

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Influencia de la adición de ceniza orgánica como  
filler en las propiedades mecánicas de la mezcla  
asfáltica en caliente - Huancayo, 2018**

Luis Poulsen Matos Neyra

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Civil

Huancayo, 2018

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



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

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento, en primer lugar, a mi padres, por su ejemplo, amor y, sobre todo, por haberme acompañado de la mano a lo largo de mi vida y en cada uno de mis logros; a mis hermanos y compañeros, por siempre haber estado en las buenas y en las malas, como un punto de apoyo; a los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Continental, en especial al Ingeniero Augusto García Corzo, quien es asesor del presente trabajo, por compartir los conocimientos adquiridos en su trayectoria profesional y por haber marcado una parte fundamental en mi vida que es la etapa universitaria.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Luis Matos y Guillermina Neyra; a mis hermanos, Andrea Cecilia y Luis Brandon.

# ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
LISTA DE TABLAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	xii
CAPÍTULO I.....	15
PLANTEAMIENTO DE ESTUDIO.....	15
1.1. Planteamiento del problema.....	15
1.2. Formulación del problema.....	18
1.2.1. Problema general.....	18
1.2.2. Problemas específicos.....	18
1.3. Objetivos.....	18
1.3.1. Objetivo general.....	18
1.3.2. Objetivos específicos.....	18
1.4. Hipótesis.....	19
1.4.1. Hipótesis general.....	19
1.4.2. Hipótesis específicas.....	19
1.5. Variables.....	19
1.5.1. Variable independiente.....	19
1.5.2. Variable dependiente.....	19
1.6. Justificación e importancia.....	20

1.6.1.	Justificación teórica .....	20
1.6.2.	Justificación práctica.....	21
1.6.3.	Justificación metodológica .....	21
CAPÍTULO II.....		22
MARCO TEÓRICO .....		22
2.1.	Antecedentes.....	22
2.1.1.	Antecedentes internacionales.....	22
2.1.2.	Antecedentes nacionales.....	26
2.2.	Bases teóricas .....	27
2.2.1.	Pavimento .....	27
2.2.2.	Estructura del pavimento .....	27
2.2.3.	Cenizas orgánicas de fondo .....	28
2.2.4.	Origen de las cenizas orgánicas de fondo .....	30
2.2.5.	Procedimiento de muestreo y obtención de las cenizas orgánicas.....	31
2.2.6.	Propiedades químicas de las cenizas orgánicas de fondo .....	31
2.2.7.	Propiedades físicas de las cenizas orgánicas de fondo .....	32
2.2.8.	Características físicas de las cenizas orgánicas de fondo .....	33
2.2.9.	Granulometría.....	34
2.2.10.	Asfalto o cemento asfáltico .....	35
2.2.11.	Mezcla asfáltica en caliente (MAC) .....	36
2.2.12.	Diseño de mezcla por el método Marshall.....	40
2.2.13.	Adherencia entre cemento asfáltico y agregado mineral .....	45
2.3.	Definición de términos básicos .....	46
CAPÍTULO III.....		48
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....		48
3.1.	Método, tipo, nivel de investigación .....	48

3.1.1.	Método de la investigación .....	48
3.1.2.	Tipo de investigación .....	49
3.1.3.	Nivel de investigación .....	49
3.2.	Diseño de la investigación .....	50
3.3.	Población y muestra .....	50
3.3.1.	Población.....	50
3.3.2.	Muestra .....	50
3.4.	Técnicas de investigación.....	50
3.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	52
3.5.1.	Caracterización de los agregados empleados .....	53
3.5.2.	Combinación de los agregados .....	60
3.5.3.	Determinación del óptimo contenido de asfalto.....	64
3.5.4.	Adición de cenizas orgánicas como filler .....	81
3.6.	Procesamiento y análisis estadístico de los datos.....	81
CAPÍTULO IV .....		82
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....		82
4.1.	Resultados.....	82
4.1.1.	Influencia de las cenizas orgánicas en la estabilidad de la MAC.....	82
4.1.2.	Influencia de las cenizas orgánicas en el flujo de la MAC .....	86
4.1.3.	Influencia de las cenizas orgánicas en la adherencia de la MAC .....	91
4.2.	Validación estadística de hipótesis .....	98
4.2.1.	Comprobación de hipótesis específica A .....	98
4.2.2.	Comprobación de hipótesis específica B .....	101
4.2.3.	Comprobación de hipótesis específica C .....	103
4.3.	Discusión de resultados.....	106
4.3.1.	Estabilidad de la MAC con adición de cenizas orgánicas.....	106

4.3.2. Flujo de la MAC con adición de cenizas orgánicas .....	106
4.3.3. Adherencia de la MAC con adición de cenizas orgánicas .....	107
CONCLUSIONES .....	109
RECOMENDACIONES .....	110
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	111
ANEXOS .....	113
CERTIFICADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO .....	121

## LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1: Operacionalización de variables.....	20
Tabla N° 2: Composición Química Típica de las Cenizas Orgánicas.....	32
Tabla N° 3: Principales Propiedades Físicas de las Cenizas Orgánicas.....	32
Tabla N° 4: Tamices Normados .....	34
Tabla N° 5: Requerimientos para Agregado Grueso .....	37
Tabla N° 6: Requerimientos para Agregado Fino .....	38
Tabla N° 7: Requerimiento para Filler .....	39
Tabla N° 8: Husos Granulométricos para Mezcla Asfáltica en Caliente.....	40
Tabla N° 9: Requisitos para Mezclas de Concreto Bituminoso.....	44
Tabla N° 10: Vacíos Mínimos en el Agregado Mineral (VMA).....	44
Tabla N° 11: Requisitos de Adherencia.....	45
Tabla N° 12: Análisis Granulométrico de Piedra Chancada de 1/2''.....	54
Tabla N° 13: Análisis Granulométrico de Arena Zarandeada .....	56
Tabla N° 14: Análisis Granulométrico de Arena Chancada .....	58
Tabla N° 15: Combinación de Agregados .....	61
Tabla N° 16: Cálculo de los pesos por malla para el diseño Marshall.....	66
Tabla N° 17: Resultados del ensayo Marshall para especímenes con contenido de asfalto de 4.00% .....	68
Tabla N° 18: Resultados del ensayo Marshall para especímenes con contenido de asfalto de 4.50% .....	69
Tabla N° 19: Resultados del ensayo Marshall para especímenes con contenido de asfalto de 5.00% .....	70
Tabla N° 20: Resultados del ensayo Marshall para especímenes con contenido de asfalto de 5.50% .....	71
Tabla N° 21: Resultados del ensayo Marshall para especímenes con contenido de asfalto de 6.00% .....	72
Tabla N° 22: Resultados del ensayo Marshall para especímenes con contenido de asfalto de 6.50% .....	73
Tabla N° 23: Resumen de Resultados, Óptimo contenido de asfalto.....	79

Tabla N° 24: Resultados de ensayo de adherencia en bandeja para muestra patrón sin adición de Cenizas Orgánicas .....	80
Tabla N° 25: Resultados de la Estabilidad Marshall con adición de Cenizas Orgánicas .....	83
Tabla N° 26: Resultados del Flujo Marshall con adición de Cenizas Orgánicas .....	87
Tabla N° 27: Resultados del porcentaje de Adherencia con adición de Cenizas Orgánicas.	92
Tabla N° 28: Diseño estadístico completamente al azar para Estabilidad de Marshall .....	98
Tabla N° 29: ANOVA para la estabilidad de las mezclas asfálticas en caliente .....	99
Tabla N° 30: Prueba Tukey para la estabilidad de las mezclas asfálticas en caliente.....	100
Tabla N° 31: Diseño estadístico completamente al azar para Flujo Marshall.....	101
Tabla N° 32: ANOVA para el flujo de las mezclas asfálticas en caliente.....	101
Tabla N° 33: Prueba Tukey para el flujo de las mezclas asfálticas en caliente .....	102
Tabla N° 34: Diseño estadístico completamente al azar para adherencia .....	103
Tabla N° 35: ANOVA para la adherencia del agregado mineral con el ligante.....	104
Tabla N° 36: Prueba Tukey para adherencia del agregado mineral y el ligante.....	105

## LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1: Índice mensual de la producción del Sector Construcción 2013-2018 según el INEI .....	16
Figura N° 2: Vista del lugar de obtención de la ceniza .....	29
Figura N° 3: Proceso de Producción del Ladrillo .....	30
Figura N° 4: Cenizas orgánicas sin tratar .....	33
Figura N° 5: Uso del cemento asfáltico según la altitud.....	36
Figura N° 6: Secuencia de Desarrollo de actividades.....	51
Figura N° 7: Curva Granulométrica de la Piedra Chancada de 1/2 '' .....	55
Figura N° 8: Curva Granulométrica de la Arena Zarandeada o Natural .....	57
Figura N° 9: Curva Granulométrica de Arena Chancada.....	59
Figura N° 10: Curva Granulométrica de la mezcla de Agregados dentro del Huso.....	63
Figura N° 11: Estabilidad .....	74
Figura N° 12: Flujo.....	75
Figura N° 13: Porcentaje de Vacíos con aire.....	76
Figura N° 14: Porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral VMA .....	77
Figura N° 15: Peso Unitario .....	78
Figura N° 16: Porcentaje de vacíos llenos de Cemento Asfáltico .....	79
Figura N° 17: Resultados de la Estabilidad Marshall con adición de Cenizas Orgánicas.....	85
Figura N° 18: Resultados del Flujo Marshall con adición de Cenizas Orgánicas .....	89
Figura N° 19: Resultados de Adherencia del agregado mineral con el cemento asfáltico.....	94
Figura N° 20: Resultados del porcentaje de vacíos con adición de Cenizas Orgánicas.....	96
Figura N° 21: Resultados del porcentaje VMA con adición de Cenizas Orgánicas .....	97

## RESUMEN

En la presente tesis, se plantea la utilización de cenizas orgánicas procedentes de hornos donde se producen ladrillos artesanales; estas cenizas se utilizan como filler dentro de una mezcla asfáltica en caliente.

El objetivo es determinar el efecto que las cenizas orgánicas producen en las propiedades físicas de la mezcla asfáltica, propiedades como: Estabilidad y Flujo, mediante el ensayo del método Marshall y la propiedad de adherencia, mediante el ensayo de adherencia en bandeja.

La metodología desarrollada para poder cumplir con los objetivos es elaborar briquetas de control y luego elaborar briquetas con adición de cenizas orgánicas; estas son ensayadas en el laboratorio, luego son comparadas y se analizan las mejoras sobre las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente.

Finalmente, luego de obtener los resultados del laboratorio, se concluye que las cenizas orgánicas mejoran la estabilidad y el flujo con un porcentaje de adición de 2.00%, mientras que la adherencia se mejora con una adición de 7.00% de cenizas orgánicas como aditivo del cemento asfáltico, con lo cual es recomendable su uso en el diseño de mezclas asfálticas, las cuales tienen una mayor durabilidad y menor riesgo de fallas por fatiga.

**Palabras clave:** cenizas orgánicas, filler, mezcla asfáltica, propiedades mecánicas

## **ABSTRACT**

In this thesis, the use of organic ashes from kilns where artisan bricks are produced is proposed, these ashes are used as filler within a hot asphalt mixture.

The objective is to determine the effect that organic ashes produce on the physical properties of the asphalt mixture, properties such as: Stability and Flow through the Marshall method test and the adhesion property through the tray adhesion test.

To achieve the objectives, sample briquettes had to be developed and tested in the laboratory, so the scientific method methodology was used, the type of research is applied and the level of research is correlational.

Finally, after obtaining the laboratory results, it is concluded that organic ashes improve stability and flow with an addition percentage of 2.00%, while adhesion is improved with an addition of 7.00% of organic ashes as an additive to asphalt cement, which makes its use recommendable in the design of asphalt mixtures that have greater durability and lower risk of fatigue failures.

**Keywords:** organic ash, filler, asphalt mix, mechanical properties

## INTRODUCCIÓN

En el Perú, se ha venido dando un boom en la construcción de carreteras a nivel de concreto asfáltico en caliente. La entidad del estado encargada de la construcción de carreteras es Provías Nacional, que cada vez ha sido más exigente con los requisitos de este tipo de proyectos con el afán de garantizar la transitabilidad y la durabilidad de estas obras de infraestructura en su vida útil.

La evidencia del incremento del nivel de exigencia de los requisitos de Provías Nacional se constata en el constante cambio de las especificaciones técnicas de un proyecto a otro, las cuales se adecúan a las nuevas normas nacionales y/o internacionales.

La partida “Pavimento de Concreto Asfáltico en Caliente” no es ajena a este fenómeno, que, como se puede observar en las reuniones que tienen las empresas contratistas con el Cliente Provías Nacional, continuará por más tiempo con el objetivo de asegurar la calidad de las carreteras a nivel de concreto asfáltico en caliente.

En forma concreta, los componentes de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) sobre los cuales se debe prestar la debida atención y también a sus requisitos son los siguientes:

- Agregado Grueso (en algunos proyectos se puede considerar hasta dos tipos de agregado grueso; por ejemplo, piedra triturada  $T_{m\acute{a}x}=3/4$ )
- Agregado Fino (en otros proyectos se puede considerar hasta tres tipos de agregado fino; por ejemplo, arena triturada, arena natural zarandeada y arena natural zarandeada lavada)
- Relleno mineral o denominado Filler
- Cemento asfáltico
- Aditivo mejorador de adherencia, en caso sea requerido

Por lo anteriormente expuesto, las empresas contratistas deben tener especial cuidado en las etapas de iniciación, planificación y ejecución de estos proyectos de construcción, ya que, por lo general, los miembros del equipo del proyecto suelen dar por hecho que los requisitos de calidad de los componentes de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) de las carreteras a nivel de concreto asfáltico en caliente son los mismos que los anteriormente ejecutados en su trayectoria profesional.

En este sentido, con el fin de brindar nuevas alternativas más económicas y más sustentables para la elaboración de la mezcla asfáltica en caliente (MAC), se propone el uso de las cenizas orgánicas, obtenidas en la quema de madera en los hornos artesanales de las ladrilleras locales como sustituto del llenante mineral y a la vez analizar el efecto sobre las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.

Según Soriano C. (2012), “se sabe que en el Perú existen al menos 2000 hornos de ladrilleras artesanales”, las cenizas generadas como desecho de la combustión de madera en estos hornos se divide en dos tipos de material, las cenizas volantes (más finas y que predominan en el aire) y las cenizas de fondo (más pesadas y gruesas que las cenizas volantes).

A nivel nacional, se obtiene aproximadamente 53 500 toneladas al año de cenizas de fondo y hasta la actualidad este material se sigue considerando como desperdicio.

En la actualidad, en la ciudad de Huancayo, existen alrededor de 50 ladrilleras artesanales ubicadas en diferentes distritos como son San Agustín de Cajas, Hualahoyo, Palián; estas ladrilleras generan aproximadamente 1000 toneladas de cenizas de fondo al año.

El objeto de estudio es determinar el potencial de utilización de la ceniza de madera de fondo y determinar la influencia que genera en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente. La realidad de la ceniza de fondo en Huancayo es que no tiene aún algún tipo de uso beneficioso y se sigue desechando como desmonte o relleno sanitario, es así que el presente estudio proporciona como alternativa el uso de ceniza de fondo y su empleo en la construcción y pavimentaciones.

Para lograr esto, se tienen que realizar probetas de medidas normadas para realizar los ensayos correspondientes que son de estabilidad y flujo mediante el método Marshall y comprobar así la hipótesis general.

En el primer capítulo, se detalla el planteamiento del estudio, la situación problemática, la situación actual y el ámbito de intervención del estudio con muestras confiables que las evidencien; luego se realiza la formulación del problema juntamente con los objetivos que se pretenden alcanzar con la investigación realizada, la justificación, el planteamiento de las hipótesis y todos los demás elementos metodológicos que encaminan el presente trabajo de investigación.

El segundo capítulo muestra el marco teórico, donde se menciona las investigaciones realizadas con anterioridad, las bases teóricas, las cuales están ligadas a la descripción de los materiales necesarios para hacer la mezcla asfáltica en caliente, así como la descripción de las cenizas de fondo y el proceso de ejecución del método Marshall para asfalto.

En el tercer capítulo, se presenta la metodología de la investigación, como el tipo de investigación, nivel de investigación, el diseño de la investigación, la población, muestra y finalmente las técnicas de recolección de datos.

En el cuarto capítulo, se presenta el desarrollo de la investigación; esta es la parte medular del presente trabajo de investigación, ya que es aquí donde se pretende dar solución al problema, para lo cual se toma como punto fundamental el estudio de las cenizas de fondo y se emplea como filler de la mezcla asfáltica en caliente y se realiza una evaluación de su comportamiento representado mediante gráficos que son resultado de los ensayos de laboratorio ya mencionados.

En el quinto y último capítulo, se evidencia el análisis realizado, la interpretación de los resultados obtenidos, se analizan los datos, se corroboran las hipótesis y se discuten los resultados.

Finalmente, se presentan las conclusiones de la investigación, se realizan las recomendaciones, las referencias bibliográficas y los anexos.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DE ESTUDIO**

### **1.1. Planteamiento del problema**

Según el INEI (2013-2018), la industria de la construcción en el Perú ha tenido una importante alza en los últimos 11 años, tal como se muestra en la Figura N° 1: Índice mensual de la producción del Sector Construcción 2013-2018 según el INEI. Las tasas de crecimiento fueron superiores al 10%; esto implica que el crecimiento del sector construcción fue mayor al del Producto Bruto Interno (PBI). Evidencia de ello es que, en el año 2006, el crecimiento fue mayor al 14% anual, aunque en el año 2009 tuvo una reducción del 6% anual, pero esto debido a la financiera internacional. Sin embargo, se recuperó de manera abrupta en los subsiguientes años y aun en la actualidad continúa creciendo, lo cual genera que el sector construcción en el Perú realice nuevas investigaciones con los profesionales especialistas que contribuyan al desempeño óptimo de cada especialidad.

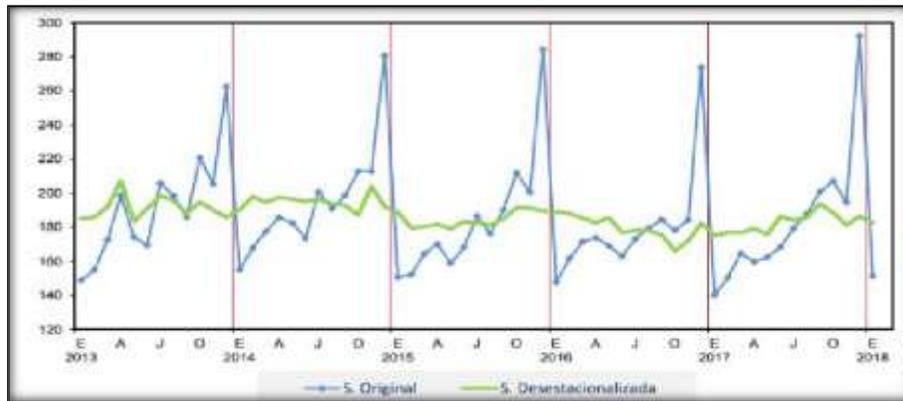


Figura N° 1: Índice mensual de la producción del Sector Construcción 2013-2018 según el INEI

En el Perú, un gran porcentaje del sector de la construcción se ejecuta como construcción de vías pavimentadas; estas pueden ser de dos tipos: pavimentos rígidos, los cuales son elaborados a partir de una mezcla de concreto y reforzadas con varillas de acero denominadas dowels; y una manera más económica, que abarca longitudes mucho mayores, son los pavimentos flexibles que están hechos con cemento asfáltico. El diseño, la implementación y la construcción de pavimentos flexibles es la alternativa de pavimentación más económica frente a la construcción de pavimentos rígidos, también es la mejor técnica de construcción vial, para vías de segundo y tercer orden; sin embargo, a pesar de estas consideraciones, este tipo de obras han sufrido inconvenientes y fallas que han generado una disminución considerable en su efectividad y durabilidad, lo cual genera incomodidad en los usuarios, ya que al realizar el mantenimiento de estas vías se restringe su uso. Los pavimentos flexibles están constituidos por una serie de capas que permiten transmitir las cargas de tránsito hacia el terreno natural sin que este se deforme, por lo general estas capas son: capa de sub- base, capa base y carpeta de rodadura.

La norma denominada Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras EG-2013 – Sección 429, define al filler como un material utilizado en mezclas asfálticas cuyo fin es complementar la granulometría de los agregados finos. Esta norma establece que los materiales que pueden ser usados como filler pueden ser cal hidratada, cemento portland, polvo de roca, polvo de escoria y cenizas finas,

siempre y cuando estos materiales cumplan con los requisitos exigidos en la Norma ASTM D-242.

Con la adición de polímeros al asfalto, se pueden modificar las propiedades mecánicas, físicas, químicas y reológicas de las mezclas asfálticas. Al emplear estas tecnologías, se pretende mejorar el comportamiento que experimentan las mezclas tradicionales cuando son sometidas a diferentes condiciones de carga y del medio ambiente; por lo general, las propiedades que se intentan mejorar son la rigidez, la resistencia bajo cargas, el ahuellamiento, la fatiga y disminuir la susceptibilidad térmica. Las investigaciones realizadas en el área de las mezclas asfálticas son utilizadas como agentes modificadores polímeros del tipo elastómero.

Este tipo de aditivos, al ser agregados al asfalto, mejoran principalmente el comportamiento resiliente (recuperación elástica) de las mezclas cuando son solicitadas a ciclos de carga y descarga especialmente a altas temperaturas. Sin embargo, según Riaño S. (2013), si bien el uso de polímeros como filler mejora notablemente las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica, este proceso tiene un costo muy elevado, además de existir dificultades en el mezclado y falla por abrasión del agregado antes de que falle el ligante. Por tanto, esto conlleva a buscar nuevas alternativas respecto a los materiales que componen la mezcla asfáltica para mejorar su capacidad de respuesta mecánica; por ejemplo, los estudios sobre la adición de fibras de neumáticos usados, agregados sintéticos entre otros. En el campo de la construcción, ha sido utilizado ampliamente en la estabilización de suelos para sub- rasante de carreteras, debido a sus características puzolánicas y debido a que es un material muy fino que cumple con los requerimientos granulométricos para ser empleado como material de relleno o filler dentro de una mezcla asfáltica.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Qué efecto produce la adición de cenizas orgánicas como filler en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cuál es el efecto de la adición de cenizas orgánicas como filler en la resistencia máxima o estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente?
- ¿Cuál es el efecto de la adición de cenizas orgánicas como filler en la deformación máxima o flujo de la mezcla asfáltica en caliente?
- ¿Cuál es el efecto de la adición de ceniza orgánica como filler en la adherencia entre el agregado y el asfalto?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar el efecto que produce la adición de ceniza orgánica como filler en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar el efecto de la adición de ceniza orgánica como filler en la resistencia máxima o estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente

- Determinar el efecto de la adición de ceniza orgánica como filler en la deformación máxima o flujo de la mezcla asfáltica en caliente
- Determinar el efecto de la adición de ceniza orgánica como filler en la adherencia entre el agregado y el asfalto

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

La adición de ceniza orgánica como filler mejora las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente

### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- La adición de ceniza orgánica como filler incrementa la resistencia máxima o estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente
- La adición de ceniza orgánica como filler mejora la deformación máxima o flujo de la mezcla asfáltica en caliente
- La adición de ceniza orgánica como filler incrementa la adherencia entre el agregado mineral y el asfalto

## **1.5. Variables**

Las variables que intervienen en la presente investigación son las siguientes:

### **1.5.1. Variable independiente**

- Ceniza orgánica

### **1.5.2. Variable dependiente**

- Propiedades mecánicas

Tabla N° 1: Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD
<b>Variable independiente:</b> Cenizas orgánicas	Porcentaje de ceniza orgánica	Cantidad de ceniza orgánica	Porcentaje (%)
<b>Variable dependiente:</b> Propiedades mecánicas	Estabilidad Marshall	Resistencia máxima	Kilogramo (kg)
	Flujo Marshall	Deformación máxima	Milímetros (mm)
	Adherencia en bandeja	Adherencia asfalto - agregado	Porcentaje (%)

Fuente: Elaboración propia.

## 1.6. Justificación e importancia

Para Martínez Ruiz, Héctor (2018), la justificación es “parte de la investigación en que se exponen las razones que influyeron para que el individuo haya optado por estudiar un determinado tema. Debe responder a ciertas preguntas como: ¿Por qué investigo el tema? ¿Qué contribución puede tener mi investigación? ¿A quién beneficiará?”

### 1.6.1. Justificación teórica

La ingeniería de pavimentos es una disciplina esencial dentro de la ingeniería civil; esta nos permite diseñar y construir técnicamente un camino, con materiales apropiados y adecuadamente compactados. En ese sentido, es necesario evaluar el comportamiento de diferentes materiales y determinar el impacto que estos presentan en las mezclas asfálticas o mezclas de concreto, teniendo claro que el fin es mejorar las propiedades mecánicas y físicas más importantes de las mezclas. El presente estudio nos permite

realizar ensayos experimentales bajo el concepto teórico definido en la normativa que rige sobre los diseños de mezclas asfálticas definidas en el Manual de carreteras, especificaciones técnicas generales para la construcción EG-2013 por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

### **1.6.2. Justificación práctica**

En la ciudad de Huancayo, existen hornos donde se cocinan los ladrillos de manera artesanal y producen cenizas residuales; estas cenizas orgánicas son un material residual muy fino y tienen como característica que cumplen con los requerimientos granulométricos del filler o material de relleno, que es parte importante en el diseño de mezclas asfálticas en caliente, ya que este filler ayuda a complementar y corregir la curva granulométrica de los agregados finos. En la práctica, las cenizas orgánicas son ampliamente utilizadas como estabilizadoras de suelos en sub- rasante de obras viales, sobretodo cuando los suelos suelen ser arcillosos; esto se debe a que las cenizas orgánicas mejoran sus propiedades (disminuye el índice de plasticidad, la adición de agua para lograr una máxima densidad seca y las deformaciones del suelo).

### **1.6.3. Justificación metodológica**

En esta investigación, se utiliza nuevos materiales que permiten mejorar las propiedades de las mezclas, ya sean mezclas asfálticas o mezclas de concreto; se utiliza métodos científicos para demostrar la validez y confiabilidad de las propiedades físico- mecánicas logrando el incremento del valor de la estabilidad del pavimento en un 20%. Este aporte a la ciencia tiene como valor añadido la utilización de materiales residuales que contribuyen en mitigar el impacto ambiental y son alternativa económica para ser empleada como filler en las mezclas asfálticas.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes**

##### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

Según Troncoso Rivera (2006), en su trabajo de investigación titulado “Comportamiento Mecánico y Dinámico de una mezcla asfáltica con adición de Cenizas Volantes”, se desarrolló en la ciudad de Bogotá, Colombia, como tesis para doctorado. La investigación tuvo como objetivo determinar la incidencia de reemplazar el llenante mineral denominado filler en la mezcla asfáltica con cenizas volantes en la deformación permanente y las propiedades mecánicas de dicha mezcla con una granulometría 0/10 y asfalto CA60/70; inicialmente, realiza la caracterización de materiales granulares, cenizas volantes y asfalto. Se determina el porcentaje óptimo de asfalto mediante el procedimiento de Marshall, valor con el cual se constituyeron las muestras para los ensayos mecánicos y ahuellamiento con reemplazo de llenante mineral por ceniza volante.

Se utilizaron diferentes porcentajes de reemplazo de llenante mineral por ceniza volante entre el 15% y 100%. Entre los resultados obtenidos se determina un incremento de la resistencia de 19% para un reemplazo de llenante mineral de 20%, la deformación permanente disminuyó en 10% y 38%, para el reemplazo de llenante mineral de 20% y 45% respectivamente; adicionalmente, se evaluó la rigidez Marshall y la velocidad de deformación y se obtuvo un porcentaje de adición favorable de ceniza volante de 25 % con respecto al peso del llenante mineral.

Orozco Muñoz (2011) presentó un trabajo denominado “Evaluación del comportamiento de una mezcla densa en caliente modificada con ceniza proveniente de las locaciones petroleras”, estudio que se realizó en la ciudad de Bucaramanga – Bolivia. Se plantea como objetivo comparar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica tipo MDC2 con la mezcla modificada con 5%, 10% y 15% de cenizas volantes de locaciones petroleras; para lograrlo, se realizaron ensayos de laboratorio como la caracterización de los materiales, granulometría de agregados gruesos y finos, gravedad específica y absorción de los agregados, entre otros; luego se practicaron ensayos en la mezcla asfáltica como estabilidad, flujo, contenido de asfalto, densidad; luego de muchos ensayos se obtuvieron las siguientes conclusiones.

Luego de haber realizado la caracterización de la ceniza, se decidió usar el material que pasaba el tamiz N° 10 y retenido en el tamiz N° 80. Este material se usó como adición del cemento asfáltico, el cual se adicionaba antes de mezclarse con los agregados, se observó que, aunque se utiliza el material retenido en los tamices antes descritos, la ceniza es una buena fuente para obtener el material más fino para las mezclas asfálticas, es decir una buena fuente para obtener material que pasa el tamiz N° 200. La gravedad específica y el porcentaje de absorción de la ceniza fueron menores que el encontrado en el agregado fino, es decir que la densidad de la ceniza orgánica es un 22% menor que la del agregado fino.

En el VII Congreso Mexicano del Asfalto – AMAAC 2011, se presentó un estudio llamado “Estudio del tipo de filler en las propiedades reológicas del mastico”, trabajo de investigación en el que se estudia el efecto que tienen diferentes tipos de filler sobre las propiedades reológicas del mastico, que es la mezcla del cemento asfáltico y el filler. Determinando que el aporte del filler al comportamiento reológico del asfalto es muy importante y más aún en el comportamiento reológico de la mezcla asfáltica en general, debido a diferentes características del filler, como naturaleza mineralógica, morfología, distribución de tamaños de partículas, área específica, etc. Las propiedades del filler antes mencionadas tienen un efecto importante en parámetros reológicos como viscosidad, módulo reológico, ángulo de fase, etc.

Segura Almanza (2018) elabora su tesis de grado, denominada “Estudio del comportamiento físico y mecánico de las mezclas asfálticas; con materiales reutilizables en la construcción”, presentada en la Universidad Católica de Colombia. En dicha tesis, Segura plantea como objetivo evaluar las ventajas y desventajas del uso de materiales reutilizables, como agregados en las mezclas asfálticas; establece que el uso de materiales nuevos como agregados de las mezclas asfálticas puede llegar a ser la solución ante el deterioro constante de las vías, agregando materiales que puedan mejorar las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas, de aquí la importancia de evaluar el comportamiento de las mezclas asfálticas con diferentes materiales reutilizables en la construcción. Finalmente, concluye que, dependiendo del tipo de material, su composición y sus características, el agregado mejora las características de una mezcla asfáltica como la estabilidad y el flujo. Al realizar la modificación de las mezclas asfálticas, los agregados de origen puzolánico son los que mayormente tienden a resaltar o mejorar las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas, siendo este el caso de las cenizas orgánicas.

Garnica Anguas y Flores Flores (2019) realizan una publicación técnica denominada "Caracterización geomecánica de mezclas asfálticas" para el Instituto Mexicano del Transporte IMT, publicación técnica N° 267 en Sanfandila, Querétaro – México. Dicha publicación tiene como objetivo definir una región de control en el gráfico de densidad y el óptimo contenido de asfalto, comparando el método Marshall y el método Superpave, utilizando diferentes energías de compactación (número de golpes) que corresponden a diferentes niveles de tránsito y contenidos de asfalto. Esta publicación muestra los tipos de mezcla asfáltica, así como las propiedades más relevantes de una, como son estabilidad, durabilidad, flujo, resistencia a la fatiga, resistencia al fracturamiento por bajas temperaturas, resistencia al daño por humedad y trabajabilidad, los cuales son puntos muy importantes al elegir un determinado diseño de mezcla y el método a emplear. Sin embargo, de las propiedades mencionadas, lo más resaltante y significativo para la presente tesis es la propiedad de resistencia al fracturamiento por bajas temperaturas, debido a que la ciudad de Huancayo se encuentra a 3200 m.s.n.m., en la sierra peruana, con climas muy fríos sobre todo durante las temporadas de invierno y otoño. Garnica y Flores mencionan que las fisuras por bajas temperaturas se forman debido a las contracciones en la carpeta asfáltica, debido a los climas fríos. Cuando ocurren las contracciones, se forman deformaciones de tensión en su interior, de esta manera las fisuras por baja temperatura ocurren por el efecto acumulativo de ciclos de friaje.

Finalmente, se presentan las conclusiones de publicación técnica, en la que los autores determinan los especímenes compactados con el método Marshall que necesitan mayor cantidad de cemento asfáltico que al emplear el método Superpave, y que este cemento asfáltico no debe ser de carácter rígido para evitar las fisuras en climas fríos, recomendando cemento asfáltico tipo PEN 85-100 o incluso PEN 120-150, para mayor altitud.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Mamani Barriga y Yataco Quispe (2017) presentan una tesis para obtener el grado de ingeniero civil en la Universidad San Martín de Porres en la ciudad de Ayacucho, denominada "Estabilización de suelos arcillosos aplicando cenizas de madera de fondo, producto de las ladrilleras artesanales en el departamento de Ayacucho". En el estudio, se hace uso de las cenizas de fondo, como residuos provenientes de la combustión de eucalipto utilizados por las ladrilleras artesanales en su proceso de producción. El objetivo de la tesis es determinar la incidencia que tienen las cenizas orgánicas en la estabilización de los suelos arcillosos, llevando a cabo un programa de ensayos de laboratorio para poder evaluar propiedades físicas y mecánicas.

Dichos ensayos demostraron que las cenizas orgánicas mezcladas con la arcilla tienen un mejor comportamiento mecánico, esto debido a que la ceniza actúa como un estabilizador.

Además, se muestra como conclusiones que las cenizas orgánicas obtenidas como residuos de las ladrilleras artesanales no tienen un uso adecuado, por lo cual gran porcentaje son utilizados como rellenos sanitarios y contaminan tanto el suelo como el aire.

Rosales Lecca (2019) presenta su tesis para obtener el grado de ingeniero civil, denominado "Resistencia a la deformación de una mezcla asfáltica en caliente con adición de un 10% por cenizas orgánicas de carbón mineral", presentado en la Universidad San Pedro en la ciudad de Chimbote - Perú. En la tesis, se plantea como objetivo determinar la resistencia a la deformación de una mezcla asfáltica en caliente con la adición de un 10% de cenizas orgánicas de carbón mineral. Se concluyó que, de acuerdo al material y al nivel de adición de cenizas orgánicas de carbón mineral, se podrá disminuir la deformación de las mezclas asfálticas, esta disminución de la deformación se pudo lograr con una adición del 10%

de cenizas orgánicas de carbón mineral y se pudo comprobar realizando pruebas de validez estadística, así que se logra mejorar la resistencia a la deformación del pavimento.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Pavimento**

El pavimento es una estructura conformada por varias capas, que se construye sobre la sub-rasante de los caminos para resistir y distribuir los esfuerzos originados por las cargas estáticas y móviles en un periodo de tiempo de circulación de vehículos, con el objeto de soportar y transferir al suelo estas cargas para mejorar las condiciones del tránsito.

### **2.2.2. Estructura del pavimento**

Por lo general, está conformado por 3 capas: base, sub- base, carpeta de rodadura

#### **a. Carpeta de rodadura**

Es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso, conocido como pavimento flexible o de hormigón armado, conocido como pavimento rígido.

#### **b. Base**

Es la capa intermedia que tiene como principal función sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito; esta capa debe ser de material granular drenante y de cara fracturada para mejorarla adherencia con el asfalto (CBR > 80%) o también puede ser tratada con asfalto, cal o cemento.

### **c. Sub- base**

Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y la carpeta de rodadura, además se usa como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del diseño y dimensionamiento del pavimento esta capa puede obviarse. Esta capa será de material granular (CBR > 40%) o tratada con asfalto, cal o cemento.

### **2.2.3. Cenizas orgánicas de fondo**

Carbajal Peláez (2015), “Las cenizas orgánicas se pueden dividir en cenizas de fondo, cenizas volantes (definidas así por la norma ASTM) y combinados; las cenizas de fondo son residuos que se encuentran en el fondo de los hornos y poseen diámetros de partícula mayores a 0.075 mm (retenido malla N°200) característicos del carbón inquemado, este residuo es más usado en estudios como material de filler (del inglés “relleno”), ya que posee un alto potencial puzolánico; las cenizas volantes son residuos que quedan atrapados en los filtros de los hornos y poseen diámetros menores a los 0.075 mm (pasante malla N° 200); este ha demostrado lograr reacciones en microestructuras cristalinas y amorfas a partir de la síntesis de aluminosilicatos alcalinos con una solución activadora de hidróxido alcalino y silicato alcalino, a este producto se le llama geopolímeros, que obtiene propiedades puzolánicas similares a las del cemento Portland”.

Mamani Barriga (2017), “Las cenizas orgánicas de fondo comprenden la fracción gruesa que se produce en la cámara de combustión y se aloja en la cámara inferior de un horno de cocción, a menudo se mezcla con impurezas minerales contenidas en el combustible, como lodos, residuo transportado por los ases de combustión en un horno”. El material cae al fondo del horno y se separa mecánicamente, la ceniza de fondo constituye la mayor parte, aproximadamente un 60 % del total de cenizas producidas por la combustión de madera de eucalipto y carbón mineral.

Las características de las cenizas dependen de múltiples factores como el tipo de madera, el sistema de quemado y el proceso de vaciado del horno, por lo cual se hace muy difícil establecer propiedades generales, esto hace que no exista una referencia universal; sin embargo, existe una excepción a lo antes mencionado y es que se sabe que las cenizas orgánicas tienen un alto contenido de sílice dentro de su composición química, por lo que se puede establecer que las cenizas son de características puzolánicas.

En la Figura N° 2: Vista del lugar de obtención de la ceniza, se muestra un horno artesanal de producción de ladrillos, ubicado en el distrito de Cajas. Se puede observar el horno una vez que se ha retirado los ladrillos y se ha enfriado el horno, luego se procede a retirar con una pala las cenizas residuales del fondo del horno.



*Figura N° 2: Vista del lugar de obtención de la ceniza*

#### 2.2.4. Origen de las cenizas orgánicas de fondo

En el Perú, existen aproximadamente 2000 hornos artesanales en donde se cocinan los ladrillos, los cuales generan aproximadamente 53,500 toneladas/año de cenizas de fondo.

En la ciudad de Huancayo, existen aproximadamente 50 hornos de las ladrilleras artesanales, su mayor concentración se encuentra en el distrito de Cajas, con 30 hornos aproximadamente, generando unas 550 toneladas/año de cenizas orgánicas de fondo. El nivel de producción de ladrillos se estima alrededor de los 2000 millares.

Los combustibles utilizados para la cocción de 25 millares de ladrillos son la leña y el carbón vegetal, siendo la leña de eucalipto usada en mayor proporción, aproximadamente el 70%, y el carbón mineral el 30% restante.

Las cenizas de fondo son un subproducto de la combustión de la madera de eucalipto y el carbón usados para la cocción de los ladrillos artesanales, el cual presenta una línea de producción como se muestra en la Figura N° 3: Proceso de Producción del Ladrillo.

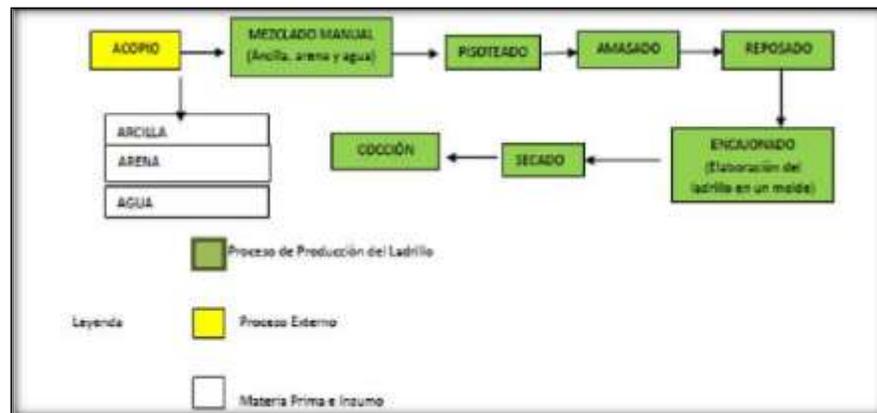


Figura N° 3: Proceso de Producción del Ladrillo.

### **2.2.5. Procedimiento de muestreo y obtención de las cenizas orgánicas.**

Para obtener una muestra, en primer lugar, se determina una población, la cual está dada por los hornos de las ladrilleras artesanales de la ciudad de Huancayo, de los cuales se optó por extraer la muestra de los hornos que se encuentran en la localidad de Cajas, de donde provienen la mayor cantidad de ladrillos artesanales de la ciudad.

En la localidad de Cajas, existen alrededor de 30 hornos donde se producen ladrillos artesanales y de donde se extraen las cenizas orgánicas; sin embargo, la cantidad requerida para realizar los ensayos es pequeña, por eso, se recolecta las cenizas orgánicas del fondo de uno de los hornos.

La ceniza de fondo se obtiene después de enfriar el horno durante dos días y el acopio de la ceniza se realiza de manera manual, removiéndose con una pala, lo cual permite eliminar las impurezas más visibles y resaltantes, luego es colocada en sacos y trasladada al laboratorio para su ensayo y caracterización.

### **2.2.6. Propiedades químicas de las cenizas orgánicas de fondo.**

Las cenizas orgánicas son especialmente ricas en dióxido de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), conteniendo también otros óxidos, como óxido cálcico ( $\text{CaO}$ ), óxido magnésico ( $\text{MgO}$ ), óxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), óxido de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), óxido de potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ ), trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ); su actividad puzolánica se atribuye al  $\text{SiO}_2$  y al  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , tal como se muestra en la Tabla N° 2.

Tabla N° 2: Composición Química Típica de las Cenizas Orgánicas.

COMPONENTE	%
SiO <sub>2</sub>	54.90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25.80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.90
CaO (cal)	8.70
MgO	2.10
SO <sub>3</sub>	1.60

Fuente: Adaptada de Roa Parra (2016)

### 2.2.7. Propiedades físicas de las cenizas orgánicas de fondo

La forma, fineza, distribución, densidad y composición de las partículas de las cenizas orgánicas influyen en las características de los productos para uso final. Las principales propiedades físicas de las cenizas orgánicas se muestran en la Tabla N° 3.

Tabla N° 3: Principales Propiedades Físicas de las Cenizas Orgánicas.

PROPIEDAD FÍSICA	RANGO DE VALORES
Aspecto externo	polvo fino grisáceo
Tamaño de partícula	1 - 200 $\mu$ m
Superficie específica	0.2 - 25 m <sup>2</sup> /g
Densidad	0.5 - 0.8 g/cm <sup>3</sup>
Peso específico	1.9 - 2.8 g/cm <sup>3</sup>
Fusión	950 - 1550 °C
Absorción de líquido	20 - 30 % de agua

Fuente: Adaptada de Roa Parra (2016)

## 2.2.8. Características físicas de las cenizas orgánicas de fondo

### a. Granulometría

La distribución del tamaño de partículas es razonablemente constante, puede variar dependiendo de los métodos de precipitación y las variaciones son causadas por las secuencias de eliminación de las cenizas precipitadas.

### b. Fineza

En el Perú, se cuenta con especificaciones para la ceniza orgánica, al obtener un grado de fineza mediante la prueba de material retenido en la malla de 45 micras para controlar el grado de fineza.

### c. Color y forma

En la Figura N° 4, se muestra la ceniza orgánica como es recolectada del proveedor, se observa en su mayoría un color gris y partículas de color negro, este también posee algunos residuos de ladrillos, posee varios tamaños de partículas redondeadas y se puede observar estructura porosa en los granos de mayor tamaño.



Figura N° 4: Cenizas orgánicas sin tratar

### 2.2.9. Granulometría

Según la Pontificia Universidad Católica del Perú (2012), “el análisis granulométrico de un suelo consiste en separar y clasificar según el tamaño los granos que lo componen”. Este ensayo nos permite formar una idea aproximada de algunas de las propiedades de los suelos, fundamentalmente los gruesos.

#### a. Análisis granulométrico por tamizado

Según la Pontificia Universidad Católica del Perú (2012), “el análisis granulométrico por tamizado se concreta al segregar el suelo mediante una serie de mallas que definen el tamaño de las partículas”, como se muestra en la Tabla 4.

La información que se obtiene del análisis granulométrico se presenta en forma de una curva semilogarítmica en la que se grafica el “porcentaje que pasa” representado en el eje de las ordenadas y el número de las mallas son las abscisas. Alternativamente, se puede representar el “porcentaje retenido”.

Tabla N° 4: Tamices Normados

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

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016), Manual de Ensayo de Materiales

## **b. Análisis granulométrico por sedimentación**

Según la Pontificia Universidad Católica del Perú (2012), el análisis granulométrico por sedimentación resulta útil en los suelos que tienen una gran proporción de partículas menores que la malla N° 200 (0.075 mm) y mayores que 0.001mm, si bien no permite sacar conclusiones en cuanto a sus propiedades mecánicas, nos puede servir para estimar el potencial de expansión (mediante el cálculo de la actividad de arcillas) y su susceptibilidad al congelamiento.

### **2.2.10. Asfalto o cemento asfáltico**

Otárola Víctor, para ASFALTOS PERU, Tipos de Asfalto y sus diferencias [en línea]. El cemento asfáltico es un derivado del petróleo empleado comúnmente para la construcción de vías en virtud de sus propiedades y características, ya que este es un material cementante termoplástico y repelente de agua, y es resistente al ataque de la mayoría de los ácidos y sales.

Este material es sólido a temperatura ambiente y se puede clasificar según su consistencia por el grado de penetración o por su viscosidad. En el Perú, se utiliza la clasificación por penetración, la cual es medida en décimas de milímetros y representa la rigidez de la mezcla. En Huancayo, se utiliza el cemento asfáltico PEN 120/150, esto debido al clima y la altura que supera los 3200 m.s.n.m. como se muestra en la Figura N° 5: Uso del cemento asfáltico según la altitud.



Figura N° 5: Uso del cemento asfáltico según la altitud

El cemento asfáltico se puede emplear para los siguientes usos:

- Preparación para mezclas asfálticas.
- Construcción de vías y pistas.
- Revestimiento de diques y canales.
- Fabricación de breas.

### 2.2.11. Mezcla asfáltica en caliente (MAC)

Se puede definir una mezcla asfáltica en caliente como la combinación de un ligante hidrocarbonado y los agregados incluyendo el polvo mineral y eventualmente aditivo, de manera tal que todas las partículas queden recubiertas por la película delgada del ligante y cuyo proceso de fabricación implica calentar el ligante y los agregados.

Esta mezcla asfáltica se emplea en la construcción de carreteras, como en vías urbanas y aeropuertos, y se utilizan tanto en capas de rodadura, así como en capas inferiores. Existen a su vez subtipos dentro de las mezclas asfálticas, los cuales se producen a partir de asfaltos modificados, cuya composición cambia en un porcentaje de entre 3% a 10% de asfalto en volumen.

Según las Especificaciones Generales EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, una mezcla asfáltica en caliente tiene como materiales:

#### a. Agregado grueso

Se considera agregados gruesos a las partículas retenidas en la malla N° 4, estas partículas deben tener una naturaleza que, al aplicar la capa de material asfáltico, esta no se desprenda por acción del agua o del tránsito; de darse el caso, se deberán usar aditivos mejoradores de adherencia, se deben cumplir los requerimientos de la Tabla N° 5, teniendo en consideración que el lugar de aplicación es la ciudad de Huancayo a una altura mayor de 3000 m.s.n.m.

Tabla N° 5: Requerimientos para Agregado Grueso

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤3000	>3000
Durabilidad (al sulfato de magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción *	MTC E 206	1,0% máx.	1,0% máx.

Fuente: Especificaciones Generales EG-2013

## b. Agregado fino

Se considera agregados finos aquellos materiales cuya granulometría pasa por la malla N° 4 y se retiene en la malla N° 200, dicho material debe tener partículas limpias y de superficies rugosas moderadamente angulares, carentes de grumos de arcillas u otro material aglomerante, para este material se deben cumplir los requerimientos de la Tabla N° 6

Tabla N° 6: Requerimientos para Agregado Fino

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤3000	>3000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASHTO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N° 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín.	35 mín.
Índice de Plasticidad (malla N° 200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción *	MTC E 205	0.5% máx.	0.5% máx.

Fuente: Especificaciones Generales EG-2013

## c. Filler

Dentro de los componentes de la Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC), se puede considerar al filler (relleno o llenante). Ello dependerá de la granulometría de los agregados finos que componen la MAC, es decir que el filler se utilizará en las mezclas asfálticas con el objetivo de rectificar las deficiencias de la curva granulométrica de los agregados finos que por sí sola no cumple con las especificaciones técnicas de la mezcla preestablecida.

Por otra parte, a manera de un aporte al conocimiento, se menciona también que el filler suele tener un efecto secundario dependiendo de su naturaleza, el cual es mejorar la adherencia entre el cemento asfáltico y los agregados pétreos.

La cantidad a ser utilizada se definirá en la fase de diseño, mediante el método Marshall.

El filler debe cumplir con los siguientes requerimientos, según la Tabla N° 7.

*Tabla N° 7: Requerimiento para Filler*

<b>TAMIZ</b>	<b>% QUE PASA</b>
N° 30	100
N° 50	95-100
N° 200	80-100

*Fuente: Adaptado de Rosales Lecca (2019)*

#### **d. Influencia del filler en las propiedades de la mezcla asfáltica**

La calidad de las mezclas asfálticas para pavimentación se resume en tres propiedades principales que son resistencia ante la deformación, flexibilidad y durabilidad, en las cuales el filler tiene una influencia importante, ya que su inclusión permite:

- Mejorar el llenado de vacíos de la mezcla sin el empleo exagerado de asfalto. Esto debido a que el filler actúa como llenador de vacíos, lo cual permite disminuir espacios libres existentes entre agregados mayores. Esta actividad además depende de los vacíos de la mezcla, el agregado debe estar bien graduado y la forma de sus partículas permiten una ajustada distribución, entonces la necesidad de agregar filler es menor, incluso puede llegar a ser inconveniente por disminuir exageradamente espacios libres que deben ser ocupados parcialmente por asfalto y en consecuencia se obtendrían mezclas pobres en ligante de menor durabilidad.
- Incrementar la resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica. Esto debido a que el filler aumenta de manera importante la viscosidad del asfalto, mejor dicho, la combinación filler - asfalto o

“mastico” es un sistema de alta viscosidad, el cual participa de manera importante en la resistencia ante la deformación.

- Incrementar la durabilidad de la mezcla. Esto debido a que el filler actúa como llenador de vacíos, lo cual permite disminuir la porosidad dificultando la entrada de agentes agresivos como agua y aire; además de que es el principal aglomerante dentro de la mezcla asfáltica y mantiene unidos a los agregados gruesos.

#### e. Gradación para mezcla asfáltica en caliente

La gradación de los agregados para la mezcla asfáltica en caliente (MAC) deberá responder a uno de los siguientes husos granulométricos especificados en la Tabla N° 8, teniendo en cuenta el tráfico de diseño que es un tráfico alto y el tamaño máximo nominal del agregado.

Tabla N° 8: Husos Granulométricos para Mezcla Asfáltica en Caliente

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC-1	MAC-2	MAC-3
25,0 mm (1")	100		
19,0 mm (3/4")	80-100	100	
12,5 mm (1/2")	67-85	80-100	
9,5 mm (3/8")	60-77	70-88	100
4,75 mm (N° 4)	43-54	51-68	65-87
2,00 mm (N° 10)	29-45	38-52	43-61
425 µm (N° 40)	14-25	17-28	16-29
180 µm (N° 80)	8-17	8-17	9-19
75 µm (N° 200)	4-8	4-8	5-10

Fuente: Especificaciones Generales EG-2013

#### 2.2.12. Diseño de mezcla por el método Marshall

El concepto del método Marshall en el diseño de mezclas para pavimentación fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Misisipi.

El cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró y adicionó ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall, a la vez que se desarrolló un criterio de diseño de mezclas.

El método original es aplicado únicamente a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1") o menor. El método Marshall modificado se desarrolló para tamaños máximos arriba de 38 mm (1.5") y está pensado para diseño en laboratorio y control en campo de mezclas asfálticas en caliente, con gradación densa, debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica, la importancia de los resultados en términos de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar.

El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de 64 mm (2 ½") de alto y 102 mm (4") de diámetro, se preparan mediante un procedimiento para calentar, combinar y compactar mezclas de asfalto-agregados (ASTM D1559 Y MTC E504), los dos aspectos principales del método Marshall son la densidad-análisis de vacíos y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados. Cabe mencionar que este proceso de diseño no tiene especificado pruebas para agregados minerales ni para cementos asfálticos.

#### **a. Objetivo del método Marshall**

El principal objetivo de este método es determinar el contenido óptimo de asfalto para una mezcla específica de agregados de una granulometría particular, así como también proporciona información sobre las características físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente, de tal manera que sea posible establecer si cumple a lo referente al establecimiento de densidades y contenidos óptimos de vacío durante la construcción de la capa del pavimento.

## **b. Pruebas del ensayo Marshall**

### **Estabilidad Marshall**

El valor de la estabilidad determinado por el método Marshall es una medida de la carga bajo la cual una briqueta cede o falla totalmente durante el ensayo. Cuando la carga es aplicada lentamente, los cabezales superior e inferior se acercan y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura, una vez alcanzado el punto de fallo se suspende la carga y se toma lectura de la prensa.

### **Flujo Marshall**

Se mide en centésimas de pulgada y representa la deformación de la briqueta; está definida por la disminución del diámetro vertical de la briqueta.

Las mezclas que tienen valores bajos de flujo y valores altos de estabilidad son consideradas muy frágiles y se consideran rígidas; por el contrario, las mezclas que tienen valores muy altos de flujo y valores bajos de estabilidad son consideradas muy flexibles.

### **Análisis de vacíos**

Los vacíos son pequeñas bolsas de aire que se encuentran atrapadas entre las partículas de la mezcla; este porcentaje de vacíos se calcula a partir del peso específico de cada probeta compactada y del peso específico teórico de la mezcla sin vacíos.

### **Análisis de vacíos en el agregado mineral**

Están determinados por los espacios intergranulares de vacíos presentes en la mezcla, se calcula a partir del peso específico total del agregado y se expresa como un porcentaje del total de la mezcla compactada.

### **Análisis de vacíos llenos de asfalto**

Son el porcentaje de vacíos intergranulares que se encuentran llenos de asfalto y es expresado en porcentaje del total de la mezcla.

### **Análisis de peso unitario**

El peso unitario promedio de cada muestra se obtiene multiplicando el peso específico de la mezcla por 1000 kg/m<sup>3</sup>.

#### **c. Requerimientos de una mezcla de concreto asfáltico por el método Marshall**

- Buena adherencia entre agregado mineral y cemento asfáltico
- Suficiente asfalto para asegurar un pavimento durable
- Suficiente estabilidad bajo cargas de tránsito
- Suficientes vacíos con aire
- Suficiente trabajabilidad para prevenir segregaciones durante la elaboración y la colocación de la mezcla
- Suficiente flexibilidad para adaptarse a asentamientos y movimientos graduales de las capas inferiores

#### **d. Mezcla de Agregados**

Las características de la mezcla asfáltica deben estar de acuerdo con las exigencias para mezclas de concreto bituminoso que se indican en la Tabla N° 9, según corresponda al tipo de mezcla que se produzca, de acuerdo al tráfico del proyecto, siendo A tráfico alto, B tráfico medio y C tráfico bajo.

Tabla N° 9: Requisitos para Mezclas de Concreto Bituminoso

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
<b>Marshall MTC E 504</b>			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8,15 kN	5,44 kN	4.53 kN
3. Flujo 0.01" (0.25 mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5
5. Vacíos en el agregado mineral	Ver Tabla 423-10		
<b>Inmersión - compresión (MTC E 518)</b>			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % mín.	75	75	75
Relación Polvo - Asfalto (2)	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
Relación Estabilidad/Flujo (kg/cm) (3)	1.700-4.000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 mín.		

Fuente: Especificaciones Generales EG-2013

Adicionalmente, para complementar los requerimientos de la Tabla N° 9, se tiene a la Tabla N° 10.

Tabla N° 10: Vacíos Mínimos en el Agregado Mineral (VMA)

Tamiz	Vacíos mínimos en agregado mineral %	
	Marshall	Superpave
2,36 mm (N° 8)	21	-
4,75 mm (N° 4)	18	-
9,50 mm (3/8")	16	15
12,5 mm (1/2")	15	14
19,0 mm (3/4")	14	13
25,0 mm (1")	13	12
37,5 mm (1 1/2")	12	11
50,0 mm (2")	11,5	10,5

Fuente: Especificaciones Generales EG-2013

Los valores de la Tabla N° 10 serán seleccionados de acuerdo al tamaño nominal máximo del agregado de la gradación de mezclas que se

muestran en la Tabla N° 8, las tolerancias serán definidas puntualmente en función de los agregados.

### 2.2.13. Adherencia entre cemento asfáltico y agregado mineral

Urrego Aguilera (2016), “El cemento asfáltico posee unas características muy específicas ideales para los trabajos de pavimentación, principalmente la cohesión y la adhesión con materiales granulares”.

La adhesión es la capacidad del asfalto de adherirse al agregado mineral en la mezcla asfáltica del pavimento, mientras que la cohesión es la capacidad del asfalto de mantener firmemente en su lugar las partículas de agregado en el pavimento terminado.

En el Perú, la propiedad de adherencia esta normada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones tal como se muestra a continuación en la Tabla N° 11, donde se presenta los requisitos para cumplir con la adherencia de la mezcla asfáltica en caliente y se menciona la norma donde está especificado el procedimiento de ensayo.

Tabla N° 11: Requisitos de Adherencia.

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		< 3000	> 3000
Adherencia (Agregado grueso)	MTC E 517	+95	-
Adherencia (Agregado fino)	MTC E 220	4 MÍN.	-
Adherencia (Mezcla)	MTC E 520	-	+95
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta	AASHTO T 283	-	80 mín.

Fuente: Especificaciones Generales EG-2013

Es común en las mezclas asfálticas el uso de aditivos mejoradores de adherencia, los cuales suelen ser productos químicos que al ser incluidos al cemento asfáltico mejoran notablemente las características de adherencia entre el asfalto y los agregados, por lo que brindan mayor durabilidad a la carpeta asfáltica. Estos aditivos mejoradores de adherencia son

incorporados al asfalto líquido. En la presente investigación, se evaluará la incidencia que tienen las cenizas orgánicas como aditivo mejorador de adherencia.

### 2.3. Definición de términos básicos

- **Granulometría:** Es la propiedad más característica de un suelo, relacionando a los tamaños y proporción de sus partículas en una porción de suelo, por lo que es necesario realizar el ensayo granulométrico a fin de conocer y evaluar características como la porosidad, tomando en consideración distribución de los tamaños de las partículas de agregado y suelo, analizados por tamices estandarizados con aberturas cuadradas de diferentes medidas.
- **Tamaño Máximo Nominal:** Es el menor tamaño de la malla o tamiz por el cual debe pasar el mayor porcentaje del agregado, es decir debe retener entre un 5% al 15%.
- **Agregados pétreos:** Son materiales granulares y sólidos que se emplean en diferentes mezclas para la construcción como el concreto y el asfalto.
- **Cemento asfáltico:** Es un material aglomerante sólido y semisólido de color negro que se ablanda gradualmente al calentarse y se usa para mezclas asfálticas en pavimentaciones.
- **Ensayo Marshall:** Ensayo de laboratorio para determinar las propiedades de la mezcla asfáltica, tales como la estabilidad y el flujo.
- **Flujo:** Es la deformación irre recuperable de la probeta del ensayo Marshall a partir de la cual solo se recuperará la parte de su deformación correspondiente a la deformación elástica.

- **Estabilidad:** Es la máxima resistencia a la deformación a una razón constante de carga.
  
- **Propiedades mecánicas:** Son propiedades físicas que describen el comportamiento de un sólido al estar sometido a fuerzas como tracción, compresión y torsión.
  
- **Probetas:** Son el instrumento de ensayo para determinar las propiedades físicas de las mezclas asfálticas, estas tienen dimensiones normalizadas y un peso estándar.
  
- **Diseño de mezcla:** Trabajo previo a la elaboración de probetas; el diseño debe realizarse tanto para el estado fresco como para el estado endurecido del asfalto.
  
- **Huso:** Límites granulométricos superior e inferior, que determinan la curva granulométrica de los agregados minerales.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Método, tipo, nivel de investigación**

Para Martínez Ruiz, Héctor (2018), la metodología es “el estudio de los procedimientos o técnicas que permitan alcanzar el conocimiento de un objeto o un fenómeno (natural y/o social). En pocas palabras, podemos decir que es el estudio de los métodos y técnicas de investigación”.

Se debe recordar que la metodología de la investigación estudia de manera sistemática los métodos que se utilicen para lograr los objetivos que se plantean en una investigación científica.

##### **3.1.1. Método de la investigación**

La presente tesis utiliza el método científico como procedimiento lógico experimental para comprobar la hipótesis planteada mediante la interpretación de los datos obtenidos; se analizarán hechos y sucesos en forma metódica y secuencial.

### **3.1.2. Tipo de investigación**

De acuerdo con la metodología desarrollada para demostrar la hipótesis, la presente tesis se define como un tipo de investigación aplicada, debido al empleo como filler en la mezcla asfáltica en caliente, teniendo el énfasis del estudio a la solución práctica del problema.

De igual forma, se define como una investigación de enfoque cuantitativo, ya que los resultados que se obtendrán en el laboratorio serán valores numéricos cuantificables y medibles, los cuales posteriormente serán evaluados a detalle demostrando así las características de la mezcla asfáltica en caliente con el empleo de la ceniza orgánica como filler.

### **3.1.3. Nivel de investigación**

Para Caballero Romero (2009), “las investigaciones de nivel explicativo responden a la pregunta ¿Por qué? Es así que el objeto de investigación o estudio son causales, ya que plantean hipótesis explicativas que, mediante el cruce o relación de variables dependientes con las variables independientes, plantean propuestas de explicación al problema causal que deberán, luego, ser contrastadas”.

En ese sentido, la presente tesis se desarrolla a nivel explicativo, en el cual se determina una relación de causa-efecto entre las variables, se plantea la hipótesis de que las cenizas orgánicas mejoran las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente y se evalúa el porqué del efecto que tienen las cenizas orgánicas en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.

### **3.2. Diseño de la investigación**

Para el desarrollo de la presente tesis, se empleó un diseño de investigación experimental, ya que se realizó diversos ensayos con proporciones variables de adición de ceniza orgánica en los ensayos propios de elaboración de la mezcla asfáltica en caliente. En el presente estudio, la información es obtenida y se analiza mediante ensayos de laboratorio certificado.

### **3.3. Población y muestra**

#### **3.3.1. Población**

Para la presente tesis de investigación, la población de estudio son las 54 briquetas que se realizaron para ser ensayadas en el laboratorio.

#### **3.3.2. Muestra**

Se considera como muestra de la investigación a las briquetas elaboradas por cada porcentaje de adición de cenizas orgánicas, haciendo un total de 54 especímenes, en 19 grupos de 3, siendo todos ensayados en el laboratorio certificado.

El método de selección de la muestra es no probabilístico porque la selección de los elementos no depende de la probabilidad sino de las características de la investigación.

### **3.4. Técnicas de investigación**

Para corroborar la hipótesis que se desarrolla, las actividades mostradas en la Figura N° 6.



*Figura N° 6: Secuencia de Desarrollo de actividades.*

- De acuerdo a la estrategia planteada en el proyecto, se define los ensayos de laboratorio aplicándolos a diferentes combinaciones de contenido de cemento asfáltico mezclado con el agregado para lograr una mezcla asfáltica en caliente óptima.
- Como siguiente paso, una vez que se obtuvo la muestra patrón desarrollada con el óptimo contenido de asfalto, se procedió a realizar los ensayos especificados.
- Se realizó la recolección de los datos de los ensayos con la ayuda de hojas de cálculo Excel.
- De acuerdo a los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio, los cuales fueron de características físicas y mecánicas, se analizó mediante gráficas y se obtuvo así un diagnóstico de cómo va influyendo la ceniza orgánica en las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente.
- El análisis estadístico, realizado al detalle con la ayuda del programa IBM SPSS Estatistics, comprobó la hipótesis planteada en el proyecto, mediante la prueba estadística ANOVA para muestras paramétricas y no paramétricas, comprobando

la significancia de la adición de cenizas orgánicas y su influencia en la mezcla asfáltica en caliente.

- Por último, se llegó a concluir que la adición de cenizas orgánicas en un porcentaje óptimo de 2.00% mejora las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente, como la estabilidad y el flujo, además que al ser usada como aditivo del asfalto en porcentaje de 7.00% mejora la adherencia del agregado con el ligante.

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

Para la toma y recolección de datos, se utilizó la observación experimental, ya que los datos se obtuvieron mediante la ejecución de ensayos de laboratorio, los cuales fueron debidamente controlados. Con respecto al instrumento de recolección, se realizó mediante hojas de registros de datos, formatos elaborados y suscritos para la medición de resultados de los ensayos de características físicas y mecánicas.

Para poder hacer el desarrollo de la presente investigación, se tiene que realizar la caracterización de los agregados, según lo especifica el Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas para la Construcción EG-2013, según la Tabla N° 5 y la Tabla N° 6, donde indica los requerimientos tanto para agregado grueso como agregado fino para el diseño de mezclas asfálticas, además debemos tener en cuenta el huso granulométrico y el tamaño máximo nominal del agregado, es decir tenemos que tomar en consideración la disposición de material con el que contamos como se muestra en la Tabla N° 8: Husos Granulométricos para Mezcla Asfáltica en Caliente.

Para cumplir los parámetros requeridos por el Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas para la Construcción EG-2013, en cuanto al huso granulométrico es necesario realizar una combinación de agregados, esto debido claramente a que los agregados que se producen en una misma cantera y bajo unas determinadas condiciones no cumplen estrictamente con los lineamientos y porcentajes necesarios para cumplir con el huso, es por ello que se realiza la combinación de agregado grueso y agregados finos, en diferentes porcentajes, por el método de tanteo hasta

obtener una curva granulométrica como la establece el Manual de Carreteras EG 2013.

### **3.5.1. Caracterización de los agregados empleados**

Se empleó materiales granulares provenientes de las localidades aledañas a la ciudad de Huancayo, debido a que estos materiales deben cumplir con los requerimientos granulométricos para una mezcla asfáltica en caliente (MAC) tipo A para tránsito alto.

#### **Agregado grueso**

Para la combinación de agregados, se ha utilizado el agregado grueso con tamaño máximo nominal de 1/2'', esto debido a que la mezcla asfáltica en caliente que se diseñará es MAC 2, para tráfico alto, se extrajo el agregado de la cantera ubicada en Matahuasi, ya que esta cantera es una de las principales de la ciudad de Huancayo, además de ser una de las dos canteras cuyo agregado cumple con los requisitos del agregado grueso como es la abrasión, caras fracturadas; a este material se le realizó el ensayo de granulometría para determinar la curva granulométrica, según lo que estipula la normativa peruana MTC E204, "Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos"; de dicho ensayo se obtuvo lo siguiente:

Tabla N° 12: Análisis Granulométrico de Piedra Chancada de 1/2''

Malla		Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumulado	% 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	1076.30	35.88	35.88	64.12
tm - 3/8"	9.525	1226.90	40.90	76.77	23.23
tm - N°4	4.750	655.30	21.84	98.62	1.38
tm - N°8	2.550	27.50	0.92	99.53	0.47
tm - N°10	2.000	0.20	0.01	99.54	0.46
tm - N°16	1.185	0.20	0.01	99.55	0.45
tm - N°30	0.600	0.50	0.02	99.56	0.44
tm - N°40	0.425	0.50	0.02	99.58	0.42
tm - N°50	0.295	0.60	0.02	99.60	0.40
tm - N°80	0.175	1.70	0.06	99.66	0.34
tm - N°100	0.148	1.30	0.04	99.70	0.30
tm - N°200	0.072	2.40	0.08	99.78	0.22
< tm - N°200		6.60	0.22	100.00	0.00
<b>TOTAL MUESTRA =</b>		3000.00	gr		

Fuente: Elaboración propia según Norma MTC E204

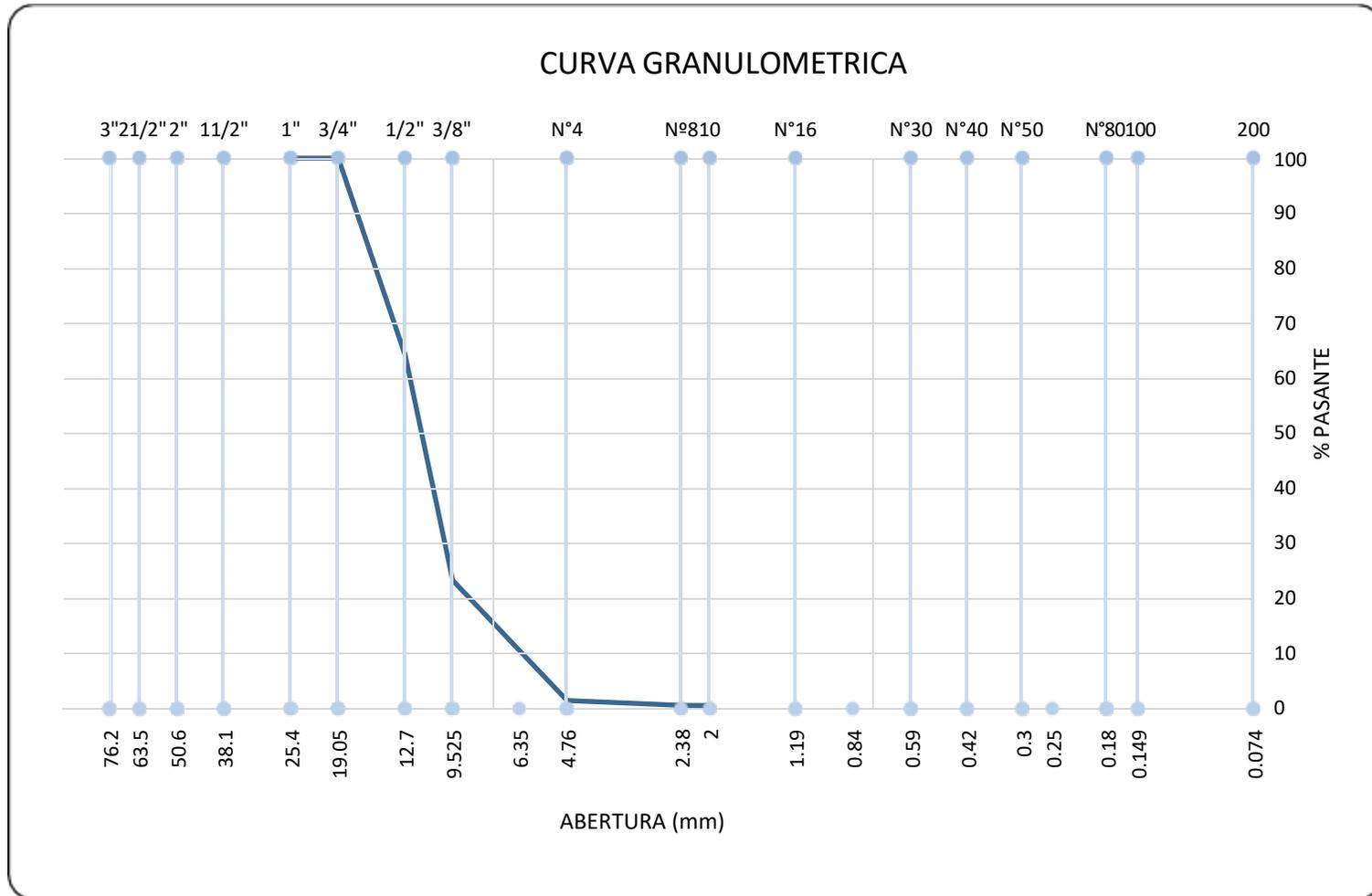


Figura N° 7: Curva Granulométrica de la Piedra Chancada de 1/2 ''

## Agregado fino

En la combinación de los agregados se usó tanto arena zarandeada o natural, así como arena chancada, esto para cumplir con los parámetros de caras fracturadas que debe tener la mezcla de agregados; la arena natural se obtuvo de la cantera de Matahuasi y la arena chancada se obtuvo de la cantera de Pilcomayo, ambas canteras cumplen con los lineamientos requeridos por la EG-2013 respecto de las características de los agregados finos.

### a. Arena zarandeada o natural

Tabla N° 13: Análisis Granulométrico de Arena Zarandeada

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	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	330.40	22.03	22.03	77.97
tm - N°8	2.550	202.50	13.50	35.53	64.47
tm - N°10	2.000	86.10	5.74	41.27	58.73
tm - N°16	1.185	148.60	9.91	51.17	48.83
tm - N°30	0.600	266.60	17.77	68.95	31.05
tm - N°40	0.425	149.10	9.94	78.89	21.11
tm - N°50	0.295	115.80	7.72	86.61	13.39
tm - N°80	0.175	58.80	3.92	90.53	9.47
tm - N°100	0.148	57.30	3.82	94.35	5.65
tm - N°200	0.072	51.70	3.45	97.79	2.21
< tm - N°200		33.10	2.21	100.00	0.00
<b>TOTAL MUESTRA =</b>		1500.00	gr		

Fuente: Elaboración propia según Norma MTC E204

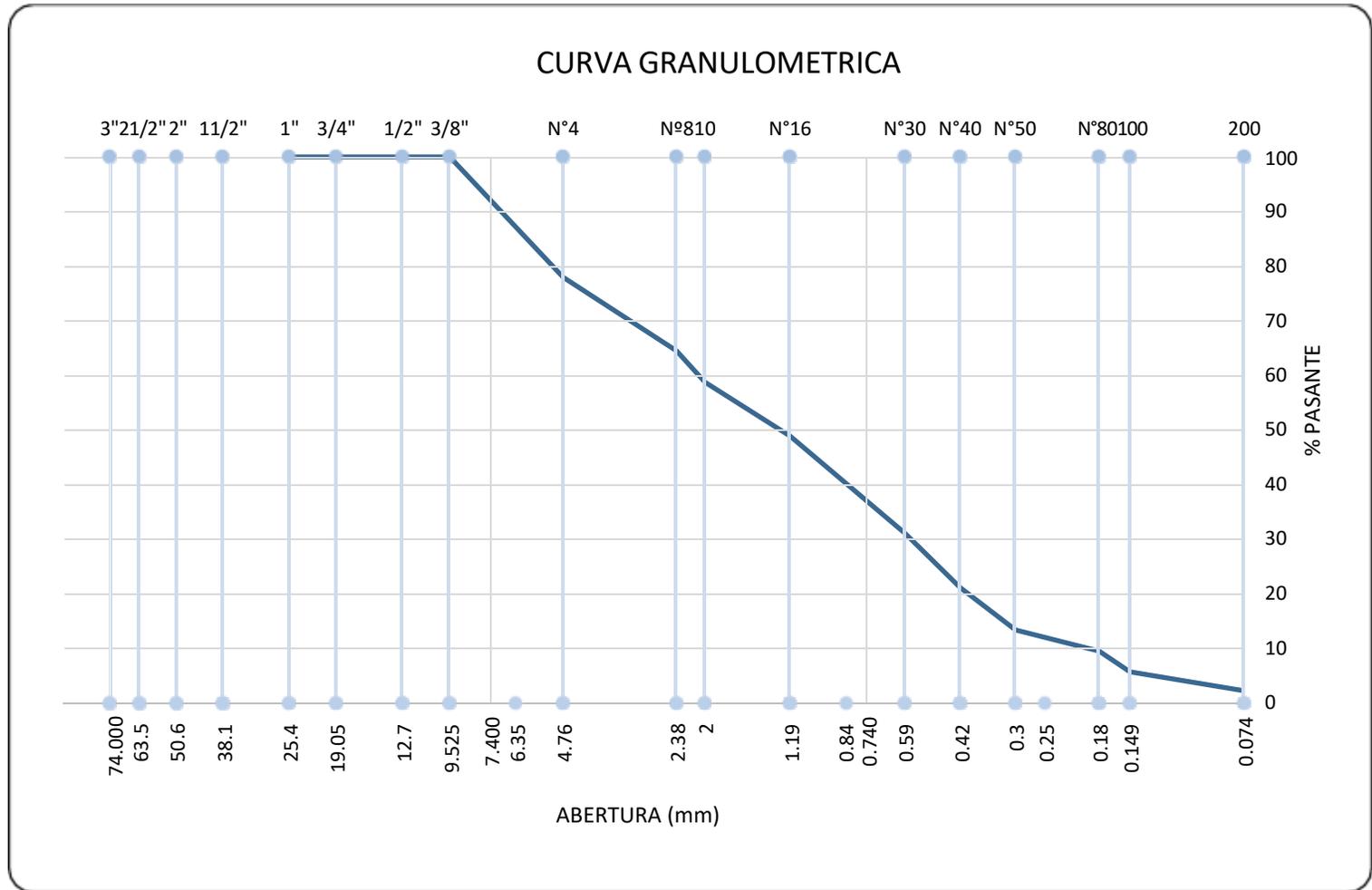


Figura N° 8: Curva Granulométrica de la Arena Zarandeada o Natural

**b. Arena chancada.**

*Tabla N° 14: Análisis Granulométrico de Arena Chancada*

Malla		Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumulado	% 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	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	291.40	19.43	19.43	80.57
tm - N°8	2.550	259.10	17.27	36.70	63.30
tm - N°10	2.000	101.70	6.78	43.48	56.52
tm - N°16	1.185	196.30	13.09	56.57	43.43
tm - N°30	0.600	197.20	13.15	69.71	30.29
tm - N°40	0.425	76.20	5.08	74.79	25.21
tm - N°50	0.295	50.90	3.39	78.19	21.81
tm - N°80	0.175	162.30	10.82	89.01	10.99
tm - N°100	0.148	80.20	5.35	94.35	5.65
tm - N°200	0.072	41.80	2.79	97.14	2.86
< tm - N°200		42.90	2.86	100.00	0.00
<b>TOTAL MUESTRA =</b>		1500.00	gr		

*Fuente: Elaboración propia según Norma MTC E204*

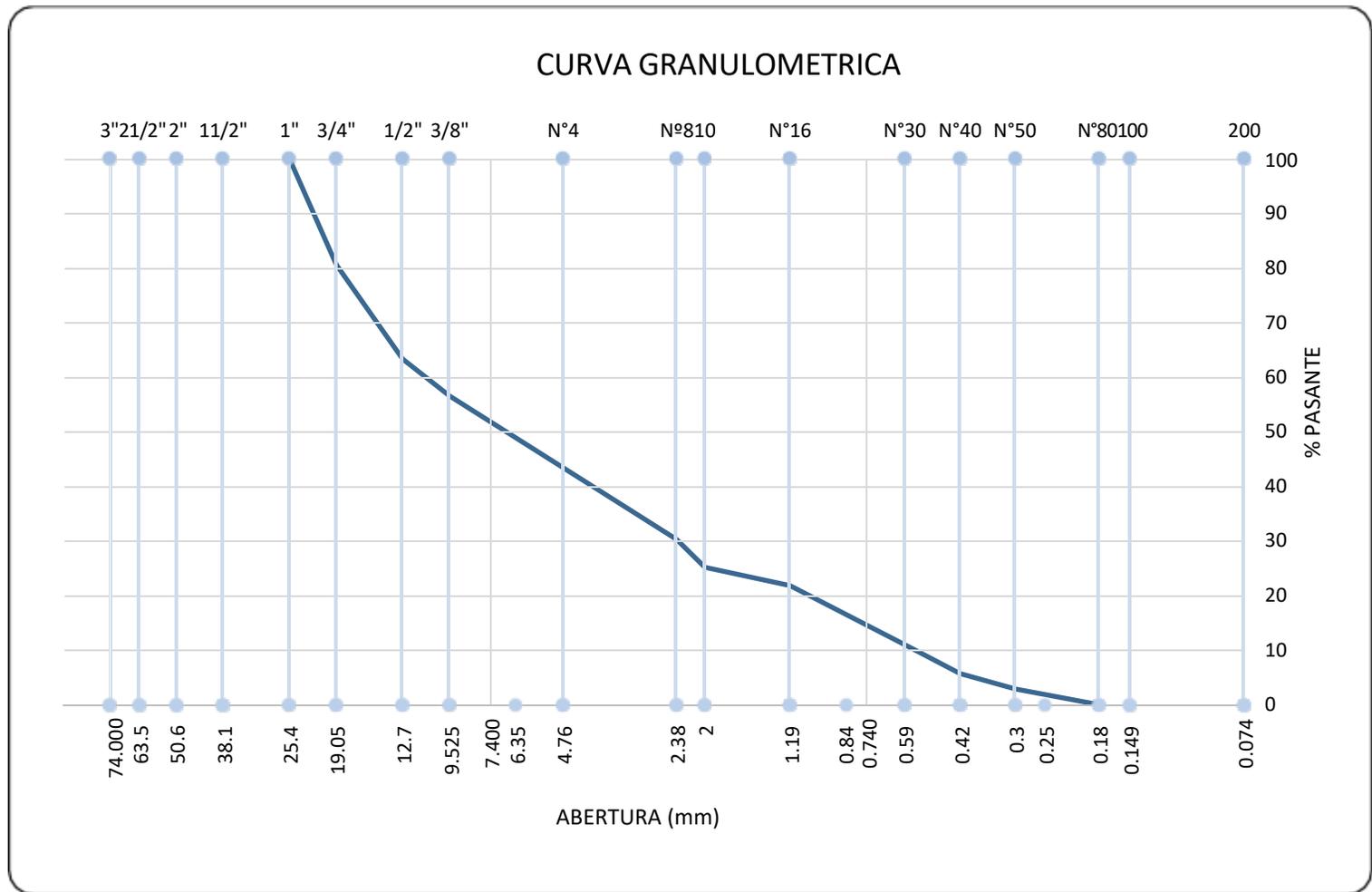


Figura N° 9: Curva Granulométrica de Arena Chancada

### **3.5.2. Combinación de los agregados**

La combinación de agregados se realiza con la finalidad de cumplir con el huso granulométrico que se requiere para la mezcla asfáltica en caliente MAC 2, la cual se diseña para un tráfico alto, ya que este tipo de vías son las comunes dentro de las zonas urbanas de la ciudad de Huancayo.

Esta combinación se realiza a partir de las granulometrías determinadas anteriormente, mediante un procedimiento de tanteo, determinando así un porcentaje de cada agregado fino y grueso, incluido el filler con los cuales trabajaremos el diseño de mezcla asfáltica en caliente para poder determinar el contenido óptimo de asfalto.

El filler que se ha empleado es material muy fino pasante la malla N° 200 extraída del propio material, es decir producto del tamizado del agregado fino, de la arena zarandeada para ser más precisos; esto con el fin de no alterar las propiedades de la mezcla con elementos como cal, cemento Portland, ya que el objetivo del presente estudio es evaluar las propiedades mecánicas a partir de la adición de las cenizas orgánicas como filler.

Tabla N° 15: Combinación de Agregados

Malla		Porcentajes pasantes (%)						Especificaciones	Observaciones	
Tamiz	mm.	PIEDRAS			ARENAS			MEZCLA	MAC - 2	Tamaño máximo 3/4"
		pedra 3/4" CRUSHING	pedra 1/2" CRUSHING		Arena Zarandeada	Arena Chancada	filler		MTC	
Proporciones		3/4"	1/2"		ZARANDEADA	CHANCADA	FINO	100.0%		Curva Ideal
		0.0%	30.0%		25.0%	40.0%	5.0%			
1"	25.400	100.000	100.00		100.00	100.00	100.0	100.0	100 - 100	100
3/4"	19.050	100.00	100.00		100.00	100.00	100.0	100.0	100 - 100	100
1/2"	12.700	100.00	64.12		100.00	100.00	100.0	89.2	80 - 100	90
3/8"	9.525	100.00	23.23		100.00	100.00	100.0	77.0	70 - 88	79
N° 4	4.760	100.00	1.38		77.97	80.57	100.0	57.1	51 - 68	60
N° 8	2.360	100.00	0.47		64.47	63.30	100.0	46.6		
N° 10	2.000	100.00	0.46		58.73	56.52	100.0	42.4	38 - 52	45
N° 16	1.180	100.00	0.45		48.83	43.43	100.0	34.7		
N° 30	0.600	100.00	0.44		31.05	30.29	100.0	25.0		
N° 40	0.420	100.00	0.42		21.11	25.21	100.0	20.5	17 - 28	23
N° 50	0.300	100.00	0.40		13.39	21.81	100.0	17.2		
N° 80	0.180	100.00	0.34		9.47	10.99	100.0	11.9	8 - 17	13
N° 100	0.150	100.00	0.30		5.65	5.65	100.0	8.8		
N° 200	0.074	100.00	0.22		2.21	2.86	100.0	6.8	4 - 8	6
pasa			0.00		0.00	0.00	0.0	0.0		

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N° 15: Combinación de Agregados, se observa de color rojo los porcentajes que representa cada material en peso del total de la mezcla de agregados, es así que para realizar una correcta mezcla de agregados y que cumpla con el huso granulométrico tenemos: 30.0% de piedra chancada de 1/2'', 25% de arena zarandeada o natural, 40% de arena chancada y un 5% de filler que es material propio zarandeado, ya que este es un material muy fino, pasante de la malla N° 200.

Con los porcentajes obtenidos mediante una hoja de cálculo Excel y por el método de tanteo, se procede a realizar el gráfico de la curva granulométrica de la mezcla de agregados, dentro de los límites que establece el huso granulométrico del MAC 2 y es como se muestra en la Figura N° 10.

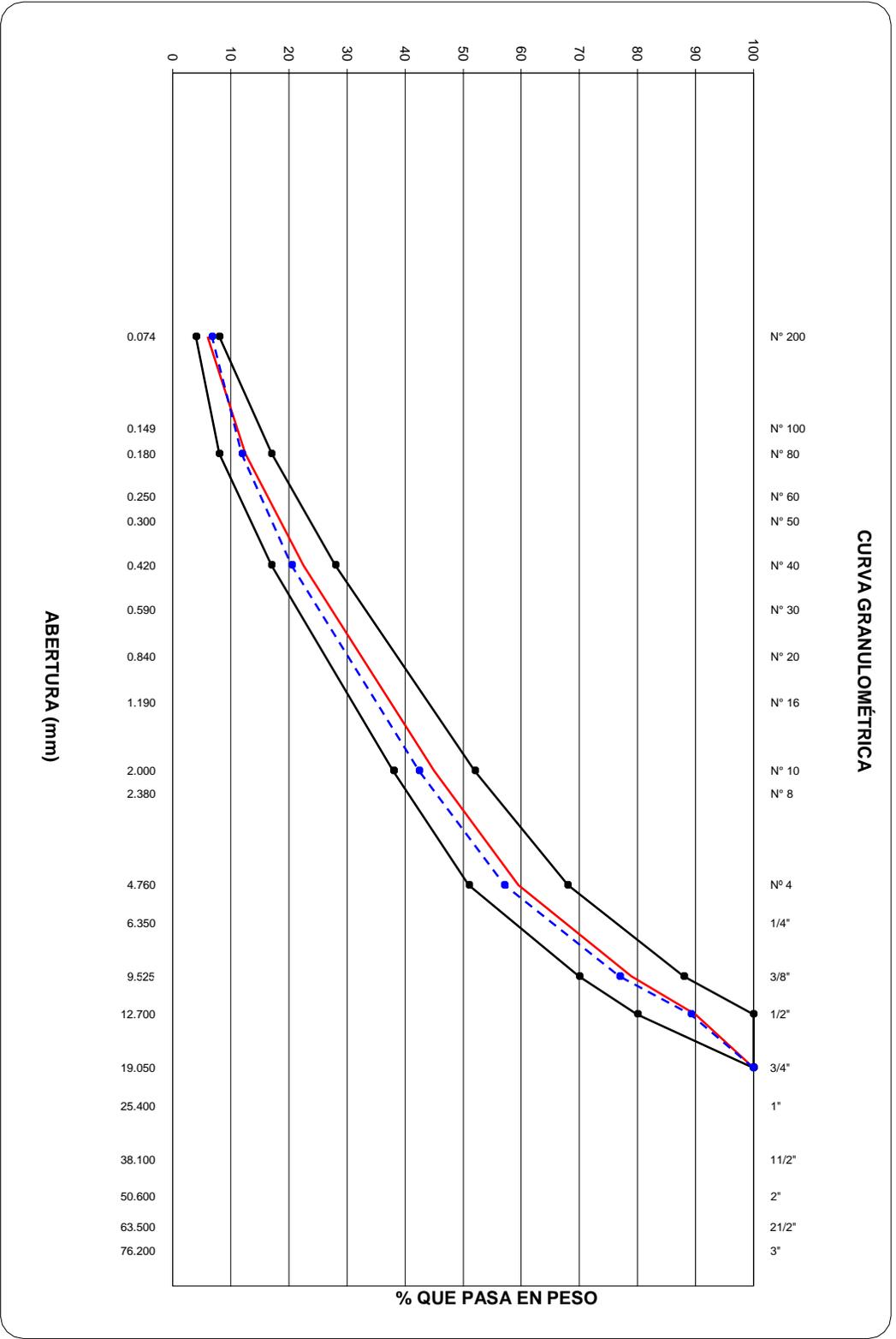


Figura N° 10: Curva Granulométrica de la mezcla de Agregados dentro del Huso de la MAC 2

La Figura N° 10 muestra la curva granulométrica del resultado de la mezcla de agregados obtenidos con los porcentajes antes calculados en la Tabla N° 15, donde se observa los límites del huso granulométrico de la mezcla asfáltica caliente MAC 2 de color negro; también se observa, de color rojo, la curva granulométrica ideal que está dada por los promedios de los porcentajes pasantes máximo y mínimo para cada número de tamiz y de color azul la curva granulométrica de la mezcla de los agregados ensayados, la cual se encuentra dentro de los límites establecidos.

### **3.5.3. Determinación del óptimo contenido de asfalto**

#### **Especímenes de ensayo**

Una vez que se ha determinado los porcentajes de cada agregado dentro de la mezcla asfáltica, se tiene que determinar el contenido óptimo de asfalto, para esto se realizan especímenes normalizados según lo describe la norma peruana MTC E-504, "Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall", estos especímenes tienen un diámetro estándar de 102 mm y una altura de 64 mm, además el peso de cada espécimen es de 1250 gr.

Según lo establece la norma, para determinar el contenido óptimo de asfalto para la mezcla, es necesario realizar 3 especímenes para cada contenido de asfalto, el cual tiene una variación de 0.50% en peso del total de la mezcla, es por ello que para el presente estudio se realizaron 3 especímenes para pesos correspondientes al 4.00%, 4.50%, 5.00%, 5.50%, 6.00% y 6.50% de contenido de asfalto PEN 120/150.

El método Marshall es empleado para mezclas asfálticas con agregados de hasta 25 mm de tamaño máximo; los especímenes compactados y moldeados por este método son empleados para realizar ensayos de estabilidad y flujo, además de ello también se realizará el ensayo de adherencia.

### **Preparación de la mezcla asfáltica**

Los especímenes pueden ser preparados solos o en conjunto que contenga material para tres a cuatro especímenes, se pesa de manera independiente cada porción del agregado que comprenderá la mezcla para un espécimen, se colocan en un contenedor, se calienta y se realiza una mezcla en seco por un tiempo aproximado de 5 segundos, con una cuchara o pala, luego de esto se debe formar un cráter en el centro de la mezcla seca y se procederá a pesar el material bituminoso que se agregará a la mezcla y se cocinará a una temperatura de 160°C para posteriormente ser compactados.

Los especímenes que se han preparado para realizar los ensayos del presente estudio responden a una receta similar a la de cocina en las que se presenta los pesos de cada material, ya sean de piedra chancada de 1/2'', arena zarandeada y arena chancada, además de ello se establecen los pesos de cada material en función de los tamices para cada contenido de asfalto, tal como se muestra en la Tabla N° 16: Cálculo de los pesos por malla para el diseño Marshall, a continuación.

Tabla N° 16: Cálculo de los pesos por malla para el diseño Marshall

Mat	% Asfalto	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50
	Malla						
<b>FILLER</b>	1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	# 4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	# 10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	< #10	60.0	59.7	59.4	59.1	58.8	58.4
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>60.0</b>	<b>59.7</b>	<b>59.4</b>	<b>59.1</b>	<b>58.8</b>	<b>58.4</b>
<b>Arena Chancada</b>	1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	# 4	93.2	92.8	92.3	91.8	91.3	90.8
	# 10	115.5	114.9	114.3	113.7	113.1	112.4
	< #10	271.3	269.9	268.5	267.1	265.6	264.2
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>480.0</b>	<b>477.5</b>	<b>475.0</b>	<b>472.5</b>	<b>470.0</b>	<b>467.5</b>
<b>Arena Zarandeada</b>	3/4"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	# 4	66.1	65.7	65.4	65.0	64.7	64.4
	# 10	57.7	57.4	57.1	56.8	56.5	56.2
	< #10	176.2	175.3	174.4	173.4	172.5	171.6
<b>SUB TOTAL</b>	<b>300.0</b>	<b>298.4</b>	<b>296.9</b>	<b>295.3</b>	<b>293.8</b>	<b>292.2</b>	
<b>piedra 1/2" CRUSHING</b>	3/4"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1/2"	129.2	128.5	127.8	127.1	126.5	125.8
	3/8"	147.2	146.5	145.7	144.9	144.2	143.4
	# 4	78.6	78.2	77.8	77.4	77.0	76.6
	# 10	3.3	3.3	3.3	3.2	3.2	3.2
	< #10	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6
<b>SUB TOTAL</b>	<b>360.0</b>	<b>358.1</b>	<b>356.3</b>	<b>354.4</b>	<b>352.5</b>	<b>350.6</b>	
<b>piedra 3/4" CRUSHING</b>	3/4"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	# 4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	# 10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	< #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>	
		1200.0	1193.8	1187.5	1181.3	1175.0	1168.8
PEN 120/150		50.0	56.3	62.5	68.8	75.0	81.3
QUIMIBOND		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>TOTAL MUESTRA</b>		<b>1250.0</b>	<b>1250.0</b>	<b>1250.0</b>	<b>1250.0</b>	<b>1250.0</b>	<b>1250.0</b>

Fuente: Elaboración propia

### **Compactación de los especímenes**

Se limpia completamente el molde ensamblado y la cara del martillo compactador, se coloca un trozo de papel no absorbente cortado del tamaño de la base del molde antes de introducir la mezcla, luego se coloca la mezcla en el molde y se compacta 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en el centro del molde, luego de esto se procede a aplicar 75 golpes por cada cara con un martillo dispuesto para este ensayo de una altura de 18'' y se deja enfriar por el tiempo de 24 horas para poder ser ensayadas.

### **Ensayo de los especímenes**

Una vez que se realizó la compactación de los especímenes y se dejó enfriar es momento de realizar los ensayos correspondientes; para esto, primero es necesario tomar el peso y la medida de las alturas de cada briqueta, procediendo posteriormente a los ensayos de peso unitario, peso específico bulk, estabilidad, flujo, adherencia, etc.

Se realizaron 3 especímenes por cada porcentaje de contenido de asfalto; es decir, de 4.00% hasta 6.50% con una variación de 0.50%, los cuales se muestran en las Tablas N° 17, 18, 19, 20, 21 y 22: Resultados del ensayo Marshall para especímenes con contenido de asfalto desde 4.00% a 6.50%

**a. Especímenes con 4.00% de contenido de asfalto.**

*Tabla N° 17: Resultados del ensayo Marshall para especímenes con contenido de asfalto de 4.00%*

	BRIQUETAS	N.º	1	2	3
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	<b>4.00</b>	<b>4.00</b>	<b>4.00</b>
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > N° 4	%	40.32	40.32	40.32
3	Agregado fino en peso de la mezcla < N° 4	%	55.68	55.68	55.68
4	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cc	1.020	1.020	1.020
5	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cc	2.884	2.884	2.884
6	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cc	2.870	2.870	2.870
7	Peso de la briqueeta al aire	gr	1244.7	1246.5	1248.6
8	Peso de la briqueeta saturada	gr	1251.9	1251.4	1256.5
9	Peso de la briqueeta en agua	gr	759.4	765.0	758.8
10	Volumen de briqueeta + parafina	c.c.	492.5	486.4	497.7
11	Peso específico Bulk de la briqueeta	gr/cc	2.527	2.563	2.509
12	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cc	2.681	2.681	2.681
13	Vacíos (MTC E-505)	%	5.7	4.4	6.4
14	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cc	2.876	2.876	2.876
15	V.M.A.	%	15.6	14.5	16.3
16	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	63.3	69.5	60.5
17	Peso específico del agregado total	gr/cc	2.876	2.876	2.876
18	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	0.00	0.00	0.00
19	Cemento asfáltico efectivo	%	4.00	4.00	4.00
20	Flujo	mm	1.62	1.49	1.50
21	Estabilidad sin corregir	kg	930	921	913
22	Factor de estabilidad		1.00	1.00	1.00
23	Estabilidad corregida	kg	930	921	913
24	Estabilidad - Flujo	kg/cm	5743	6184	6084
25	Compactación, número de golpes por cara		75		

*Fuente: Elaboración propia según norma MTC E504*

**b. Especímenes con 4.50% de contenido de asfalto.**

*Tabla N° 18: Resultados del ensayo Marshall para especímenes con contenido de asfalto de 4.50%*

	BRIQUETAS	Nº	1	2	3
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	<b>4.50</b>	<b>4.50</b>	<b>4.50</b>
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > N° 4	%	40.11	40.11	40.11
3	Agregado fino en peso de la mezcla < N° 4	%	55.39	55.39	55.39
4	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cc	1.020	1.020	1.020
5	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cc	2.884	2.884	2.884
6	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cc	2.870	2.870	2.870
7	Peso de la briqueta al aire	gr	1249.3	1248.2	1248.6
8	Peso de la briqueta saturada	gr	1252.6	1251.1	1251.7
9	Peso de la briqueta en agua	gr	757.1	755.7	767.6
10	Volumen de briqueta + parafina	c.c.	495.5	495.4	484.1
11	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cc	2.521	2.520	2.579
12	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cc	2.660	2.660	2.660
13	Vacíos (MTC E-505)	%	5.2	5.3	3.0
14	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cc	2.876	2.876	2.876
15	V.M.A.	%	16.3	16.3	14.4
16	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	68.0	67.7	78.8
17	Peso específico del agregado total	gr/cc	2.878	2.878	2.878
18	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	0.03	0.03	0.03
19	Cemento asfáltico efectivo	%	4.47	4.47	4.47
20	Flujo	mm	1.88	1.87	1.90
21	Estabilidad sin corregir	kg	1016	990	1005
22	Factor de estabilidad		1.00	1.00	1.00
23	Estabilidad corregida	kg	1016	990	1005
24	Estabilidad - Flujo	kg/cm	5403	5293	5292
25	Compactación, número de golpes por cara		75		

*Fuente: Elaboración propia según norma MTC E504*

**c. Especímenes con 5.00% de contenido de asfalto.**

*Tabla N°19: Resultados del ensayo Marshall para especímenes con contenido de asfalto de 5.00%*

	BRIQUETAS	Nº	1	2	3
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	<b>5.00</b>	<b>5.00</b>	<b>5.00</b>
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > N° 4	%	39.90	39.90	39.90
3	Agregado fino en peso de la mezcla < N° 4	%	55.10	55.10	55.10
4	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cc	1.020	1.020	1.020
5	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cc	2.884	2.884	2.884
6	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cc	2.870	2.870	2.870
7	Peso de la briquea al aire	gr	1249.6	1248.9	1248.6
8	Peso de la briquea saturada	gr	1251.7	1250.7	1249.5
9	Peso de la briquea en agua	gr	758.7	756.0	760.5
10	Volumen de briquea + parafina	c.c.	493.0	494.7	489.0
11	Peso específico Bulk de la briquea	gr/cc	2.535	2.525	2.553
12	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cc	2.641	2.641	2.641
13	Vacíos (MTC E-505)	%	4.0	4.4	3.3
14	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cc	2.876	2.876	2.876
15	V.M.A.	%	16.3	16.6	15.7
16	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	75.3	73.4	78.8
17	Peso específico del agregado total	gr/cc	2.882	2.882	2.882
18	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	0.08	0.08	0.08
19	Cemento asfáltico efectivo	%	4.93	4.93	4.93
20	Flujo	mm	2.38	2.39	2.73
21	Estabilidad sin corregir	kg	1125	1099	1114
22	Factor de estabilidad		1.00	1.00	1.00
23	Estabilidad corregida	kg	1125	1099	1114
24	Estabilidad - Flujo	kg/cm	4729	4596	4080
25	Compactación, número de golpes por cara		75		

*Fuente: Elaboración propia según norma MTC E504*

**d. Especímenes con 5.50% de contenido de asfalto.**

*Tabla N° 20: Resultados del ensayo Marshall para especímenes con contenido de asfalto de 5.50%*

	BRIQUETAS	Nº	1	2	3
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	<b>5.50</b>	<b>5.50</b>	<b>5.50</b>
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > N° 4	%	39.69	39.69	39.69
3	Agregado fino en peso de la mezcla < N° 4	%	54.81	54.81	54.81
4	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cc	1.020	1.020	1.020
5	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cc	2.884	2.884	2.884
6	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cc	2.870	2.870	2.870
7	Peso de la briqueeta al aire	gr	1249.6	1249.2	1249.3
8	Peso de la briqueeta saturada	gr	1250.7	1251.3	1250.5
9	Peso de la briqueeta en agua	gr	758.8	756.4	758.8
10	Volumen de briqueeta + parafina	c.c.	491.9	494.9	491.7
11	Peso específico Bulk de la briqueeta	gr/cc	2.540	2.524	2.541
12	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cc	2.616	2.616	2.616
13	Vacíos (MTC E-505)	%	2.9	3.5	2.9
14	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cc	2.876	2.876	2.876
15	V.M.A.	%	16.5	17.1	16.5
16	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	82.5	79.4	82.6
17	Peso específico del agregado total	gr/cc	2.878	2.878	2.878
18	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	0.03	0.03	0.03
19	Cemento asfáltico efectivo	%	5.47	5.47	5.47
20	Flujo	mm	3.16	3.34	3.20
21	Estabilidad sin corregir	kg	1052	1048	1042
22	Factor de estabilidad		1.00	1.00	1.00
23	Estabilidad corregida	kg	1052	1048	1042
24	Estabilidad - Flujo	kg/cm	3330	3137	3255
25	Compactación, número de golpes por cara		75		

*Fuente: Elaboración propia según norma MTC E504*

**e. Especímenes con 6.00% de contenido de asfalto.**

*Tabla N° 21: Resultados del ensayo Marshall para especímenes con contenido de asfalto de 6.00%*

	BRIQUETAS	Nº	1	2	3
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	<b>6.00</b>	<b>6.00</b>	<b>6.00</b>
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > N° 4	%	39.48	39.48	39.48
3	Agregado fino en peso de la mezcla < N° 4	%	54.52	54.52	54.52
4	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cc	1.020	1.020	1.020
5	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cc	2.884	2.884	2.884
6	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cc	2.870	2.870	2.870
7	Peso de la briquea al aire	gr	1249.6	1248.6	1249.5
8	Peso de la briquea saturada	gr	1251.8	1251.1	1251.3
9	Peso de la briquea en agua	gr	752.9	758.6	758.8
10	Volumen de briquea + parafina	c.c.	498.9	492.5	492.5
11	Peso específico Bulk de la briquea	gr/cc	2.505	2.535	2.537
12	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cc	2.580	2.580	2.580
13	Vacios (MTC E-505)	%	2.9	1.7	1.7
14	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cc	2.876	2.876	2.876
15	V.M.A.	%	18.1	17.1	17.1
16	Vacios llenos con cemento asfáltico	%	83.9	89.9	90.3
17	Peso específico del agregado total	gr/cc	2.859	2.859	2.859
18	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	-0.21	-0.21	-0.21
19	Cemento asfáltico efectivo	%	6.20	6.20	6.20
20	Flujo	mm	3.93	3.98	4.16
21	Estabilidad sin corregir	kg	916	893	905
22	Factor de estabilidad		1.00	1.00	1.00
23	Estabilidad corregida	kg	916	893	905
24	Estabilidad - Flujo	kg/cm	2332	2243	2174
25	Compactación, número de golpes por cara		75		

*Fuente: Elaboración propia según norma MTC E504*

**f. Especímenes con 6.50% de contenido de asfalto.**

*Tabla N° 22: Resultados del ensayo Marshall para especímenes con contenido de asfalto de 6.50%*

	BRIQUETAS	Nº	1	2	3
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	<b>6.50</b>	<b>6.50</b>	<b>6.50</b>
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > N° 4	%	39.27	39.27	39.27
3	Agregado fino en peso de la mezcla < N° 4	%	54.23	54.23	54.23
4	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cc	1.020	1.020	1.020
5	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cc	2.884	2.884	2.884
6	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cc	2.870	2.870	2.870
7	Peso de la briqueeta al aire	gr	1248.0	1249.6	1249.4
8	Peso de la briqueeta saturada	gr	1249.6	1251.7	1250.8
9	Peso de la briqueeta en agua	gr	753.3	753.9	754.7
10	Volumen de briqueeta + parafina	c.c.	496.3	497.8	496.1
11	Peso específico Bulk de la briqueeta	gr/cc	2.515	2.510	2.518
12	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cc	2.560	2.560	2.560
13	Vacios (MTC E-505)	%	1.8	1.9	1.6
14	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cc	2.876	2.876	2.876
15	V.M.A.	%	18.2	18.4	18.1
16	Vacios llenos con cemento asfáltico	%	90.3	89.4	91.0
17	Peso específico del agregado total	gr/cc	2.860	2.860	2.860
18	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	-0.19	-0.19	-0.19
19	Cemento asfáltico efectivo	%	6.68	6.68	6.68
20	Flujo	mm	4.80	4.79	4.59
21	Estabilidad sin corregir	kg	793	812	762
22	Factor de estabilidad		1.00	1.00	1.00
23	Estabilidad corregida	kg	793	812	762
24	Estabilidad - Flujo	kg/cm	1652	1696	1660
25	Compactación, número de golpes por cara		75		

*Fuente: Elaboración propia según norma MTC E504*

## Determinación del óptimo contenido de asfalto

Una vez que se ha obtenido los resultados de los ensayos por cada contenido de asfalto, se realizan gráficos para analizar y determinar el óptimo contenido de asfalto; es en base a este óptimo contenido de asfalto que se inicia el proceso de adición de cenizas orgánicas como filler obtenido inicialmente de material propio zarandeado, es cambiado con filler obtenido de las cenizas orgánicas producto de la quema de eucaliptos en los hornos de las ladrilleras artesanales.

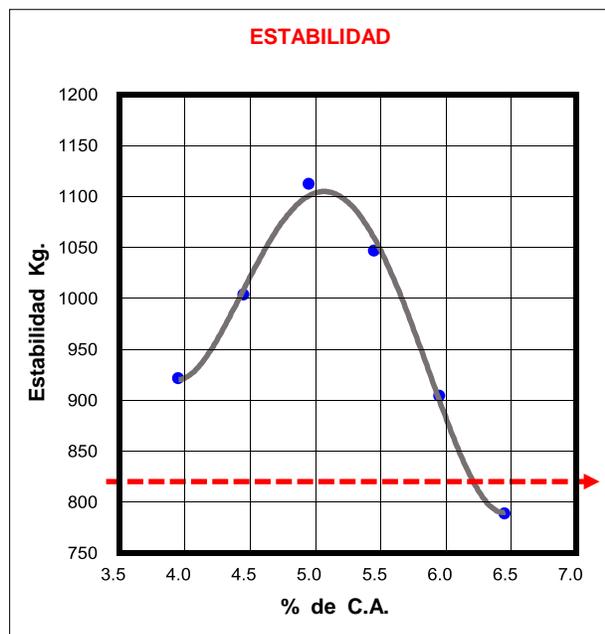


Figura N° 11: Estabilidad.

En la Figura N° 11, estabilidad de Marshall, se presenta, en el eje "x", el porcentaje de cemento asfáltico que se usó para la elaboración de cada espécimen y en el eje "y" se presenta el promedio de la estabilidad obtenida por cada grupo de tres especímenes en kilogramos.

De acuerdo a la Tabla N° 9, la estabilidad mínima que se requiere según las Especificaciones Generales EG-2013 es de 8.15 kN o su equivalente 815.0 kg, representado en la Figura N° 11 por la línea horizontal entrecortada de color rojo.

De la Figura N° 11, se interpreta que los especímenes que contienen el 5.00% de cemento asfáltico son los que tienen mayor estabilidad y por consiguiente sería el contenido óptimo de asfalto hasta el momento; con la misma evaluación, descartamos los especímenes con contenido de asfalto de 6.50% por tener estabilidad por debajo del mínimo.

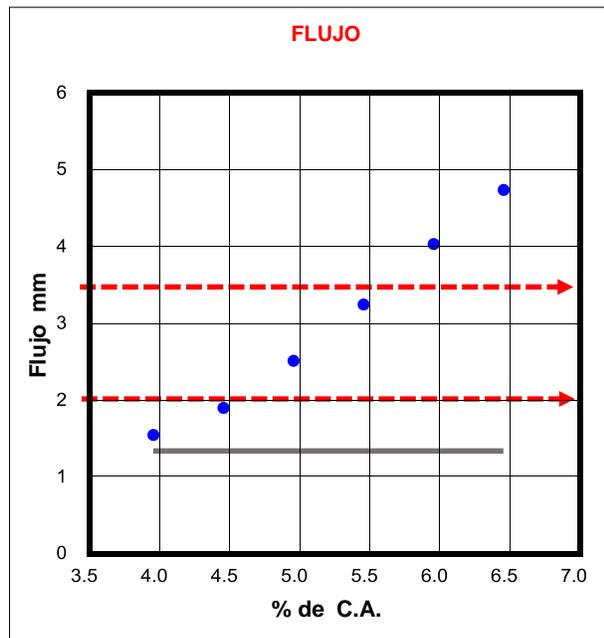


Figura N° 12: Flujo.

En la Figura N° 12, podemos observar en el eje “x” el porcentaje de cemento asfáltico empleado para cada grupo de especímenes y en el eje “y” el resultado de flujo promedio de cada grupo de especímenes medido en milímetros.

De acuerdo a la Tabla N° 9, el flujo debe estar comprendido entre los valores de 2 mm como mínimo y 3.5 mm como máximo, de acuerdo a las Especificaciones Generales EG-2013, estos valores se representan en el gráfico con las líneas entrecortadas de color rojo.

Podemos interpretar de la Figura N° 12 que los promedios de los especímenes elaborados con 4.00% y 4.50% de cemento asfáltico no son aceptables, ya que el flujo que tienen como resultado está por debajo del mínimo aceptable, de igual manera los especímenes realizados con 6.00% y 6.50% de cemento asfáltico no se aceptan por superar el máximo flujo

aceptable, así tenemos que los especímenes que cumplen con el requerimiento de flujo, según la Figura N° 12, son los especímenes elaborados con 5.00% y 5.50% de cemento asfáltico, siendo los de 5.00% los más económicos.

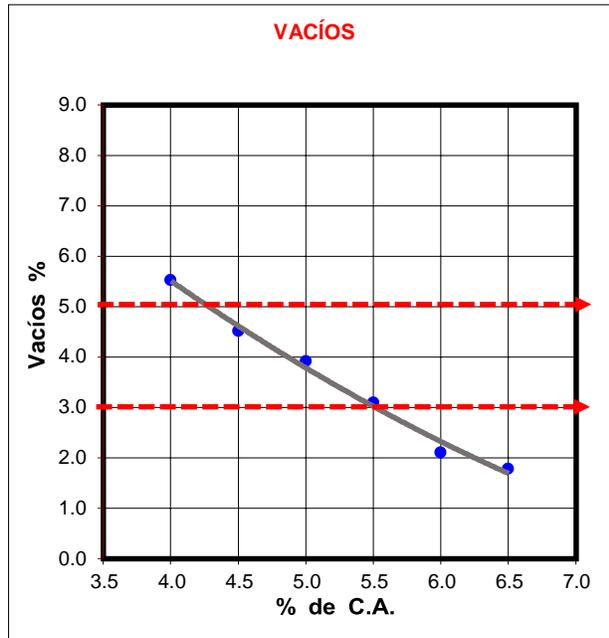


Figura N° 13: Porcentaje de Vacíos con aire.

En la Figura N° 13, podemos ver en el eje “x” el porcentaje de cemento asfáltico empleado para cada grupo de especímenes y en el eje “y” observamos el porcentaje de vacíos con aire, el cual, según la Tabla N° 9, debe estar comprendido entre 3.00% y 5.00%, estos límites se muestran en la Figura N° 13 representado por las líneas entrecortadas de color rojo.

Los especímenes que cumplen con estar dentro de los límites establecidos por la norma especificaciones generales EG-2013, son los especímenes elaborados con 4.50%, 5.00% y 5.50% de contenido de cemento asfáltico; sin embargo, para un porcentaje de vacíos óptimo de 4.00%, se tiene un óptimo contenido de asfalto de 4.80%.

Relacionando la presente figura con las figuras anteriores, podemos determinar que el contenido óptimo de asfalto es de 4.80%, ya que los

especímenes elaborados con este contenido de cemento asfáltico vienen cumpliendo con los requerimientos exigidos.

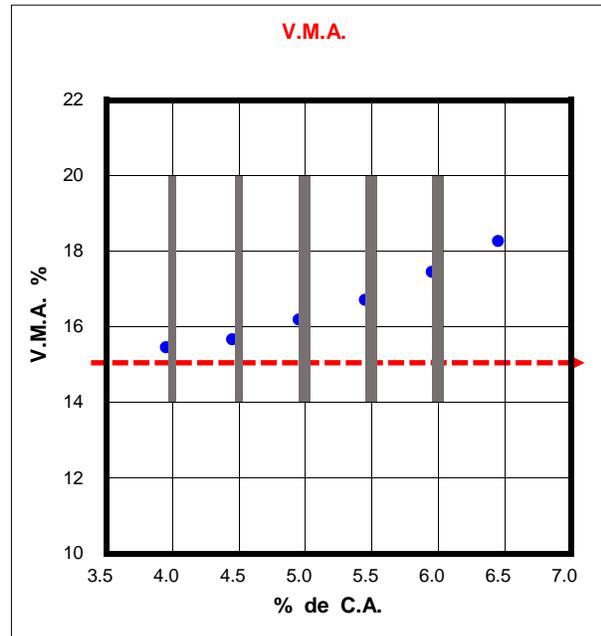
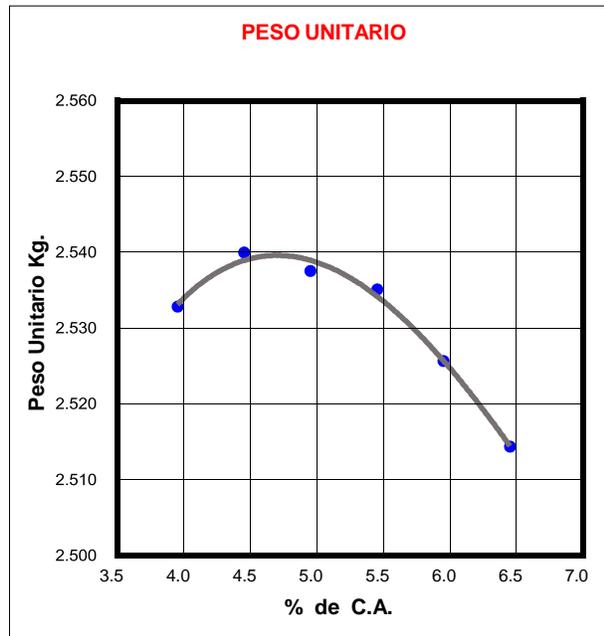


Figura N° 14: Porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral VMA

En la Figura N° 14, podemos observar el porcentaje de vacíos en el agregado mineral en función del porcentaje de cemento asfáltico que contienen los especímenes, de acuerdo a la Tabla N° 10, establecemos el porcentaje mínimo de vacíos en el agregado mineral, el cual es de 15% en función del tamaño máximo nominal del agregado, el cual es de 1/2"; este límite inferior está representado en la figura por la línea entrecortada de color rojo.

Podemos observar que todos los especímenes cumplen con tener un porcentaje de vacíos en el agregado mineral mayor a lo que establece la norma de especificaciones generales EG-2013; sin embargo, contrastando los resultados de la presente figura con los de las figuras presentadas anteriormente se determina que se mantiene los especímenes con 4.80% de contenido de cemento asfáltico como el óptimo contenido de asfalto.



*Figura N° 15: Peso Unitario*

En la Figura N° 15, podemos observar el peso unitario en función del porcentaje de cemento asfáltico que contiene los especímenes; respecto del peso unitario no existe ningún límite inferior ni superior dentro de la norma de Especificaciones Generales EG-2013, por lo cual se asume que mientras más alto sea el valor del peso unitario es mejor.

Se puede observar que el valor más alto del peso unitario se obtiene al añadir un 4.50% de cemento asfáltico a la mezcla; sin embargo, de acuerdo a las consideraciones y restricciones anteriores, no se puede usar este valor, siendo entonces el valor óptimo del contenido de asfalto los especímenes de 4.80% de contenido de cemento asfáltico.

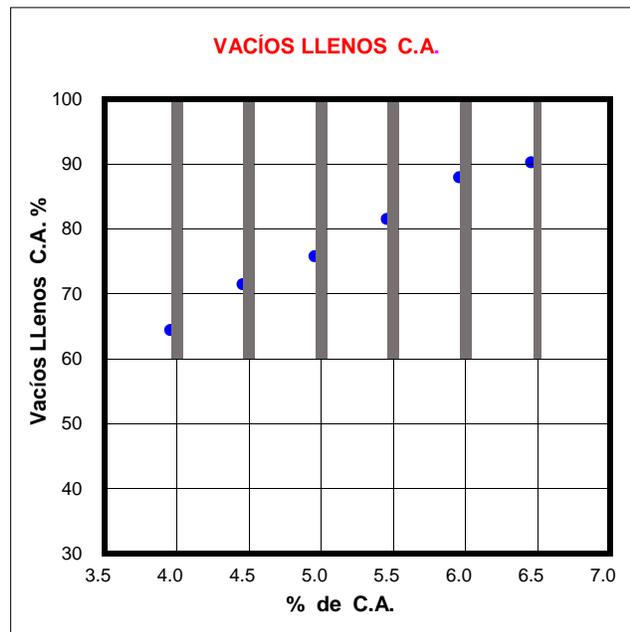


Figura N° 16: Porcentaje de vacíos llenos de Cemento Asfáltico.

De la Figura N° 16, se puede observar en el eje “x” el porcentaje de adición de cemento asfáltico y en el eje “y” los vacíos de la mezcla asfáltica que están llenos con cemento asfáltico; para este caso, la norma EG-2013 es la norma guía en la elaboración de pavimentos flexibles, no tiene un valor límite ni inferior ni superior, por lo que se mantiene el valor de 4.80% como valor óptimo de contenido de cemento asfáltico.

Tabla N° 23: Resumen de Resultados, Óptimo contenido de asfalto

	ÓPTIMO % C.A.	ESPECIFICACIÓN
<b>GOLPES POR LADO</b>	<b>75</b>	<b>75</b>
<b>CEMENTO ASFÁLTICO</b>	<b>4.80</b>	<b>(+/- 0.2%)</b>
<b>PESO UNITARIO</b>	<b>2.538</b>	
<b>VACÍOS</b>	<b>4.1</b>	<b>3 – 5 %</b>
<b>V.M.A.</b>	<b>16.0</b>	<b>Mín. 14%</b>
<b>VACÍOS LLENOS CON C.A.</b>	<b>74.4</b>	
<b>FLUJO</b>	<b>2.39</b>	<b>2 – 3.5 mm</b>
<b>ESTABILIDAD</b>	<b>1067</b>	<b>Mín. 815 kg</b>
<b>Finos / Ligante</b>	<b>1.11</b>	<b>0.6 - 1.3</b>

Fuente: Elaboración propia.

### Adherencia de la muestra patrón sin adición de cenizas

Una vez que se ha determinado la muestra patrón y se ha obtenido el valor del óptimo contenido de asfalto, se procede a realizar el ensayo de adherencia en bandeja de acuerdo a lo que estipula el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en la norma MTC E-520. Los resultados de este ensayo sirven como base para posteriormente evaluar el efecto que se produce al añadir las cenizas orgánicas al cemento asfáltico en porcentajes diferentes de manera creciente como un aditivo mejorador de adherencia.

*Tabla N° 24: Resultados de ensayo de adherencia en bandeja para muestra patrón sin adición de Cenizas Orgánicas*

%	ÍTEM	%	MUESTRA	0%- 25%	25%- 75%	75%- 100%	DÍA 4	OBSERVACIONES
			UND.	0	1	2	24 hrs.	ADHERENCIA EN BANDEJA
0	1	0	Band.- 01	17	28	5	38%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
0	2		Band.- 02	17	27	6	39%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
0	3		Band.- 03	22	21	7	36%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS

*Fuente: Elaboración propia*

De la tabla anterior, podemos notar que las mezclas que se realizaron con cemento asfáltico sin adición de cenizas orgánicas mantienen una adherencia promedio de 38%.

Los valores de adherencia mostrados servirán como punto de partida para poder evaluar la influencia de la ceniza orgánica al ser añadida al cemento asfáltico en porcentajes crecientes hasta llegar al 10% de adición.

#### **3.5.4. Adición de cenizas orgánicas como filler**

Previamente, se determinó en 4.80 % el óptimo contenido de cemento asfáltico para la mezcla, siendo este diseño la base para continuar con la investigación y también indispensable, ya que a partir de nuestro diseño patrón podemos analizar el cambio que ocurre en las propiedades mecánicas de la mezcla como resultado de adicionar el filler que se propone como alternativa ecológica que es cenizas orgánicas producto de la combustión de la madera de eucalipto en los hornos de cocción de ladrillos artesanales de la ciudad de Huancayo.

Para la adición de la ceniza orgánica como filler, se tiene en cuenta que mientras más pequeñas sean las variaciones del porcentaje de adición de cenizas los resultados serán más representativos y más objetivos, es por esta razón que se ha realizado las muestras con adición de cenizas orgánicas con una variación de 0.25% hasta llegar a 1.00% y posteriormente de 0.5% de variación hasta llegar al 5.00% de adición de cenizas. Los resultados se muestran en el capítulo siguiente.

#### **3.6. Procesamiento y análisis estadístico de los datos.**

El procesamiento de los datos de estudio con respecto a la influencia que genera las cenizas orgánicas en la mezcla asfáltica en caliente se realizó mediante el programa IBM SPSS Statistics y hojas de cálculo, para lo cual se utilizó la herramienta Office: Microsoft Excel, cuyos formatos contienen la información adecuada para cada uno de los ensayos realizados en la presente investigación. El análisis obtenido de los resultados de laboratorio se presentó a través de gráficos de curvas y gráficos de dispersión; también con la ayuda de Office se pudo obtener los indicadores de la presente investigación.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

#### **4.1. Resultados**

##### **4.1.1. Influencia de las cenizas orgánicas en la estabilidad de la MAC**

La estabilidad es una de las propiedades mecánicas más importantes de la mezcla asfáltica en caliente, que permite determinar cuál es la carga máxima bajo la cual una briqueta cede o falla; por lo tanto, lo que se requiere en la mezcla asfáltica con adición de cenizas orgánicas como filler por cenizas orgánicas se propone que el valor de la estabilidad se incremente; es así que a continuación se presenta los resultados obtenidos en la Tabla N° 25: Resultados de la Estabilidad Marshall con adición de Cenizas Orgánicas.

Tabla N° 25: Resultados de la Estabilidad Marshall con adición de Cenizas Orgánicas

ÍTEM	%	MUESTRA	PESO SECO	PESO SSS	PESO SUM.	PESO ESPECIF. BULK	ESTABILIDAD	VOLUMEN	FACTOR	ESTAB. CORREGIDA
UND.			kg	kg	kg	kg/cm <sup>3</sup>	kg	cm <sup>3</sup>	-	kg
1	0	Prob.- 01	1250	1251.7	759	2.536	1110.80	492.70	1.00	1110.80
2		Prob.- 02	1249	1250.7	759	2.540	1095.30	491.70	1.00	1095.30
3		Prob.- 03	1249	1249.5	760	2.551	1071.80	489.50	1.00	1071.80
4	0.25	Prob.- 04	1248	1250.7	760	2.543	1115.20	490.70	1.00	1115.20
5		Prob.- 05	1246	1250	759	2.538	1091.10	491.00	1.00	1091.10
6		Prob.- 06	1248	1251	759	2.537	1079.90	492.00	1.00	1079.90
7	0.5	Prob.- 07	1250	1250.3	759	2.544	1181.20	491.30	1.00	1181.20
8		Prob.- 08	1247	1251.8	760	2.536	1171.90	491.80	1.00	1171.90
9		Prob.- 09	1249	1251	760	2.544	1146.70	491.00	1.00	1146.70
10	0.75	Prob.- 10	1247	1250.6	760	2.542	1234.80	490.60	1.00	1234.80
11		Prob.- 11	1248	1250.7	759	2.538	1201.50	491.70	1.00	1201.50
12		Prob.- 12	1249	1250	760	2.549	1188.70	490.00	1.00	1188.70
13	1	Prob.- 13	1249	1251	760	2.544	1201.40	491.00	1.00	1201.40
14		Prob.- 14	1248	1251.1	760	2.541	1215.50	491.10	1.00	1215.50
15		Prob.- 15	1246	1251.7	760	2.534	1187.50	491.70	1.00	1187.50
16	1.5	Prob.- 16	1247	1251.3	760	2.538	1247.40	491.30	1.00	1247.40
17		Prob.- 17	1250	1250.2	760	2.550	1256.00	490.20	1.00	1256.00
18		Prob.- 18	1246	1250.3	760	2.541	1210.60	490.30	1.00	1210.60
19	2	Prob.- 19	1248	1250.1	759	2.541	1216.90	491.10	1.00	1216.90
20		Prob.- 20	1248	1250.8	759	2.538	1248.50	491.80	1.00	1248.50
21		Prob.- 21	1250	1250.5	760	2.548	1227.00	490.50	1.00	1227.00

22	2.5	Prob.- 22	1249	1251.4	760	2.542	1218.00	491.40	1.00	1218.00
23		Prob.- 23	1248	1250.8	759	2.538	1235.40	491.80	1.00	1235.40
24		Prob.- 24	1247	1250.3	759	2.538	1243.70	491.30	1.00	1243.70
25	3	Prob.- 25	1247	1250.3	759	2.538	1248.40	491.30	1.00	1248.40
26		Prob.- 26	1247	1250	760	2.545	1262.20	490.00	1.00	1262.20
27		Prob.- 27	1249	1250.6	759	2.541	1215.70	491.60	1.00	1215.70
28	3.5	Prob.- 28	1249	1251.1	759	2.538	1221.30	492.10	1.00	1221.30
29		Prob.- 29	1248	1250.4	760	2.545	1227.00	490.40	1.00	1227.00
30		Prob.- 30	1248	1251.6	759	2.533	1190.10	492.60	1.00	1190.10
31	4	Prob.- 31	1250	1251	759	2.541	1186.40	492.00	1.00	1186.40
32		Prob.- 32	1248	1251	761	2.547	1194.20	490.00	1.00	1194.20
33		Prob.- 33	1249	1250.4	758	2.537	1222.90	492.40	1.00	1222.90
34	4.5	Prob.- 34	1246	1250.8	760	2.539	1201.00	490.80	1.00	1201.00
35		Prob.- 35	1250	1250.4	759	2.544	1218.80	491.40	1.00	1218.80
36		Prob.- 36	1249	1250.8	760	2.545	1220.70	490.80	1.00	1220.70
37	5	Prob.- 37	1250	1250.8	759	2.542	1202.70	491.80	1.00	1202.70
38		Prob.- 38	1247	1251.7	759	2.531	1215.60	492.70	1.00	1215.60
39		Prob.- 39	1249	1251.3	760	2.542	1226.00	491.30	1.00	1226.00

Fuente: Elaboración propia

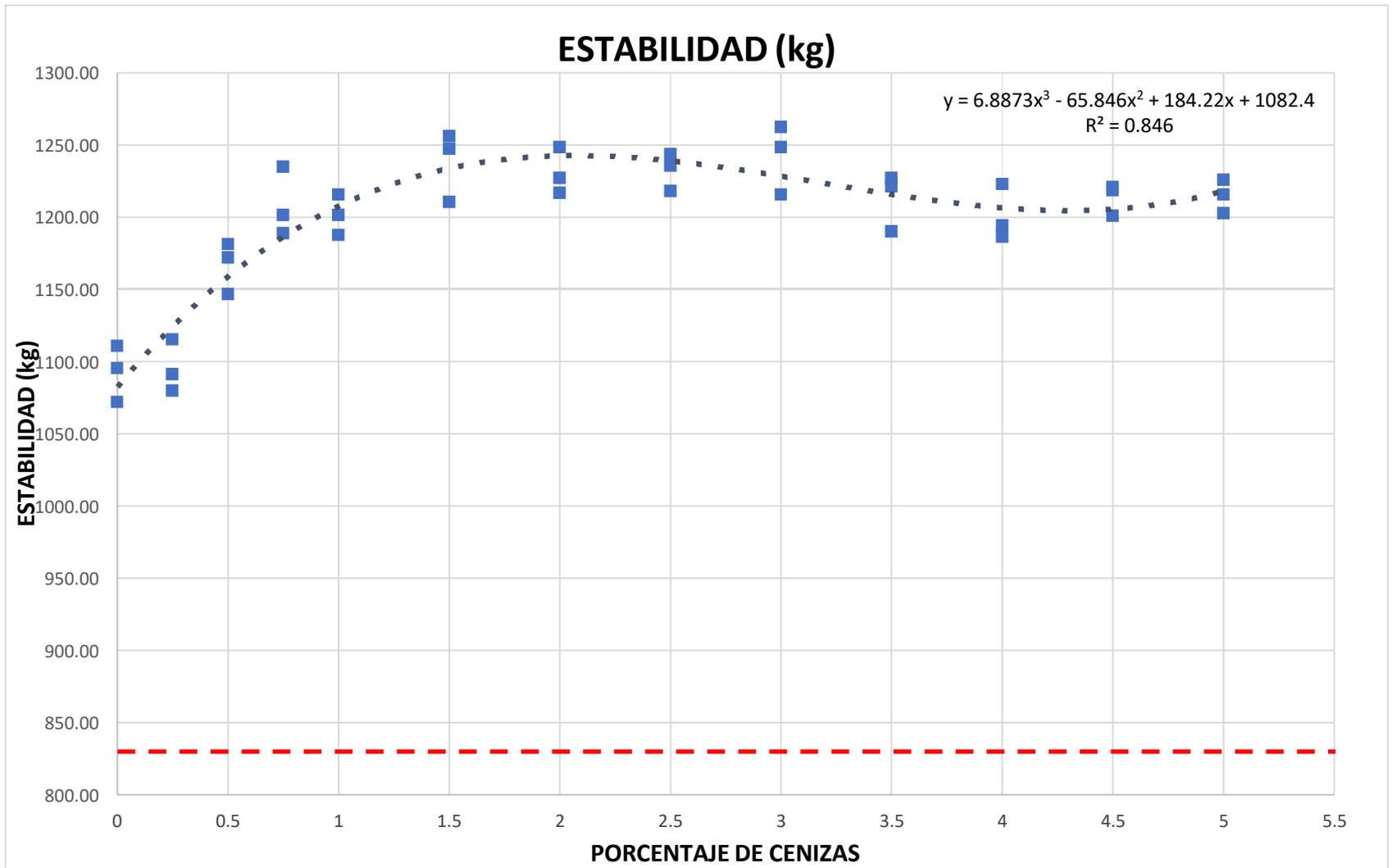


Figura N° 17: Resultados de la Estabilidad Marshall con adición de Cenizas Orgánicas

En la Figura N° 17, se presenta, mediante un gráfico, los resultados de los ensayos por cada grupo de tres especímenes para determinar con más exactitud la influencia que tiene la adición de las cenizas orgánicas, se realizan los ensayos con una variación de adición de cenizas de 0.25% hasta llegar a 1.00%, y luego una variación de 0.5% hasta llegar a 5.00%.

En la Figura N° 17, se puede observar que en todos los casos la estabilidad es mucho mayor al mínimo exigido por la norma de especificaciones generales EG-2013, pero debemos resaltar que el porcentaje con el cual se obtuvo una mayor estabilidad es de 2.00%, luego la curva cae con la adición de cenizas de hasta 4.00%, pero luego vuelve a subir con los porcentajes de 4.50% y 5.00%, lo que hace notar que con adiciones de cenizas mayores a 5.00% la estabilidad nuevamente se incrementa.

#### **4.1.2. Influencia de las cenizas orgánicas en el flujo de la MAC**

El flujo es otra de las principales propiedades mecánicas que analizaremos en el estudio. El flujo es el valor de la máxima deformación generada por la carga que se aplica a los especímenes.

El flujo, en conjunto con la estabilidad, determina si una mezcla asfáltica es una mezcla rígida o una mezcla flexible; así tenemos que si una mezcla tiene valores altos en estabilidad y bajos valores de flujo se considera una mezcla rígida; por el contrario, si una mezcla tiene valores bajos de estabilidad y valores altos de flujo se considera una mezcla flexible, es por eso que la norma Especificaciones Generales EG-2013 tiene valores mínimos y máximos para el flujo.

El flujo de la mezcla asfáltica se mide en centésimas de pulgada o en milímetros, siendo los límites establecidos por la norma de Especificaciones Generales EG-2013 de 2.00 mm como mínimo y 3.50 mm como máximo, se evalúa cuál es el efecto de la adición de cenizas orgánicas con variaciones de 0.25% de adición de cenizas orgánicas, los resultados obtenidos se observan en la Tabla N° 26, que se muestra a continuación.

Tabla N° 26: Resultados del Flujo Marshall con adición de Cenizas Orgánicas

ÍTEM	%	MUESTRA	%VACÍOS	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO	PESO ESPECÍFICO BULK DE AGREG.	% VMA	% VACÍOS LLENOS CON C.A.	FLUJO
UND.			%	kg/cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>3</sup>	%	%	mm
1	0	Prob.- 01	3.967	2.641	2.876	15.782	74.864	2.52
2		Prob.- 02	3.826	2.641	2.876	15.658	75.568	2.35
3		Prob.- 03	3.789	2.641	2.876	15.300	77.668	2.61
4	0.25	Prob.- 04	3.840	2.641	2.876	15.547	76.207	2.49
5		Prob.- 05	3.785	2.641	2.876	15.734	75.136	2.32
6		Prob.- 06	3.942	2.641	2.876	15.771	74.930	2.55
7	0.5	Prob.- 07	3.832	2.641	2.876	15.515	76.394	2.56
8		Prob.- 08	3.798	2.641	2.876	15.804	74.743	2.46
9		Prob.- 09	3.715	2.641	2.876	15.531	76.300	2.70
10	0.75	Prob.- 10	3.798	2.641	2.876	15.598	75.915	2.84
11		Prob.- 11	3.715	2.641	2.876	15.719	75.221	2.71
12		Prob.- 12	3.612	2.641	2.876	15.359	77.314	2.63
13	1	Prob.- 13	3.745	2.641	2.876	15.531	76.300	2.75
14		Prob.- 14	3.705	2.641	2.876	15.616	75.810	2.86
15		Prob.- 15	3.648	2.641	2.876	15.854	74.461	2.68
16	1.5	Prob.- 16	3.725	2.641	2.876	15.718	75.227	2.65
17		Prob.- 17	3.680	2.641	2.876	15.326	77.512	2.82
18		Prob.- 18	3.924	2.641	2.876	15.614	75.823	2.58
19	2	Prob.- 19	3.778	2.641	2.876	15.616	75.810	2.97
20		Prob.- 20	3.715	2.641	2.876	15.736	75.124	2.90
21		Prob.- 21	3.650	2.641	2.876	15.378	77.204	2.81

22	2.5	Prob.- 22	3.759	2.641	2.876	15.600	75.902	2.86
23		Prob.- 23	3.805	2.641	2.876	15.736	75.124	2.70
24		Prob.- 24	3.644	2.641	2.876	15.718	75.227	2.60
25	3	Prob.- 25	3.568	2.641	2.876	15.718	75.227	2.72
26		Prob.- 26	3.645	2.641	2.876	15.495	76.515	2.64
27		Prob.- 27	3.420	2.641	2.876	15.634	75.705	2.55
28	3.5	Prob.- 28	3.485	2.641	2.876	15.720	75.215	2.70
29		Prob.- 29	3.405	2.641	2.876	15.496	76.508	2.62
30		Prob.- 30	3.398	2.641	2.876	15.873	74.355	2.52
31	4	Prob.- 31	3.489	2.641	2.876	15.636	75.698	2.68
32		Prob.- 32	3.425	2.641	2.876	15.427	76.913	2.59
33		Prob.- 33	3.605	2.641	2.876	15.772	74.925	2.50
34	4.5	Prob.- 34	3.504	2.641	2.876	15.700	75.331	2.65
35		Prob.- 35	3.412	2.641	2.876	15.533	76.294	2.53
36		Prob.- 36	3.394	2.641	2.876	15.497	76.501	2.50
37	5	Prob.- 37	3.405	2.641	2.876	15.601	75.896	2.53
38		Prob.- 38	3.354	2.641	2.876	15.958	73.888	2.47
39		Prob.- 39	3.298	2.641	2.876	15.583	76.001	2.40

Fuente: Elaboración propia

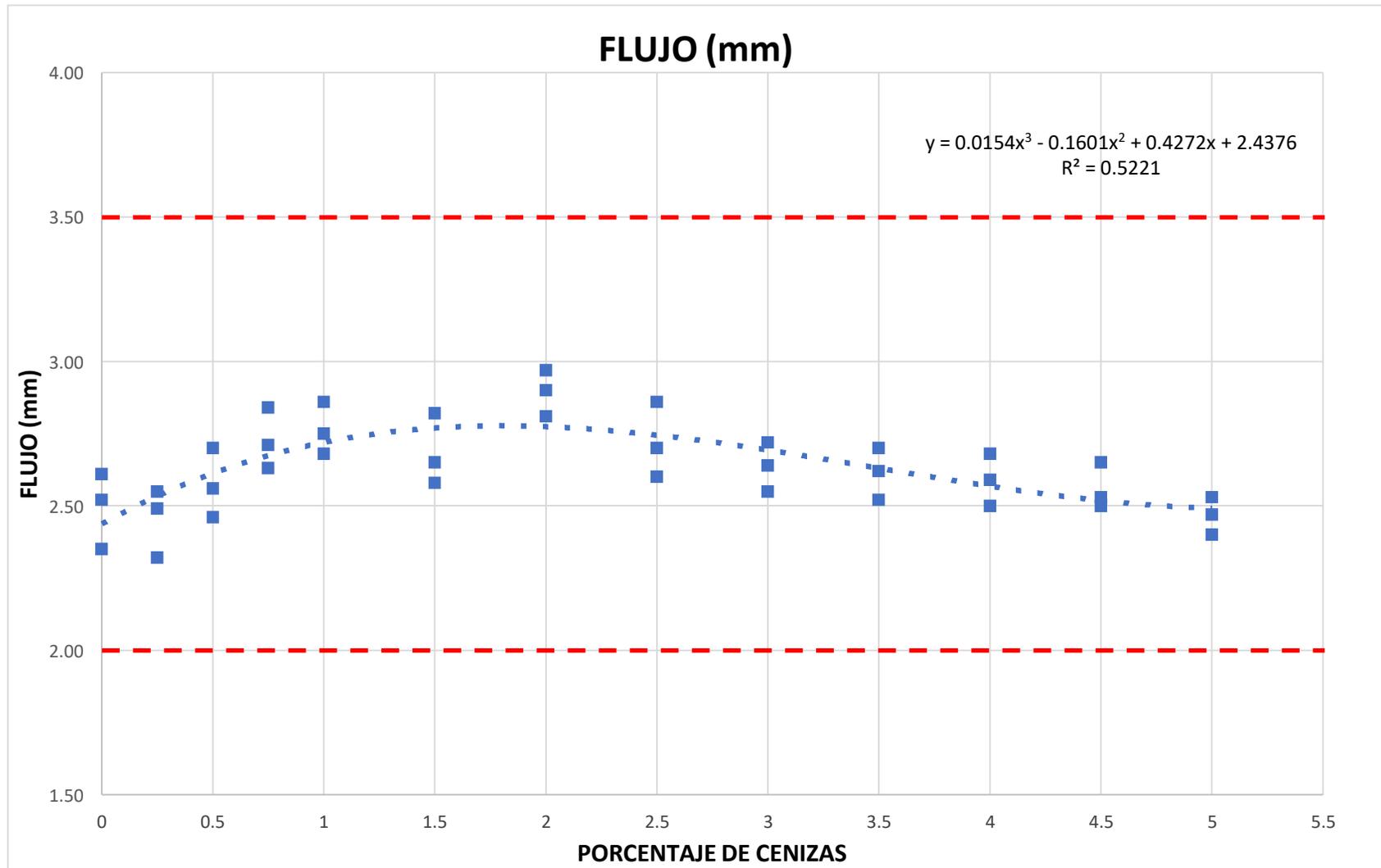


Figura N° 18: Resultados del Flujo Marshall con adición de Cenizas Orgánicas

En la Figura N° 18, se observa que todos los especímenes elaborados con la adición de cenizas orgánicas desde 0.25% hasta 5.00% cumplen el flujo dentro de los parámetros antes establecidos y que están determinados en el gráfico con líneas rojas entrecortadas, es así que podemos mantener la adición de 2.00% de cenizas orgánicas como la mejor opción hasta el momento.

Adicionalmente a los gráficos de estabilidad y flujo, también podemos comparar las demás propiedades mecánicas según las especificaciones generales EG-2013 como el porcentaje de vacíos y VMA con la adición de cenizas orgánicas, esto de los resultados obtenidos en la Tabla N° 26.

#### **4.1.3. Influencia de las cenizas orgánicas en la adherencia de la MAC**

La adherencia es una propiedad mecánica muy importante, ya que de lograrse una buena adherencia en la mezcla asfáltica esta puede incrementar notablemente la durabilidad de la carpeta de rodadura; en el presente estudio, además de las propiedades mecánicas que se analizaron mediante el método Marshall, también se determina la influencia que tienen las cenizas orgánicas en la adherencia de la mezcla asfáltica en caliente, pudiendo ser usadas como aditivos del asfalto obteniendo un asfalto modificado con mejores propiedades de adherencia.

El ensayo de adherencia a diferencia del ensayo de Marshall se realizó con una variación de porcentajes de adición de cenizas de 1.00%, partiendo de la muestra de control con 0.00% de adición hasta llegar al total de adición que es de 10.00%, esto debido a que se busca que los resultados sean más representativos y de esta manera podemos representarlos mejor en un gráfico.

Tabla N° 27: Resultados del porcentaje de Adherencia con adición de Cenizas Orgánicas.

ÍTEM	%	MUESTRA	0%-25%	25%-75%	75%-100%	DÍA 4	OBSERVACIONES
UND.			0	1	2	24 horas.	ADHERENCIA EN BANDEJA
1	0	Band.- 01	17	28	5	38%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
2		Band.- 02	17	27	6	39%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
3		Band.- 03	22	21	7	36%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
4	1	Band.- 04	29	13	8	39%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
5		Band.- 05	21	20	9	38%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
6		Band.- 06	23	17	10	37%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
7	2	Band.- 07	21	18	11	40%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
8		Band.- 08	26	12	12	36%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
9		Band.- 09	22	18	10	38%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
10	3	Band.- 10	20	18	12	42%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
11		Band.- 11	21	17	12	41%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
12		Band.- 12	21	19	10	39%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
13	4	Band.- 13	20	20	10	40%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
14		Band.- 14	21	17	12	41%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
15		Band.- 15	20	20	10	40%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
16	5	Band.- 16	16	26	8	42%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
17		Band.- 17	19	19	12	43%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
18		Band.- 18	20	17	13	43%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS

19	6	Band.- 19	24	11	15	41%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
20		Band.- 20	17	23	10	43%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
21		Band.- 21	18	20	12	44%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
22	7	Band.- 22	23	12	15	42%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
23		Band.- 23	20	15	15	45%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
24		Band.- 24	21	15	14	43%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
25	8	Band.- 25	22	14	14	42%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
26		Band.- 26	21	14	15	44%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
27		Band.- 27	21	17	12	41%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
28	9	Band.- 28	20	20	10	40%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
29		Band.- 29	22	13	15	43%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
30		Band.- 30	21	15	14	43%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
31	10	Band.- 31	16	24	10	44%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
32		Band.- 32	21	17	12	41%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS
33		Band.- 33	21	15	14	43%	SIN FRACTURA EN PARTÍCULAS

Fuente: Elaboración propia

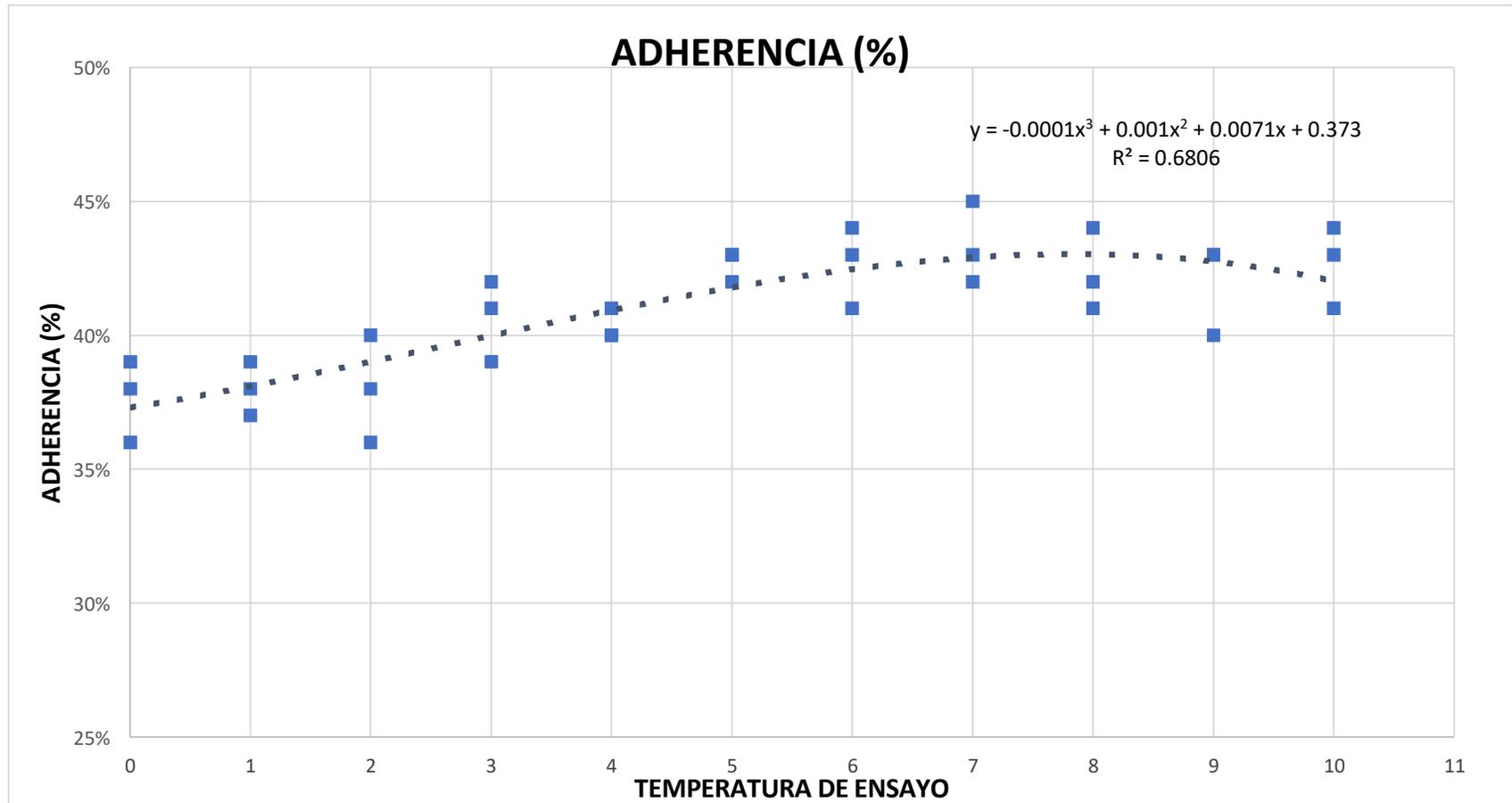


Figura N° 19: Resultados de Adherencia del agregado mineral con el cemento asfáltico

En la Figura N° 19, podemos observar que se obtuvo una mejora en la adherencia cuando se añade 7.00% de cenizas orgánicas al asfalto, estos resultados se obtuvieron de acuerdo al ensayo de adherencia en bandeja para agregados gruesos normado según MTC-E520.

Adicionalmente a las propiedades de estabilidad, flujo y adherencia, se muestran los resultados de otras propiedades físicas y las mejoras que se efectúan con el uso de las cenizas orgánicas como filler de la mezcla asfáltica.

De acuerdo a los valores obtenidos en la Tabla N° 26, se elabora la Figura N° 20, donde se observa que la adición de cenizas orgánicas en mayor cantidad disminuye el porcentaje de vacíos, se genera una pendiente negativa, esto es debido a que la ceniza orgánica es un material mucho más fino y por tanto más denso, por eso es necesario tener en consideración que al añadir cada vez más ceniza la curva de vacíos puede bajar de los límites permitidos.

De acuerdo a los valores obtenidos en la Tabla N° 26, se elabora la Figura N° 21, donde se observa que la adición de cenizas orgánicas tampoco ha generado una variación significativa, pero de igual manera todos los resultados de los especímenes ensayados son aceptables por encontrarse sobre el porcentaje mínimo de VMA requerido por la norma EG-2013.

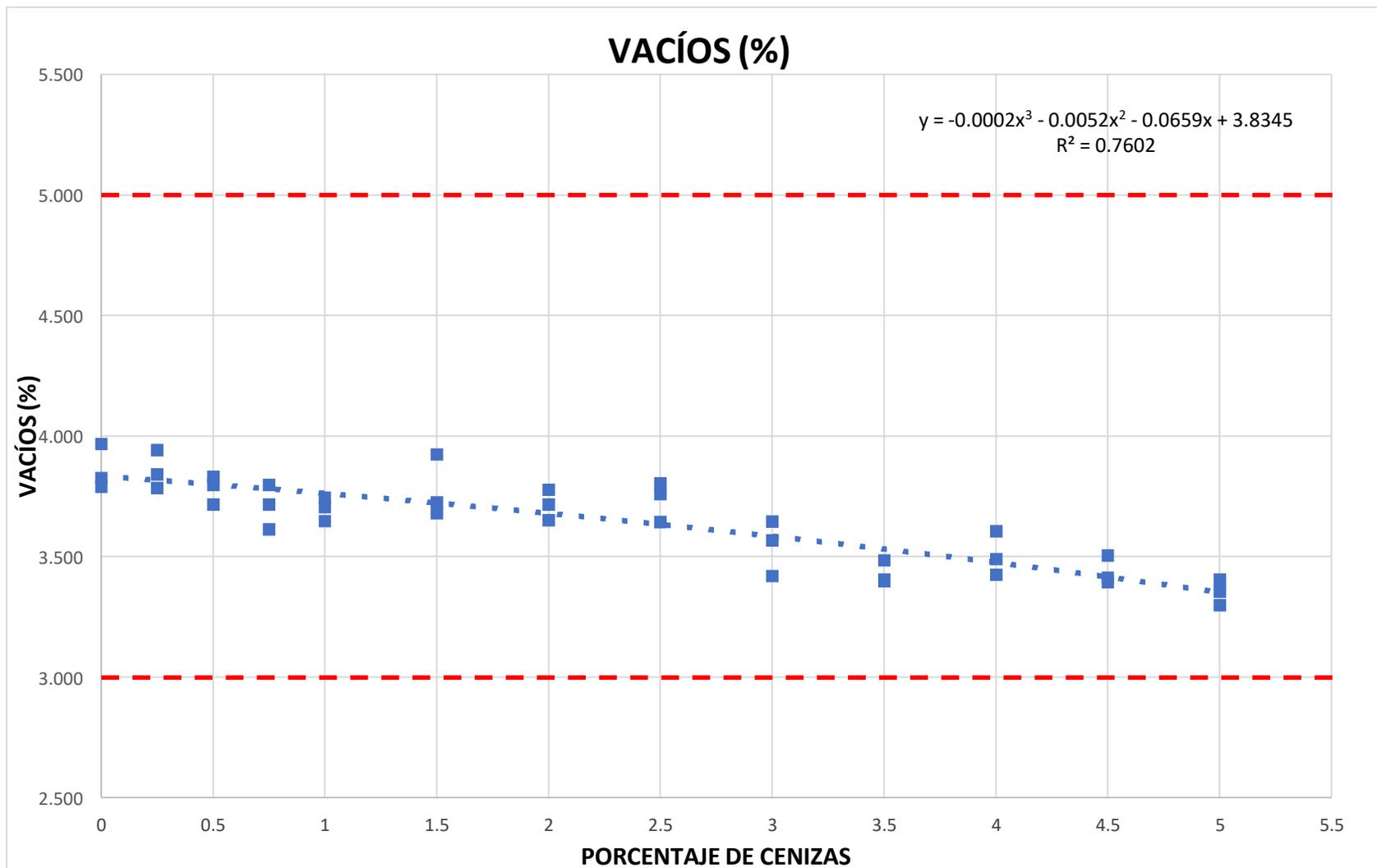


Figura N° 20: Resultados del porcentaje de vacíos con adición de Cenizas Orgánicas

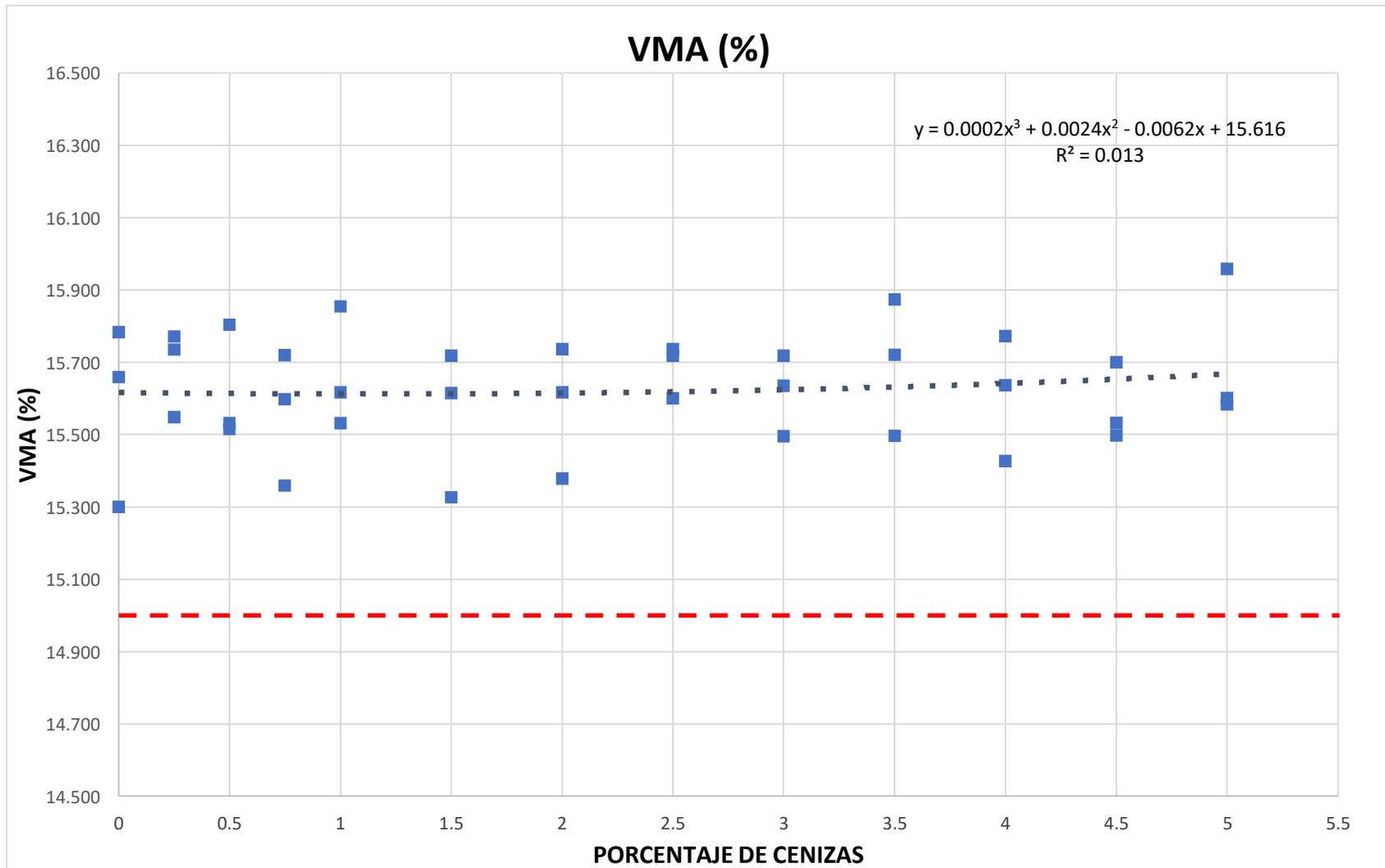


Figura N° 21: Resultados del porcentaje VMA con adición de Cenizas Orgánicas

## 4.2. Validación estadística de hipótesis

Para la validación estadística, partiremos de un diseño experimental para un nivel de investigación explicativo, así es que se desarrolla un diseño completamente al azar, en el que se consideran dos fuentes de variabilidad, los tratamientos y el error aleatorio, este es un método simple que se utiliza para comparar dos o más tratamientos.

### 4.2.1. Comprobación de hipótesis específica A

En la Tabla N° 28, se puede observar un diseño estadístico completamente al azar para los valores de la estabilidad Marshall. Este diseño compara 12 tratamientos diferentes, según el porcentaje de adición de cenizas orgánicas, cada uno de ellos con 3 muestras.

Tabla N° 28: Diseño estadístico completamente al azar para Estabilidad de Marshall

N° DE MUESTRAS	T0 (0.00% de C.O.)	T1 (0.25% de C.O.)	T2 (0.50% de C.O.)	T3 (0.75% de C.O.)	T4 (1.00% de C.O.)	T5 (1.50% de C.O.)	T6 (2.00% de C.O.)	T7 (2.50% de C.O.)	T8 (3.00% de C.O.)	T9 (3.50% de C.O.)	T10 (4.00% de C.O.)	T11 (4.50% de C.O.)	T12 (5.00% de C.O.)
1	1110.80	1115.20	1181.20	1234.80	1201.40	1247.40	1216.90	1218.00	1248.40	1221.30	1186.40	1201.00	1202.70
2	1095.30	1091.10	1171.90	1201.50	1215.50	1256.00	1248.50	1235.40	1262.20	1227.00	1194.20	1218.80	1215.60
3	1071.80	1079.90	1146.70	1188.70	1187.50	1210.60	1227.00	1243.70	1215.70	1190.10	1222.90	1220.70	1226.00
Total $\sum X_i$	3277.90	3286.20	3499.80	3625.00	3604.40	3714.00	3692.40	3697.10	3726.30	3638.40	3603.50	3640.50	3644.30
Media $\bar{X}_i$	1092.63	1095.40	1166.60	1208.33	1201.47	1238.00	1230.80	1232.37	1242.10	1212.80	1201.17	1213.50	1214.77

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al diseño estadístico de la Tabla N° 28, podemos obtener el análisis de varianza ANOVA para contrastar las siguientes hipótesis:

**H<sub>0</sub>:** La adición de ceniza orgánica como filler no mejora la estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente.

**H<sub>i</sub>:** La adición de ceniza orgánica como filler mejora significativamente la estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente.

Tabla N° 29: ANOVA para la estabilidad de las mezclas asfálticas en caliente.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Estabilidad	Entre grupos	87723.76	12.00	7310.31	21.62	0.00
	Dentro de grupos	8789.40	26.00	338.05		
	Total	96513.16	38.00			

Fuente: Elaboración propia con software IBM SPSS Statistics.

Según el análisis de varianza, el valor de  $F=21.62$  y el valor de significancia= $0.00$ ; con 12 grados de libertad de tratamiento y 26 grados de libertad dentro de grupos, se observa que existe diferencia estadística significativa entre las medias de los tratamientos a un nivel de significancia  $\alpha=0.05$ , por lo que existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula e inferir que la adición de cenizas orgánicas en la mezcla asfáltica en caliente de las muestras son diferentes y significativas, aceptándose la hipótesis alterna planteada ( $H_i$ ).

Además, se compara los grupos de análisis con la prueba post hoc de Tukey, tal como se muestra en la Tabla N° 30.

Tabla N° 30: Prueba Tukey para la estabilidad de las mezclas asfálticas en caliente

		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
MAC convencional	MAC con 0.25 % de ceniza orgánica	-2.77	15.01	1.00	-57.32	51.79
	MAC con 0.5 % de ceniza orgánica	-73.97*	15.01	0.00	-128.52	-19.41
	MAC con 0.75 % de ceniza orgánica	-115.70*	15.01	0.00	-170.26	-61.14
	MAC con 1 % de ceniza orgánica	-108.83*	15.01	0.00	-163.39	-54.28
	MAC con 1.5 % de ceniza orgánica	-145.37*	15.01	0.00	-199.92	-90.81
	MAC con 2 % de ceniza orgánica	-138.17*	15.01	0.00	-192.72	-83.61
	MAC con 2.5 % de ceniza orgánica	-139.73*	15.01	0.00	-194.29	-85.18
	MAC con 3 % de ceniza orgánica	-149.47*	15.01	0.00	-204.02	-94.91
	MAC con 3.5 % de ceniza orgánica	-120.17*	15.01	0.00	-174.72	-65.61
	MAC con 4 % de ceniza orgánica	-108.53*	15.01	0.00	-163.09	-53.98
	MAC con 4.5 % de ceniza orgánica	-120.87*	15.01	0.00	-175.42	-66.31
	MAC con 5 % de ceniza orgánica	-122.13*	15.01	0.00	-176.69	-67.58

\* La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Fuente: Elaboración propia con software IBM SPSS Statistics.

Según la Tabla N° 30, se tiene la comparación entre la mezcla asfáltica convencional con las mezclas asfálticas modificadas con ceniza orgánica como filler, siendo así que la mezcla asfáltica con 0.25 % de ceniza orgánica no difiere de la mezcla convencional pues presenta una significancia de 1.00; no obstante, con los demás grupos de análisis sí se presenta una diferencia significativa, pues el nivel de significancia obtenido es menor a 0.05, lo cual representa que existe evidencia que el contenido de ceniza orgánica como filler modifica la estabilidad de las mezclas asfálticas en caliente.

En conclusión, se afirma que la adición de cenizas orgánicas en porcentajes de 0.5% al 5%; influye en la estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente.

#### 4.2.2. Comprobación de hipótesis específica B

En la Tabla N° 31, se puede observar un diseño estadístico completamente al azar para los valores de flujo Marshall. Este diseño compara 12 tratamientos diferentes, según el porcentaje de adición de cenizas orgánicas, cada uno de ellos con 3 muestras.

Tabla N° 31: Diseño estadístico completamente al azar para Flujo Marshall

N° DE MUESTRAS	T0 (0.00% de C.O.)	T1 (0.25% de C.O.)	T2 (0.50% de C.O.)	T3 (0.75% de C.O.)	T4 (1.00% de C.O.)	T5 (1.50% de C.O.)	T6 (2.00% de C.O.)	T7 (2.50% de C.O.)	T8 (3.00% de C.O.)	T9 (3.50% de C.O.)	T10 (4.00% de C.O.)	T11 (4.50% de C.O.)	T12 (5.00% de C.O.)
1	2.52	2.49	2.56	2.84	2.75	2.65	2.97	2.86	2.72	2.70	2.68	2.65	2.53
2	2.35	2.32	2.46	2.71	2.86	2.82	2.90	2.70	2.64	2.62	2.59	2.53	2.47
3	2.61	2.55	2.70	2.63	2.68	2.58	2.81	2.60	2.55	2.52	2.50	2.50	2.40
Total $\sum X_i$	7.48	7.36	7.72	8.18	8.29	8.05	8.68	8.16	7.91	7.84	7.77	7.68	7.40
Media $X_i$	2.49	2.45	2.57	2.73	2.76	2.68	2.89	2.72	2.64	2.61	2.59	2.56	2.47

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al diseño estadístico de la Tabla N° 31, podemos obtener el análisis de varianza ANOVA para contrastar las siguientes hipótesis:

**H<sub>0</sub>:** La adición de ceniza orgánica como filler no mejora el flujo de la mezcla asfáltica en caliente.

**H<sub>i</sub>:** La adición de ceniza orgánica como filler mejora significativamente el flujo de la mezcla asfáltica en caliente.

Tabla N° 32: ANOVA para el flujo de las mezclas asfálticas en caliente.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Flujo	Entre grupos	0.58	12.00	0.05	4.55	0.00
	Dentro de grupos	0.28	26.00	0.01		
	Total	0.86	38.00			

Fuente: Elaboración propia con software IBM SPSS Statistics.

Según el análisis de varianza, el valor de  $F=4.55$  y el valor de significancia= $0.00$ ; con 12 grados de libertad de tratamiento y 26 grados de libertad dentro de grupos, se observa que existe diferencia estadística significativa entre las medias de los tratamientos a un nivel de significancia  $\alpha=0.05$ , por lo que existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula

e inferir que la adición de cenizas orgánicas en la mezcla asfáltica en caliente de las muestras son diferentes y significativas, aceptándose la hipótesis alterna planteada (Hi).

Además, se compara los grupos de análisis con la prueba post hoc de Tukey, tal como se muestra en la Tabla N° 33.

Tabla N° 33: Prueba Tukey para el flujo de las mezclas asfálticas en caliente

		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
MAC convencional	MAC con 0.25 % de ceniza orgánica	0.04	0.08	1.00	-0.27	0.35
	MAC con 0.5 % de ceniza orgánica	-0.08	0.08	1.00	-0.39	0.23
	MAC con 0.75 % de ceniza orgánica	-0.23	0.08	0.27	-0.54	0.07
	MAC con 1 % de ceniza orgánica	-0.27	0.08	0.12	-0.58	0.04
	MAC con 1.5 % de ceniza orgánica	-0.19	0.08	0.56	-0.50	0.12
	MAC con 2 % de ceniza orgánica	-0.40*	0.08	0.00	-0.71	-0.09
	MAC con 2.5 % de ceniza orgánica	-0.23	0.08	0.31	-0.53	0.08
	MAC con 3 % de ceniza orgánica	-0.14	0.08	0.88	-0.45	0.16
	MAC con 3.5 % de ceniza orgánica	-0.12	0.08	0.96	-0.43	0.19
	MAC con 4 % de ceniza orgánica	-0.10	0.08	0.99	-0.40	0.21
	MAC con 4.5 % de ceniza orgánica	-0.07	0.08	1.00	-0.37	0.24
	MAC con 5 % de ceniza orgánica	0.03	0.08	1.00	-0.28	0.33

\* La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05

Fuente: Elaboración propia con software IBM SPSS Statistics.

Según la Tabla N° 33, se tiene la comparación entre la mezcla asfáltica convencional con las mezclas asfálticas modificadas con ceniza orgánica como filler, siendo así que la mezcla asfáltica con 2.00 % de ceniza orgánica es el único que difiere de la mezcla convencional, pues presenta una significancia menor a 0.05; no obstante, con los demás grupos de análisis

no se presenta diferencia significativa, porque el nivel de significancia obtenido es mayor a 0.05.

En conclusión, se afirma que la adición de cenizas orgánicas en porcentajes de 2.00% influye en el flujo de la mezcla asfáltica en caliente.

#### 4.2.3. Comprobación de hipótesis específica C

En la Tabla N° 34, se puede observar un diseño estadístico completamente al azar para los valores de adherencia del agregado mineral con el cemento asfáltico. Este diseño compara 10 tratamientos diferentes, según el porcentaje de adición de cenizas orgánicas, cada uno de ellos con 3 muestras.

Tabla N° 34: Diseño estadístico completamente al azar para adherencia

N° DE MUESTRAS	T0 (0.00% de C.O.)	T1 (1.00% de C.O.)	T2 (2.00% de C.O.)	T3 (3.00% de C.O.)	T4 (4.00% de C.O.)	T5 (5.00% de C.O.)	T6 (6.00% de C.O.)	T7 (7.00% de C.O.)	T8 (8.00% de C.O.)	T9 (9.00% de C.O.)	T10 (10.00% de C.O.)
1	38.00	39.00	40.00	42.00	40.00	42.00	41.00	42.00	42.00	40.00	44.00
2	39.00	38.00	36.00	41.00	41.00	43.00	43.00	45.00	44.00	43.00	41.00
3	36.00	37.00	38.00	39.00	40.00	43.00	44.00	43.00	41.00	43.00	43.00
Total $\sum X_i$	113.00	114.00	114.00	122.00	121.00	128.00	128.00	130.00	127.00	126.00	128.00
Media $X_i$	37.67	38.00	38.00	40.67	40.33	42.67	42.67	43.33	42.33	42.00	42.67

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al diseño estadístico de la Tabla N° 34, podemos obtener el análisis de varianza ANOVA para contrastar las siguientes hipótesis:

**H<sub>0</sub>:** La adición de ceniza orgánica como filler no mejora la adherencia de la mezcla asfáltica en caliente.

**H<sub>i</sub>:** La adición de ceniza orgánica como filler mejora significativamente la adherencia de la mezcla asfáltica en caliente.

Tabla N° 35: ANOVA para la adherencia del agregado mineral con el ligante.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Adherencia	Entre grupos	138.55	10.00	13.85	6.72	0.00
	Dentro de grupos	45.33	22.00	2.06		
	Total	183.88	32.00			

Fuente: Elaboración propia con software IBM SPSS Estadistics.

Según el análisis de varianza, el valor de  $F=6.72$  y el valor de significancia= $0.00$ ; con 10 grados de libertad de tratamiento y 22 grados de libertad dentro de grupos, se observa que existe diferencia estadística significativa entre las medias de los tratamientos a un nivel de significancia  $\alpha=0.05$ , por lo que existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula e inferir que la adición de cenizas orgánicas en el asfalto de las muestras son diferentes y significativas, aceptándose la hipótesis alterna planteada ( $H_i$ ).

Además, se compara los grupos de análisis con la prueba post hoc de Tukey, tal como se muestra en la Tabla N° 36.

Tabla N° 36: Prueba Tukey para adherencia del agregado mineral y el ligante.

		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
MAC convencional	MAC con 1.00 % de ceniza orgánica	-0.33	1.17	1.00	-4.52	3.85
	MAC con 2.00 % de ceniza orgánica	-0.33	1.17	1.00	-4.52	1.19
	MAC con 3.00 % de ceniza orgánica	-3.00	1.17	0.32	-7.18	0.07
	MAC con 4.00 % de ceniza orgánica	-2.67	1.17	0.48	-6.86	1.52
	MAC con 5.00 % de ceniza orgánica	-5.00	1.17	0.01	-9.19	-0.81
	MAC con 6.00 % de ceniza orgánica	-5.00	1.17	0.01	-9.19	-0.81
	MAC con 7.00 % de ceniza orgánica	-5.67	1.17	0.00	-9.86	-1.48
	MAC con 8.00 % de ceniza orgánica	-4.67	1.17	0.02	-8.86	-0.47
	MAC con 9.00 % de ceniza orgánica	-4.34	1.17	0.03	-8.52	-0.14
	MAC con 10.00 % de ceniza orgánica	-5.00	1.17	0.01	-9.19	-0.81

\* La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05

Fuente: Elaboración propia con software IBM SPSS Statistics.

Según la Tabla N° 36, se tiene la comparación entre la mezcla asfáltica convencional con las mezclas asfálticas modificadas con ceniza orgánica como filler, siendo así que las mezclas asfálticas con 5.00%, 6.00%, 7.00%, 8.00%, 9.00% y 10.00% de ceniza orgánica difieren significativamente de la mezcla convencional pues presenta una significancia menor a 0.05; no obstante, la muestra con adición de 7.00% es la que tiene un menor valor de significancia, siendo esta la que más difiere de la mezcla convencional.

En conclusión, se afirma que la adición de cenizas orgánicas en porcentajes de 7.00% influye en la adherencia entre el agregado mineral y el cemento asfáltico.

### **4.3. Discusión de resultados**

#### **4.3.1. Estabilidad de la MAC con adición de cenizas orgánicas**

De acuerdo a la Tabla N° 25: Resultados de la Estabilidad Marshall con adición de Cenizas Orgánicas y Figura N° 17: Resultados de la Estabilidad Marshall con adición de Cenizas Orgánicas, se establece un incremento significativo de la estabilidad según el ensayo Marshall, esto es debido a las características puzolánicas de las cenizas orgánicas, ya que estas mantienen un alto porcentaje de sílice, el cual de manera independiente tiene propiedades cementantes que al reaccionar con el cemento asfáltico produce una mezcla más densa y por ende más resistente y durable, esto guarda relación con la investigación de Rangel Dueñas (2010), los resultados son validados mediante pruebas estadísticas, como la prueba ANOVA de análisis de varianza y la prueba Tukey que demuestra la significancia de acuerdo a la Tabla N° 29 y la Tabla N° 30, siendo así que todas los tratamientos muestran una diferencia significativa, excepto la que tiene adición de 0.25%, con estos resultados estadísticos podemos determinar que efectivamente la adición de cenizas orgánicas influye significativamente en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente incrementando los valores de estabilidad, lo anterior es contrastado con la investigación de Troncoso Rivera (2006), en el que se concluye que la resistencia de la mezcla asfáltica se incrementa en un 19%, pero evitando una mezcla rígida que pueda llegar a presentar fisuraciones tempranas.

#### **4.3.2. Flujo de la MAC con adición de cenizas orgánicas**

De acuerdo a la Tabla N° 26: Resultados del Flujo Marshall con adición de Cenizas Orgánicas y la Figura N° 18: Resultados del Flujo Marshall con adición de Cenizas Orgánicas, se establece una mejora en cuanto al flujo según el ensayo Marshall, esto debido a que las cenizas orgánicas al ser un material muy fino, reduce el porcentaje de vacíos de la mezcla siendo estas mucho más compactas y por tanto más rígidas, evitando así que la mezcla

asfáltica resultante sufra deformaciones que perjudicarían su vida útil y la serviciabilidad de las carreteras, los resultados obtenidos son validados mediante pruebas estadísticas, como la prueba ANOVA de análisis de varianza y la prueba Tukey mostrados en la Tabla N° 32 y la Tabla N° 33, allí se demuestra la significancia, así tenemos que los tratamientos con 2.00% de adición de cenizas orgánicas son los únicos que muestran una diferencia significativa, esto guarda relación con la investigación de Troncoso Rivera (2006), que según sus resultados donde se evalúa la rigidez Marshall y la velocidad de deformación, disminuye la deformación en 10%, logrando mezclas asfálticas más resistentes a las deformaciones en las que se evita las fallas más comunes por fatiga y tráfico, como los ahuellamientos.

#### **4.3.3. Adherencia de la MAC con adición de cenizas orgánicas**

De acuerdo a la Tabla N° 27: Resultados del porcentaje de Adherencia con adición de Cenizas Orgánicas y la Figura N° 19: Resultados de Adherencia del agregado mineral con el cemento asfáltico, se establece un incremento significativo de adherencia entre el agregado mineral y el cemento asfáltico, esto debido a la capacidad puzolánica de las cenizas orgánicas, puesto que estas tienen un alto contenido de sílice, el cual es un material cementante mejorador de adherencia logrando unión entre las partículas de la mezcla, estos resultados son validados mediante la prueba de estadística ANOVA para análisis de varianza y la prueba post hoc de Tukey para comparar los tratamientos, estos se muestran en la Tabla N° 35 y la Tabla N° 36, según estos resultados estadísticos tenemos que existe una diferencia significativa al añadir las cenizas orgánicas a la mezcla asfáltica, los resultados son contrastados con el estudio de Troncoso Rivera (2006), donde se muestra un incremento de 20% de adherencia al emplear las cenizas orgánicas como aditivo mejorador, con esto se tiene mezclas asfálticas más duraderas, evitando así las fallas como piel de cocodrilo.

Adicionalmente, se evaluó propiedades como el porcentaje de vacíos de la mezcla, el cual se ve reducido conforme se va añadiendo más cenizas orgánicas, esto se debe a que las cenizas orgánicas son muy finas y pueden cubrir fácilmente los espacios libres de la mezcla; sin embargo, esto no afecta el diseño, debido a que los valores se mantienen dentro de lo normado, de manera análoga son los resultados obtenidos por Orozco Muñoz (2011) en el cual refiere que la ceniza es una buena fuente para obtener el material más fino para las mezclas asfálticas, es decir una buena fuente para obtener material que pasa el tamiz N° 200. La gravedad específica y el porcentaje de absorción de la ceniza fueron menores que el encontrado en el agregado fino, es decir que la densidad de la ceniza orgánica es un 22% menor que la del agregado fino.

Es factible el uso de cenizas orgánicas en los diseños de mezclas asfálticas, ya que estas proporcionan mejoras en las propiedades mecánicas más resaltantes como la estabilidad, el flujo y la adherencia de la mezcla, esto claramente se comprueba en la estabilidad 2%, flujo 2% y adherencia del 7%. De igual manera, los resultados obtenidos por Segura Almanza (2018) en su investigación indica que depende del tipo de material, su composición y sus características, el agregado mejora las características de una mezcla asfáltica como la estabilidad y el flujo. Al realizar la modificación de las mezclas asfálticas, los agregados de origen puzolánico son los que mayormente tienden a resaltar o mejorar las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas, siendo este el caso de las cenizas orgánicas.

## CONCLUSIONES

- Como conclusión tenemos que la adición de 2.00% de cenizas orgánicas como filler en una mezcla asfáltica en caliente convencional presenta un efecto positivo en cuanto a la propiedad de estabilidad o resistencia máxima a la deformación, debido a que se incrementa el valor de 1067 kg a 1250 kg, con lo cual tenemos un diseño de mezcla que tiene mayor durabilidad en el tiempo.
- Respecto de la propiedad del flujo o deformación máxima, los valores deben mantenerse entre 2.00 mm y 3.50 mm, esto para evitar ahuellamientos por una mezcla muy blanda o del otro lado evitar agrietamientos por una mezcla muy rígida; en ese sentido, el efecto de la adición de cenizas orgánicas entre 2.00% y 3.00% mejora la mezcla asfáltica, al mantener los valores dentro de un equilibrio de 2.70 mm de flujo, a comparación de los 2.39 mm de flujo de la mezcla asfáltica en caliente convencional.
- La adherencia entre el agregado mineral y el cemento asfáltico es una propiedad muy importante, de esta dependerá que no exista erosiones en los pavimentos o comúnmente conocido como piel de cocodrilo; en ese sentido, la adición de cenizas orgánicas como aditivo del asfalto en un 7.00% tiene un efecto positivo, ya que incrementa a 45% el valor de adherencia, puesto que una mezcla asfáltica en caliente convencional tiene un 37% de adherencia, esto se debe a que las cenizas orgánicas tienen propiedades puzolánicas.
- Finalmente, podemos concluir que la adición de 2.00% de cenizas orgánicas como filler influye en la mezcla asfáltica en caliente, incrementado y mejorando sus propiedades mecánicas, así también la adición de 7.00% de cenizas orgánicas como aditivo del cemento asfáltico mejora notablemente los valores de adherencia entre el agregado mineral y el ligante, lo cual determina un efecto positivo.

## RECOMENDACIONES

- Realizar los ensayos de laboratorio correctamente, siguiendo los pasos que estipulan las normas del MTC, teniendo en cuenta la granulometría de los agregados, ya que los resultados pueden variar según los agregados y el tipo de mezcla.
- Hacer uso de las cenizas orgánicas en porcentajes que están en el rango de 2.00% a 3.00%, debido a que se ha demostrado en el presente estudio que es el porcentaje óptimo y con el cual se tiene una notable mejora en cuanto a las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente como el flujo y la estabilidad.
- Para poder mejorar la adherencia de la mezcla asfáltica, añadir un 7.00% de cenizas orgánicas en peso al asfalto considerándolo así un asfalto modificado con la ceniza como aditivo, con este porcentaje se incrementa hasta un valor aproximado de 45% de adherencia.
- No adicionar mayor porcentaje de cenizas orgánicas, ya que esto generaría un incremento en el flujo de la mezcla asfáltica y pasaría a ser una mezcla muy flexible, lo cual ocasionará ahuellamientos indeseados en los pavimentos; adicionalmente, se perjudican los valores de porcentajes de vacíos, ya que la curva muestra que tiene una tendencia a bajar dicho valor a mayor adición de cenizas orgánicas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013), Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción.
- MARTINEZ RUIZ, Héctor (2018), Metodología de la Investigación. ed Cengage México, pp 116-117.
- MARTINEZ RUIZ, Héctor (2018), Metodología de la Investigación. ed Cengage México, pp 73-75
- CABALLERO ROMERO, Alejandro (2009), Metodología Integral e Innovadora para planes y tesis, 1ª edición, ed. Cengage México, pp. 83-85.
- SORIANO C. (2012), Diagnóstico Nacional del Sector Ladrillero Artesanal. Lima, Perú: Mercadeando S.A. [en línea], Recuperado de <http://www.redladrilleras.net/assets/files/08f34d2be1d32a80a13a48f2633dd73c.pdf>
- AGUILAR Jasmín (2017), Huancayo ¿camino hacia la sostenibilidad?, Revista económica de PUCP, Setiembre 2017, [en línea], disponible en <http://www.economica.pe/articulos/969-huancayo-camino-hacia-la-sostenibilidad>
- VII CONGRESO MEXICANO DEL ASFALTO, Estudio del efecto del filler en las propiedades reológicas del “mástico” – AMAAC 2011, por SANDOVAL NAVARRO [et al]
- TRONCOSO RIVERA, Juan (2006), Comportamiento mecánico y dinámico de una mezcla asfáltica con adición de cenizas volantes. Tesis de doctorado (ingeniero civil), universidad de Bogotá.
- OROZCO MUÑOZ (2011), Evaluación del comportamiento de una mezcla densa en caliente modificada con ceniza proveniente de las locaciones petroleras, Tesis de grado (ingeniero civil), universidad autónoma de Bucaramanga.
- SEGURA ALMANZA, Anlly Tatiana (2018), Estudio del comportamiento físico y mecánico de mezclas asfálticas; con materiales reutilizables en la construcción, tesis de grado (Ingeniero Civil), Universidad Católica de Colombia.

- GARNICA ANGUAS, Paul y FLORES FLORES, Mayra (2018), Caracterización geomecánica de mezclas asfálticas, publicación técnica N° 267 Instituto Mexicano del Transporte IMT, ISSN 0188-7297, Sanfandila, Querétaro México.
- MAMANI BARRIGA Y YATACO QUISPE (2017), Estabilización de suelos Arcillosos aplicando cenizas de madera de fondo, producto de las ladrilleras artesanales en el departamento de Ayacucho. Tesis (Título de ingeniero civil), Universidad San Martín de Porres.
- ROSALES LECCA (2019), Resistencia a la deformación de una mezcla asfáltica en caliente con adición de un 10% por cenizas de carbón mineral. Tesis (Título de ingeniero civil), presentado en la Universidad SAN PEDRO en la ciudad de Chimbote - Perú.
- RONDON QUINTANA, Hugo (2010), Evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla densa en caliente modificada con un desecho de polietileno de baja densidad (PEBD).
- CARBAJAL PELAEZ, Gloria y ARIAS JARAMILLO, Yhan (2015), Valoración de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y su uso en vías no pavimentadas. Tesis de grado (Título de ingeniero civil), Universidad de Medellín.
- PEREZ COLLANTES Carolina (2014), Estabilización de suelos arcillosos con cenizas en carbón para su uso como subrasante mejorada, Universidad Nacional de Ingeniería, pp: 26, 35-38.
- SURIANO MARROQUIN, Ingrid Maribel, Mezcla asfáltica en caliente por el método Marshall, adicionando cenizas volantes. Tesis de grado (Ingeniero Civil), Universidad de San Carlos de Guatemala.
- OTAROLA Víctor, (ca. 2018), Tipos de asfaltos y sus diferencias en *Asfaltos Perú* [en línea], disponible en: <https://www.asfaltoperu.com/cuales-son-los-tipos-de-asfalto-y-en-que-se-diferencian/>
- URREGO AGUILERA, Edward y RUIZ RAMIREZ, Cristian (2016), Determinación de la adherencia en mezclas asfálticas elaboradas con asfaltos convencionales y materiales de peña y río. Tesis de grado (Ingeniero civil), Universidad Católica de Colombia.

## ANEXOS

Fotografía N° 1



*Materiales a caracterizar: piedra chancada de 1/2, arena zarandeada, arena chancada.*

## Fotografía N° 2



*Caracterización de los agregados – granulometría*

*Fotografía N° 3*



*Pesaje de los agregados, según tamices, para la mezcla asfáltica*

*Fotografía N° 4*



*Adición de asfalto a la mezcla*

*Fotografía N° 5*



*Compactación de especímenes*

*Fotografía N° 6*



*Desmoldaje de especímenes*

*Fotografía N° 7:*



*Obteniendo peso de briqueleta sumergida más canastilla para ensayo de peso unitario*

*Fotografía N° 8*



*Peso saturado superficialmente seco*

Fotografía N° 9



Colocando el dial para la lectura del flujo en el aparato Marshall

Fotografía N° 10



Lectura de estabilidad y flujo en el aparato Marshall

Fotografía N° 11



Briquetas realizadas con adición de cenizas orgánicas de 1.00% - 5.00%

Fotografía N° 12



Muestra de agregado grueso para ensayo de adherencia en bandeja

Fotografía N° 13



Agregando y pesando asfalto para ensayo de adherencia en bandeja

Fotografía N° 14



Colocando 50 partículas de agregado grueso en la bandeja

Fotografía N° 15



Agregando agua a la mezcla de agregado y asfalto

Fotografía N° 16



Cuenta de partículas de agregado con asfalto aún adherido

## **CERTIFICADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO**

**LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLICAS**

TEMA INFLUENCIA DE LA ADICION DE CENIZA ORGANICA COMO FILLER EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE - HUANCAYO, 2018

PROVINCIA HUANCAYO  
CLIENTE LUIS POULSEN MATOS NEYRA  
CANTERA MATAHUASI  
MUESTRA MN-0006

DEPARTAMENTO: JUNIN  
FECHA: 04-11-19

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

Fecha : 04 de noviembre del 2019  
Material : piedra chancada de 1/2"  
Cartera : MATAHUASI

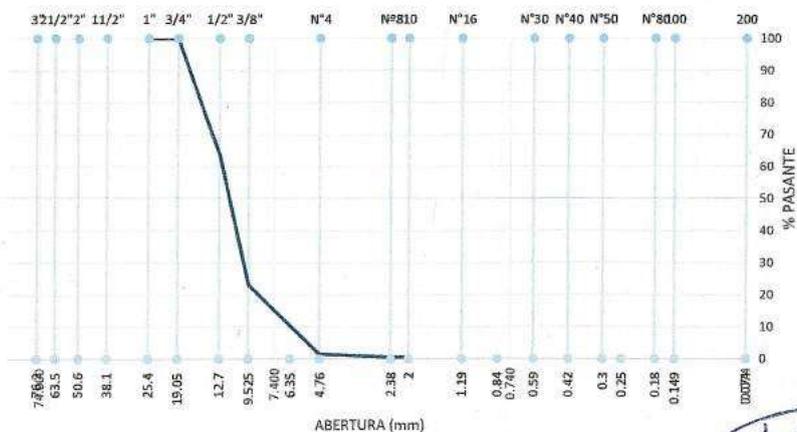
**Análisis granulométrico (MTC E 204)**

Datos de ensayo

Peso Total de muestra: **3000 gr**

Malla		Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumulado	% 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	1076.30	35.88	35.88	64.12
tm - 3/8"	9.525	1226.90	40.90	76.77	23.23
tm - N°4	4.750	655.30	21.84	98.62	1.38
tm - N°8	2.550	27.50	0.92	99.53	0.47
tm - N°10	2.000	0.20	0.01	99.54	0.46
tm - N°16	1.185	0.20	0.01	99.55	0.45
tm - N°30	0.600	0.50	0.02	99.56	0.44
tm - N°40	0.425	0.50	0.02	99.58	0.42
tm - N°50	0.295	0.60	0.02	99.60	0.40
tm - N°80	0.175	1.70	0.06	99.66	0.34
tm - N°100	0.148	1.30	0.04	99.70	0.30
tm - N°200	0.072	2.40	0.08	99.78	0.22
< tm - N°200		6.60	0.22	100.00	0.00
TOTAL MUESTRA =		3000.00	gr		

CURVA GRANULOMETRICA



*[Signature]*  
Ing. Civil Arnold L. Espinoza Espinoza  
CIP 152927  
**ICCSAH**  
INGENIERÍA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.

**LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLICAS**

TEMA: INFLUENCIA DE LA ADICION DE CENIZA ORGANICA COMO FILLER EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE -- HUANCAYO, 2018

PROVINCIA: HUANCAYO DEPARTAMENTO: JUNIN  
 CLIENTE: LUIS POULSEN MATOS NEYRA FECHA: 04-11-19  
 CANTERA: PILCOMAYO  
 MUESTRA: MN-0004

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

Fecha: 04 de noviembre del 2019  
 Material: arena chancada  
 Cantera: PILCOMAYO

**Análisis granulométrico (MTC E 204)**

Datos de ensayo

Peso Total de muestra: 1500 gr

Malla		Peso (gr)	% Reten.	% Reten.	% 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	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	291.40	19.43	19.43	80.57
tm - N°8	2.550	259.10	17.27	36.70	63.30
tm - N°10	2.000	101.70	6.78	43.48	56.52
tm - N°16	1.185	196.30	13.09	56.57	43.43
tm - N°30	0.600	197.20	13.15	69.71	30.29
tm - N°40	0.425	76.20	5.08	74.79	25.21
tm - N°50	0.295	50.90	3.39	78.19	21.81
tm - N°80	0.175	162.30	10.82	89.01	10.99
tm - N°100	0.148	80.20	5.35	94.35	5.65
tm - N°200	0.072	41.80	2.79	97.14	2.86
< tm - N°200		42.90	2.86	100.00	0.00
TOTAL MUESTRA =		1500.00	gr		



*Ing. Civil Arnold L. Espinoza Espinoza*  
 CIP 152927  
**ICCSAH**  
 INGENIERÍA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.

**LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLICAS**

TEMA INFLUENCIA DE LA ADICION DE CENIZA ORGANICA COMO FILLER EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE - HUANCAYO, 2018

PROVINCIA HUANCAYO  
CLIENTE LUIS POULSEN MATOS NEYRA  
CANTERA MATAHUASI  
MUESTRA MN-0005

DEPARTAMENTO : JUNIN  
FECHA : 04-11-19

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

Fecha : 04 de noviembre del 2019  
Material : arena zarandeada  
Cartera : MATAHUASI

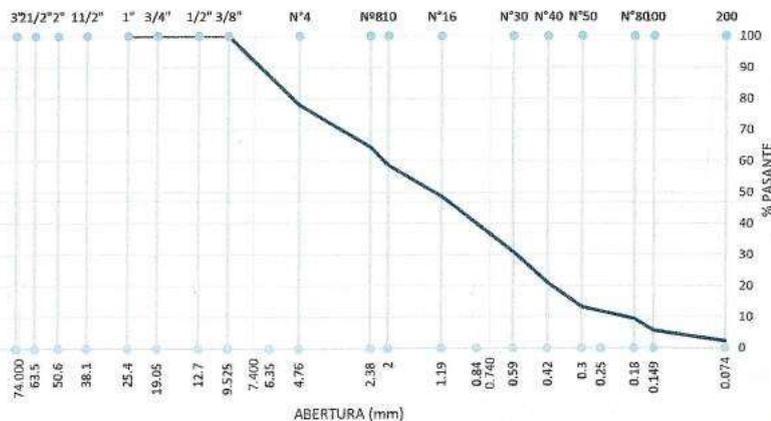
**Análisis granulométrico (MTC E 204)**

Datos de ensayo

Peso Total de muestra: 1500 gr

Malla		Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumul.	% Pasante
Tamiz	mm				
tm - 5"	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	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	330.40	22.03	22.03	77.97
tm - N°8	2.550	202.50	13.50	35.53	64.47
tm - N°10	2.000	86.10	5.74	41.27	58.73
tm - N°16	1.185	148.60	9.91	51.17	48.83
tm - N°30	0.600	266.60	17.77	68.95	31.05
tm - N°40	0.425	149.10	9.94	78.89	21.11
tm - N°50	0.295	115.80	7.72	86.61	13.39
tm - N°80	0.175	58.80	3.92	90.53	9.47
tm - N°100	0.148	57.30	3.82	94.35	5.65
tm - N°200	0.072	51.70	3.45	97.79	2.21
< tm - N°200		33.10	2.21	100.00	0.00
TOTAL MUESTRA =		1500.00	gr		

CURVA GRANULOMETRICA



## LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLICAS

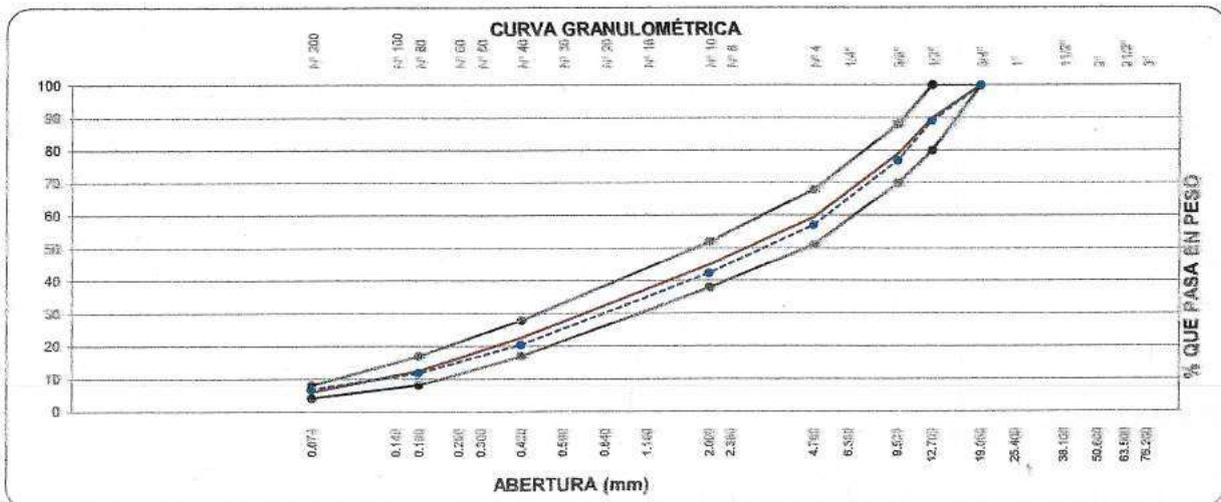
**TEMA** : INFLUENCIA DE LA ADICION DE CENIZA ORGANICA COMO FILLER EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE - HUANCAYO, 2018

**PROVINCIA** : HUANCAYO      **DEPARTAMENTO** : JUNIN  
**CLIENTE** : LUIS POULSEN MATOS NEYRA      **FECHA** : 09/11/2019  
**CANTERA** : PILCOMAYO Y MATAHUASI      **MEZCLA N°** : 01

### Análisis Granulométrico por Tamizado (MTC E 204)

Malla		Porcentajes pasantes (%)					Specificaciones	Observaciones
Tamiz	mm.	PIEDRAS		ARENAS			MAC - 2	Curva Ideal
Agregados		pedra 3/4" CRUSHING	pedra 1/2" CRUSHING	Arena Zarandeada	Arena Chancada	filler	MTC	
Proporciones		3/4"	1/2"	SARANDEADA	CHANCADA	FINO	100.0%	
		0.0%	30.0%	25.0%	40.0%	5.0%		
1"	25.400	100.000	100.00	100.00	100.00	100.0	100.0	100
3/4"	19.050	100.00	100.00	100.00	100.00	100.0	100.0	100
1/2"	12.700	100.00	64.12	100.00	100.00	100.0	89.2	90
3/8"	9.525	100.00	23.23	100.00	100.00	100.0	77.0	79
N° 4	4.760	100.00	1.38	77.97	80.57	100.0	57.1	60
N° 8	2.360	100.00	0.47	64.47	63.30	100.0	46.6	
N° 10	2.000	100.00	0.46	58.73	56.52	100.0	42.4	45
N° 16	1.180	100.00	0.45	48.83	43.43	100.0	34.7	
N° 30	0.600	100.00	0.44	31.05	30.29	100.0	25.0	
N° 40	0.420	100.00	0.42	21.11	25.21	100.0	20.5	23
N° 50	0.300	100.00	0.40	13.39	21.81	100.0	17.2	
N° 80	0.180	100.00	0.34	9.47	10.99	100.0	11.9	13
N° 100	0.150	100.00	0.30	5.65	5.65	100.0	8.8	
N° 200	0.074	100.00	0.22	2.21	2.86	100.0	6.8	6
pasa			0.000	0.00	0.00	0.0	0.0	

### REPRESENTACION GRAFICA



**OBSERVACIONES:**  
 la curva granulometrica obtenida de la combinacion de agregados, cumple con el huso granulometrico establecido para la Mezcla asfaltica en caliente, según lo dispone la norma EG-2013, Especificaciones Tecnicas Generales para la construcción.





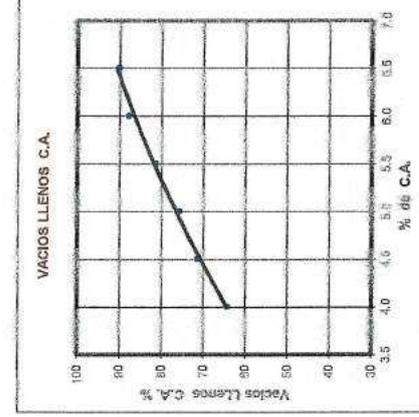
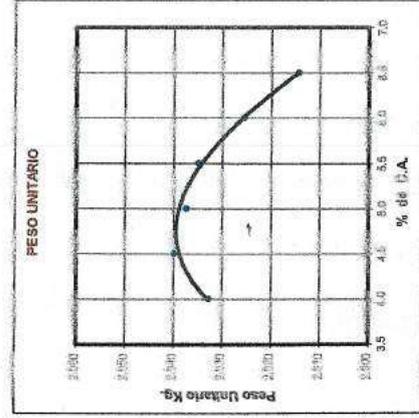
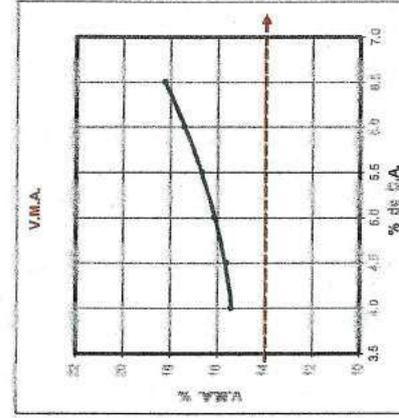
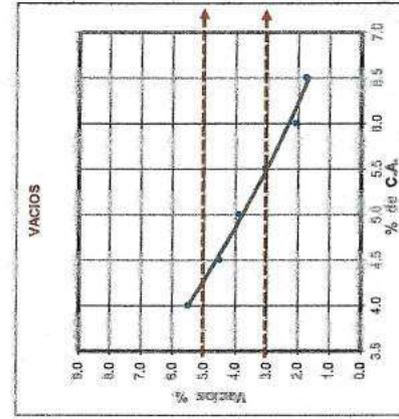
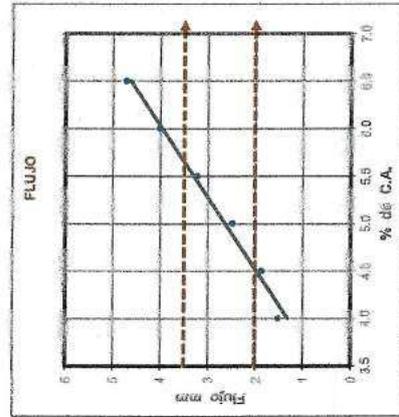
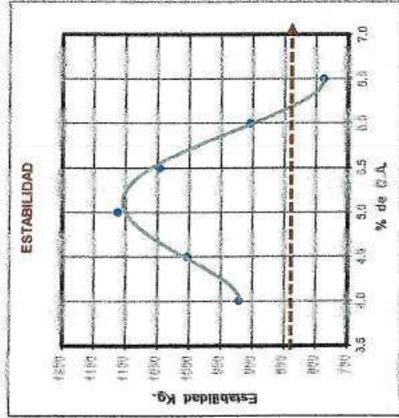
**LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS**

TEMA : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE CENIZA ORGÁNICA COMO FILLER EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE - HUANCAYO, 2018

PROVINCIA : HUANCAYO  
CLIENTE : LUIS POULSEN MATOS NEYRA  
DISEÑO : MAD-AC-01  
FECHA : 24/11/2018

DEPARTAMENTO : JUNIN

**DETERMINACION DEL OPTIMO CONTENIDO DE ASFALTO**



**RESUMEN DE RESULTADOS**

	OPTIMO % C.A.	ESPECIFICACION
GOLPES POR LADO	78	76
CEMENTO ASFÁLTICO	4.80	(+/- 0.2%)
PESO UNITARIO	2.53t	3 - 5
VACIOS	4.1	Mín 14
V.M.A.	16.0	1 - 4
VACIOS LLENOS CON C.A.	74.4	Mín. 818
FLUJO	2.39	0.8 - 1.3
ESTABILIDAD	1087	
Finos / Ligante	1.11	

**USIFICACION**

Grava Chancada 1/2" - Cantero Matchless	30.0	%
Arena Chancada - Cantero Pileomayo	40.0	%
Arena Procinada - Cantero Matchless	25.0	%
Filler de material zarandeado	5.00	%
Asfalto Convencional Pen 60/70	4.80	%



LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS

TEMA : INFLUENCIA DE LA ADICION DE CENIZA ORGANICA COMO FILLER EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE - HUANCAYO, 2018

PROVINCIA : HUANCAYO

CLIENTE : LUIS PEDRUELA MATOS NIETRA

DISEÑO : MAC-AC-01

FECHA : 07/12/2018

RESULTADOS DE ENSAYO MARSHALL CON ADICION DE CENIZAS ORGANICAS

ITEM	CANTIDAD	MATERIA	PARTI SUELO	PERO SUELO	PERO MIXTA	PERO MIXTA	ESTADISTICO	VOLUMEN	FACTOR	ESTAD. CORRECTORA	ITEM	MAYORIA		MAYORIAS	PERO MAYORIAS MAXIMO	PERO MAYORIAS MINIMO	MAYORIAS LLENADA TORCA	% VMA
												lit	lit					
1	0	Prob. 01	1248.9	1251.7	758	2.836	1110.80	492.70	1.00	1110.80	1	Prob.-01	3.687	2.641	2.876	18.782	74.864	
2	0	Prob. 02	1248.9	1250.7	758	2.840	1095.50	491.70	1.00	1095.50	2	Prob.-02	3.828	2.641	2.876	18.668	76.568	
3	0	Prob. 03	1248.9	1249.8	760	2.851	1071.80	489.50	1.00	1071.80	3	Prob.-03	3.789	2.641	2.876	18.300	75.235	
4	0	Prob. 04	1248	1250.7	760	2.843	1118.20	490.70	1.00	1118.20	4	Prob.-04	3.840	2.641	2.876	18.547	75.301	
5	0	Prob. 05	1248	1250	758	2.838	1091.10	491.00	1.00	1091.10	5	Prob.-05	3.795	2.641	2.876	18.734	75.944	
6	0	Prob. 06	1248	1251	758	2.837	1079.90	492.00	1.00	1079.90	6	Prob.-06	3.842	2.641	2.876	18.771	75.004	
7	0	Prob. 07	1250	1250.3	758	2.844	1181.20	491.30	1.00	1181.20	7	Prob.-07	3.892	2.641	2.876	18.515	76.302	
8	0	Prob. 08	1247	1251.8	760	2.836	1171.90	491.80	1.00	1171.90	8	Prob.-08	3.788	2.641	2.876	18.804	75.968	
9	0	Prob. 09	1249	1251	760	2.844	1146.70	491.00	1.00	1146.70	9	Prob.-09	3.715	2.641	2.876	18.531	76.081	
10	0	Prob. 10	1247	1250.9	760	2.842	1234.80	490.60	1.00	1234.80	10	Prob.-10	3.798	2.641	2.876	18.598	76.651	
11	0	Prob. 11	1248	1250.7	758	2.838	1201.80	491.70	1.00	1201.80	11	Prob.-11	3.715	2.641	2.876	18.719	76.366	
12	0	Prob. 12	1248	1250	760	2.849	1188.70	490.00	1.00	1188.70	12	Prob.-12	3.612	2.641	2.876	18.359	76.483	
13	0	Prob. 13	1249	1251	760	2.844	1201.40	491.00	1.00	1201.40	13	Prob.-13	3.745	2.641	2.876	18.531	76.888	
14	0	Prob. 14	1248	1251.1	760	2.841	1215.50	491.10	1.00	1215.50	14	Prob.-14	3.735	2.641	2.876	18.616	76.275	
15	0	Prob. 15	1248	1251.7	760	2.834	1187.50	491.70	1.00	1187.50	15	Prob.-15	3.648	2.641	2.876	18.654	76.990	
16	0	Prob. 16	1247	1251.3	760	2.838	1247.40	491.30	1.00	1247.40	16	Prob.-16	3.725	2.641	2.876	18.718	76.301	
17	0	Prob. 17	1250	1250.2	760	2.850	1256.00	490.20	1.00	1256.00	17	Prob.-17	3.680	2.641	2.876	18.328	75.988	
18	0	Prob. 18	1248	1250.3	760	2.841	1210.90	490.30	1.00	1210.90	18	Prob.-18	3.924	2.641	2.876	18.614	74.868	
19	0	Prob. 19	1248	1250.1	758	2.841	1216.90	491.10	1.00	1216.90	19	Prob.-19	3.778	2.641	2.876	18.616	75.810	
20	0	Prob. 20	1248	1250.8	758	2.838	1248.90	491.80	1.00	1248.90	20	Prob.-20	3.715	2.641	2.876	18.735	78.392	
21	0	Prob. 21	1250	1250.5	760	2.848	1227.00	490.50	1.00	1227.00	21	Prob.-21	3.690	2.641	2.876	18.378	76.264	
22	0	Prob. 22	1249	1251.4	760	2.842	1218.00	491.40	1.00	1218.00	22	Prob.-22	3.798	2.641	2.876	18.600	75.902	
23	0	Prob. 23	1248	1250.8	758	2.838	1235.40	491.80	1.00	1235.40	23	Prob.-23	3.803	2.641	2.876	18.736	76.820	
24	0	Prob. 24	1247	1250.3	758	2.838	1243.70	491.30	1.00	1243.70	24	Prob.-24	3.644	2.641	2.876	18.718	79.817	
25	0	Prob. 25	1247	1250.3	760	2.838	1246.40	491.30	1.00	1246.40	25	Prob.-25	3.508	2.641	2.876	18.718	77.300	
26	0	Prob. 26	1247	1250	760	2.845	1262.20	490.00	1.00	1262.20	26	Prob.-26	3.846	2.641	2.876	18.495	76.476	
27	0	Prob. 27	1248	1250.8	758	2.841	1215.70	491.60	1.00	1215.70	27	Prob.-27	3.420	2.641	2.876	18.634	78.125	
28	0	Prob. 28	1248	1251.1	758	2.838	1221.30	492.10	1.00	1221.30	28	Prob.-28	3.485	2.641	2.876	18.720	77.831	
29	0	Prob. 29	1248	1250.4	760	2.845	1227.00	490.40	1.00	1227.00	29	Prob.-29	3.406	2.641	2.876	18.496	78.026	
30	0	Prob. 30	1248	1251.6	758	2.833	1190.10	492.60	1.00	1190.10	30	Prob.-30	3.398	2.641	2.876	18.873	79.593	
31	0	Prob. 31	1250	1251	758	2.841	1186.40	492.00	1.00	1186.40	31	Prob.-31	3.489	2.641	2.876	18.673	77.685	
32	0	Prob. 32	1248	1251	761	2.847	1194.20	490.00	1.00	1194.20	32	Prob.-32	3.425	2.641	2.876	18.427	77.798	
33	0	Prob. 33	1249	1250.4	758	2.837	1222.00	492.40	1.00	1222.00	33	Prob.-33	3.605	2.641	2.876	18.772	77.142	
34	0	Prob. 34	1248	1250.8	760	2.839	1201.00	490.60	1.00	1201.00	34	Prob.-34	3.504	2.641	2.876	18.700	77.681	
35	0	Prob. 35	1250	1250.4	758	2.844	1218.80	491.40	1.00	1218.80	35	Prob.-35	3.412	2.641	2.876	18.700	77.681	
36	0	Prob. 36	1249	1250.8	760	2.845	1220.70	490.80	1.00	1220.70	36	Prob.-36	3.394	2.641	2.876	18.533	78.033	
37	0	Prob. 37	1250	1250.8	758	2.842	1202.70	491.80	1.00	1202.70	37	Prob.-37	3.405	2.641	2.876	18.497	78.089	
38	0	Prob. 38	1247	1251.7	758	2.831	1215.60	492.70	1.00	1215.60	38	Prob.-38	3.364	2.641	2.876	18.958	76.982	
39	0	Prob. 39	1249	1251.3	760	2.842	1226.00	491.30	1.00	1226.00	39	Prob.-39	3.298	2.641	2.876	18.896	76.896	

CP 18221  
**ICCSAH**  
 INGENIERIA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTOS E HIDRAULICA S.A.S.



LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

TEMA

: INFLUENCIA DE LA ADICION DE CENIZA ORGANICA COMO FILLER EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE - HUANCAYO, 2018

PROVINCIA

: HUANCAYO

CLIENTE

: LUIS POULSEN MATOS NEYRA

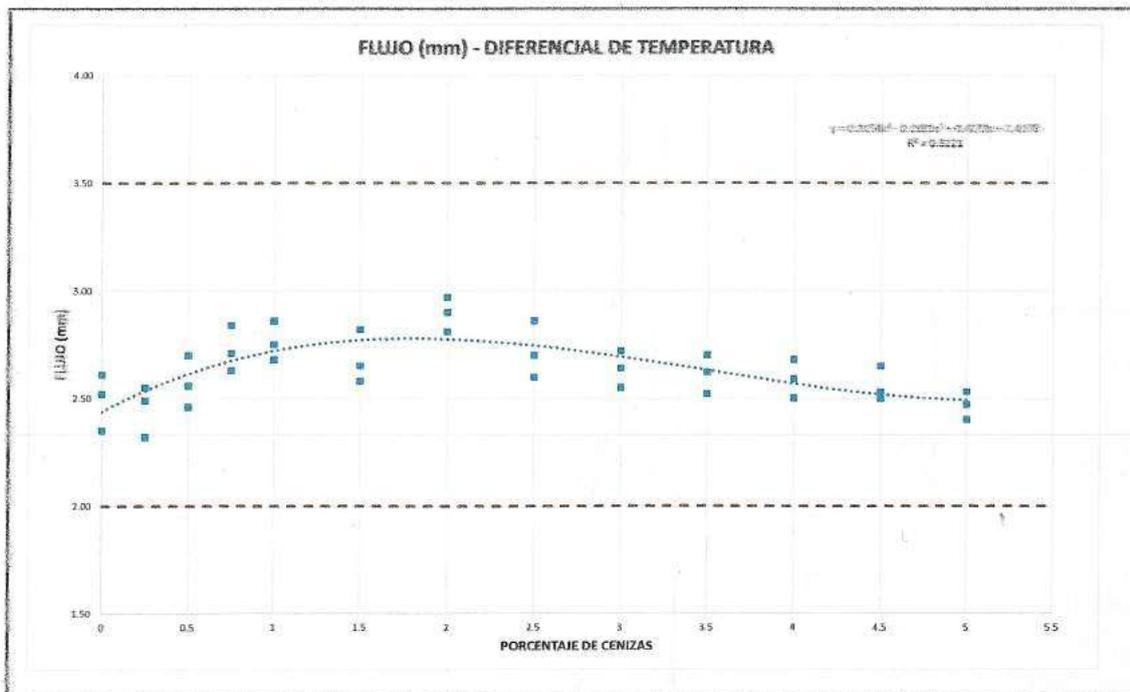
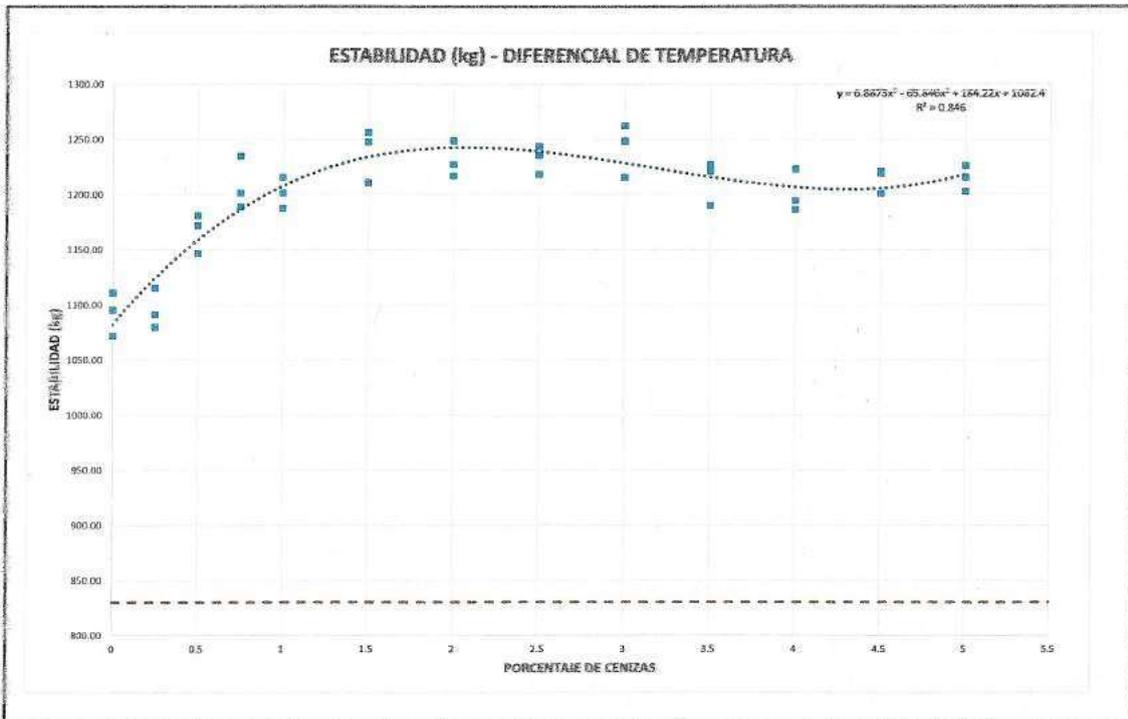
DISEÑO

: MAC-AC-81

FECHA

: 08/02/2018

GRAFICO DE ESTABILIDAD Y FLUJO CON ADICION DE CENIZA ORGANICA



  
 Ing. Civil Arnold L. Espinoza Espinoza  
 CIP 152927  
  
 INGENIERIA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRAULICA S.A.C.



LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLICAS

TEMA

: INFLUENCIA DE LA ADICION DE CENIZA ORGANICA COMO FILLER EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE - HUANCAYO, 2018

PROVINCIA

: HUANCAYO

CLIENTE

: LUIS POULSEN MATOS NEYRA

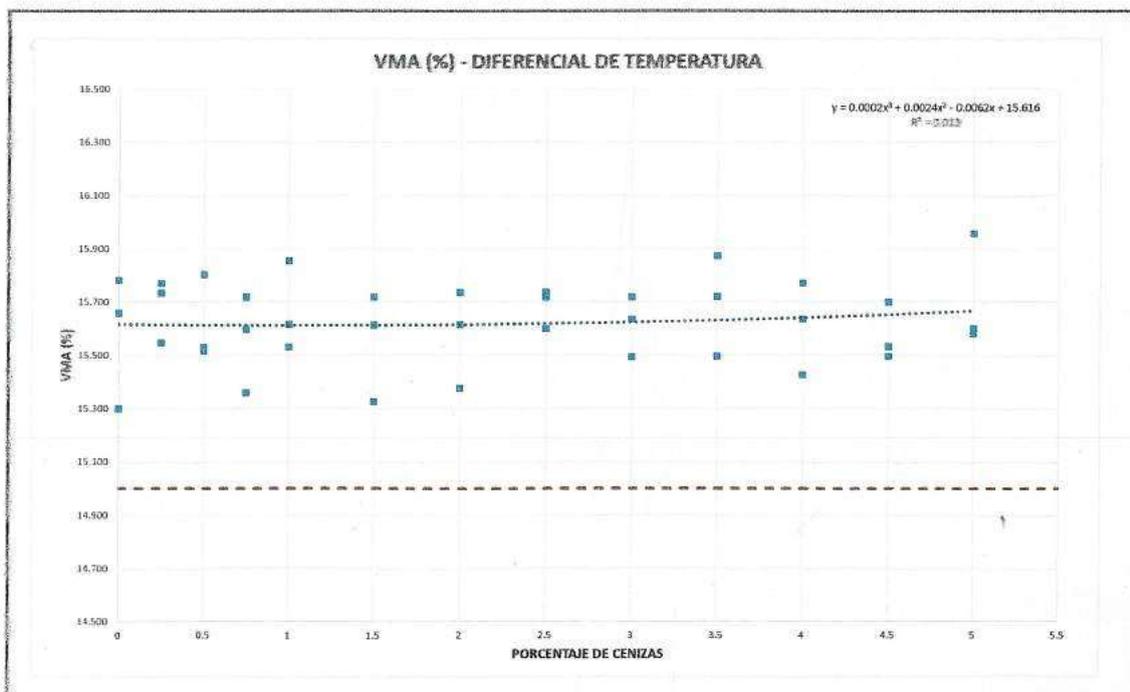
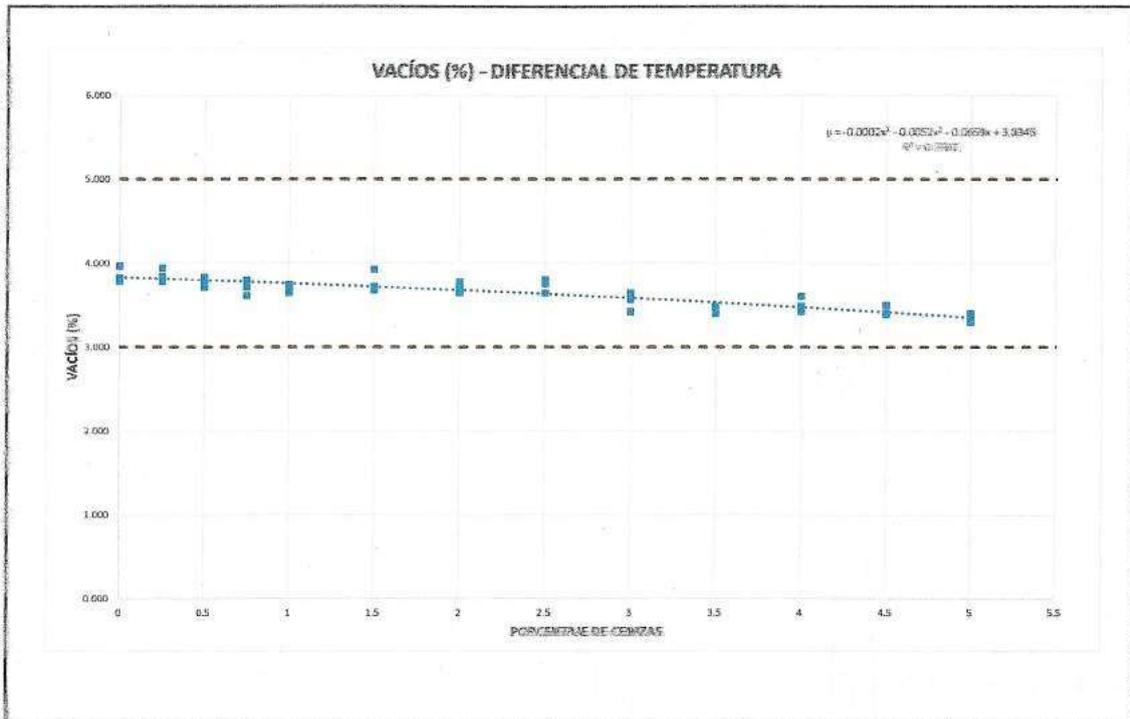
DISEÑO

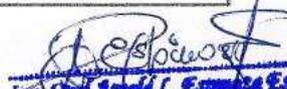
: MAC-AG#1

FECHA

: 06/12/2018

GRAFICO DE VACIOS% Y VMA% CON ADICION DE CENIZA ORGANICA



  
 Ing. Arnold L. Espinoza Espinoza  
 CIP 152627  
**ICCSAH**  
 INGENIERIA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRAULICA S.A.C.



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

**LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLICAS**

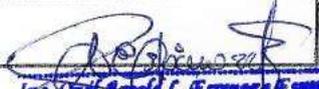
**TEMA :** INFLUENCIA DE LA ADICION DE CENIZA ORGANICA COMO FILLER EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE – HUANCAYO, 2019

**PROVINCIA :** HUANCAYO  
**CLIENTE :** LUIS POULSEN MATOS NEYRA  
**DIAS :** 4 días  
**CANTERA :** MATAHUASI  
**MUESTRA :** MN-0004

**DEPARTAMENTO :** JUNIN  
**FECHA :** 14-12-19

**ENSAYO DE ADHERENCIA EN BANDEJA MTC E-520**  
 ( MTC E 520 ) PORCENTAJE DE CENIZAS

ORDEN	V.	MUESTRA	10% - 25%	25% - 50%	50% - 100%	DIA 4	% VEGGOS LLENOS CON C.A.
			0	1	2		
1	a	Band.- 01	17	28	5	38%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
2		Band.- 02	17	27	6	39%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
3		Band.- 03	21	22	7	36%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
4	r	Band.- 04	20	21	9	39%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
5		Band.- 05	21	20	9	38%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
6		Band.- 06	23	17	10	37%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
7	n	Band.- 07	21	18	11	40%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
8		Band.- 08	26	12	12	36%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
9		Band.- 09	22	19	10	38%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
10	o	Band.- 10	20	18	12	42%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
11		Band.- 11	21	17	12	41%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
12		Band.- 12	21	19	10	39%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
13	t	Band.- 13	20	20	10	40%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
14		Band.- 14	21	17	12	41%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
15		Band.- 15	20	20	10	40%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
16	u	Band.- 16	16	26	8	42%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
17		Band.- 17	19	19	12	43%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
18		Band.- 18	20	17	13	43%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
19	v	Band.- 19	24	11	15	41%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
20		Band.- 20	17	23	10	43%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
21		Band.- 21	18	20	12	44%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
22	z	Band.- 22	23	12	15	42%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
23		Band.- 23	23	15	15	45%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
24		Band.- 24	21	15	14	43%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
25	aa	Band.- 25	22	14	14	42%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
26		Band.- 26	21	14	15	44%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
27		Band.- 27	21	17	12	41%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
28	ab	Band.- 28	20	20	10	40%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
29		Band.- 29	22	13	15	43%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
30		Band.- 30	21	19	14	43%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
31	ac	Band.- 31	16	24	10	44%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
32		Band.- 32	21	17	12	41%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS
33		Band.- 33	21	15	14	43%	SIN FRACTURA EN PARTICULAS

  
 Ing. Arnaldo L. Espinoza Espinoza  
 CIP 182827  
  
 INGENIERÍA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.

INFLUENCIA DE LA ADICION DE CENIZA ORGANICA COMO FILLER EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE - HUANCAYO, #018

**GRAFICO DE ADHERENCIA EN BANDEJA MTC E-920**

TEMA : HUANCAYO  
 PROVINCIA : LUIS PICOLO BEN MATEOS NEYRA  
 CLIENTE : MAC-AQUIN  
 DISEÑO : 14/12/2019  
 FECHA :

