
EQUIVALENTE DE ARENA	%	<b>70.28%</b>		

**LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS**

**TEMA** : ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE MUESTRAS COMPACTADAS POR VIBRACIÓN Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA EVALUADA CON EL MÉTODO MARSHALL, HUANCAYO 2020

**PROVINCIA** : HUANCAYO **DEPARTAMENTO** : JUNIN

**CLIENTE** : SALAZAR SÁNCHEZ, MIRELLA MISHELL **FECHA** : 22-10-20

**DIAS** : 1 día

**CANTERA** : Matahuasi

**MUESTRA** :

**ENSAYO DE AZUL DE METILENO PARA MATERIAL FINO - AASHTO TP 57**

**ARENA PROCESADA**

CANTIDAD DE SOLUCIÓN DE AZUL DE METILENO (mg)				
1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25
26	27	28	29	30
31	32	33	34	35

Pasante malla #200 :

PESO FILLER = 3.10 gr.

$$AM = \frac{\text{CANTIDAD DE SOLUCIÓN DE AZUL DE METILENO (mg)}}{\text{PESO FILLER (gr.)}}$$

AM =	0.97	mg/gr.
AM =	2.58	mg/gr.
AM =	4.19	mg/gr.
AM =	5.81	mg/gr.
<b>AM =</b>	<b>7.42</b>	<b>mg/gr.</b>

**DESEMPEÑO MARGINALMENTE  
ACCEPTABLE**

**LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS**

**TEMA** : ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE MUESTRAS COMPACTADAS POR VIBRACIÓN Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA EVALUADA CON EL MÉTODO MARSHALL, HUANCAYO 2020

**PROVINCIA** : HUANCAYO **DEPARTAMENTO** : JUNIN

**CLIENTE** : SALAZAR SÁNCHEZ, MIRELLA MISHELL **FECHA** : 22-10-20

**DÍAS** : 1 día

**CANTERA** : Matahuasi

**MUESTRA** :

**ENSAYO DE AZUL DE METILENO PARA MATERIAL FINO - AASHTO TP 57**  
**ARENA NATURAL**

CANTIDAD DE SOLUCIÓN DE AZUL DE METILENO (mg)				
1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25
26	27	28	29	30
31	32	33	34	35

Pasante malla #200 :  
PESO FILLER = 3.50 gr.

$$AM = \frac{\text{CANTIDAD DE SOLUCIÓN DE AZUL DE METILENO (mg)}}{\text{PESO FILLER (gr.)}}$$

AM =	0.86	mg/gr.
AM =	2.29	mg/gr.
AM =	3.71	mg/gr.
AM =	5.14	mg/gr.
<b>AM =</b>	<b>6.57</b>	<b>mg/gr.</b>

**DESEMPEÑO MARGINALMENTE  
ACEPTABLE**

### ANEXO 3. MATRIZ DE CONSISTENCIA

MATRIZ DE CONSISTENCIA

ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE MUESTRAS COMPACTADAS POR VIBRACIÓN Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA EVALUADAS CON EL MÉTODO MARSHALL, HUANCAYO 2020

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	DISEÑO METODOLÓGICO
<b>GENERAL</b>						
¿En qué medida existe correlación de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente de acuerdo al grado de compactación en laboratorio y en campo en Huancayo 2020?	Determinar en qué medida existe correlación de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente de acuerdo al grado de compactación en laboratorio y en campo en Huancayo 2020.	Las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente de acuerdo al grado de compactación se ven afectados considerablemente en campo respecto a las muestras de laboratorio en Huancayo 2020.				
<b>ESPECÍFICOS</b>			<b>VARIABLE 1</b> Compactación de muestras asfálticas	D1: 1 pasada del rodillo vibratorio  D2: 2 pasadas del rodillo vibratorio  D3: 3 pasadas del rodillo vibratorio  D4: 4 pasadas del rodillo vibratorio	I1: EG- 2013 (Procedimiento de compactación) I2: MTC E 501 (Toma de muestras) I3: MTC E 504 (Ensayo Marshall)  I1: EG- 2013 (Procedimiento de compactación) I2: MTC E 501 (Toma de muestras) I3: MTC E 504 (Ensayo Marshall)  I1: EG- 2013 (Procedimiento de compactación) I2: MTC E 501 (Toma de muestras) I3: MTC E 504 (Ensayo Marshall)  I1: EG- 2013 (Procedimiento de compactación) I2: MTC E 501 (Toma de muestras) I3: MTC E 504 (Ensayo Marshall)	<b>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:</b> Cuasi experimental: Fundamentada en el método científico.  <b>TIPO:</b> Aplicada Busca la aplicación o utilización de los conocimientos y sistematizar la práctica basada en investigación.  <b>NIVEL:</b> Correlacional Investigación correlacional pretende medir el grado de relación entre las variables.  <b>POBLACIÓN Y MUESTRA</b>  <b>POBLACIÓN</b> Está conformada por la producción de 7 ton de mezcla asfáltica en caliente de una planta asfáltica de mediana capacidad.  <b>MUESTRA</b> Se extraerá 72 muestras compactadas en campo con rodillo liso y rodillo vibratorio, de 6 tramos de prueba de carpeta asfáltica de 8 m x 2.2 m a diferentes niveles de compactación y 18 muestras compactadas para la obtención del diseño base Marshall.  <b>INSTRUMENTOS</b> - Tablas para recolección de datos. -Softwares SPSS, Excel.  <b>RECOLECCIÓN DE MUESTRAS</b> 90 briquetas de mezclas asfálticas para ser ensayadas en la Prensa Marshall.  <b>EQUIPOS</b> -Equipo de compactación (rodillo vibratorio) -Equipos e instrumentos de laboratorio.
- ¿Cuál es la correlación de la estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica en caliente de acuerdo al grado de compactación en laboratorio y en campo en Huancayo 2020?  - ¿De qué manera se da la correlación de los vacíos de aire de la mezcla asfáltica en caliente de acuerdo al grado de compactación en laboratorio y en campo en Huancayo 2020?  - ¿Cómo se da la correlación del peso específico de la mezcla asfáltica en caliente de acuerdo al grado de compactación en laboratorio y en campo en Huancayo 2020?	- Evaluar la correlación de la estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica en caliente de acuerdo al grado de compactación en laboratorio y en campo en Huancayo 2020.  - Estimar la correlación de los vacíos de aire de la mezcla asfáltica en caliente de acuerdo al grado de compactación en laboratorio y en campo en Huancayo 2020.  - Evaluar la correlación del peso específico de la mezcla asfáltica en caliente de acuerdo al grado de compactación en laboratorio y en campo en Huancayo 2020.	- Los valores de estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica en caliente de acuerdo al grado de compactación se incrementan en campo respecto a las muestras de laboratorio en Huancayo 2020.  - Los valores de vacíos de aire de la mezcla asfáltica en caliente de acuerdo al grado de compactación se reducen en campo respecto a las muestras de laboratorio en Huancayo 2020.  - Los valores de peso específico de la mezcla asfáltica en caliente de acuerdo al grado de compactación se incrementan en campo respecto a las muestras de laboratorio en Huancayo 2020.				