



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“INFLUENCIA DEL POLVO DE NEUMÁTICO EN UNA  
MEZCLA ASFÁLTICA POR VÍA SECA PARA VÍAS  
LOCALES CON PAVIMENTO FLEXIBLE”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

**Autor:**

Diego Alonso Cerrudo Ramirez

**Asesor:**

Ing. Germán Sagástegui Vásquez

Lima - Perú

2021

## ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS

El asesor, docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera profesional de **INGENIERÍA CIVIL**, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo de la tesis del estudiante:

- Diego Alonso Cerrudo Ramírez

Por cuanto, **CONSIDERA** que la tesis titulada: “INFLUENCIA DEL POLVO DE NEUMÁTICO EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA POR VÍA SECA PARA VÍAS LOCALES CON PAVIMENTOS FLEXIBLES.” para aspirar al título profesional de: Ingeniería Civil por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, **AUTORIZA** al o a los interesados para su presentación.

---

Ing. /Lic./Mg./Dr. Nombre y Apellidos  
Asesor

## ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

Los miembros del jurado evaluador asignados han procedido a realizar la evaluación de la tesis del estudiante: Cerrudo Ramírez Diego Alonso para aspirar al título profesional con la tesis denominada: “INFLUENCIA DEL POLVO DE NEUMÁTICO EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA POR VÍA SECA PARA VÍAS LOCALES CON PAVIMENTOS FLEXIBLES.”

Luego de la revisión del trabajo, en forma y contenido, los miembros del jurado concuerdan:

**Aprobación por unanimidad**

**Aprobación por mayoría**

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Desaprobado

Firman en señal de conformidad:

---

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos  
Jurado  
Presidente

---

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos  
Jurado

---

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos  
Jurado

## DEDICATORIA

A Dios, que con su bendición ilumina mi camino y me da la fuerza necesaria para continuar alcanzando todo lo que me proponga en la vida.

A mis padres Ruth y Alberto, y a mi hermana Camila, por brindarme todo el apoyo incondicional a lo largo de mi vida; gracias a su esfuerzo, trabajo y sacrificio lograron que culmine mi carrera profesional.

A mi hija Emilia que es mi motor y motivo para seguir alcanzando todas las metas propuestas.

A mi compañera de vida Astrid por todo el apoyo, cariño y amor brindado.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darnos la vida y salud.

A mis padres que siempre están conmigo guiándome por el camino correcto y alcanzar  
todas mis metas propuestas.

A mi amigo Christian Díaz que es una de las personas que más me ha apoyado tanto en el  
ámbito personal como laboral.

Al Ing. German Sagástegui que gracias a su asesoramiento y guía pude culminar la  
presente tesis.

## Tabla de contenidos

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS .....	4
ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS.....	5
DEDICATORIA .....	4
AGRADECIMIENTO.....	5
ÍNDICE DE CUADROS .....	7
ÍNDICE DE TABLAS .....	8
ÍNDICE DE FIGURAS .....	9
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	11
RESUMEN .....	12
ABSTRACT .....	13
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	14
CAPÍTULO II. MÉTODO.....	35
CAPÍTULO III. RESULTADOS .....	59
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	82
REFERENCIAS .....	85
ANEXOS .....	87

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Cuadro comparativo entre poblacion y muestra .....	37
Cuadro 2 Operacionalizacion de las Variables.....	40

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Granulometría de la Arena Chancada.....	49
Tabla 2 Granulometría de la Piedra Chancada 3/8” .....	50
Tabla 3 Granulometría de la Piedra Chancada ½” .....	51
Tabla 4 Granulometría de la Mezcla de Agregados .....	52
Tabla 5 Características del Marshall sin aditivo.....	60
Tabla 6 Características del Marshall con 2.5% de Polvo de Neumático.....	67
Tabla 7 Características del Marshall con 5.0% de Polvo de Neumático.....	74
Tabla 8 Cuadro Resumen de los 3 Ensayos Marshall .....	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Composicion de un pavimento.....	20
Figura 2 Selcción de tipo de cemento asfáltico .....	42
Figura 3 Máquina de estabilidad Marshall .....	46
Figura 4 Martillo y pedestal de compactación .....	46
Figura 5 Extractor de muestras de asfalto .....	47
Figura 6 Martillo de compactación.....	47
Figura 7 Mordaza para rotura de muestras Marshall.....	47
Figura 8 Gradaciones de los Agregados para Mezclas Asfálticas en Caliente.....	53
Figura 9 Curva Granulométrica.....	59
Figura 10 Relación % Cemento Asfáltico vs Peso Específico .....	61
Figura 11 Relación % Cemento Asfáltico vs Flujo .....	61
Figura 12 Relación % Cemento Asfáltico vs % Vacíos .....	62
Figura 13 Relación % Cemento Asfáltico vs % Vacíos Lleno C.A. ....	62
Figura 14 Relación % Cemento Asfáltico vs % Vacíos en el agregado mineral.....	63
Figura 15 Relación % Cemento Asfáltico vs Estabilidad .....	63
Figura 16 Relación % Cemento Asfáltico vs Peso Específico .....	65
Figura 17 Relacion % Cemento Asfáltico vs Flujo .....	66
Figura 18 Relación % Cemento Asfáltico vs % Vacíos .....	66
Figura 19 Relación % Cemento Asfáltico vs % Vacíos Lleno C.A .....	66
Figura 20 Relación % Cemento Asfáltico vs % Vacíos en el agregado mineral.....	67
Figura 21 Relación % Cemento Asfáltico vs Estabilidad .....	67
Figura 22 Relación % Cemento Asfáltico vs Peso Específico .....	69
Figura 23 Relación % Cemento Asfáltico vs Flujo .....	69

Figura 24 Relación % Cemento Asfáltico vs % Vacíos .....	70
Figura 25 Relación % Cemento Asfáltico vs % Vacíos Lleno C.A .....	70
Figura 26 Relación % Cemento Asfáltico vs % Vacíos en el agregado mineral.....	71
Figura 27 Relación % Cemento Asfáltico vs Estabilidad .....	71
Figura 28 Requisitos para mezcla de concreto bituminoso .....	73

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Peso del agregado para un espécimen .....	54
Ecuación 2. Gravedad Específica Bulk de la muestra compactada.....	57

## RESUMEN

En la presente investigación se busca la influencia de porcentajes del polvo de neumático en una mezcla asfáltica, el objetivo general es determinar la influencia del polvo de neumático en una mezcla asfáltica por vía seca en vías locales con pavimento flexible, la investigación es experimental, donde se realizó el ensayo Marshall tanto para la mezcla asfáltica sin modificar y las modificadas con el polvo de neumático en 2.5% y 5%. Tuvimos una estabilidad de 6,86 Kn. en mezcla tradicional, para la mezcla asfáltica con 2.5% de polvo de neumático tenemos 10,65 Kn., y para la mezcla asfáltica con 5% de polvo de neumático tenemos 10,84 Kn. En cuanto al flujo tenemos un porcentaje de 16.3 para la mezcla tradicional, para la mezcla asfáltica con 2.5% de polvo de neumático tenemos un porcentaje de 15.7, y para la mezcla asfáltica con 5% de polvo de neumático tenemos un porcentaje de 15.3. En cuanto al porcentaje de vacíos tuvimos 16.3 para la mezcla asfáltica tradicional, para la mezcla asfáltica con 2.5% de polvo de neumático tenemos 15.7, y para la mezcla asfáltica con 5% de polvo de neumático tenemos 15.3.

Se concluye que al utilizar el 2.5 % de polvo de neumático mejora las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas, tanto la estabilidad, como el porcentaje de flujo y de vacíos. y al utilizar el 5% de polvo de neumático mejora la estabilidad, se mantiene en el rango el porcentaje de flujo, pero el porcentaje de vacíos no cumple con lo establecido en la Norma CE. 010 de Pavimentos Urbanos

**Palabras clave:** Polvo de Neumático, Mezcla Asfáltica, Pavimentos Flexibles, Vías Locales.

## ABSTRACT

The present investigation seeks the influence of percentages of tire dust in an asphalt mix, the general objective is to determine the influence of tire dust in an asphalt mix by dry means on local roads with flexible pavement, the research is experimental, where The Marshall test was performed for both the unmodified asphalt mix and those modified with tire dust at 2.5% and 5%. We had a stability of 6.86 Kn. in traditional mix, for the asphalt mix with 2.5% tire dust we have 10.65 Kn., and for the asphalt mix with 5% tire dust we have 10.84 Kn. Regarding the flow we have a percentage of 16.3 for the traditional mix, for the asphalt mix with 2.5% of tire dust we have a percentage of 15.7, and for the asphalt mix with 5% of tire dust we have a percentage of 15.3. Regarding the percentage of voids we had 16.3 for the traditional asphalt mix, for the asphalt mix with 2.5% tire dust we have 15.7, and for the asphalt mix with 5% tire dust we have 15.3.

It is concluded that by using 2.5% of tire powder, the mechanical properties of the asphalt mixtures improves, both the stability, as well as the percentage of flow and voids. and when using 5% of tire powder, stability improves, the flow percentage is kept in the range, but the void percentage does not comply with the provisions of the CE Standard. 010 of Urban Pavements

Keywords: Tire Dust, Asphalt Mix, Flexible Pavements, Local Roads.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

El asfalto de uso común utilizado en la construcción de bases y superficies de rodadura, por lo general, constituye una mezcla de dicho mineral, de origen natural u obtenido artificialmente por destilación del petróleo, con cal, arena y otras sustancias. Cuando la pavimentación de las vías de circulación para vehículos motorizados se realiza con asfalto, se dice que la pavimentación es flexible. El asfalto no solamente se utiliza en la construcción de pavimentos flexibles, sino también en el tratamiento o restauración de los ya existentes, con el fin de rejuvenecer el pavimento y compensar el desgaste del mismo.

Cuando el asfalto, el de uso común en pavimentación, es alterado mediante la aplicación de ciertos materiales que pasan a formar parte de su composición es que, aparecen los denominados Asfaltos Modificados.

Entre las variadas formas de lograr un asfalto modificado tenemos el que se consigue mediante la adición de partículas o polvo de Neumáticos Fuera de Uso (NFU). Las adiciones de NFU a los asfaltos se pueden realizar tanto por aplicación por vía seca, el triturado del neumático sustituye una fracción de áridos; como por aplicación por vía húmeda, las partículas o polvo de NFU cumple la función de ligante.

Algunas bondades de añadir partículas o polvo de NFU a la mezcla del asfalto, son las siguientes: Resistencia mejorada a las fisuras reflejadas, mayor vida útil por disminución de la fatiga, las carreteras son menos ruidosas, mayor durabilidad (hasta 20 años), mayor seguridad vial debido a la mayor visibilidad y adherencia, mayor adherencia a los neumáticos de los vehículos; además, las mezclas son menos susceptibles a las altas y bajas temperaturas y se fatigan menos que en las carreteras convencionales. (Aliaga, 2017).

Teniendo en cuenta las bondades que ofrece los NFU para mejorar algunas propiedades en el tratamiento de pavimentos flexibles. Dado el uso del asfalto modificado en el tratamiento de pavimentos, es que, optamos por la aplicación por “Vía Seca” de las partículas o polvo de NFU obtenidos de caucho reciclado, ya que, estos al mezclarse con los otros agregados mejorará ciertas características.

### **1.1.1. Antecedentes Internacionales**

Vega (2016), en su tesis desarrollado en el contexto ecuatoriano, realiza un análisis del comportamiento a compresión de asfalto conformado por caucho reciclado de llantas como material constitutivo del pavimento asfáltico. Como resultado de dicho análisis, entre otras, llegó a las siguientes conclusiones: La incorporación del polvo de caucho de llantas recicladas en las mezclas asfálticas, reduce significativamente la contaminación ambiental que éstas originan debido a su largo plazo de degradación o a sus distintos métodos de desecho y eliminación; al añadir el polvo de caucho reciclado a la mezcla asfáltica, la Estabilidad Marshall disminuye y a la vez el Flujo y contenidos de vacíos y ligante aumenta; y, el peso específico bulk de las mezclas asfálticas modificadas con caucho son levemente inferiores a las del asfalto patrón.

Lozano y Tabares (2005), en su tesis de especialización desarrollada en el contexto colombiano, realizan un diagnóstico de vía existente y diseño del pavimento flexible de la vía nueva mediante parámetros obtenidos del estudio en Fase I de la vía acceso al Barrio Ciudadela del Café – Vía la Badea, en el departamento de Caldas. Luego de aplicar el procedimiento PCI (Índice de condición del Pavimento), dichos autores concluyen que, el estado actual del pavimento en el acceso al barrio Ciudadela del Café se encuentra en un excelente estado, según los rangos de

clasificación; pero, al realizar un recorrido por dicha vía, se evidenciaron una serie de fallas en la superficie de rodadura, entre las cuales destacan: Ausencia parcial o total del material de sello en algunas de las juntas, falla de esquina probablemente inducida por el fenómeno del bombeo, fisuras y grietas en el pavimento, ausencia de estructuras de alivio para la precipitación pluvial, dilataciones exageradamente anchas, aparente deficiencia en la colocación del refuerzo evidenciada en una mala transmisión de cargas a losas adyacentes, superficie con abrasión severa. Basado en dicho diagnóstico, los autores concluyen que, se debe demoler y reponer las placas de concreto que presentan niveles de severidad M, en relación con la abrasión o pulimento de la estructura en algunos de los tramos y en las grietas lineales identificadas.

Rodríguez y Rodríguez (2004), en su tesis desarrollada en el contexto centro americano, tuvieron como objetivo: Elaborar un documento en el cual se den a conocer todos aquellos aspectos más importantes de la técnica de reciclado de pavimentos flexibles sea este en frío o en caliente. Algunas conclusiones a la que llegaron dichos autores, son: La técnica del reciclado en frío es aplicable, cuando el pavimento existente presenta daños que ya han llegado a la base y se determina que es necesario una restauración del pavimento; por otro lado, la técnica de reciclaje en caliente es aplicable si los daños solo han afectado la carpeta asfáltica ya que en caso contrario, está no aplica debido a que no podrá superar los problemas o fallas de base, por lo tanto los resultados obtenidos del pavimento rehabilitado, no serán los esperados.

### **1.1.2. Antecedentes Nacionales**

Goicochea (2019), realiza un estudio de un asfalto con adición de caucho de neumático reciclado como polímero base, en la ciudad de Chachapoyas.

Algunas conclusiones a las que llega dicho autor, son: La adición de caucho de neumáticos reciclados al asfalto PEN 60/70 en las mismas condiciones de fabricación de la mezclas asfálticas, evidencia que cuanto menor es el porcentaje de caucho existente en la mezcla, el asfalto se vuelve más blando y cuanto mayor el porcentaje de caucho existente en la mezcla, el asfalto se vuelve más rígido; el comportamiento físico - mecánico del asfalto PEN 60/70, es mejorado con la adición de caucho de neumáticos; y, la adición de caucho de neumáticos reciclados al asfalto PEN 60/70, presenta las siguientes ventajas técnicas, mayor cohesión, capacidad elástica óptima ante las deformaciones permanentes, disminución de la susceptibilidad térmica. Por otro lado, como ventaja económica, el autor en mención destaca el bajo costo de producción. Asimismo, como ventaja ambiental, el autor destaca que, se reduce la contaminación por acumulación de neumáticos en desuso.

Aliaga (2017), analiza la aplicación del caucho reciclado para la mejora de las propiedades de la carpeta asfáltica en la pavimentación de La Av. Bertello – Distrito de Santa Rosa, asumiendo como premisas que, la carpeta asfáltica tiene como dimensión las propiedades físicas, propiedades mecánicas y resistencia a la deformación; y que, el caucho reciclado, tiene como dimensiones al caucho triturado, caucho pulverizado y caucho líquido. Luego de determinar la influencia de la aplicación del caucho triturado en la mejora de las propiedades físicas de la carpeta asfáltica, comprobar la incidencia que tiene la aplicación del caucho pulverizado en la mejora las propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica, y, establecer de qué forma la aplicación del caucho líquido mejora la resistencia a la deformación de la carpeta asfáltica en la pavimentación de la Av. Bertello del Distrito de Santa Rosa; el autor en citación concluye que: la

aplicación del caucho reciclado mejora el 20% de las propiedades de la carpeta asfáltica.

Villagaray (2017), en su tesis titulada «Aplicación de caucho reciclado en un diseño de mezcla asfáltica para el tránsito vehicular de la Avenida Trapiche-Comas (Remanso) 2017», se propuso como objetivos: Evaluar la mejora de la resistencia a la deformación del asfalto modificado con caucho reciclado a comparación de un asfalto convencional; identificar los beneficios que presenta el asfalto con caucho reciclado a la comparación de un asfalto convencional; y, analizar el costo de un asfalto modificado con caucho reciclado a comparación de un asfalto convencional. Algunas conclusiones pertinentes a las que llegó el autor en citación, son: El caucho reciclado puede ser utilizado confiablemente para mejorar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica, mediante el proceso de la vía seca ya que, aumenta el factor de rigidez en un 13.24% a comparación de un asfalto convencional; y, el asfalto modificado con caucho reciclado mejora en la resistencia a la deformación con un 3.54% a comparación del asfalto convencional.

### 1.1.3. Marco Teórico

#### 1.1.3.1.1. Bases Teóricas

#### 1.1.3.1.2. Pavimentos

En forma general, el pavimento se concibe como aquella capa lisa, dura y resistente de asfalto, cemento, madera, adoquines u otros materiales con la cual se recubre el suelo para que este esté firme y llano, y, cumpla una función específica, dar soporte transitorio a las deflexiones.

En un contexto referido al tránsito vehicular, los pavimentos son aquellas estructuras solidas sobre las vías de comunicación terrestre que, están

conformadas por una o más capas de materiales, y, tienen como función el permitir el tránsito de vehículos con seguridad y comodidad; procurando mantener un costo óptimo de operación. En esta línea de ideas, se tiene que:

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente. Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: anchura, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aun en condiciones húmedas. Deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua. Debe tener una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas. (ALICARESP, 2019).

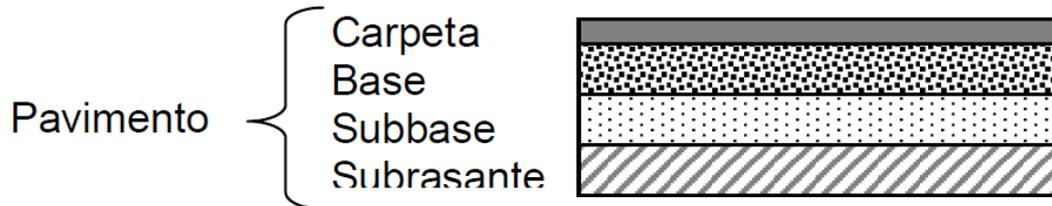
En el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, desde una perspectiva estructural y constitutiva, se define al pavimento como aquella “estructura integral de las capas de subrasante, sub base, base y carpeta colocado encima de la rasante y destinada a sostener las cargas vehiculares” (Coronado, 2011, p.vii).

Según lo acabado de citar, la función del pavimento es contrarrestar el desplazamiento vertical temporal del suelo por el cual transitan los vehículos, en otras palabras, contrarrestar el desplazamiento vertical del suelo debido a la aplicación de cargas proveniente de las ruedas de los vehículos, la deflexión. En esa línea de ideas se tiene que, para

contrarrestar la deflexión, el pavimento se conforma mediante una estructura laminar tal como se muestra en la figura que prosigue.

**Figura 1**

*Componentes del pavimento*



**Fuente:** Coronado (2011). Manual centroamericano para diseño de pavimentos.

#### **1.1.3.1.1. Características de los pavimentos**

Los pavimentos al conceptualizarse como elementos estructurados para dar soporte al tránsito vehicular, requieren de ciertas características que lo revistan, para ser considerados como tal. Dichas características son:

- Superficie uniforme.
- Superficie impermeable.
- Color y textura adecuados.
- Resistencia a la repetición de cargas.
- Resistencia a la acción del medio ambiente.
- Que no trasmita a la terracería esfuerzos mayores a su resistencia.

#### **1.1.3.1.2. Tipos de pavimentos**

La tipología de los pavimentos, según la literatura referida a dicho ámbito, da cuenta de los siguientes tipos de pavimentos:

- Pavimentos Asfálticos o Flexibles: Son aquéllos contruidos con materiales asfálticos y materiales granulares.
- Pavimentos de Concreto o Rígidos: Pavimentos contruidos con concreto de cemento portland y materiales granulares.
- Otros: Adoquines, empedrados, suelo cemento.

Con respecto al primer tipo de pavimento, el pavimento flexible, se tiene que este presenta las siguientes características:

- En general, están contruidos por una capa delgada de mezcla asfáltica contruida sobre una capa de base y una capa de sub-base las que usualmente son de material granular.
- Estas capas descansan en una capa de suelo compactado, llamada subrasante.
- En las capas superiores donde los esfuerzos son mayores, se utilizan materiales con mayor capacidad de carga y en las capas inferiores donde los esfuerzos son menores, se colocan materiales de menor capacidad.
- El uso de materiales con menor requerimiento permite el uso de materiales locales, dando como resultado diseños más prácticos.
- Pavimento flexible, está contruido con materiales débiles y menos rígidos (que el concreto), más deformables, que transmiten a la subrasante las cargas de manera más concentrada, distribuyendo el total de la carga en menos área de apoyo.
- Por lo tanto, el pavimento flexible normalmente requiere más capas y mayores espesores para resistir la transmisión de cargas a la subrasante.

Por otro lado, con respecto al segundo tipo, los pavimentos rígidos, se tiene que este presenta las siguientes características:

- Los pavimentos rígidos se integran por una capa (losa) de concreto de cemento portland que se apoya en una capa de sub-base, constituida por grava; esta capa descansa en una capa de suelo compactado, llamada subrasante.
- La resistencia estructural depende principalmente de la losa de concreto.
- Los bajos niveles de esfuerzo bajo el pavimento, hacen innecesario el contar con materiales de cimentación resistentes, inclusive hace posible la colocación de la losa directamente sobre la subrasante cuando la calidad de tipo de suelo lo permite.
- Resulta muy importante que el terreno de apoyo para el pavimento sea uniforme, sin cambios bruscos en su capacidad de soporte.
- En la rehabilitación de pavimentos, tanto rígidos como flexibles, se emplean sobre carpetas de concreto hidráulico (white topping) que además de restituir la capacidad de las vialidades y carreteras, mejoran su seguridad y confort.

Asimismo, con respecto a las diferencias existentes entre los primeros y segundos, se tienen las siguientes diferencias:

- Los adjetivos rígido y flexible nos proporcionan una práctica idea sobre cómo los pavimentos reaccionan frente a las cargas y al medio ambiente.
- Su principal diferencia es cómo cada uno de ellos transmite las cargas a la subrasante.
- La alta rigidez de la losa de concreto le permite mantenerse como una placa y distribuir las cargas sobre un área mayor de la subrasante, transmitiendo presiones muy bajas a las capas inferiores. Por sí misma, la losa proporciona la mayor parte de la capacidad estructural del pavimento rígido.

### 1.1.3.1.3. Construcción del pavimento.

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Los pavimentos se dividen en flexibles y rígidos, mismos que se comportan muy diferentes al aplicarles una carga.

En la construcción del pavimento se realizan las operaciones preliminares que se señalan a continuación.

**Taludes:** La terminación de los taludes será de modo que queden razonablemente lisos y uniformes, de acuerdo con las líneas y pendientes señaladas en los planos, y tomando en cuenta las tolerancias especificadas en el MOP – 001 – F – 2002.

**Excavación:** Hacer en el terreno hoyos, zanjas o pozos, para efectos de pago se acostumbra a clasificar en:

- Excavación sin clasificar.
- Excavaciones en roca.
- Excavación marginal.
- Excavaciones en fango.
- Excavación de suelo

**Compactación:** El grado de compactación consiste en relacionar el peso unitario seco del suelo compactado en obra, con el máximo peso unitario seco obtenido en laboratorio.

**Terraplén:** En los terraplenes se formarán capas debidamente emparejadas, hidratadas y compactadas de acuerdo con los requerimientos de los documentos contractuales.

En la construcción del pavimento se deben tomar en cuenta las especificaciones que se señalan a continuación.

- Estar concluidas todas las obras de drenaje señaladas en los planos.
- La capa superior de 15 cm de espesor existente por debajo de un terraplén de altura inferior a 2 m, deberá compactarse con la misma exigencia requerida para el material a colocarse en el terraplén.
- Cuando el terraplén se coloca encima de un camino existente, desde la capa superficial de este camino, hasta una profundidad de 15 cm se debe escarificar y compactar según indicaciones del fiscalizador.

En la construcción del pavimento se realizan los ensayos para verificar si este material es apto para su uso se deben realizar los ensayos de granulometría, límite líquido, límite plástico, valor soporte CBR.

Por otro lado, en la construcción del pavimento, con respecto a los materiales se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- El material y el espesor de la capa serán determinados por el fiscalizador. Cada capa será humedecida para lograr el contenido de humedad óptimo y el material de mejor calidad será utilizado en las capas superiores del terraplén.
- Cuando se utilice material pedregoso cada capa será emparejada con material fino, para llenar los espacios vacíos del material pétreo y luego se compactada.
- Si el material de las capas presenta más del 25% de material pétreo de tamaño superior a 15 cm de diámetro, serán colocadas en capas de espesor no mayor a 60 cm.

- Se seguirá este método de construcción hasta una altura no mayor a 60cm, bajo el nivel de la subrasante del camino, el resto se hará en capas de 20 cm de espesor, donde no se permite piedras mayores a 10 cm de diámetro.

Asimismo, en la construcción del pavimento, en lo referente a la compactación, el número de pasadas que se requiere para obtener una compactación adecuada depende de los espesores de las capas:

- Para un espesor menor a 25 cm sin compactar, el equipo deberá efectuar un mínimo de 3 pasadas.
- Para un espesor de 60 cm sin compactar, el equipo deberá efectuar un máximo de 8 pasadas.
- En suelos arenosos con finos poco plásticos los rodillos neumáticos son los que rinden mejores resultados.
- En limos poco plásticos los rodillos neumáticos resultan también eficientes.
- Los materiales que tengan más del 50% de material pétreo con un diámetro mayor a 15 cm, cada capa deberá ser compactada por una unidad de equipo que pese por lo menos 22 Ton cuando el espesor de la capa es menor de 40 cm.
- Cuando la capa tenga un espesor de 40 a 60 cm, se deberá utilizar un equipo que pese por lo menos 34 Ton.

Finalmente, en la construcción del pavimento, en cuanto a los equipos, se tiene que, según las especificaciones del MOP – 001 – F - 2002, el equipo de compactación deberá estar constituido por:

- Rodillos pata de cabra: Este equipo de compactación consiste en cilindros de acero, con patas salientes que aplican alta presión sobre un área pequeña.

- Rodillos lisos: Este equipo consiste en rodillos de cilindros, estos pueden ser de tres ruedas, tándem de 2 ejes o tándem de 3 ejes. El peso neto de los rodillos lisos de tres ruedas y los tándems de tres ejes podrán variar de 10 a 14 Ton, en los tándems de 2 ejes los pesos netos podrán estar entre 6 o 10 Ton.
- Rodillos neumáticos: Consiste en un par de ejes paralelos cada uno equipado con ruedas de llantas neumáticas de igual tamaño y tipo.

#### **1.1.3.1.3. Asfalto**

El asfalto es uno de los materiales más antiguos utilizados por el hombre. Excavaciones arqueológicas revelan de su empleo en épocas anteriores a nuestra era. En Asia, Mesopotamia el asfalto era usado como aglutinante en trabajos de albañilería y construcción de estrados. Los reservorios de agua de los baños sagrados eran impermeabilizados con asfalto.

Se usó en pavimentación en 1802 en Francia, 1838 en Filadelfia (USA) y en 1909 se inicia el uso del “Asfalto derivado del Petróleo”, el cual, por sus características de economía y pureza en relación a asfaltos naturales, constituyen actualmente la principal fuente de abastecimiento.

##### **1.1.3.1.3.1. Propiedades Físicas.**

El asfalto es un material aglomerante, resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero; capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo acción de calor o cargas permanentes. Componente natural de la mayor parte de los petróleos, en los que existe en disolución y que se obtiene como residuo de la destilación al vacío del crudo pesado. Es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de áridos con las que se le combina usualmente. Su color varía entre el café oscuro y el negro; de consistencia sólida,

semisólida o líquida, dependiendo de la temperatura a la que se exponga o por la acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificación.

#### **1.1.3.1.3.2. Composición química.**

Es de mucha utilidad un amplio conocimiento de la constitución y composición química de los asfaltos, para el control de sus propiedades físicas y así obtener un mejor funcionamiento en la pavimentación. Al igual que el petróleo crudo, el asfalto, es una mezcla de numerosos hidrocarburos parafínicos, aromáticos y compuestos heterocíclicos.

La mayoría de hidrocarburos livianos se eliminan durante el proceso de refinación, quedando los más pesados y de moléculas complejas. Al eliminar los hidrocarburos más ligeros de un crudo, los más pesados no pueden mantenerse en disolución y se van uniendo por absorción a las partículas coloidales ya existentes, aumentando su volumen dependiendo de la destilación que se les dé.

Los hidrocarburos constituyentes del asfalto forman una solución coloidal en la que un grupo de moléculas de hidrocarburos pesados (asfálenos) se encuentran dispersas en un medio aceitoso más ligero (maltenos) compuesto por hidrocarburos saturados, resinas y aromáticos, sin que exista una separación entre estas dos fases sino una transición.

#### **1.1.3.1.3.3. Clasificación de Asfaltos**

Los asfaltos pueden clasificarse según su uso o aplicación en:

- Pavimentación: Mezclas Cerradas (Stone Mastic Asphalt), Mezclas Abiertas (Gap Graded), Drenantes, Base Asfáltica.
- Riegos: Matapolvos, Imprimaciones, Riegos de Liga.

- Tratamientos y lechadas: Sellos de arena, Tratamientos Superficiales, Slurry Seal, Cape Seal.
- Otras aplicaciones: Microaglomerados, Asfalto Espumado.

De la anterior clasificación cabe destacar que el más importante uso es sin duda, la utilización del asfalto como ligante en la pavimentación, ya que ningún otro material garantiza en mayor grado la satisfacción simultánea y económica de dos importantes funciones:

- Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poro sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación.
- Proporcionar una íntima unión y cohesión entre agregados, capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos. Igualmente mejora la capacidad portante de la estructura, permitiendo disminuir su espesor.

Finalmente, el asfalto le confiere al pavimento una estructura con característica flexible, que permite cierto grado de acomodo sin fisurarse, a eventuales movimientos de las capas subyacentes.

#### **1.1.3.1.4. Caucho reciclado de llanta**

Es obtenido de las llantas desechas de los automotores, las cuales son desechados en los rellenos municipales o simplemente en basureros al aire libre, lo cual contribuye con la contaminación ambiental que nos afecta en la actualidad.

Aproximadamente el 70% de las llantas son incineradas como combustible en hornos de producción panelera y de cemento entre otros, afectando el medio ambiente y la salud de todos a causa de las emisiones de contaminantes que causan problemas al sistema respiratorio y circulatorio.

#### **1.1.3.1.4.1. Influencia del Caucho Reciclado de llantas en el asfalto modificado.**

El caucho de la llanta se ha convertido en un elemento útil y económico en la elaboración de mezclas asfálticas, gracias al aumento de llantas desechadas en nuestro país.

##### **Ventajas:**

- El caucho molido al ser vulcanizado para resistir calor y sobrecalentamiento elimina los problemas encontrados con el polímero virgen.
- No presenta solubilidad, a diferencia del caucho natural ese no cambia dentro del cemento asfáltico al ser sobrecalentado.
- Al ser mezclado con el cemento asfáltico a altas temperaturas atrae componentes livianos de este último hasta producir una partícula hinchada que se enlaza dentro de la matriz del ligante, generando un manto asfalto-caucho más resistente al fisuramiento.

##### **Desventajas:**

- La captación de aceites del cemento asfáltico por parte de las partículas de caucho afecta adversamente las propiedades de cohesividad y adhesividad del ligante, haciendo que disminuya la propiedad de la mezcla a unirse con las superficies de la estructura del pavimento o con los agregados.
- Al modificar el ligante con el caucho reciclado de llanta, la mezcla resultante experimenta un incremento de viscosidad haciéndola no apta para ser usada en ciertas aplicaciones que requieren que este ligante sea bien fluido. Este problema se puede solucionar ablandando la mezcla asfalto-caucho con el uso del kerosene.

#### 1.1.3.1.4.2. Procesos de modificación del asfalto con caucho reciclado

Existen dos métodos diferentes denominados proceso seco y proceso húmedo. Dichos procesos se describen en lo que prosigue.

**Proceso seco:** El proceso seco es donde el caucho reciclado de llanta es adicionado directamente a la mezcla asfáltica caliente, siendo usualmente mezclado con los agregados antes de adicionar el cemento asfáltico. Este proceso se lleva a cabo cuando se quiere usar el caucho reciclado de llanta como un agregado en la mezcla asfáltica, por lo general, como un sustituto de una pequeña parte del agregado fino, el cual puede estar entre el 1 y 5% del peso total de los agregados en la mezcla. A diferencia del proceso húmedo, este proceso no requiere un equipo especial, solo un sistema de alimentación que proporcione la cantidad adecuada de caucho reciclado de llanta y que sea suministrada en el momento indicado para que se mezcle con los agregados cuando estos alcancen cierta temperatura y antes de que el ligante sea adicionado.

**Proceso húmedo:** En este proceso, el caucho reciclado de llanta es mezclado con el cemento asfáltico para producir una mezcla modificada asfalto-caucho que es usada de la misma manera que un ligante modificado. Cuando el cemento asfáltico y el caucho son mezclados, el caucho interacciona hinchándose y ablandándose por la absorción de aceites aromáticos, siendo necesaria la utilización de un catalizador compatibilizante para darle un pre-tratamiento al caucho mejorando la estabilidad de la mezcla. El grado de modificación del ligante depende de muchos factores entre los cuales se encuentran el tamaño, textura y proporción del caucho reciclado de llanta, tipo del cemento asfáltico, tiempo y temperatura de mezclado, grado de agitación mecánica durante la mezcla, el componente aromático del cemento asfáltico y el uso de otros aditivos. Entre los procesos más usados están: El mezclado por bachadas, mezclado continuo y mezclado terminal.

### 1.1.3.2. Definición de Términos Básicos

**Asfalto:** Mineral negro de origen natural u obtenido artificialmente por destilación del petróleo. Mezcla de este mineral con cal, arena y otras sustancias que se emplea principalmente en la pavimentación de las vías públicas de circulación. Mezcla de este mineral con cal, arena y otras sustancias que se emplea principalmente en la pavimentación de las vías públicas de circulación.

**Balasto:** Una capa superficial de material selecto consistiendo por lo general de material granular natural o agregado triturado, que se coloca sobre la subrasante terminada de una carretera, con el objeto de protegerla y que sirva de superficie de rodadura, para permitir el libre tránsito durante todas las épocas del año. (Coronado, 2011, p.vi).

**Base:** Es la capa de espesor diseñado, constituyente de la estructura del pavimento, destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a las capas subyacentes y sobre la cual se coloca la carpeta de rodadura.

**Calzada:** Zona de la carretera destinada a la circulación de vehículos, con ancho suficiente para acomodar un cierto número de carriles para el movimiento de los mismos, excluyendo los hombros laterales. (Coronado, 2011, p.vi).

**Carpeta o Superficie de Rodamiento o Rodadura:** La parte superior de un pavimento, por lo general de pavimento bituminoso o rígido, que sostiene directamente la circulación vehicular. (Coronado, 2011, p.vi).

**Carretera, calle o camino:** Un calificativo general que designa una vía pública para fines de tránsito de vehículo, y que incluye la extensión total comprendida dentro del derecho de vía. (Coronado, 2011, p.vi).

**Daños:** Desperfectos ocurridos en la superficie de una carretera debido a efectos de clima y tránsito. (Coronado, 2011, p.vi).

**Caucho:** Sustancia elástica, impermeable y resistente que se obtiene a partir del jugo lechoso de ciertas plantas tropicales; se emplea en la fabricación de neumáticos, tuberías aislantes, etc.

**Drenaje:** Proceso que tiene que ver con asegurar la salida de líquidos o de la excesiva humedad de un determinado cuerpo o elemento, por medio de sistemas de cañerías, tubos o zanjas.

**Hombro (Berma):** Las áreas de la carretera, contiguas y paralelas a la carpeta o superficie de rodadura, que sirven de confinamiento a la capa de base y de zona de estacionamiento accidental de vehículos. (Coronado, 2011, p.vii).

**Llanta:** Es un toroide que desde una vista plano se ve como una pieza circular, generalmente de metal, situada en el centro de una rueda y sobre la que se coloca un neumático y que va unida al eje del vehículo.

**Mantenimiento:** En un contexto de vías de comunicación terrestres se denomina mantenimiento al “conjunto de tareas de limpieza, reemplazo y reparación que se realizan de manera regular y ordenada en una carretera, para asegurar su buen funcionamiento y la prolongación de su vida de servicio, al máximo compatible con las previsiones de diseño y construcción de la obra” (Coronado, 2011, p.vii).

**Mejoramiento:** Ejecución de las actividades constructivas necesarias para dotar a una carretera existente, en bueno, regular o mal estado, de mejores condiciones físicas y operativas de las que disponía anteriormente, para ampliar su capacidad o simplemente ofrecer un mejor servicio al usuario. (Coronado, 2011, p.vii).

**Reconstrucción:** Trabajo mayor de rehabilitación de una carretera en mal estado, para restablecer sus condiciones físicas a un mejor nivel de servicio, al que fue construida anteriormente. (Coronado, 2011, p.viii).

**Subrasante:** Superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte o relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado.

**Tránsito vehicular:** En su forma general, el tránsito tiene que ver con la “circulación de personas y vehículos por calles, carreteras, etc.” (Coronado, 2011, p.viii). De la definición general presentada, se desprende que, el tránsito vehicular o automovilístico, es el fenómeno causado por el flujo de vehículos en una vía, calle o autopista.

## 1.2. Justificación del Problema

En las últimas décadas ha nacido un interés creciente por reutilizar los materiales reciclables, constituyendo esto un paradigma de conservación del medioambiente y una de las exigencias del modelo de desarrollo sostenible que se viene fomentando a nivel mundial. En consonancia con lo acabado de señalar es que, consideramos que la utilización de caucho reciclado, proveniente principalmente de las llantas o neumáticos que cumplieron su ciclo de vida, en las mezclas asfálticas; contribuye con la necesidad que se tiene de darle una solución de disposición final a gran parte de material de llantas de desecho que se producen tanto en el Perú como en la ciudad de Lima, caracterizada esta última por poseer el mayor parque automotor del país.

Por otro lado, el desarrollo de la presente tesis busca contribuir con el desarrollo del cuerpo teórico referido al uso de Polvo de Neumáticos, como material para la elaboración de un tipo de Asfalto Modificado por Vía Seca, que coadyuve a la mejora de los Pavimentos Urbanos Flexibles en las vías locales, también denominadas vías vecinales o pistas urbanas de bajo tránsito.

### **1.3. Formulación del Problema**

¿De qué manera Influye el polvo de neumático en una mezcla asfáltica por vía seca en vías locales con pavimento flexible?

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar la influencia del polvo de neumático en una mezcla asfáltica por vía seca en vías locales con pavimento flexible.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

**OE<sub>1</sub>:** Determinar la estabilidad de la mezcla asfáltica usando el polvo de neumático por vía seca en vías locales con pavimentos flexibles.

**OE<sub>2</sub>:** Determinar el porcentaje de flujo de la mezcla asfáltica usando el polvo de neumático por vía seca en vías locales con pavimentos flexibles.

**OE<sub>3</sub>:** Determinar el porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica usando el polvo de neumático por vía seca en vías locales con pavimentos flexibles.

### **1.5. Hipótesis**

#### **1.5.1. Hipótesis general**

El asfalto modificado con polvo de neumáticos por vía seca mejorará las vías locales con pavimentos flexibles.

#### **1.5.2. Hipótesis específicas**

**HE1.** Con el ensayo de Marshall, si se obtiene una mejor estabilidad del asfalto modificado con polvo de neumáticos por vía seca en vías locales con pavimentos flexibles, dentro de la normativa vigente.

**HE2.** Con el ensayo de Marshall, si se obtiene los resultados de porcentaje de flujo del asfalto modificado con polvo de neumáticos por vía seca en vías locales con pavimentos flexibles, dentro de la normativa vigente.

**HE3.** Con el ensayo de Marshall, si se obtiene los resultados de porcentaje de vacíos del asfalto modificado con polvo de neumáticos por vía seca en vías locales con pavimentos flexibles, dentro de la normativa vigente.

## CAPÍTULO II. MÉTODO

Según el autor Carrasco Díaz, Sergio (2007) en su libro *“Metodología de la Investigación Científica”*, el método, en tanto se emplea para realizar investigaciones científicas, se denomina método científico, y constituye un sistema de procedimientos, técnicas, instrumentos, acciones estratégicas y tácticas para resolver el problema de investigación, así como probar la hipótesis científica. A continuación, detallaremos la metodología, los materiales, instrumentos, y procedimientos a realizar en el proyecto.

### 2.1. Tipo de investigación

#### 2.1.1. Según el propósito de la investigación

La presente investigación es aplicada, porque nuestros resultados mejoran en la mezcla asfáltica por vía seca sus propiedades., es decir en nuestra investigación se propone la mejora en el aspecto de estabilidad, porcentajes de flujos y porcentajes de vacíos. El autor Carrasco Díaz, Sergio (2007) en su libro *“Metodología de la Investigación Científica”*, define que esta investigación se distingue por tener propósitos prácticos inmediatos bien definidos, es decir, se investiga para actuar, transformar, modificar o producir cambios en un determinado sector de la realidad. Para realizar investigaciones aplicadas es muy

importante contar con el aporte de las teorías científicas, que son producidas por la investigación básica y sustantiva.

### **2.1.2. Según el diseño**

El diseño de la presente investigación es experimental, porque vamos a considerar porcentajes en lo que implican el polvo de neumático para mejorar ciertas características de la mezcla asfáltica, que serán detalladas en los ensayos y resultados. La autora Baena P. G. M. E. (2017) en su libro *“Metodología de la Investigación – Tercera Edición”* El método experimental es un procedimiento científico que permite inducir relaciones empíricas entre variables o comprobar la veracidad de una hipótesis, ley o modelo, por medio de un experimento controlado.

### **2.1.3. Según la naturaleza de datos de la investigación**

Según la naturaleza de datos de la investigación, el método a emplear es la cuantitativa, ya que mediante los ensayos que vamos a realizar nos arrojarán valores numéricos para lo cual haremos la comparación respectiva entre la mezcla asfáltica tradicional y la mezcla asfáltica modificada con el polvo de neumático. La autora Baena P. G. M. E. (2017) en su libro *“Metodología de la Investigación – Tercera Edición”* El modelo cuantitativo resulta con frecuencia inaplicable en muchos tipos de investigación social, aunque proporciona una base útil para establecer comparaciones con la investigación cualitativa, más común en las ciencias sociales

Se realizarán 3 ensayos de Marshall, teniendo como finalidad determinar la estabilidad, porcentaje de vacíos y porcentaje de flujos.

## **2.2. Población y muestra**

El autor Carrasco Díaz, Sergio (2007) en su libro *“Metodología de la Investigación Científica”*, define que la población es el conjunto de todos los

elementos (unidades de análisis) que pertenecen al ámbito espacial donde se desarrolla el trabajo de investigación.

Población:

El tema de investigación tiene como población a Los Pavimentos Flexibles con Mezclas asfálticas por vía seca en vías colectoras.

El autor Carrasco Díaz, Sergio (2007) en su libro “*Metodología de la Investigación Científica*”, define que la muestra es una parte o fragmento representativo de la población, cuyas características esenciales son las de ser objetiva y reflejo fiel de ella, de tal manera que los resultados obtenidos en la muestra puedan generalizarse a todos los elementos que conforman dicha población.

### Cuadro 1

*Cuadro comparativo de población y muestra*

<p>POBLACION</p>	<p>Conjunto de todos los elementos que forman parte del espacio territorial al que pertenece el problema de investigación y poseen características mucho más concretas que el universo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solo abarca la totalidad de elementos del espacio territorial del problema.</li> <li>- Su estudio total es muy costoso.</li> <li>- Contiene a la muestra.</li> <li>- Son limitados, es decir, son finitos.</li> </ul>
------------------	---	--

MUESTRA	Fragmento representativo de la población, que debe poseer las mismas propiedades y características de ella. Para ser objetiva requiere ser seleccionada con técnicas adecuadas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es parte representativa del problema de investigación.</li> <li>- Son posibles de estudiar.</li> <li>- Poseen características auténticas de la población.</li> <li>- Son de tamaño moderado, proporcional a la de la población.</li> </ul>
---------	---	---

Fuente: Carrasco Díaz, Sergio, 2007 – Metodología de la Investigación

El tema de investigación tiene como muestra a Los Pavimentos Flexibles con Mezclas Asfálticas por vía seca en vías locales.

## 2.3. Variables

### 2.3.1. Variable independiente

Según el autor Carrasco Díaz, Sergio (2007) en su libro “*Metodología de la Investigación Científica*”, define a las variables independientes como las que ejercen influencia o causan efecto o determinan a otras variables llamadas dependientes, y son las que permiten explicar a estas. (p. 223).

La variable independiente en nuestro tema de investigación es el polvo de neumático, ya que no depende de ninguna otra variable para que pueda ser analizada en los ensayos que se vayan a realizar y así poder determinar qué tan influyente para mejorar las características de la mezcla asfáltica.

### 2.3.2. Variable dependiente

Según el autor Carrasco Díaz, Sergio (2007) en su libro “*Metodología de la Investigación Científica*”, las variables dependientes son aquellas que reciben la influencia,

el efecto, o son consecuencia de otras variables o situaciones fácticas; es decir son las que se explican en función a otras. (p.223).

En nuestro estudio de investigación la variable dependiente es mezcla asfáltica, ya que esta depende del polvo de neumático para analizar los resultados que arrojen los ensayos.

## 2.4. Operacionalización de Variables

**Cuadro 2**

*Operacionalización de Variables*

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
<p><b>Variable Independiente:</b> Polvo de Neumático Fuera de Uso.</p>	<p>El polvo de Neumático Fuera de Uso, proviene de las llantas en desuso de los autos, dichas llantas pasan por un proceso de trituración y se elimina prácticamente todo el acero y fibra.</p>	<p>Neumáticos Fuera de Uso.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ensayo de Granulometría.</li> <li>- Características del polvo de neumático</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proporciona características de los agregados.</li> <li>- Características que debe tener el polvo de neumático para ser incorporado en la mezcla asfáltica.</li> <li>- Porcentaje del polvo de neumático recomendable para agregar a la mezcla asfáltica.</li> </ul>
<p><b>Variable dependiente:</b> Mezcla Asfáltica.</p>	<p>Una mezcla asfáltica es la combinación de agregados pétreos grueso y fino, polvo mineral y ligante asfáltico. El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en costo total. (A. Padilla Rodríguez, 2004)</p>	<p>Mezcla Asfáltica.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estabilidad de la capa de rodadura.</li> <li>- Porcentaje de vacíos.</li> <li>- Porcentaje de flujos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Antes del Asfalto Modificado.</li> <li>- Después del Asfalto Modificado.</li> <li>- Antes del Asfalto Modificado.</li> <li>- Después del Asfalto Modificado.</li> <li>- Antes del Asfalto Modificado.</li> <li>- Después del Asfalto Modificado.</li> </ul>

*Fuente:* Elaboración propia

## 2.5. Materiales

### 2.5.1. Agregado grueso

Según el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG – 13)”, el agregado grueso deberá proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. Estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan impedir la adhesión con el asfalto. Sus requisitos básicos de calidad se presentan en cada especificación. Para efecto de las presentes especificaciones, se denominará agregado grueso a la porción de agregado retenido en el tamiz de 4,75 mm (N.º 4)

### 2.5.2. Agregado fino

Según el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG – 13)”, El agregado fino estará constituido por arena de trituración o una mezcla de ella con arena natural. La proporción admisible de esta última será establecida en el diseño aprobado correspondiente. El agregado fino a la porción comprendida entre los tamices de 4,75 mm y 75  $\mu$ m (N.º 4 y N.º 200).

Los granos del agregado fino deberán ser duros, limpios y de superficie rugosa y angular. El material deberá estar libre de cualquier sustancia, que impida la adhesión con el asfalto y deberá satisfacer los requisitos de calidad indicados en cada especificación.

### 2.5.3. Cemento Asfáltico

Según el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG – 13)”, el cemento asfáltico es un material bituminoso aglomerante, de consistencia sólida, utilizado para la fabricación de mezclas asfálticas en caliente.

El cemento asfáltico a emplear en los riegos de liga y en las mezclas asfálticas elaboradas en caliente será clasificado por viscosidad absoluta y por penetración. Su empleo será según las características climáticas de la región, la correspondiente carta viscosidad del cemento asfáltico y tal como lo indica la Tabla 415-01.

## Figura 2

### Selección de Tipo de cemento Asfáltico

Temperatura Media Anual			
24°C o más	24°C - 15°C	15°C - 5°C	Menos de 5°C
40-50 ó 60-70 o modificado	60-70	85-100 120-150	Asfalto Modificado

*Fuente:* Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG – 13)”.

El cemento asfáltico utilizado en la presente tesis fue de 60/70, teniendo en cuenta que el ensayo ha sido realizado para las vías locales de Lima, la temperatura anual se encuentra entre los 15°C y 24°C.

#### 2.5.4. Polvo de Neumático

La aplicación de un neumático reciclado es una solución constructiva y ecológica, que ayuda no solo al equilibrio ambiental, sino que también suple algunas necesidades dentro del sector industrial, deportivo, decorativo, animal y urbano. Específicamente el gránulo de caucho el cual se amolda a un sin fin de aplicaciones, estos gránulos son compuestos elastómeros con una gran variedad de ventajas por ofrecer en los distintos sectores antes mencionados.

Un neumático granulado es destinado al pavimento de carreteras, haciendo que estas vías se mantengan por mucho más tiempo sin baches, grietas, ni deformaciones, si las

comparamos a las carreteras de asfalto regular, además proporcionar a los conductores un recorrido más confortable y mejoras en los impactos ocasionados al vehículo en general.

## **2.6. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos**

Sin duda son numerosas las técnicas e instrumentos para la recolección de datos, pero en este estudio solo vamos a considerar las más usuales, tales como la observación, las escalas, la encuesta, la entrevista y el cuestionario.

### **2.6.1. Técnicas para la recolección de datos:**

En nuestro tema de investigación utilizaremos la técnica de la observación ya que mediante los ensayos de laboratorio recopilaremos y procesaremos datos objetivos, según el autor Carrasco Díaz, Sergio (2007) en su libro “*Metodología de la Investigación Científica*”, en términos más específicos, la observación se define como el proceso sistemático de obtención, recopilación y registro de datos empíricos de un objeto, un suceso, un acontecimiento o conducta humana con el propósito de procesarlo y convertirlo en información.

### **2.6.2. Instrumentos para la recolección de datos:**

Según el autor Carrasco Díaz, Sergio (2007) en su libro “*Metodología de la Investigación Científica*”, los instrumentos de investigación cumplen roles muy importantes en la recogida de datos, y se aplican según la naturaleza y características del problema y la intencionalidad del objetivo de investigación. Algunos autores lo denominan instrumentos de observación, otros, instrumentos de medición.

Para realizar el ensayo de Marshall se utilizaron los siguientes instrumentos y/o equipos:

- ✓ Molde de Compactación: Consiste en una placa de base plana, molde y collar de extensión cilíndricos. El molde de un diámetro interior de 101.6 mm (4”) y altura

aproximada de 76.2 mm (3”); la palca de base plana y el collar son ser intercambiables. Es conveniente que el molde este provisto con agarraderas. Ver figura N°01.

- ✓ Martillo de compactación con base plana circular de apisonado de 98,4 mm (3 7/8”) de diámetro, equipado con un pisón de 4.54 kg (10 lb) de peso total, cuya altura es de caída de 457.2 mm (18”). Ver figura N°02.
- ✓ Pedestal de compactación. Pieza de madera de base cuadrada de 200.3 mm de lado y 457.2 mm de altura (8”x8”x18”), provista en su cara superior de una platina cuadrada de acero de 304.8 mm de lado por 25.4 mm de espesor (12”x12”x1”), finalmente sujeta en la misma. El conjunto se deberá fijar firmemente a una superficie de concreto, de tal manera que la platina de acero quede horizontal.
- ✓ Extractor de muestras de Asfaltos. Para extraer la probeta compactada del molde, es de acero, en forma de disco con diámetro de 100 mm (3.95”) y 12.7 (1/2”) de espesor.
- ✓ Soporte para molde o portamolde. Dispositivo con resorte de tensión diseñado para sostener rígidamente el molde de compactación sobre el pedestal.
- ✓ Mordaza. Consiste en dos segmentos cilíndricos, con un radio de curvatura interior de 50.8 mm (2”) de acero enchapado para facilitar du fácil limpieza. El segmento inferior que terminará en una base plana, ira provisto de dos varillas perpendiculares a la base y que sirven de guía al segmento superior. El movimiento de este segmento se efectuará sin rozamiento apreciable. Ver figura N°03 y 04.
- ✓ Medidor de deformación. Consiste en un deformimetro de lectura final fija y dividido en centésimas de milímetro, firmemente sujeto al segmento superior y cuyo vástago se apoyará, cuando se realiza el ensayo, en una palanca ajustable acoplada al segmento inferior. Ver figura N°04.

- ✓ Prensa. Para la rotura de las probetas será mecánica con una velocidad uniforme de desplazamiento de 50.8 mm/min. Puede tener un motor eléctrico unido al mecanismo del pistón de carga.
- ✓ Medidor de estabilidad. La resistencia
- ✓ Discos de Papel Filtrante de 4 pulg.
- ✓ Horno. El horno deberá estar provisto de control termostático, capaz de mantener la temperatura requerida con un error menor de 3 °C (5 °F) se emplea para calentar los agregados, material asfáltico, conjunto de compactación y muestra.
- ✓ Baño. El baño para agua, de 150 mm (6”) de profundidad mínima y controlado termostáticamente para mantener la temperatura a  $60^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$  ( $140^{\circ} \pm 1.8^{\circ} \text{F}$ ), deberá tener un falso fondo perforado o estar equipado con un estante para mantener las probetas por lo menos a 50.8 mm (2”) sobre el fondo del tanque.
- ✓ 2 recipientes de dos litros de capacidad para calentar los agregados y para mezclar el asfalto y agregado.
- ✓ Tamices. Conformados por: 50 mm (2”), 37.5 mm (1 1/2”), 25 mm (1”), 19.0 mm (3/4”), 12.5 mm (1/2”), 9.5 mm (3/8”), 4.75 mm (N° 4), 2.36 mm (N° 8), 300  $\mu\text{m}$  (N° 50), 75  $\mu\text{m}$  (N° 200).
- ✓ Termómetros blindados. De 10°C a 232°C (50°F a 450°F) para determinar las temperaturas del asfalto, agregados y mezcla, con sensibilidad de 3°C. Para la temperatura del baño de agua se utilizará termómetro con escala de 20°C a 70°C y sensibilidad de 0.2°C (68°F a 158°F + 0.4°F).
- ✓ Balanza.  
Para pesar agregados y asfalto                    de 5kg. De capacidad, y sensibilidad de 1gr.  
Para pesar probetas compactadas            de 2 kg. De capacidad y sensibilidad de 0.1 gr.
- ✓ Parafina.

- ✓ Pírex de 500 cm<sup>3</sup>.
- ✓ Guantes de cuero. Para poder manipular el equipo caliente,
- ✓ Crayolas para identificar las probetas.
- ✓ Bandejas taradas.
- ✓ Espátulas.

Las fotos de la 1 a la 5 muestran el equipo básico que se necesita para el ensayo Marshall.

**Figura 3**

*Máquina de estabilidad Marshall*



*Fuente: Manual de Laboratorio de Ensayos para Pavimentos Volumen I*

**Figura 4**

*Martillo y pedestal de compactación*



**Figura 5**

*Extractor de muestras de asfalto*



*Fuente:* Manual de Laboratorio de Ensayos para Pavimentos Volumen I

**Figura 6**

*Martillo de compactación*



**Figura 7**

*Mordaza para rotura de muestras Marshall*



*Fuente:* Manual de Laboratorio de Ensayos para Pavimentos Volumen I

## 2.7. Métodos

Los métodos a utilizar en el presente trabajo de investigación serán los ensayos referentes a la mezcla asfáltica, que serán desarrollados detalladamente, teniendo en cuenta lo establecido por la norma técnica CE. 010 de Pavimentos Urbanos. El método a utilizar será el Método Marshall.

## 2.8. Procedimiento

A continuación, detallaremos todos los ensayos realizados en el Laboratorio de Suelos JCH S.A.C., y determinar la influencia del polvo de neumático en la mezcla asfáltica para pavimentos flexibles en vías locales.

### 2.8.1. Granulometría

El ensayo de granulometría consiste en realizar el cuarteo de la muestra e inmediatamente ingresarlo al horno y podemos obtener una muestra seca. Luego de tener la muestra seca se procede a pesarla, lavarla y pasarla por la malla N°200; una vez realizado el proceso anterior llevamos la muestra lavada al horno y seque. Finalmente, la muestra tiene que ser tamizada y así pesar cada muestra que queda retenida en cada tamiz.

Para nuestro ensayo se tomaron los siguientes datos:

Granulometría de la Arena Chancada.

Detalle de la muestra:

- Identificación: Cantera Jicamarca.
- Descripción: Arena Chancada.
- Presentación: Saco de polipropileno
- 40 kg. Aproximadamente.

**Tabla 1**

*Granulometría de la Arena Chanchada*

Tamices (pulg)	Abertura (mm)	Ret. Par. %	Ret. Ac. %	Pasa %	Especificación
1"	25.400				
3/4"	19.050				
1/2"	12.700				
3/8"	9.525				
1/4"	6.350			100.00	
N° 4	4.760	0.10	0.10	99.90	
N° 6	3.360	10.10	10.2	89.80	
N° 8	2.380	10.2	20.40	79.60	
N° 10	2.000	6.30	26.60	73.40	
N° 16	1.190	12.90	39.50	60.50	
N° 20	0.840	7.20	46.70	53.50	
N° 30	0.590	8.50	55.20	44.80	
N° 40	0.426	6.90	62.10	37.90	
N° 50	0.297	6.50	68.60	31.40	
N° 80	0.177	11.80	80.40	19.60	
N° 100	0.149	1.90	82.20	17.80	
N° 200	0.074	7.00	89.20	10.80	
Pasante (ASTM C-117)		10.80	100.00	0.00	

*Fuente:* Elaboración propia en el Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

Granulometría de la Piedra Chancada 3/8"

Detalle de la muestra:

- Identificación: Cantera Jicamarca.
- Descripción: Piedra Chancada.
- Presentación: Saco de polipropileno
- 40 kg. Aproximadamente.

**Tabla 2**

*Granulometría de la Piedra Chanchada 3/8”*

Tamices (pulg)	Abertura (mm)	Ret. Par. %	Ret. Ac. %	Pasa %	Especificación
1"	25.400				
3/4"	19.050				
1/2"	12.700			100.00	
3/8"	9.525	13.90	13.90	86.10	
1/4"	6.350				
N° 4	4.760	83.30	97.20	2.80	
N° 6	3.360	1.60	98.80	1.20	
N° 8	2.380	1.00	99.80	0.20	
N° 10	2.000	0.10	99.90	0.10	
N° 16	1.190	0.10	100.00	0.00	
N° 20	0.840				
N° 30	0.590				
N° 40	0.426				
N° 50	0.297				
N° 80	0.177				
N° 100	0.149				
N° 200	0.074				
Pasante	(ASTM C-117)				

*Fuente:* Elaboración propia en el Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

Granulometría de la Piedra Chancada 1/2”

Detalle de la muestra:

- Identificación: Cantera Jicamarca.
- Descripción: Arena Chancada.
- Presentación: Saco de polipropileno
- 40 kg. Aproximadamente.

**Tabla 3**

*Granulometría de la Piedra Chanchada 1/2”*

Tamices (pulg)	Abertura (mm)	Ret. Par. %	Ret. Ac. %	Pasa %	Especificación
1"	25.400				
3/4"	19.050			100.00	
1/2"	12.700	67.90	67.90	32.10	
3/8"	9.525	29.30	97.20	2.80	
1/4"	6.350				
N° 4	4.760	2.00	99.20	0.80	
N° 6	3.360	0.30	99.50	0.50	
N° 8	2.380	0.20	99.70	0.30	
N° 10	2.000	0.20	99.90	0.10	
N° 16	1.190	0.10	100.00	0.00	
N° 20	0.840				
N° 30	0.590				
N° 40	0.426				
N° 50	0.297				
N° 80	0.177				
N° 100	0.149				
N° 200	0.074				
Pasante	(ASTM C-117)				

*Fuente:* Elaboración propia en el Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

Granulometría de la Piedra Chancada 1/2”

Detalle de la muestra:

- Identificación: Cantera Jicamarca – Cantera Crushing
- Descripción: Mezcla de agregados.
- Presentación: Saco de polipropileno
- 50 kg. Aprox. c/u.

Proporciones de Mezclas de Agregados:

- Piedra Chancada ½” 15.00%
- Piedra Chancada 3/8” 25.00%
- Arena Chancada 65.00%

**Tabla 4**

*Granulometría de la Mezcla de Agregados*

Tamices (pulg)	Abertura (mm)	Ret. Par. %	Ret. Ac. %	Pasa %	MAC-2	
1"	25.400					
3/4"	19.050			100.00	100	100
1/2"	12.700	10.20	10.20	89.0	80	100
3/8"	9.525	7.90	18.10	81.90	70	88
1/4"	6.350					
N° 4	4.760	21.20	39.20	60.80	51	68
N° 6	3.360	6.50	45.70	54.30		
N° 8	2.380	6.40	52.10	47.90		
N° 10	2.000	3.80	55.90	44.10	38	52
N° 16	1.190	7.80	63.70	36.30		
N° 20	0.840	4.30	68.00	32.00		
N° 30	0.590	5.10	73.10	26.90		
N° 40	0.426	4.10	77.20	22.80	17	28
N° 50	0.297	3.90	81.10	18.90		
N° 80	0.177	7.10	88.20	11.80	70	88
N° 100	0.149	1.10	89.30	10.70		
N° 200	0.074	4.20	93.50	6.50	4	8
Pasante	(ASTM C-117)	6.50	100.00	0.00		

*Fuente:* Elaboración propia en el Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

Se utilizará el MAC-2 basándonos al tamaño de los agregados, como podemos observar en la siguiente tabla proporcionada por la Norma Técnica de Pavimentos Urbanos.

**Figura 8**

*Gradaciones de los Agregados para Mezclas Asfálticas 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)	08 - 17	08 - 17	09 - 19
75 µm (N° 200)	04 - 08	04 - 08	05 - 10

*Fuente:* Norma Técnica CE. 010 Pavimentos Urbanos (2010).

### 2.8.2. Método Marshall

Se desarrollará el método Marshall, según el Manual de Laboratorio de Ensayos para Pavimentos Volumen I (2011), consiste en ensayar una serie de probetas, cada una preparada con la misma granulometría y con diferentes contenidos de asfalto. El tamaño de las probetas es de 2.5 pulgadas de espesor y 4 pulgadas de diámetro. Dichas probetas se preparan siguiendo un procedimiento específico para calentar el asfalto y los agregados, mezclar y compactar.

#### Preparación de los Especímenes Marshall

Secar los agregados hasta obtener peso constante entre 105 °C y 110 °C, separarlos por tamizado en las mallas sugeridas:

1" a 3/4"

3/4" a 3/8"

3/8” a N°4

N°4 a N°8

Pasa N°8

Fijada la composición en tanto por ciento de cada árido para obtener la granulometría total de la mezcla que se desea, se calcula el peso necesario de cada uno de ellos para realizar el amasado de 10 especímenes, aproximadamente de 1150 gr. En cada uno, un total de 22 kg, un galón de cemento asfáltico y el polvo de neumático que se va utilizar para modificar la mezcla asfáltica.

Pesar los agregados para cada espécimen por separado y calentarlos a la temperatura de mezcla. El peso total de agregado se determinará en el paso anterior.

Generalmente se prepara un espécimen de prueba, medir la altura del mismo ( $h_1$ ) y que verifique la altura requerida del espécimen Marshall:  $63.5 \pm 5.1$  mm ( $2.5 \pm 0.20$  pulg.). Si el espécimen está fuera del rango, ajuste la cantidad de agregados con la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{h}{h_1} \times 1150 \text{ gr}$$

Donde:

Q: Peso del agregado para un espécimen de 63.5 mm (2.5 pulg.) de altura, gr.

h: Altura requerida, que será 63.5 mm o 2.5 pulg.

$h_1$ : Altura del espécimen de prueba, mm (pulg.).

Calentar a la temperatura de mezcla la suficiente cantidad de asfalto para preparar 10 especímenes; tres especímenes compactados por cada porcentaje de contenido de asfalto, los incrementos porcentuales de asfalto son de 0.5% con por lo menos dos contenidos antes y después del Optimo Contenido de Asfalto. A tres mezclas cerca al optimo contenido de

humedad se les mide la gravedad específica Rice o Máxima Densidad Teórica (TMD). (Nota. - algunas agencias en los Estados Unidos solicitan gravedades específicas Rice para todos los contenidos de asfalto. A pesar de todo. La precisión del ensayo es mejor cuando la mezcla está cerca al óptimo contenido de asfalto. Es preferible medir la gravedad específica Rice por triplicado. Luego de promediar los resultados de los tres ensayos, y calcular la gravedad específica efectiva de los agregados, la máxima gravedad específica para todos los contenidos de asfalto se calcula usando las fórmulas sencillas ya explicadas).

Nota. – No mantener el ligante por más de una hora a la temperatura de la mezcla ni emplear ligante bituminoso recalentado. Durante el periodo de calentamiento del ligante se debe agitar frecuentemente dentro del recipiente para evitar los sobrecalentamientos.

De acuerdo a las especificaciones se determinará el número de golpes por cara para la compactación Marshall (Ver Tabla 415-01).

El recipiente en el que se realizará la mezcla será manchado con una mezcla de prueba para evitar la pérdida de ligante y finos adheridos al recipiente, se limpiará solamente arrastrando con una espátula todo el material posible. Colocar la cantidad de agregado requerido en esa vasija y añadir la cantidad de asfalto caliente necesario por peso, para el porcentaje de cemento asfáltico de la mezcla deseada.

$$\% \text{ Cemento asfáltico} = \frac{\text{Peso cemento asfáltico}}{\text{Peso árido} + \text{Peso cemento asfáltico}}$$

Mezclar el cemento asfáltico y agregados hasta que estos estén totalmente cubiertos. La mezcla puede hacerse manual y mecánicamente. Cuando la mezcla requiera filler, este se agregará luego que los agregados estén cubiertos por el ligante.

Verificar la temperatura de los materiales recién mezclados, si está sobre la temperatura de compactación, deje enfriar, si está por debajo, elimine el material y prepare una nueva muestra.

Se coloca dentro del conjunto del molde y la base del martillo compactador limpios, un disco de papel filtrante de 10 cm de diámetro. Se calientan en el horno o en un baño de agua a una temperatura comprendida entre los 93° y 149°C. Verter la mezcla y emparejarla con una espátula caliente 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en el interior. Limpiar el material del collar y montura dentro del molde de tal manera que el medio sea ligeramente más alto que los bordes. Fijar el molde y base en el pedestal. Coloque el martillo precalentado dentro del molde, y aplique el número de golpes según las especificaciones, la altura de caída del martillo es de 18° (457 mm). Mantener el eje del martillo de compactación perpendicular a la base del molde durante la compactación.

Retire el molde de la base. Coloque un papel filtrante en la superficie e inviértalo de tal manera que la cara superficial se encuentre abajo. Reemplace el collar del molde y fíjelo con la base en el pedestal. Aplicar el número de golpes especificados.

Después de la compactación remover la base y colocar el molde y collar sobre el extractor de muestras. Con el molde y el collar de extensión hacia arriba en la máquina de ensayo, aplicar presión y forzar el espécimen dentro del collar de extensión, levantar el collar del espécimen. Cuidadosamente transferir el espécimen a una superficie plana, dejarlo de pie para que repose de 12 a 24 horas a temperatura ambiente, identificarlos con códigos alfanúmeros usando crayolas.

Determine la gravedad específica bulk de cada espécimen tan pronto como las probetas compactadas se han enfriado a la temperatura ambiente, según AASHTO T166. Se determina calculando la relación entre su peso al aire y volumen.

Pesar el espécimen al aire; y

Sumerja la muestra de agua, dejar saturar por unos minutos, pesar la muestra en su condición saturada superficialmente seca (SSD) en el agua.

Sacar la muestra del agua, secar el exceso de agua y pesar en su condición SSD en el aire.

Calcular el volumen restando el peso del espécimen SSD en el aire y el peso del espécimen SSD sumergida. La fórmula empleada será:

$$G_{mb} = \frac{W_D}{W_{SSD} - W_{sub}}$$

Donde:

$G_{mb}$ : Gravedad Específica Bulk de la muestra compactada.

$W_D$ : Peso del espécimen en el aire.

$W_{SSD}$ : Peso del espécimen en su condición SSD en el aire.

$W_{sub}$ : Peso del espécimen sumergido.

### **Estabilidad Marshall y Ensayo de Flujo:**

Calentar el agua de baño a 140 °F (60°C) y colocar los especímenes a ser ensayados por un periodo de 30 a 40 minutos. Los especímenes se ubicarán de manera escalonada para que todos los especímenes sean calentados el tiempo especificado antes de ser ensayados.

Se limpian las superficies interiores de las mordazas de rotura y se engrasan las barras guía con una película de aceite de manera que la mordaza superior se deslice libremente. Luego de calentarlos el tiempo necesario, se irán sacando uno a la vez, quitarles el exceso de agua con una toalla y colocarlo rápidamente en la mordaza Marshall.

Colocar el medidor de flujo sobre la barra guía marcada y compruebe la lectura inicial. Aplicar la carga a una velocidad de deformación de 2 pulg/min (50.8 mm/minuto)

hasta que ocurra la falla, es decir cuando se alcanza la máxima carga y luego disminuye según sea en el dial respectivo. El punto de rotura se define como la carga máxima obtenida y se registra como el valor de estabilidad Marshall, expresado en Newtons (lbf). Mientras se está determinando la estabilidad se mantiene firmemente el medidor de deformación en su posición sobre la barra guía; libérese cuando comience a decrecer la carga y anote la lectura. Este será el valor del “flujo” para la muestra expresado en centésimas de pulgada.

Repetir los pasos anteriores hasta que todos los especímenes sean ensayados.

- el tiempo total transcurrido entre sacar el espécimen del baño y aplicar la carga es de 60 segundos como máximo.
- El tiempo total en el agua de baño para cada juego de tres especímenes es entre 30 a 40 minutos.

Procedimiento obtenido del Manual de Laboratorio de Ensayos para Pavimentos Volumen I y la Norma Técnica CE. 010 Pavimentos Urbanos.

## **2.9. Aspectos éticos**

La presente tesis se desarrolló a través de una cierta cantidad de informes, libros, artículos, revistas, tesis, etc. Teniendo en cuenta la veracidad y valides de las fuentes. También para la presente investigación se utilizó la Norma Técnica CE.010 de Pavimentos Urbanos y el Manual de Laboratorio de Ensayos para Pavimentos Volumen I. Así mismo se ha respetado la información usada en la investigación y el autor no ha recurrido al plagio según la Ley de la propiedad intelectual bajo el Decreto Legislativo N°822. Esta investigación se redactó bajo la norma APA séptima edición. Según el Colegio de Ingenieros del Perú (CIP), define que la ética profesional es el conjunto de normas y valores que hacen y mejoran al desarrollo de las actividades profesionales y marcan, además, las pautas éticas del desarrollo laboral mediante valores universales.

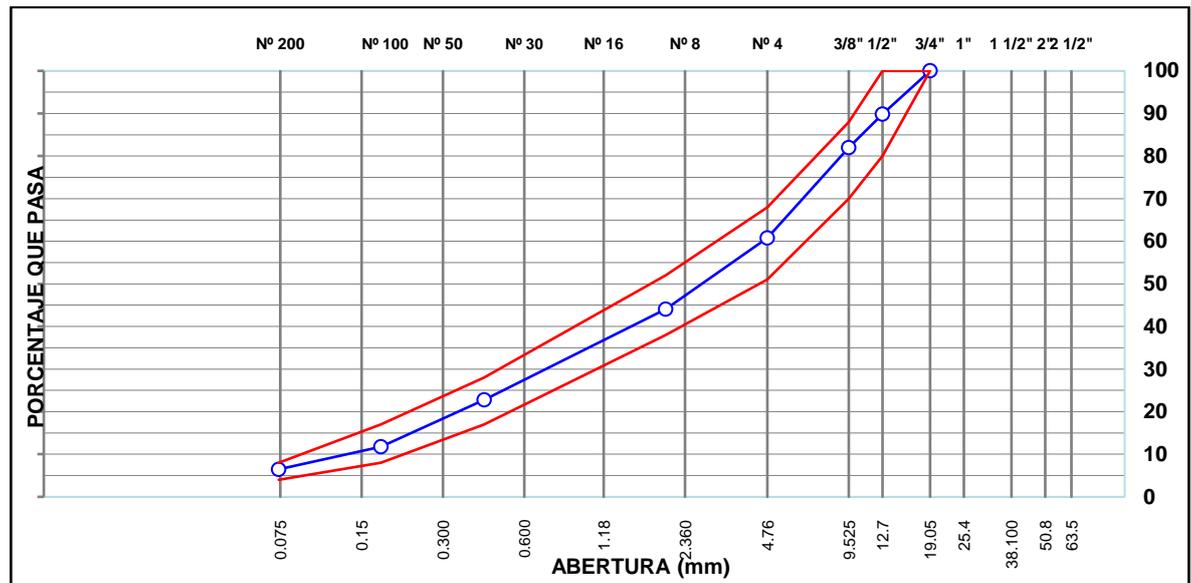
## CAPÍTULO III. RESULTADOS

A continuación, se presenta los resultados de la presente tesis, gracias a los ensayos realizados en el laboratorio.

### 3.1. Granulometría:

**Figura 9**

*Curva granulométrica*



*Fuente:* Elaboración propia en el Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

En la figura 9 se puede apreciar la granulometría de la mezcla de los agregados, teniendo en cuenta que curva granulométrica se encuentra dentro del parámetro de gradaciones de los agregados dados por la Norma Técnica CE. 010 de Pavimentos Urbanos.

### 3.2. Método Marshall

Mezcla Asfáltica tradicional (ASTM D6926 / ASTM D6927)

Mezcla de agregados (porcentajes en peso)

Cantera Jicamarca – Cantera Crushing

Piedra chancada ½” – Cant. Jicamarca: 15%

Piedra chancada 3/8” – Cant. Jicamarca: 25%

Arena chancada – Cant. Jicamarca: 60%

Gradación Mac – 2

### Ligante Bituminoso

Tipo de asfalto: Asfalto 60/70

% óptimo de C.A.: 5.1

### Aditivo

Tipo de aditivo: Ninguno.

% de aditivo en peso del C.A.: Natural.

**Tabla 5**

#### *Características del Marshall*

Nº DE GOLPES		<b>35</b>	
CEMENTO ASFALTICO (% EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL)	<b>6.8</b>	<b>7.0</b>	<b>7.2</b>
DENSIDAD SECA BULK (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.369</b>	<b>2.364</b>	<b>2.358</b>
VACIOS (%)	<b>5.0</b>	<b>4.9</b>	<b>4.9</b>
V.M.A. (%)	<b>18.77</b>	<b>19.16</b>	<b>19.59</b>
R.B.V. (%)	<b>77.2</b>	<b>79.8</b>	<b>82.4</b>
FLUJO (0,25 mm)	<b>15.7</b>	<b>16.3</b>	<b>16.8</b>
ESTABILIDAD (kg)	<b>798.0</b>	<b>686.0</b>	<b>544.0</b>
Relación polvo - asfalto	<b>1.08</b>	<b>1.05</b>	<b>1.01</b>

*Fuente:* Elaboración propia en el Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

### Temperatura de aplicación (°C)

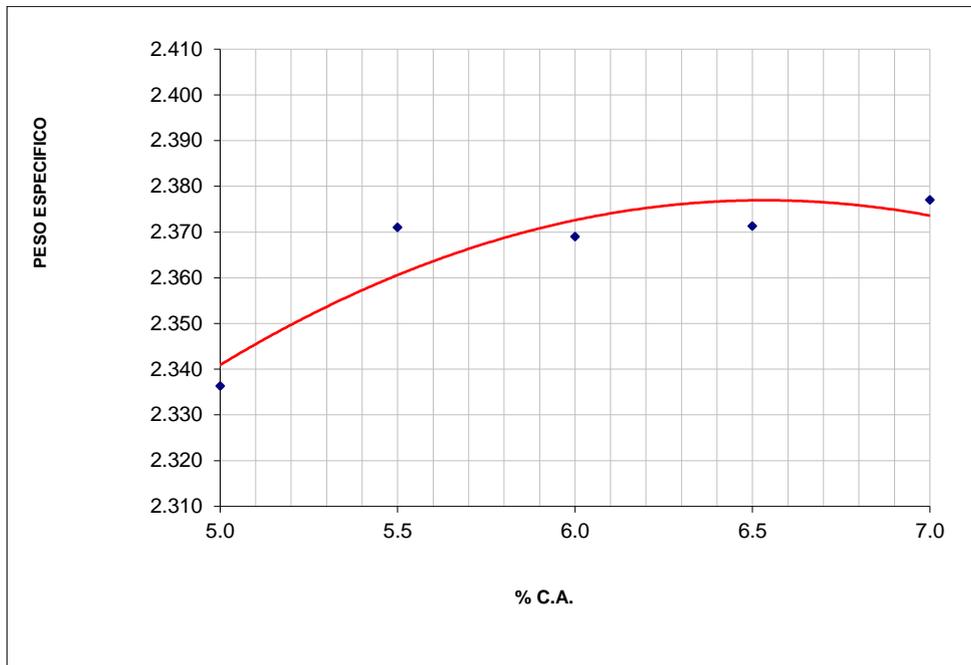
Según su viscosidad

Temperatura de mezcla: 153°C – 158°C

Temperatura de compactación: 144°C – 147°C

**Figura 10**

*Relación % Cemento Asfáltico vs Peso Específico*

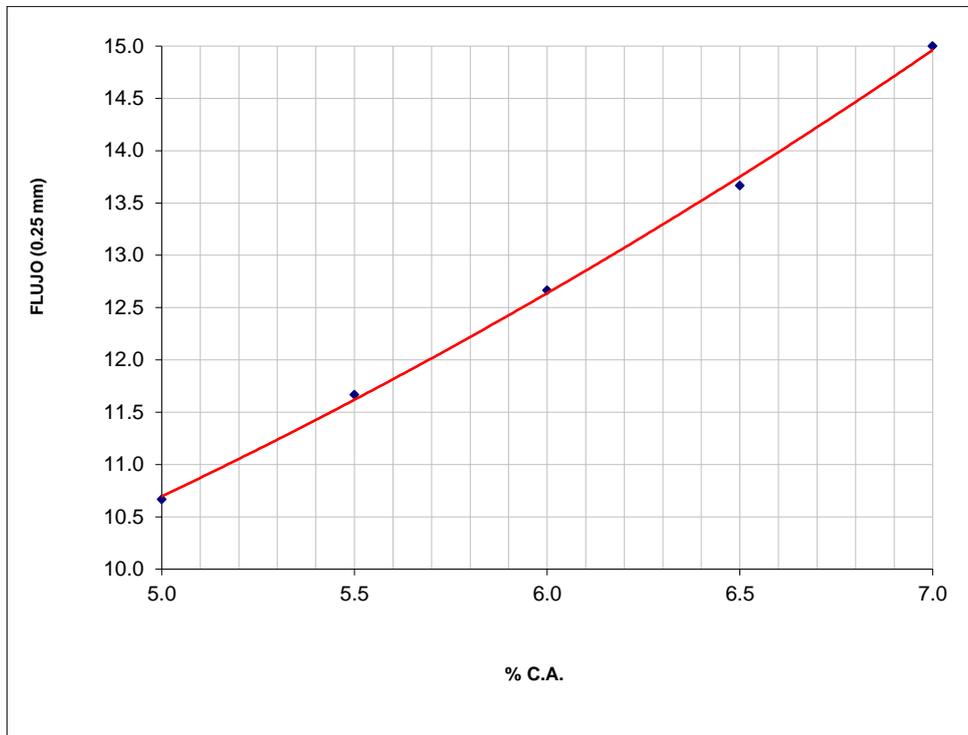


*Fuente:* Elaboración propia en el Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

En la figura 10 podemos apreciar la relación entre el cemento asfáltico y el peso específico, a un porcentaje de cemento asfáltico de 5.0 tenemos un peso específico de 2.336 g/cm<sup>3</sup>, y a un porcentaje de C.A. de 7.0 tenemos un peso específico de 2.377 (que viene a ser el máximo, ya que la forma de la curva comienza a descender).

**Figura 11**

*Relación %Cemento Asfáltico vs % Flujo*

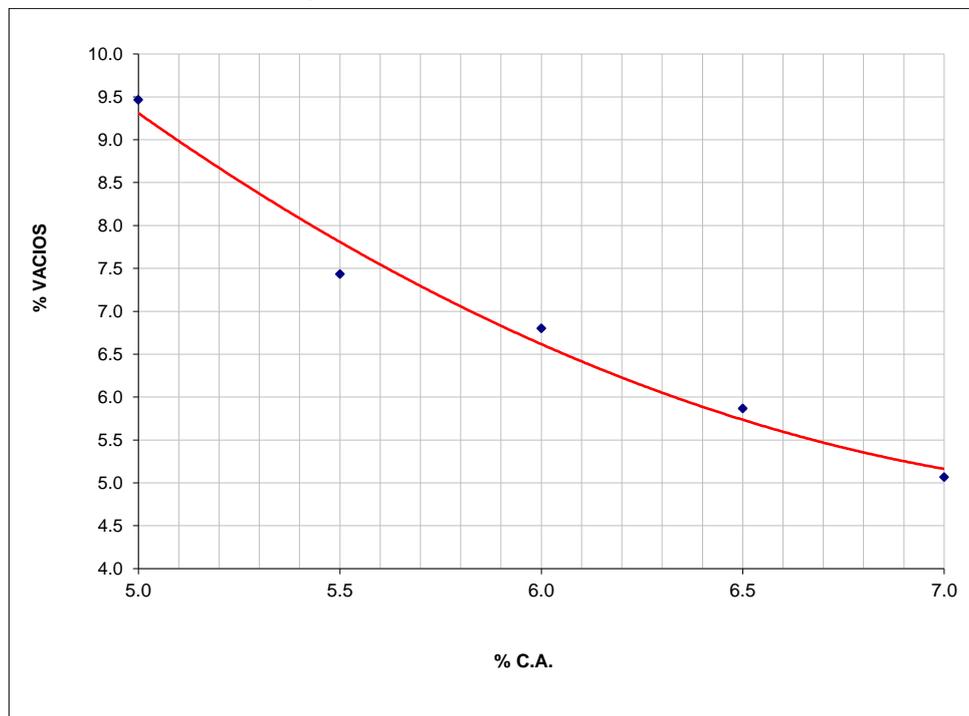


*Fuente:* Elaboración propia en el Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

En la figura 11 podemos apreciar la relación entre el cemento asfáltico y el porcentaje de flujo, a un porcentaje de cemento asfáltico de 5.0 tenemos un porcentaje de flujo de 10.7, y a un porcentaje de C.A. de 7.0 tenemos un porcentaje de flujo de 15.0, podemos visualizar que mientras aumentamos el porcentaje de C.A., aumenta también el porcentaje de flujo.

**Figura 12**

*Relación %Cemento Asfáltico vs %Vacíos*

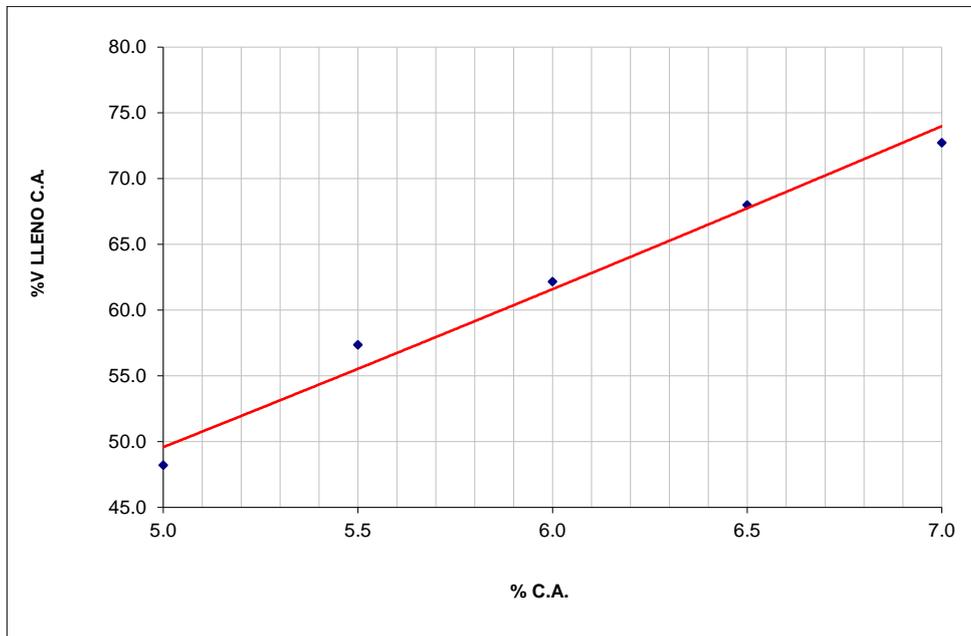


*Fuente:* Elaboración propia en el Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

En la figura 12 podemos apreciar la relación entre el cemento asfáltico y el porcentaje de vacíos, a un porcentaje de cemento asfáltico de 5.0 tenemos un porcentaje de vacíos de 9.5, y a un porcentaje de C.A. de 7.0 tenemos un porcentaje de flujo de 5.1, podemos visualizar que mientras aumentamos el porcentaje de C.A., disminuye el porcentaje de vacíos.

**Figura 13**

*Relación %Cemento Asfáltico vs %Vacíos Lleno C.A.*

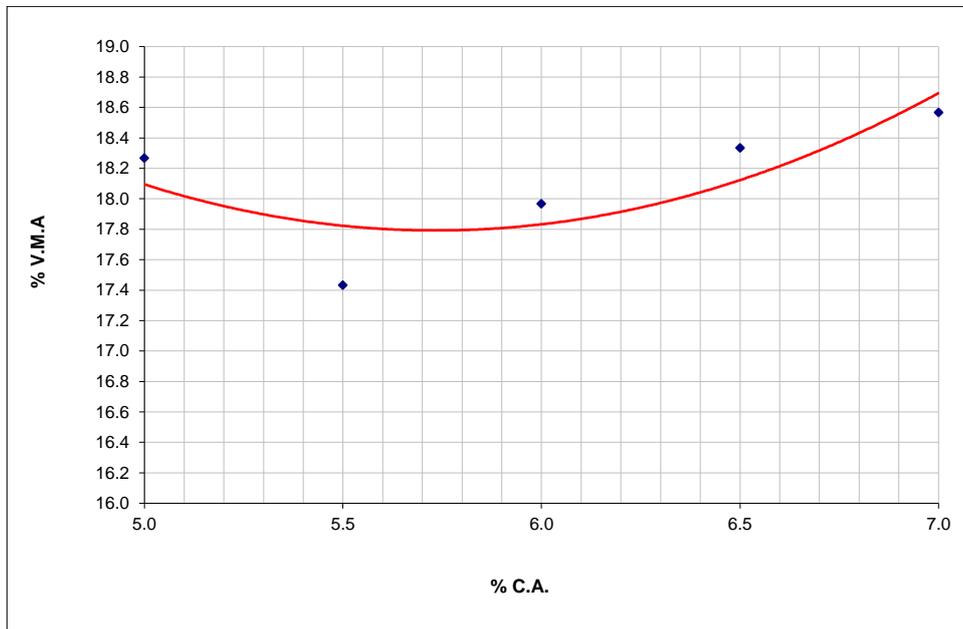


*Fuente:* Elaboración propia en el Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

En la figura 13 podemos apreciar la relación entre el cemento asfáltico y el porcentaje de vacíos lleno C.A., a un porcentaje de C.A. de 5.0 tenemos un porcentaje de vacíos lleno C.A. de 48.2, y a un porcentaje de C.A. de 7.0 tenemos un porcentaje de vacíos lleno C.A. de 72.7, podemos visualizar que mientras aumentamos el porcentaje de C.A., aumenta el porcentaje de vacíos lleno C.A.

**Figura 14**

*Relación %Cemento Asfáltico vs %Vacíos en el agregado mineral*

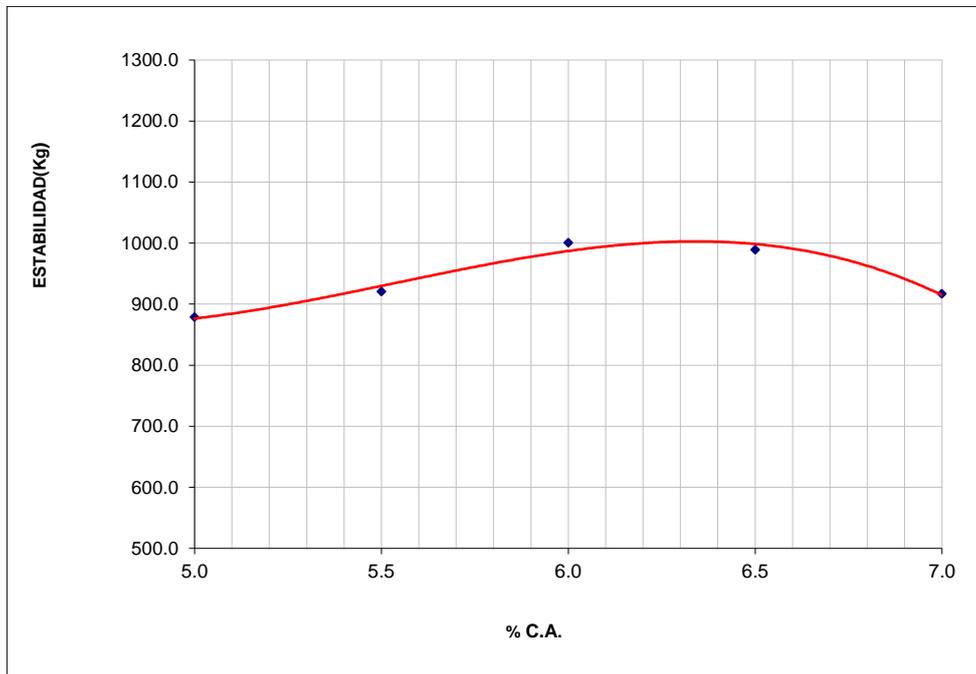


*Fuente:* Elaboración propia en el Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

En la figura 14 podemos apreciar la relación entre el cemento asfáltico y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral., a un porcentaje de C.A. de 5.0 tenemos un porcentaje de vacíos en el agregado mineral de 18.3, y a un porcentaje de C.A. de 7.0 tenemos un porcentaje de vacíos en el agregado mineral de 18.6, podemos visualizar que mientras aumentamos el porcentaje de C.A., aumenta el porcentaje de vacíos en el agregado mineral.

**Figura 15**

*Relación %Cemento Asfáltico vs Estabilidad*



*Fuente:* Elaboración propia en el Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

En la figura 15 podemos apreciar la relación entre el cemento asfáltico y la estabilidad, a un porcentaje de cemento asfáltico de 5.0 tenemos una estabilidad de 878.8 kg., y a un porcentaje de C.A. de 6.0 tenemos una estabilidad de 1000.9 (que viene a ser la estabilidad máxima, ya que la forma de la curva comienza a descender).

Mezcla Asfáltica Modificada con 2.5% de Polvo de Neumático (ASTM D6926 / ASTM D6927)

Mezcla de agregados (porcentajes en peso)

Cantera Jicamarca – Cantera Crushing

Piedra chancada ½” – Cant. Jicamarca: 15%

Piedra chancada 3/8” – Cant. Jicamarca: 25%

Arena chancada – Cant. Jicamarca: 60%

## Gradación Mac – 2

### Ligante Bituminoso

Tipo de asfalto: Asfalto 60/70

% óptimo de C.A.: 5.1

### Aditivo

Tipo de aditivo: Polvo de Neumático.

% de aditivo en peso del C.A.: 2.5

**Tabla 6**

*Características del Marshall con 2.5% de Polvo de Neumático*

Nº DE GOLPES		<b>35</b>	
CEMENTO ASFALTICO (% EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL)	<b>6.6</b>	<b>6.8</b>	<b>7.0</b>
DENSIDAD SECA BULK (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.377</b>	<b>2.372</b>	<b>2.365</b>
VACIOS (%)	<b>4.8</b>	<b>4.8</b>	<b>4.7</b>
V.M.A. (%)	<b>23.12</b>	<b>23.48</b>	<b>23.88</b>
R.B.V. (%)	<b>76.0</b>	<b>78.5</b>	<b>81.1</b>
FLUJO (0,25 mm)	<b>15.2</b>	<b>15.7</b>	<b>16.3</b>
ESTABILIDAD (kg)	<b>1053.0</b>	<b>1065.0</b>	<b>1108.0</b>
Relación polvo - asfalto	<b>1.12</b>	<b>1.08</b>	<b>1.05</b>

*Fuente:* Elaboración propia en el Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

### Temperatura de aplicación (°C)

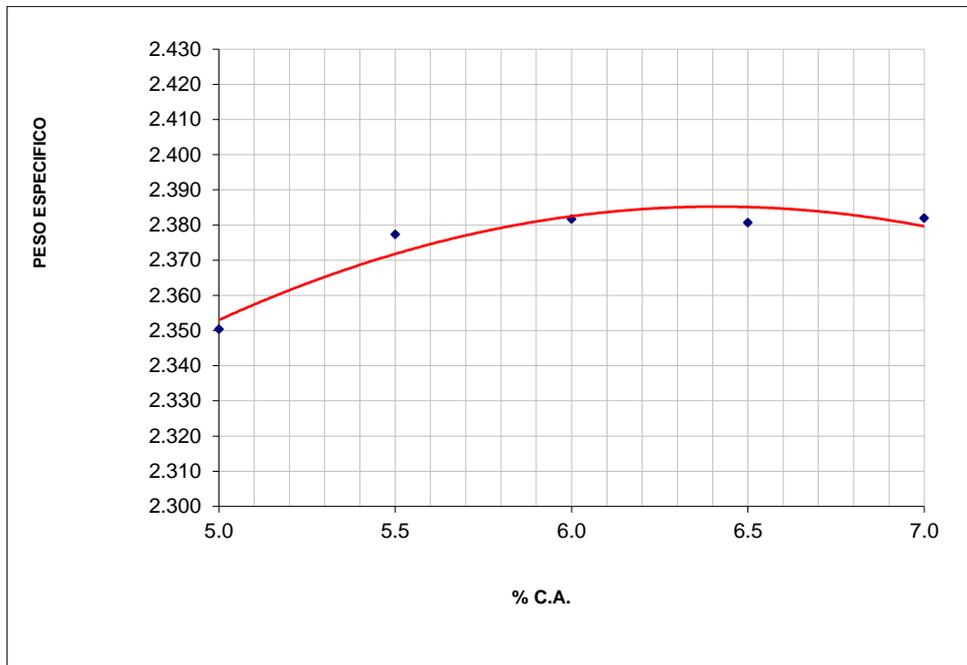
Según su viscosidad

Temperatura de mezcla: 153°C – 158°C

Temperatura de compactación: 144°C – 147°C

**Figura 16**

*Relación % Cemento Asfáltico vs Peso Específico*

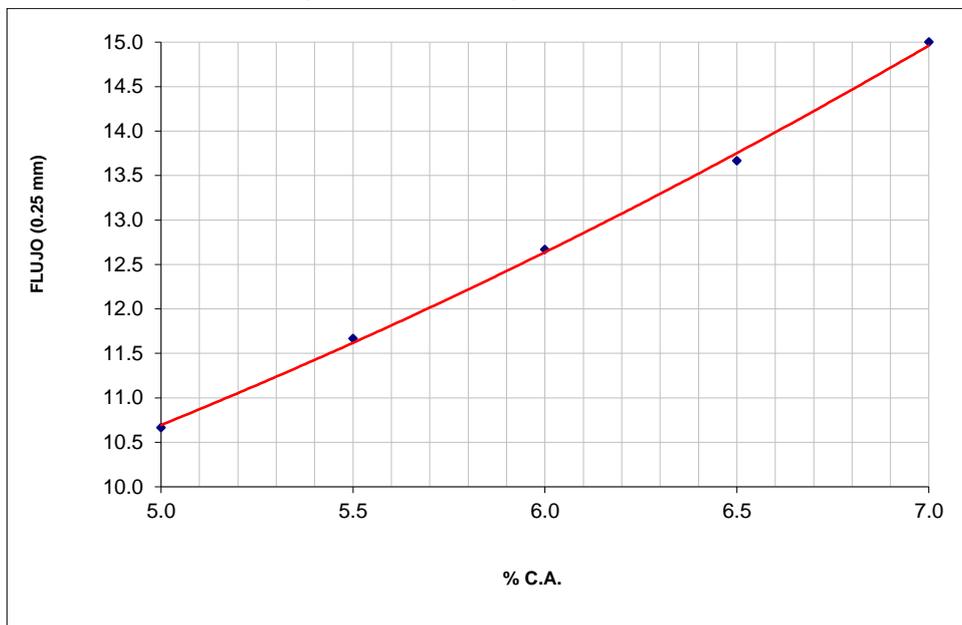


*Fuente:* Elaboración propia en el Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

En la figura 16 podemos apreciar la relación entre el cemento asfáltico y el peso específico, a un porcentaje de cemento asfáltico de 5.0 tenemos un peso específico de 2.350 g/cm<sup>3</sup>, y a un porcentaje de C.A. de 6.0 y 7.0 tenemos un peso específico de 2.382 g/cm<sup>3</sup> (que viene a ser el máximo, ya que la forma de la curva comienza a descender).

**Figura 17**

*Relación %Cemento Asfáltico vs % Flujo*

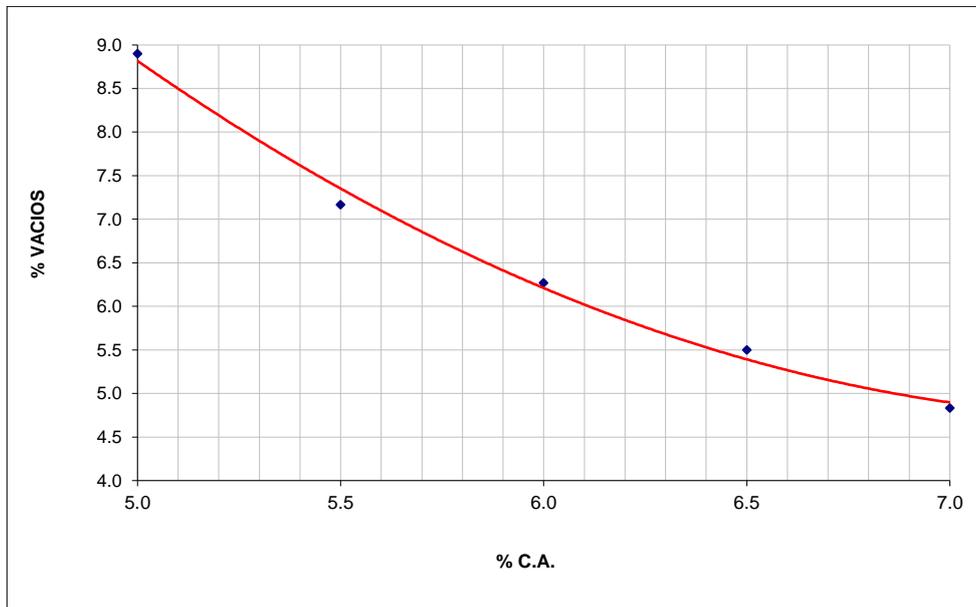


*Fuente:* Elaboración propia en el Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

En la figura 17 podemos apreciar la relación entre el cemento asfáltico y el porcentaje de flujo, a un porcentaje de cemento asfáltico de 5.0 tenemos un porcentaje de flujo de 10.7, y a un porcentaje de C.A. de 7.0 tenemos un porcentaje de flujo de 15.0, podemos visualizar que mientras aumentamos el porcentaje de C.A., aumenta también el porcentaje de flujo.

**Figura 18**

*Relación %Cemento Asfáltico vs %Vacíos*

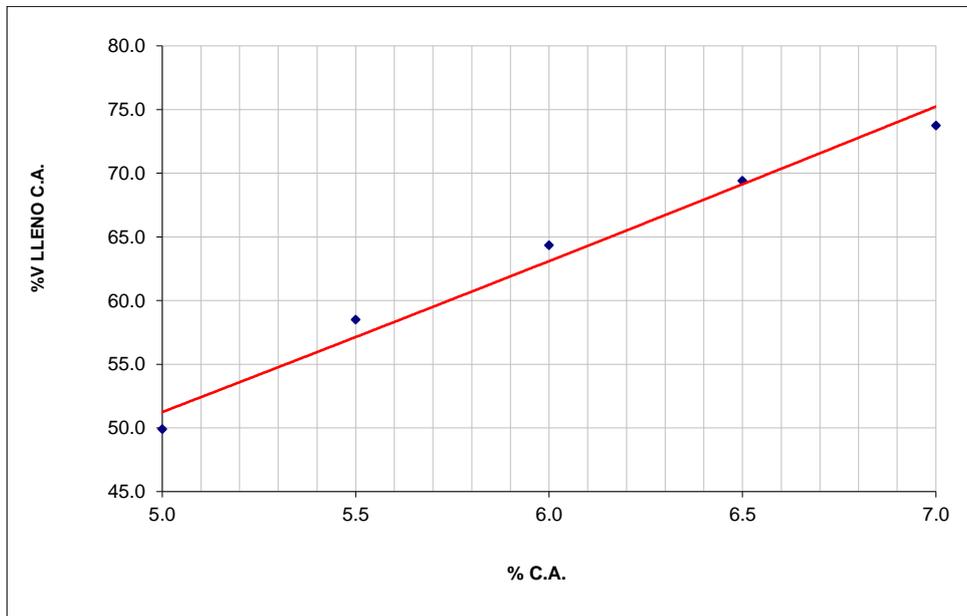


*Fuente:* Elaboración propia en el Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

En la figura 18 podemos apreciar la relación entre el cemento asfáltico y el porcentaje de vacíos, a un porcentaje de cemento asfáltico de 5.0 tenemos un porcentaje de vacíos de 8.9, y a un porcentaje de C.A. de 7.0 tenemos un porcentaje de flujo de 4.8, podemos visualizar que mientras aumentamos el porcentaje de C.A., disminuye el porcentaje de vacíos.

**Figura 19**

*Relación %Cemento Asfáltico vs %Vacíos Lleno C.A.*

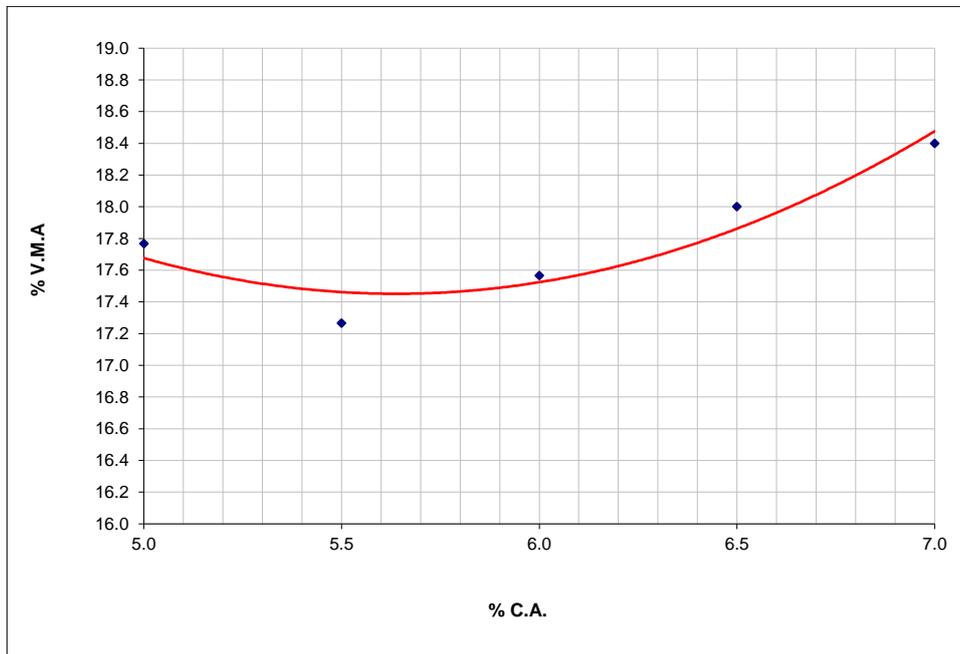


*Fuente:* Elaboración propia en el Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

En la figura 19 podemos apreciar la relación entre el cemento asfáltico y el porcentaje de vacíos lleno C.A., a un porcentaje de C.A. de 5.0 tenemos un porcentaje de vacíos lleno C.A. de 49.9, y a un porcentaje de C.A. de 7.0 tenemos un porcentaje de vacíos lleno C.A. de 74.7, podemos visualizar que mientras aumentamos el porcentaje de C.A., aumenta el porcentaje de vacíos lleno C.A.

**Figura 20**

*Relación %Cemento Asfáltico vs %Vacíos en el agregado mineral*

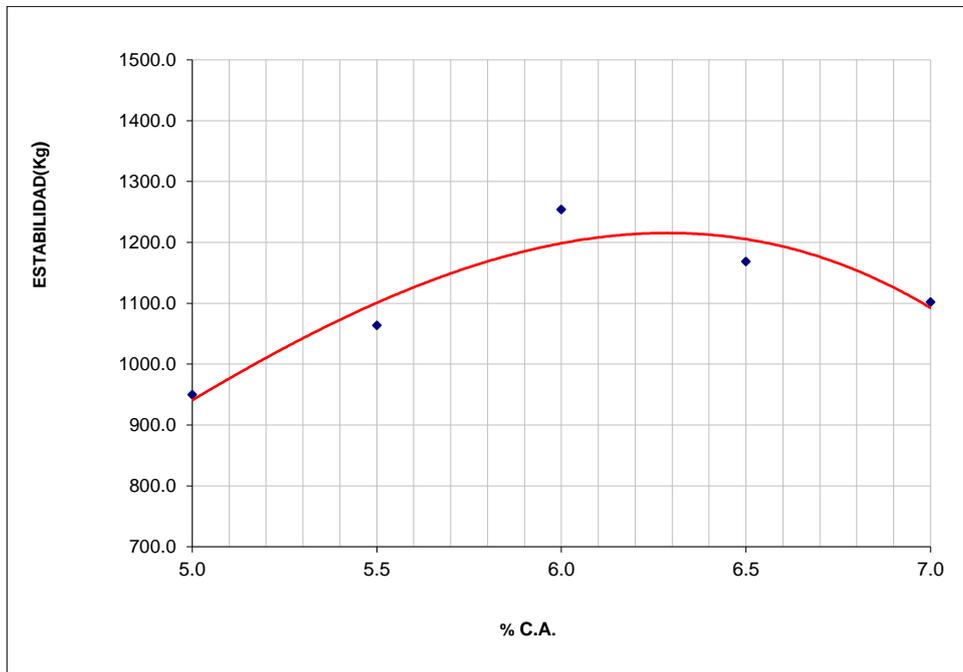


*Fuente:* Elaboración propia en el Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

En la figura 20 podemos apreciar la relación entre el cemento asfáltico y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral., a un porcentaje de C.A. de 5.0 tenemos un porcentaje de vacíos en el agregado mineral de 17.8, y a un porcentaje de C.A. de 7.0 tenemos un porcentaje de vacíos en el agregado mineral de 18.4, podemos visualizar que mientras aumentamos el porcentaje de C.A., aumenta el porcentaje de vacíos en el agregado mineral.

**Figura 21**

*Relación %Cemento Asfáltico vs Estabilidad*



*Fuente:* Elaboración propia en el Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

En la figura 21 podemos apreciar la relación entre el cemento asfáltico y la estabilidad, a un porcentaje de cemento asfáltico de 5.0 tenemos una estabilidad de 950.0 kg., y a un porcentaje de C.A. de 6.0 tenemos una estabilidad de 1254.2 (que viene a ser la estabilidad máxima, ya que la forma de la curva comienza a descender).

Mezcla Asfáltica Modificada con 5% de Polvo de Neumático (ASTM D6926 / ASTM D6927)

Mezcla de agregados (porcentajes en peso)

Cantera Jicamarca – Cantera Crushing

Piedra chancada ½” – Cant. Jicamarca: 15%

Piedra chancada 3/8” – Cant. Jicamarca: 25%

Arena chancada – Cant. Jicamarca: 60%

Gradación Mac – 2

Ligante Bituminoso

Tipo de asfalto: Asfalto 60/70

% óptimo de C.A.: 5.1

Aditivo

Tipo de aditivo: Polvo de Neumático.

% de aditivo en peso del C.A.: 5.0

**Tabla 7**

*Características del Marshall con 5.0% de Polvo de Neumático*

Nº DE GOLPES		<b>35</b>	
CEMENTO ASFALTICO (% EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL)	<b>6.4</b>	<b>6.6</b>	<b>6.8</b>
DENSIDAD SECA BULK (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.381</b>	<b>2.361</b>	<b>2.372</b>
VACIOS (%)	<b>5.0</b>	<b>5.3</b>	<b>4.8</b>
V.M.A. (%)	<b>22.81</b>	<b>23.56</b>	<b>23.48</b>
R.B.V. (%)	<b>73.5</b>	<b>75.2</b>	<b>78.5</b>
FLUJO (0,25 mm)	<b>14.7</b>	<b>15.3</b>	<b>15.7</b>
ESTABILIDAD (kg)	<b>1064.0</b>	<b>1084.0</b>	<b>1065.0</b>
Relación polvo - asfalto	<b>1.16</b>	<b>1.12</b>	<b>1.08</b>

*Fuente:* Elaboración propia en el Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

Temperatura de aplicación (°C)

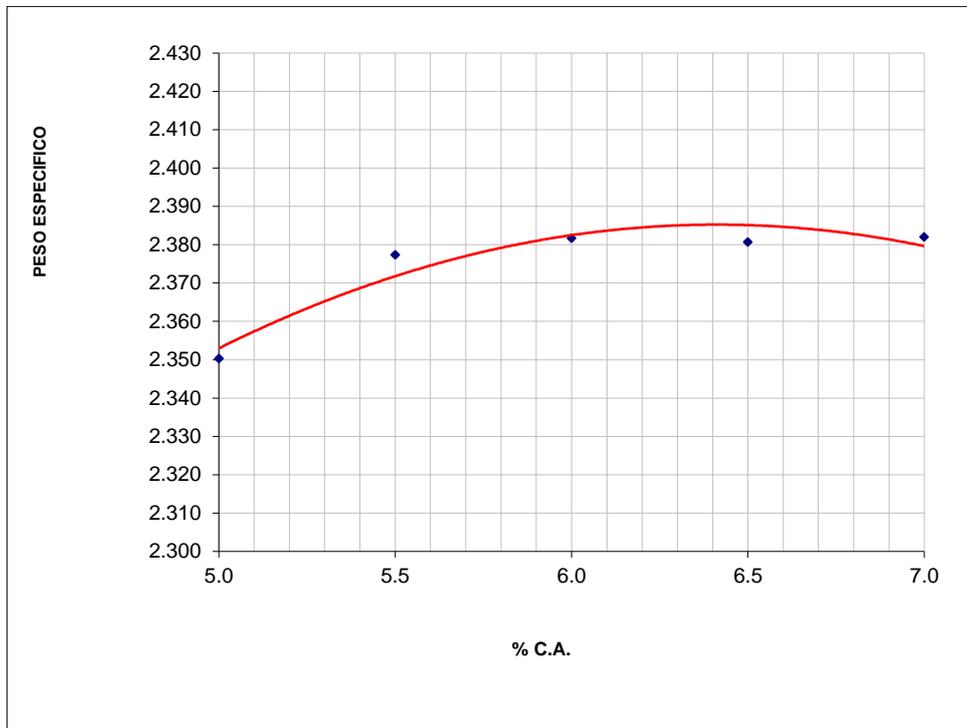
Según su viscosidad

Temperatura de mezcla: 153°C – 158°C

Temperatura de compactación: 144°C – 147°C

**Figura 22**

*Relación % Cemento Asfáltico vs Peso Específico*

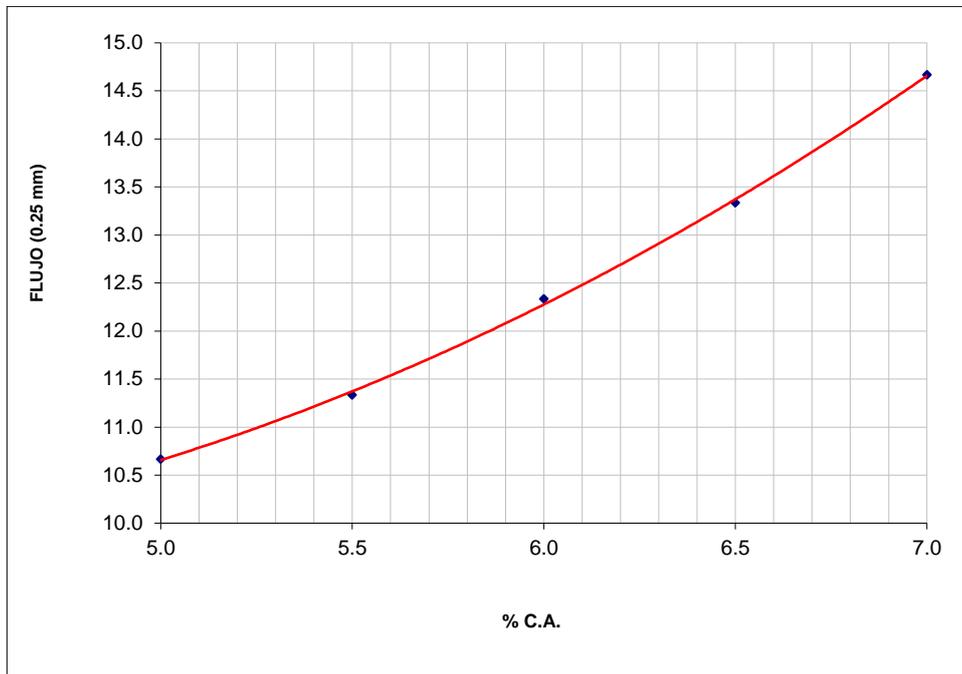


*Fuente:* Elaboración propia en el Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

En la figura 22 podemos apreciar la relación entre el cemento asfáltico y el peso específico, a un porcentaje de cemento asfáltico de 4.5 tenemos un peso específico de 2.350 g/cm<sup>3</sup>, y a un porcentaje de C.A. de 6.0 y 7.0 tenemos un peso específico de 2.382 g/cm<sup>3</sup> (que viene a ser el máximo, ya que la forma de la curva comienza a descender).

**Figura 23**

*Relación %Cemento Asfáltico vs % Flujo*

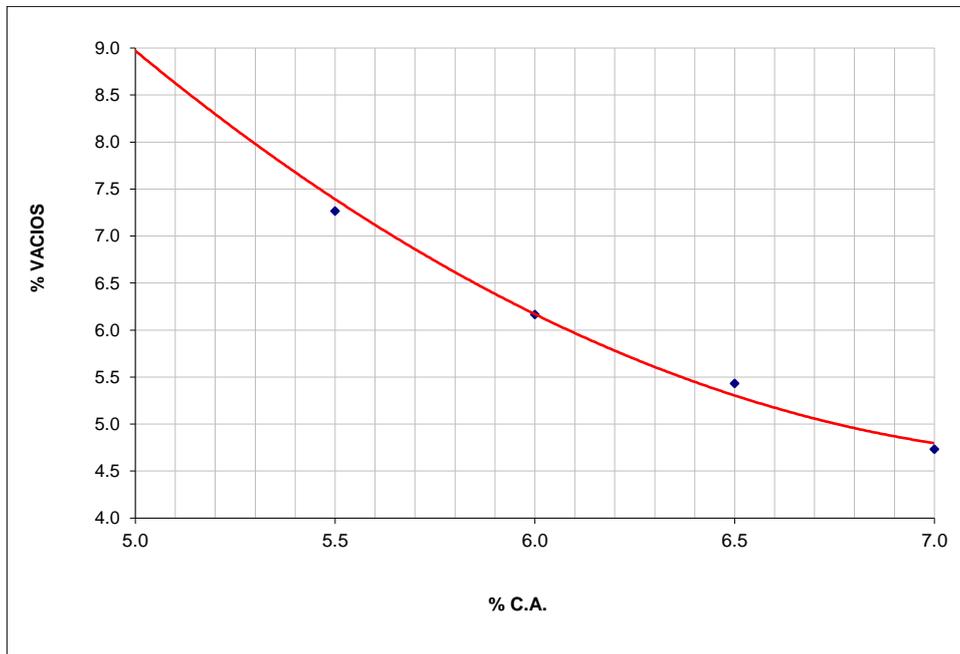


*Fuente:* Elaboración propia en el Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

En la figura 23 podemos apreciar la relación entre el cemento asfáltico y el porcentaje de flujo, a un porcentaje de cemento asfáltico de 5.0 tenemos un porcentaje de flujo de 10.7, y a un porcentaje de C.A. de 7.0 tenemos un porcentaje de flujo de 14.7, podemos visualizar que mientras aumentamos el porcentaje de C.A., aumenta también el porcentaje de flujo.

**Figura 24**

*Relación %Cemento Asfáltico vs %Vacíos*

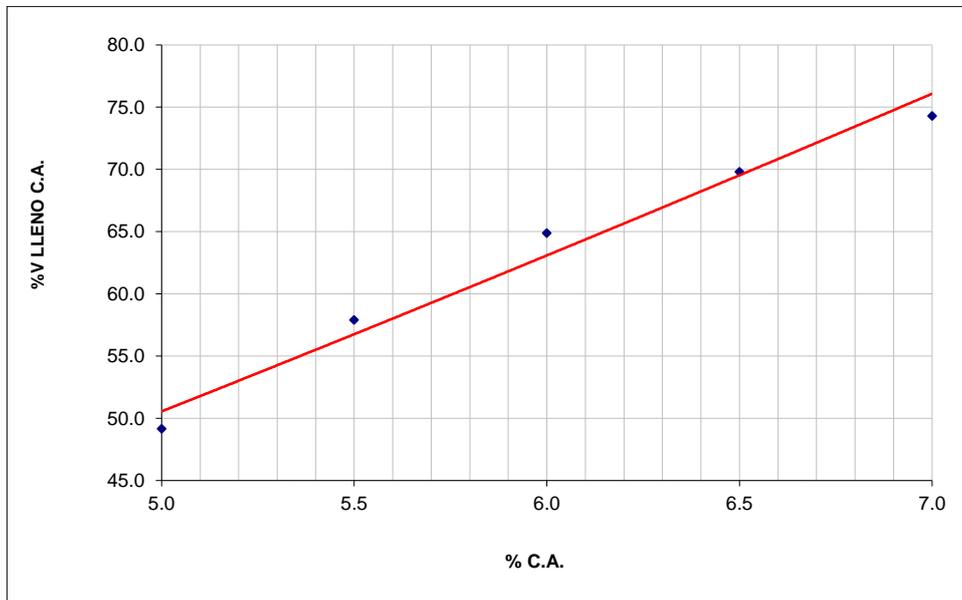


*Fuente:* Elaboración propia en el Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

En la figura 24 podemos apreciar la relación entre el cemento asfáltico y el porcentaje de vacíos, a un porcentaje de cemento asfáltico de 5.0 tenemos un porcentaje de vacíos de 9.0, y a un porcentaje de C.A. de 7.0 tenemos un porcentaje de flujo de 4.7, podemos visualizar que mientras aumentamos el porcentaje de C.A., disminuye el porcentaje de vacíos.

**Figura 25**

*Relación %Cemento Asfáltico vs %Vacíos Lleno C.A.*

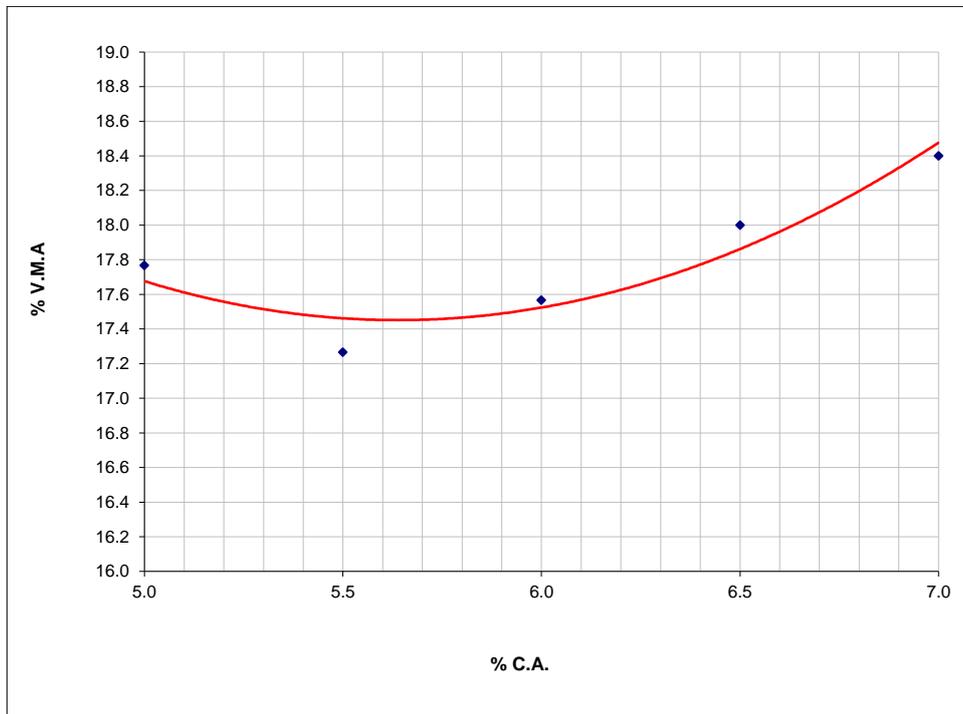


*Fuente:* Elaboración propia en el Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

En la figura 25 podemos apreciar la relación entre el cemento asfáltico y el porcentaje de vacíos lleno C.A., a un porcentaje de C.A. de 5.0 tenemos un porcentaje de vacíos lleno C.A. de 49.2, y a un porcentaje de C.A. de 7.0 tenemos un porcentaje de vacíos lleno C.A. de 74.3, podemos visualizar que mientras aumentamos el porcentaje de C.A., aumenta el porcentaje de vacíos lleno C.A.

**Figura 26**

*Relación %Cemento Asfáltico vs %Vacíos en el agregado mineral*

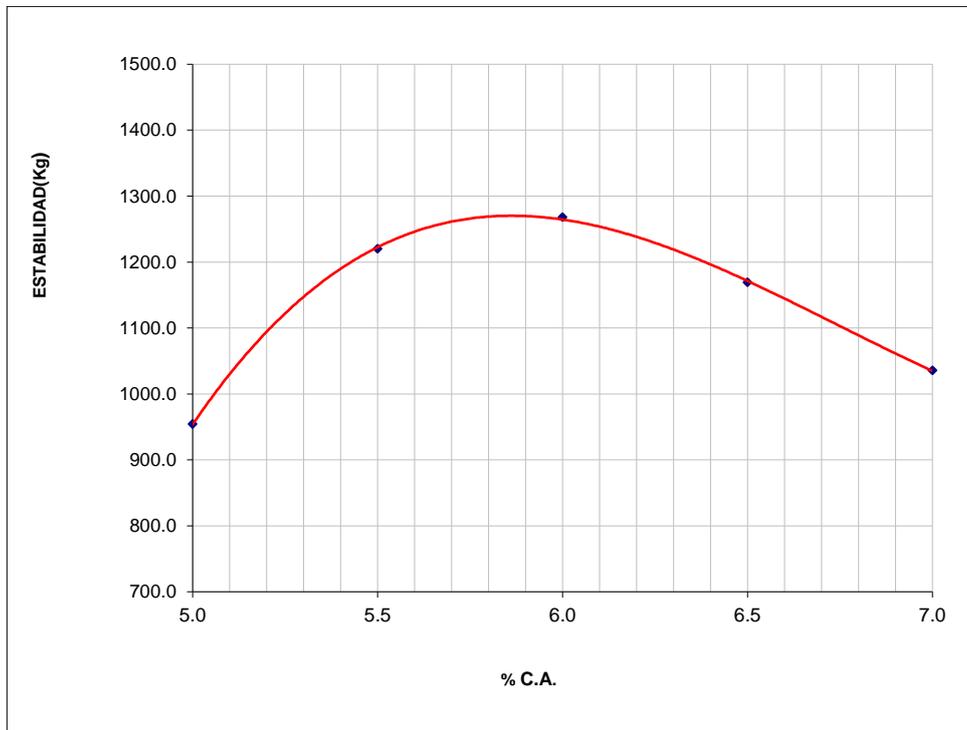


*Fuente:* Elaboración propia en el Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

En la figura 26 podemos apreciar la relación entre el cemento asfáltico y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral., a un porcentaje de C.A. de 5.0 tenemos un porcentaje de vacíos en el agregado mineral de 17.8, y a un porcentaje de C.A. de 7.0 tenemos un porcentaje de vacíos en el agregado mineral de 18.4, podemos visualizar que mientras aumentamos el porcentaje de C.A., aumenta el porcentaje de vacíos en el agregado mineral.

**Figura 27**

*Relación %Cemento Asfáltico vs Estabilidad*



*Fuente:* Elaboración propia en el Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

En la figura 27 podemos apreciar la relación entre el cemento asfáltico y la estabilidad, a un porcentaje de cemento asfáltico de 5.0 tenemos una estabilidad de 954.4 kg., y a un porcentaje de C.A. de 6.0 tenemos una estabilidad de 1268.0 (que viene a ser la estabilidad máxima, ya que la forma de la curva comienza a descender).

**Tabla 8**

*Cuadro Resumen de los 3 Ensayos Marshall*

CARACTERISTICAS DEL MARSHALL	ASFALTO TRADICIONAL			ASFALTO CON 2,5 % DE POLVO DE NFU			ASFALTO CON 5,0 % DE POLVO DE NFU		
NRO DE GOLPES		35			35			35	
CEMENTO ASFALTICO (% EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL)	6,8	7,0	7,2	6,8	6,8	7,0	6,4	6,6	6,8
DENSIDAD SECA BULK (g/cm <sup>3</sup> )	2,369	2,364	2,358	2,377	2,372	2,365	2,381	2,361	2,372
VACÍOS (%)	5,0	4,9	4,9	4,8	4,8	4,7	5,0	5,3	4,8
V.M.A. (%)	18,77	19,16	19,59	23,12	23,48	23,88	22,81	23,56	23,48
R. B. V. (%)	77,2	79,8	82,4	76,0	78,5	81,1	73,5	75,2	78,5
FLUJO (0.25 mm)	15,7	16,3	16,8	15,2	15,7	16,3	14,7	15,3	15,7
ESTABILIDAD (kg)	798,0	686,0	544,0	1053,0	1065,0	1108,0	1064,0	1084,0	1065,0
RELACION POLVO - ASFALTO	1,08	1,05	1,01	1,12	1,08	1,05	1,16	1,12	1,08

*Fuente:* Elaboración propia en el Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

**Figura 28**

*Requisitos para mezcla 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.		

(1) A la fecha se tienen tramos efectuados en el Perú que tienen el rango 2% a 4% (es deseable que tienda al menor 2%) con resultados satisfactorios en climas fríos por encima de 3.000 m.s.n.m. que se recomienda en estos casos.

(2) Relación entre el porcentaje en peso del agregado más fino que el tamiz 0,075 mm y el contenido de asfalto efectivo, en porcentaje en peso del total de la mezcla.

(3) Para zonas de clima frío es deseable que la relación Est. /flujo sea de la menor magnitud posible.

(4) El Índice de Compactabilidad mínimo será 5.

El Índice de Compactabilidad se define como: 
$$\frac{1}{\text{GEB } 50 - \text{GEB } 5}$$

Siendo GEB50 y GEB5, las gravedades específicas bulk de las briquetas a 50 y 5 golpes.

*Fuente:* Manual de Laboratorio de Ensayos para Pavimentos Volumen I

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión:

El presente trabajo de investigación que es analizar la influencia del polvo de neumático en una mezcla asfáltica, confirma lo investigado por (Villagaray Medina Edwin, 2017) en su tesis «Aplicación de caucho reciclado en un diseño de mezcla asfáltica para el tránsito vehicular de la Avenida Trapiche-Comas (Remanso) 2017». El polvo de neumático se agregó en la mezcla asfáltica como un agregado más con un porcentaje de 2.5, logrando mejorar el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas aumentando la estabilidad en un 55.25% a comparación del asfalto tradicional, el porcentaje de flujo fue de 15.7 que se

mantiene dentro del rango según la normativa en comparación del asfalto tradicional, y por último el porcentaje de vacíos fue de 4.8 que se mantiene dentro del rango según la normativa en comparación del asfalto tradicional.

#### **4.2. Conclusiones:**

En la Tabla 8 se puede apreciar los porcentajes y/o características de la mezcla asfáltica sin modificar y las modificadas con el polvo de neumático en 2.5% y 5.0%.

En cuanto a la estabilidad se aprecia un aumento a mayor porcentaje de polvo de neumático, según la figura 28 para pavimentos locales se utilizan los datos relacionados a 35 golpes de compactación, el cual nos indica una estabilidad mínima de 4,53 Kn. Para la mezcla asfáltica tradicional tenemos una estabilidad de 6,86 Kn., para la mezcla asfáltica con 2.5% de polvo de neumático tenemos una estabilidad de 10,65 Kn., mejorando así su resistencia a la deformación en un 55.25%, y por último para la mezcla asfáltica con 5% de polvo de neumático tenemos una estabilidad de 10,84 Kn, mejorando así su resistencia a la deformación en un 58.02%.

En cuanto al porcentaje de flujo podemos observar que, al agregar porcentaje de polvo de neumático a la mezcla asfáltica, no sale del rango, según la figura 28 para pavimentos locales se utilizan los datos relacionados a 35 golpes de compactación, el cual nos indica un porcentaje de flujo que debe estar en el rango de 8 – 20. Para la mezcla asfáltica tradicional tenemos un porcentaje de flujo 16.3, para la mezcla asfáltica con 2.5% de polvo de neumático tenemos un porcentaje de flujo 15.7, y por último para la mezcla asfáltica con 5% de polvo de neumático tenemos un porcentaje de flujo 15.3.

En cuanto al porcentaje de vacíos podemos observar que, al agregar porcentaje de polvo de neumático a la mezcla asfáltica, no sale del rango, según la figura 28 para

pavimentos locales se utilizan los datos relacionados a 35 golpes de compactación, el cual nos indica un porcentaje de vacíos que debe estar en el rango de 8 – 20. Para la mezcla asfáltica tradicional tenemos un porcentaje de vacíos 16.3, para la mezcla asfáltica con 2.5% de polvo de neumático tenemos un porcentaje de vacíos 15.7, y por último para la mezcla asfáltica con 5% de polvo de neumático tenemos un porcentaje de flujo 15.3.

Podemos concluir finalmente que el utilizar el 2.5 % de polvo de neumático mejora las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas, tanto la estabilidad, como el porcentaje de flujo y de vacíos.

Al utilizar 5% de polvo de neumático si bien es cierto mejora en la estabilidad y el porcentaje de flujo se mantiene en el rango establecido en la Norma CE. 010 de Pavimentos Urbanos; por otro lado, el porcentaje de vacíos no cumple según lo establecido en la Norma CE. 010 de Pavimentos Urbanos.

### **Recomendaciones:**

- Una alternativa de solución para reducir el porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica modificada con 5% de polvo de neumático, sería colocarle un filler como por ejemplo “cal” y así mejorar sus propiedades mecánicas en general.
- Se recomienda realizar otras mezclas asfálticas utilizando diferentes tipos de porcentaje de polvo de neumático.
- Se recomienda realizar el diseño de mezcla asfáltica por vía húmeda, ya que en este caso el polvo de neumático actuaría como ligante para realizar un tratamiento superficial de pavimentos flexibles

## REFERENCIAS

ALICARESP (Editor). (2019). Conceptos básicos de pavimento rígido. *[En línea]*.

*Recuperado de <http://alicaresp.com/2019/01/14/conceptos-basicos-de-pavimentos/>.*

Aliaga Bravo, Y. M. (2017). Aplicación del caucho reciclado para la mejora de las propiedades de la carpeta asfáltica en pavimentación de la Av. Bertello, Santa Rosa, Lima 2017. *(Tesis de Grado)*. Universidad Cesar Vallejo, Lima; Perú.

Carrasco Díaz, Sergio (2007). Metodología de la investigación Científica: Pautas metodológicas para diseñar y elaborar el proyecto de investigación. Lima. Perú.

Coronado Iturbide, J. (Consultor). (2011). Manual centroamericano para diseño de pavimentos. (3ra ed.). Guatemala: Secretaría de Integración Económica Centroamericana.

Goicochea Fernández, F. (2019). Estudio de un asfalto con adición de caucho de neumático reciclado como polímero base, Chachapoyas – Amazonas – 2017. *(Tesis de Grado)*. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas, Perú.

Ing. Silene Minaya – M. I. Abel Ordóñez (2001). Manual de Laboratorio de Ensayos para Pavimentos (2001) *Volumen 1*. Universidad Nacional de Ingeniería. Perú.

Lozano, E. y Tabares González, R. (2005). Diagnóstico de vía existente y diseño del pavimento flexible de la vía nueva mediante parámetros obtenidos del estudio en Fase I de la vía acceso al Barrio Ciudadela del Café – Vía la

Badea. (*Tesis de Especialización, Universidad Nacional de Colombia*).

*Recuperado de*

*<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/579195>.*

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). Especificaciones técnicas generales para construcción Manual de carreteras EG-2013 (MC-01-13)

*Tomo I. Perú.*

Rodríguez Mineros, C. E. y Rodríguez Molina, J. A. (2004). Evaluación y

rehabilitación de pavimentos flexibles por el método del reciclaje. (*Tesis de*

*Grado, Universidad de El Salvador*). *Recuperado de*

*<http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2234/>.*

SENCICO (2010). CE.010 Pavimentos Urbanos Reglamento Nacional de

Edificaciones. *Perú.*

Vega Zurita, D. S. (2016). Análisis del comportamiento a compresión de asfalto

conformado por caucho reciclado de llantas como material constitutivo del pavimento asfáltico. (*Tesis de Grado, Universidad Técnica de Ambato*).

*Recuperado de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/25264>.*

Villagaray Medina, E. J. (2017). Aplicación de caucho reciclado en un diseño de

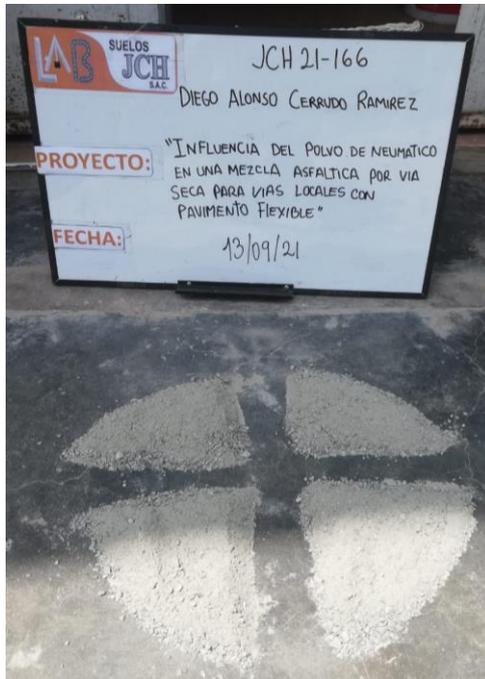
mezcla asfáltica para el tránsito vehicular de la Avenida Trapiche-Comas

(Remanso) 2017. (*Tesis de Grado*). *Universidad César Vallejo, Lima, Perú.*

## ANEXOS

### Anexo 1

#### *Cuarteo de la muestra de arena chancada*



*Fuente:* Fotografía propia obtenida del Laboratorio Suelos JCH S.A.C.

### Anexo 2

#### *Cuarteo de la muestra de arena chancada*



*Fuente:* Fotografía propia obtenida del Laboratorio Suelos JCH S.A.C.

### Anexo 3

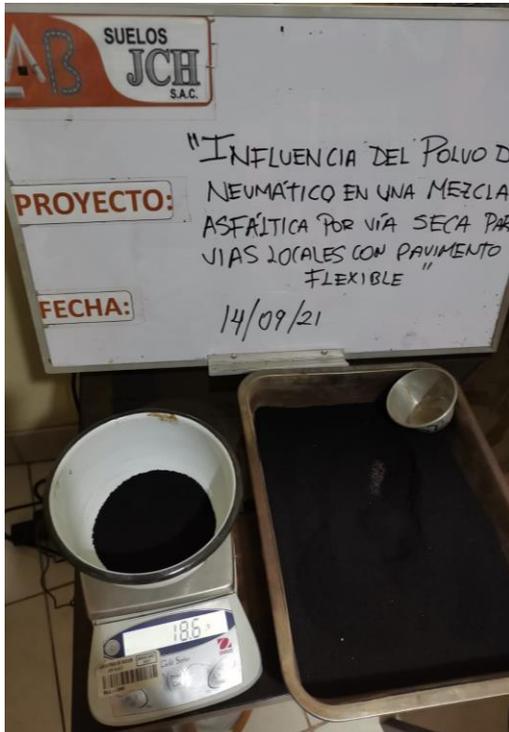
#### Cuarteo de la muestra de arena chancada



Fuente: Fotografía propia obtenida del Laboratorio Suelos JCH S.A.C.

### Anexo 4

#### Polvo de Neumático



Fuente: Fotografía propia obtenida del Laboratorio Suelos JCH S.A.C.

### Anexo 5

*Mezcla de los agregados*



Fuente: Fotografía propia obtenida del Laboratorio Suelos JCH S.A.C.

### Anexo 6

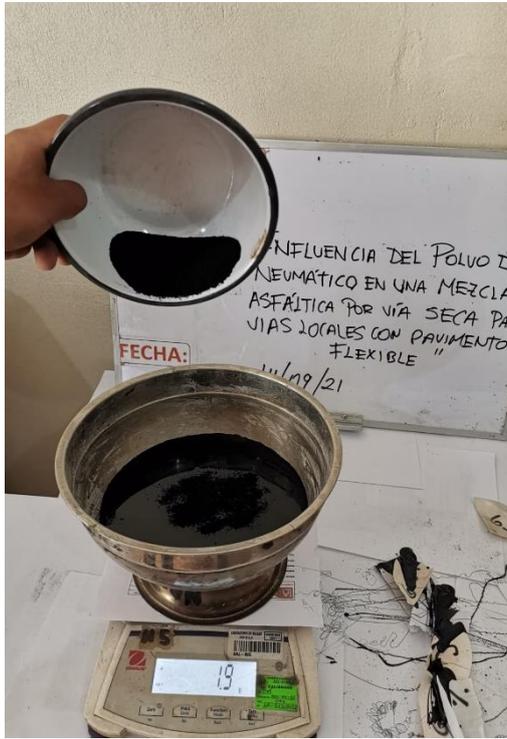
*Vertiendo asfalto a recipiente con agregados*



Fuente: Fotografía propia obtenida del Laboratorio Suelos JCH S.A.C.

### Anexo 7

#### *Vertiendo polvo de neumático a la mezcla asfáltica*



*Fuente: Fotografía propia obtenida del Laboratorio Suelos JCH S.A.C.*

### Anexo 8

#### *Calentado de mezcla asfáltica*



*Fuente: Fotografía propia obtenida del Laboratorio Suelos JCH S.A.C.*

### **Anexo 9**

#### *Homogenizar la mezcla asfáltica*



*Fuente:* Fotografía propia obtenida del Laboratorio Suelos JCH S.A.C.

### **Anexo 10**

#### *Control de temperatura de la mezcla asfáltica*



*Fuente:* Fotografía propia obtenida del Laboratorio Suelos JCH S.A.C.

## Anexo 11

### Compactación de la briquetas



Fuente: Fotografía propia obtenida del Laboratorio Suelos JCH S.A.C.

## Anexo 12

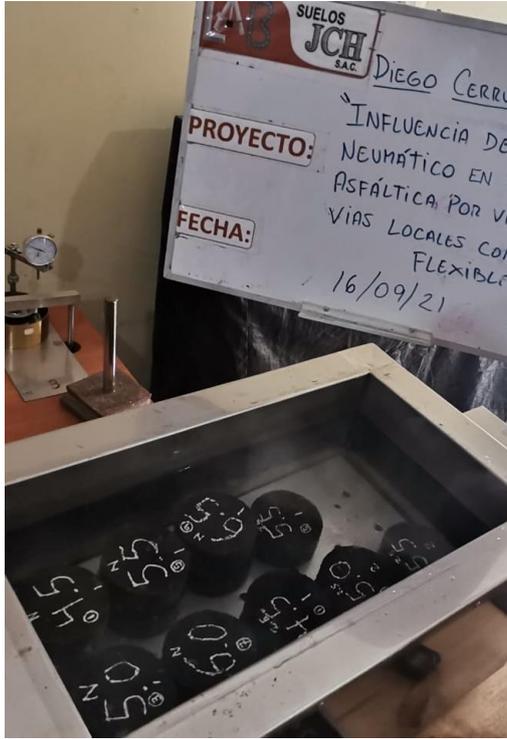
### Briquetas compactadas



Fuente: Fotografía propia obtenida del Laboratorio Suelos JCH S.A.C.

### Anexo 13

#### *Briquetas puestas en baño maría*



Fuente: Fotografía propia obtenida del Laboratorio Suelos JCH S.A.C.

### Anexo 14

#### *Ruptura de briquetas Marshall*



Fuente: Ruptura de briquetas Marshall

## Anexo 15

### *Briquetas después de su ruptura*



Fuente: Fotografía propia obtenida del Laboratorio Suelos JCH S.A.C.

## Anexo 16

### Resumen de Ensayo Marshall de mezcla asfáltica tradicional

**Razón Social:** Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

**RUC:** 20602256872



**INFORME DE DISEÑO  
DISEÑO TENTATIVO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS  
MÉTODO MARSHALL (ASTM D 6926 / ASTM D6927)  
(RESUMEN)**

INFORME : JCH 21-166  
SOLICITANTE : DIEGO ALONSO CERRUDO RAMIREZ  
UBICACIÓN : ---  
PROYECTO : "INFLUENCIA DEL POLVO DE NEUMÁTICO EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA POR VÍA SECA PARA VÍAS LOCALES CON PAVIMENTO FLEXIBLE"  
REFERENCIA : ---  
FECHA DE EJECUCIÓN : 22/09/2021

**1.- MEZCLA DE AGREGADOS (PORCENTAJES EN PESO)**

**CANT. JICAMARCA-CANT.CRUSHING**

PIEDRA CHANCADA 1/2"-CANT. JICAMARCA : 15%  
PIEDRA CHANCADA 3/8"-CANT.JICAMARCA : 25%  
ARENA CHANCADA-CANT-JICAMARCA : 60%

: EG-2013  
: GRADACIÓN MAC-2

**2.- LIGANTE BITUMINOSO**

Tipo de asfalto : ASFALTO 60/70  
% óptimo de C.A. : 5.1

**3.- ADITIVO**

Tipo de aditivo : ---  
% de aditivo en peso del C.A. : 0.0

**4.- CARACTERÍSTICAS MARSHALL MODIFICADO**

Nº DE GOLPES		35	
CEMENTO ASFÁLTICO (% EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL)	6,8	7,0	7,2
DENSIDAD SECA BULK (g/cm <sup>3</sup> )	2,369	2,364	2,358
VACIOS (%)	5,0	4,9	4,9
V.M.A. (%)	18,77	19,16	19,59
R.B.V. (%)	77,2	79,8	82,4
FLUJO (0,25 mm)	15,7	16,3	16,8
ESTABILIDAD (kg)	798,0	686,0	544,0
Relación polvo - asfalto	1,08	1,05	1,01

**5.- TEMPERATURA DE APLICACIÓN (°C)**

Según carta de viscosidad  
Temperatura de mezcla : 153°C - 158°C  
Temperatura de compactación : 144°C - 147°C

**6.- OBSERVACIONES**

- 1.- Se recomienda realizar los ensayos faltantes que exige la especificación EG-2013.
- 2.- Para la realización del diseño se utilizó el asfalto 60/70 de la Refinería Repsol.
- 3.- Para validar este diseño se recomienda realizar los ensayos de desempeño a la Mezcla Asfáltica.

Fuente: Fotografía propia obtenida del Laboratorio Suelos JCH S.A.C.

**Anexo 17**

*Gráficas de Ensayo Marshall de mezcla asfáltica tradicional*

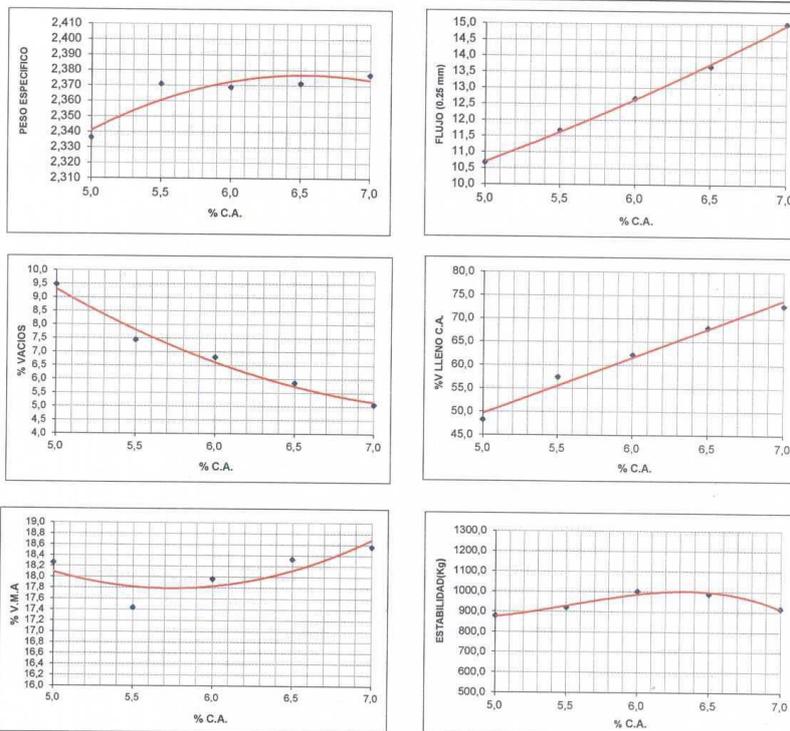
**Razón Social:** Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

**RUC:** 20602256872



**INFORME DE DISEÑO  
DISEÑO TENTATIVO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS  
MÉTODO MARSHALL (ASTM D 6926 / ASTM D6927)**

**INFORME** : JCH 21-166  
**SOLICITANTE** : Diego Alonso Cerrudo Ramirez  
**UBICACIÓN** : ---  
**PROYECTO** : "INFLUENCIA DEL POLVO DE NEUMÁTICO EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA POR VÍA SECA PARA VÍAS LOCALES CON PAVIMENTO FLEXIBLE"  
**REFERENCIA** : ---  
**FECHA DE EJECUCION** : 22/09/2021

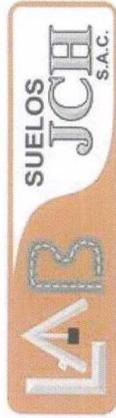


OBSERVACIONES: 0%  
ASFALTO 60/70

Fuente: Fotografía propia obtenida del Laboratorio Suelos JCH S.A.C.

Anexo 18

Tabla de Cálculo de Ensayo Marshall de mezcla asfáltica tradicional



Razón Social: Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

RUC: 20602256872

INFORME DE DISEÑO

DISEÑO TENTATIVO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

MÉTODO MARSHALL (ASTM D 6926 / ASTM D6927)

SOLICITANTE : DIEGO ALONSO CERRUDO RAMIREZ

UBICACIÓN : ---

PROYECTO : "INFLUENCIA DEL POLVO DE NEUMÁTICO EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA POR VÍA SECA PARA VÍAS LOCALES CON PAVIMENTO FLEXIBLE"

REFERENCIA : MEZCLA EN CALIENTE

FECHA DE EJECUCIÓN : 22/09/2021

N° BRIQUETAS	1	1-A	1-B	2	2-A	2-B	3	3-A	3-B	4	4-A	4-B	5	5-A	5-B
1 % C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5	6.0	6.0	6.0	6.5	6.5	6.5	7.0	7.0	7.0
2 % A. GRUESO (1/2) EN PESO DE LA MEZCLA	14.25	14.25	14.25	14.18	14.18	14.18	14.10	14.10	14.10	14.03	14.03	14.03	13.95	13.95	13.95
3 % A. GRUESO (3/8) EN PESO DE LA MEZCLA	23.75	23.75	23.75	23.63	23.63	23.63	23.50	23.50	23.50	23.38	23.38	23.38	23.25	23.25	23.25
4 % A. FINO CHANCADO EN PESO DE LA MEZCLA	57.00	57.00	57.00	56.70	56.70	56.70	56.40	56.40	56.40	56.10	56.10	56.10	55.80	55.80	55.80
5 PESO ESPECÍFICO DEL C.A. APARENTE	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024
6 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO GRUESO (1/2)	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732
7 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO GRUESO (3/8)	2.705	2.705	2.705	2.705	2.705	2.705	2.705	2.705	2.705	2.705	2.705	2.705	2.705	2.705	2.705
8 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO FINO CHANCADO	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715
9 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE (g)	1140.2	1141.2	1142.0	1187.7	1187.9	1144.0	1197.8	1188.8	1155.5	1184.2	1133.3	1156.9	1185.9	1169.9	1165.2
10 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE SS (g)	1144.9	1145.2	1146.8	1189.9	1189.9	1147.6	1198.6	1190.4	1153.4	1184.9	1133.9	1157.5	1185.5	1170.8	1166.3
11 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	657.4	656.5	657.8	689.2	688.2	684.6	693.0	689.0	685.1	685.8	655.7	689.5	687.4	679.1	675.8
12 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm³)	487.5	488.7	489.0	500.7	500.7	483.0	505.6	501.4	487.3	499.1	478.2	488.0	498.1	491.7	480.5
13 PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA	2.339	2.335	2.335	2.372	2.372	2.369	2.369	2.371	2.367	2.373	2.370	2.371	2.376	2.379	2.376
14 PESO UNITARIO DE LA BRIQUETA A 25°C (g/cm³) ASTM D 2726	2.332	2.328	2.328	2.365	2.365	2.362	2.362	2.364	2.360	2.366	2.363	2.364	2.369	2.372	2.369
15 PESO ESPECÍFICO MÁXIMO ASTM D 2041	2.581	2.561	2.581	2.561	2.561	2.561	2.541	2.541	2.541	2.520	2.520	2.520	2.504	2.504	2.504
16 % VACIOS - ASTM D 3003	9.4	9.5	9.5	7.4	7.4	7.5	6.8	6.7	6.9	5.8	5.9	5.9	5.1	5.0	5.1
17 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715
18 V.M.A. (%)	18.2	18.3	18.3	17.4	17.4	17.5	18.0	17.9	18.0	18.3	18.4	18.3	18.6	18.5	18.6
19 % VACIOS LLENADOS CON C.A.	46.4	48.1	48.1	57.5	57.5	57.1	62.2	62.6	61.7	68.3	67.9	67.8	72.6	73.0	72.6
20 PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.805	2.805	2.805	2.807	2.807	2.807	2.807	2.807	2.807	2.805	2.805	2.805	2.810	2.810	2.810
21 ASFALTO ABSORBIDO POR EL AGREGADO TOTAL	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3
22 % ASFALTO EFECTIVO	3.85	3.85	3.85	4.34	4.34	4.34	4.8	4.8	4.8	5.4	5.4	5.4	5.82	5.82	5.82
23 FLUJO (0.01 pulgadas)	10.0	11.0	11.0	11.0	12.0	12.0	12.0	13.0	13.0	13.0	14.0	14.0	15.0	15.0	15.0
24 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	815	798	806	861	870	882	946	954	942	920	904	899	882	840	853
25 FACTOR DE ESTABILIDAD (TABLA)	1.09	1.09	1.09	1.04	1.04	1.09	1.04	1.04	1.04	1.04	1.14	1.09	1.04	1.09	1.09
26 ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	888	870	879	896	905	962	984	983	1026	957	1030	980	918	916	930

OBSERVACIONES :  
0%  
ASFALTO 60/70

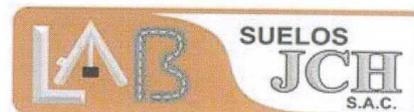
Fuente: Fotografía propia obtenida del Laboratorio Suelos JCH S.A.C.

## Anexo 19

### Resumen de Diseño Marshall con 2.5% de polvo de neumático

**Razón Social:** Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

**RUC:** 20602256872



INFORME DE DISEÑO  
DISEÑO TENTATIVO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS  
MÉTODO MARSHALL (ASTM D 6926 / ASTM D6927)  
(RESUMEN)

INFORME : JCH 21-166  
SOLICITANTE : DIEGO ALONSO CERRUDO RAMIREZ  
UBICACIÓN : ---  
PROYECTO : "INFLUENCIA DEL POLVO DE NEUMÁTICO EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA POR VÍA SECA PARA VÍAS LOCALES CON PAVIMENTO FLEXIBLE"  
REFERENCIA : ---  
FECHA DE EJECUCIÓN : 22/09/2021

1.- MEZCLA DE AGREGADOS (PORCENTAJES EN PESO)

**CANT. JICAMARCA-CANT. CRUSHING**

PIEDRA CHANCADA 1/2"-CANT. JICAMARCA : 15%  
PIEDRA CHANCADA 3/8"-CANT. JICAMARCA : 25%  
ARENA CHANCADA-CANT. JICAMARCA : 60%

: EG-2013  
: GRADACIÓN MAC-2

2.- LIGANTE BITUMINOSO

Tipo de asfalto : ASFALTO 60/70  
% óptimo de C.A. : 5.1

3.- ADITIVO

Tipo de aditivo : POLVO DE NEUMÁTICO  
% de aditivo en peso del C.A. : 2.5

4.- CARACTERÍSTICAS MARSHALL MODIFICADO

Nº DE GOLPES	35		
CEMENTO ASFÁLTICO (% EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL)	6,6	6,8	7,0
DENSIDAD SECA BULK (g/cm <sup>3</sup> )	2,377	2,372	2,365
VACIOS (%)	4,8	4,8	4,7
V.M.A. (%)	23,12	23,48	23,88
R.B.V. (%)	76,0	78,5	81,1
FLUJO (0,25 mm)	15,2	15,7	16,3
ESTABILIDAD (kg)	1053,0	1065,0	1108,0
Relación polvo - asfalto	1,12	1,08	1,05

5.- TEMPERATURA DE APLICACIÓN (°C)

Según carta de viscosidad  
Temperatura de mezcla : 153°C - 158°C  
Temperatura de compactación : 144°C - 147°C

6.- OBSERVACIONES

- Se recomienda realizar los ensayos faltantes que exige la especificación EG-2013.
- Para la realización del diseño se utilizó el asfalto 60/70 de la Refinería Repsol.

## Anexo 20

### Gráficas de Ensayo Marshall con 2.5% de polvo de neumático

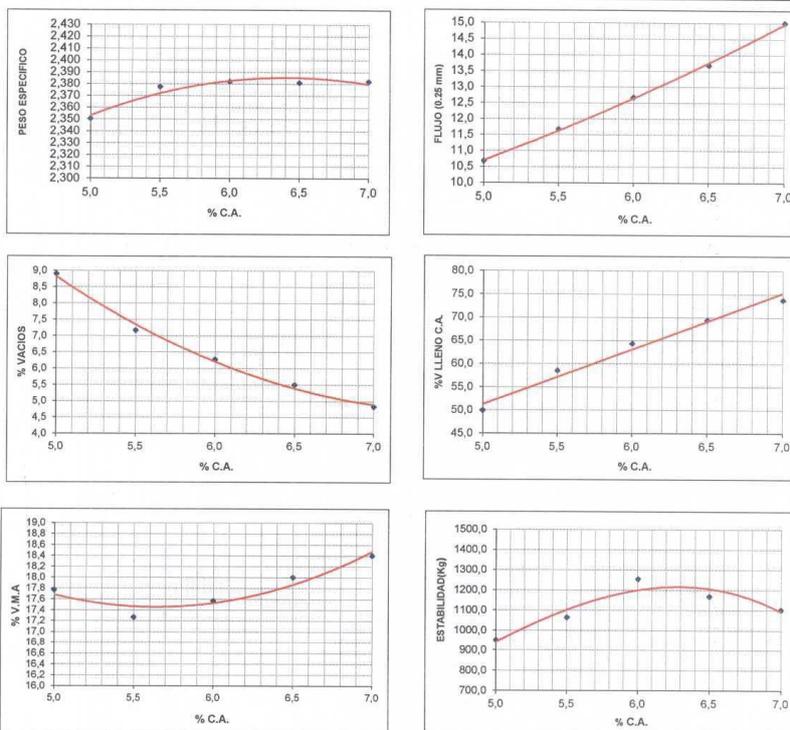
Razón Social: Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

RUC: 20602256872



INFORME DE DISEÑO  
DISEÑO TENTATIVO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS  
MÉTODO MARSHALL (ASTM D 6926 / ASTM D6927)

INFORME : JCH 21-166  
SOLICITANTE : Diego Alonso Cerrudo Ramírez  
UBICACIÓN : —  
PROYECTO : "INFLUENCIA DEL POLVO DE NEUMÁTICO EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA POR VÍA SECA PARA VÍAS LOCALES CON PAVIMENTO FLEXIBLE"  
REFERENCIA : —  
FECHA DE EJECUCION : 22/09/2021



OBSERVACIONES: 2,5%  
ASFALTO 60/70

Anexo 21

Tabla de Cálculo de Ensayo Marshall con 2.5% de polvo de neumático



Razón Social: Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.  
RUC: 20602256872

INFORME DE DISEÑO  
DISEÑO TENTATIVO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS  
MÉTODO MARSHALL (ASTM D 6926 / ASTM D6927)

SOLICITANTE : DIEGO ALONSO CERRUDO RAMIREZ  
UBICACIÓN : ---  
PROYECTO : INFLUENCIA DEL POLVO DE NEUMÁTICO EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA POR VÍA SECA PARA VÍAS LOCALES CON PAVIMENTO FLEXIBLE  
REFERENCIA : MEZCLA EN CALIENTE  
FECHA DE EJECUCIÓN : 22/09/2021

N°	1A	1B	2	3A	3B	4	4A	4B	5	5A	5B
1	5.0	5.0	5.5	6.0	6.0	6.5	6.5	6.5	7.0	7.0	7.0
2	14.25	14.25	14.18	14.18	14.10	14.10	14.03	14.03	13.95	13.95	13.95
3	23.75	23.75	23.63	23.63	23.50	23.50	23.38	23.38	23.25	23.25	23.25
4	57.00	57.00	56.70	56.70	56.40	56.10	56.10	56.10	55.80	55.80	55.80
5	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024
6	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732
7	2.705	2.705	2.705	2.705	2.705	2.705	2.705	2.705	2.705	2.705	2.705
8	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715
9	1187.7	1187.9	1188.8	1188.8	1184.2	1185.5	1185.9	1185.4	1179.2	1184.5	1184.5
10	1190.9	1191.9	1188.3	1188.3	1186.9	1187.9	1187.9	1188.4	1182.1	1188.9	1188.9
11	685.1	686.4	685.2	685.2	680.3	681.3	681.3	680.1	688.7	688.5	688.8
12	505.8	505.5	503.2	503.2	498.6	498.6	498.3	498.1	493.4	494.5	495.1
13	2.341	2.350	2.377	2.377	2.375	2.380	2.381	2.381	2.388	2.385	2.373
14	2.381	2.381	2.370	2.369	2.368	2.372	2.374	2.374	2.381	2.378	2.366
15	9.0	8.9	7.1	7.2	6.5	6.2	6.2	6.1	5.5	5.5	5.2
16	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715
17	17.8	17.7	17.2	17.3	17.8	17.5	17.4	18.0	18.2	18.3	18.7
18	49.4	50.0	58.7	58.4	63.5	64.6	64.9	69.4	74.7	74.3	72.2
19	2.805	2.805	2.807	2.807	2.807	2.807	2.807	2.807	2.810	2.810	2.810
20	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3
21	3.85	3.85	4.34	4.34	4.8	4.8	5.4	5.4	5.82	5.82	5.82
22	10.0	11.0	11.0	12.0	12.0	13.0	13.0	14.0	15.0	15.0	15.0
23	904	925	1009	997	1014	1141	1163	1157	1081	1089	988
24	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.09	1.09	1.04
25	940	962	1050	1037	1186	1186	1165	1216	1105	1096	1028

OBSERVACIONES : 2.5%  
ASFALTO 60/70

Fuente: Fotografía propia obtenida del Laboratorio Suelos JCH S.A.C.

## Anexo 22

### Resumen de Ensayo Marshall con 5.0% de polvo de neumático

**Razón Social:** Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

**RUC:** 20602256872



INFORME DE DISEÑO  
DISEÑO TENTATIVO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS  
MÉTODO MARSHALL (ASTM D 6926 / ASTM D6927)  
(RESUMEN)

INFORME : JCH 21-166  
SOLICITANTE : DIEGO ALONSO CERRUDO RAMIREZ  
UBICACIÓN : ---  
PROYECTO : "INFLUENCIA DEL POLVO DE NEUMÁTICO EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA POR VÍA SECA PARA VÍAS LOCALES CON PAVIMENTO FLEXIBLE"  
REFERENCIA : ---  
FECHA DE EJECUCIÓN : 22/09/2021

1.- MEZCLA DE AGREGADOS (PORCENTAJES EN PESO)

**CANT. JICAMARCA-CANT. CRUSHING**

PIEDRA CHANCADA 1/2"-CANT. JICAMARCA : 15%  
PIEDRA CHANCADA 3/8"-CANT. JICAMARCA : 25%  
ARENA CHANCADA-CANT. JICAMARCA : 60%

: EG-2013  
: GRADACIÓN MAC-2

2.- LIGANTE BITUMINOSO

Tipo de asfalto : ASFALTO 60/70  
% óptimo de C.A. : 5.1

3.- ADITIVO

Tipo de aditivo : POLVO DE NEUMÁTICO  
% de aditivo en peso del C.A. : 5,0

4.- CARACTERÍSTICAS MARSHALL MODIFICADO

Nº DE GOLPES	6	35	68
CEMENTO ASFÁLTICO (% EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL)	6,4	6,6	6,8
DENSIDAD SECA BULK (g/cm <sup>3</sup> )	2,381	2,361	2,372
VACIOS (%)	5,0	5,3	4,8
V.M.A. (%)	22,81	23,56	23,48
R.B.V. (%)	73,5	75,2	78,5
FLUJO (0,25 mm)	14,7	15,3	15,7
ESTABILIDAD (kg)	1064,0	1084,0	1065,0
Relación polvo - asfalto	1,16	1,12	1,08

5.- TEMPERATURA DE APLICACIÓN (°C)

Según carta de viscosidad  
Temperatura de mezcla : 153°C - 158°C  
Temperatura de compactación : 144°C - 147°C

6.- OBSERVACIONES

- 1.- Se recomienda realizar los ensayos faltantes que exige la especificación EG-2013.
- 2.- Para la realización del diseño se utilizó el asfalto 60/70 de la Refinería Repsol.

**Anexo 23**

*Gráficas de Ensayo Marshall con 5.0% de polvo de neumático*

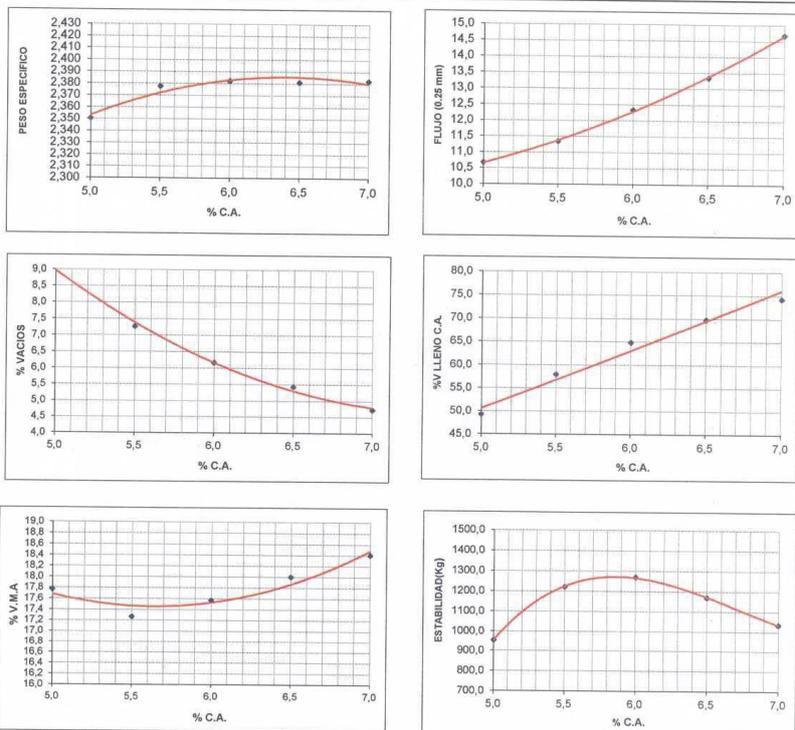
**Razón Social:** Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.

**RUC:** 20602256872



**INFORME DE DISEÑO  
DISEÑO TENTATIVO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS  
MÉTODO MARSHALL (ASTM D 6926 / ASTM D6927)**

INFORME : JCH 21-166  
 SOLICITANTE : DIEGO ALONSO CERRUDO RAMIREZ  
 UBICACIÓN :  
 PROYECTO : "INFLUENCIA DEL POLVO DE NEUMÁTICO EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA POR VÍA SECA PARA VÍAS LOCALES CON PAVIMENTO FLEXIBLE"  
 REFERENCIA :  
 FECHA DE EJECUCION : 22/09/2021



OBSERVACIONES: 5,0%  
ASFALTO 60/70

Fuente: Fotografía propia obtenida del Laboratorio Suelos JCH S.A.C.

Anexo 24

Tabla de Cálculo de Ensayo Marshall con 5.0% de polvo de neumático



Razón Social: Laboratorio de Suelos JCH S.A.C.  
RUC: 20602256872

INFORME DE DISEÑO  
DISEÑO TENTATIVO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS  
MÉTODO MARSHALL (ASTM D 6926 / ASTM D6927)

N° INFORME : JCH 21-166  
SOLICITANTE : DIEGO ALONSO GERRUDO RAMIREZ  
UBICACIÓN : ---  
PROYECTO : INFLUENCIA DEL POLVO DE NEUMÁTICO EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA POR VÍA SECA PARA VÍAS LOCALES CON PAVIMENTO FLEXIBLE  
REFERENCIA : MEZCLA EN CALIENTE  
FECHA DE EJECUCIÓN : 22/09/2021

	1	1-A	1-B	2	2-A	2-B	3	3-A	3-B	4	4-A	4-B	5	5-A	5-B
N° BRIQUETAS															
1 % C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5	6.0	6.0	6.0	6.5	6.5	6.5	7.0	7.0	7.0
2 % A. GRUESO (Ø7) EN PESO DE LA MEZCLA	14.25	14.25	14.25	14.18	14.18	14.18	14.10	14.10	14.10	14.03	14.03	14.03	13.95	13.95	13.95
3 % A. GRUESO (Ø8) EN PESO DE LA MEZCLA	23.75	23.75	23.75	23.63	23.63	23.63	23.50	23.50	23.50	23.38	23.38	23.38	23.25	23.25	23.25
4 % A. FINO CHANCADO EN PESO DE LA MEZCLA	57.00	57.00	57.00	56.70	56.70	56.70	56.40	56.40	56.40	56.10	56.10	56.10	55.80	55.80	55.80
5 PESO ESPECÍFICO DEL C.A. APARENTE	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024
6 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO GRUESO (Ø7)	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732
7 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO GRUESO (Ø8)	2.705	2.705	2.705	2.705	2.705	2.705	2.705	2.705	2.705	2.705	2.705	2.705	2.705	2.705	2.705
8 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO FINO CHANCADO	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715
9 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE (Ø)	1187.7	1187.9	1184.2	1197.8	1188.8	1152.3	1184.2	1133.3	1153.5	1185.9	1169.9	1163.4	1179.2	1178.4	1184.5
10 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (Ø)	1180.9	1191.9	1188.3	1201.6	1191.4	1155.4	1188.9	1137.9	1158.4	1189.5	1174.6	1168.8	1182.1	1183	1188.9
11 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (Ø)	685.1	685.4	685.1	698.2	691.3	670.4	690.3	682.3	675.1	691.3	683.3	680.1	688.7	688.5	689.8
12 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm³)	505.8	505.5	503.2	503.4	500.1	485.0	498.6	475.6	483.3	498.2	491.3	488.7	493.4	494.5	499.1
13 PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA	2.348	2.350	2.353	2.379	2.377	2.376	2.375	2.383	2.387	2.380	2.381	2.381	2.388	2.385	2.373
14 PESO UNITARIO DE LA BRIQUETA A 20°C (g/cm³) - ASTM D 2728	2.341	2.343	2.346	2.372	2.370	2.369	2.368	2.376	2.380	2.373	2.374	2.374	2.381	2.378	2.366
15 PESO ESPECÍFICO MÁXIMO - ASTM D 2041	2.584	2.584	2.584	2.584	2.584	2.584	2.539	2.539	2.539	2.518	2.518	2.518	2.500	2.500	2.500
16 % VACUOS - ASTM D 3203	9.1	9.1	8.9	7.2	7.3	7.3	6.4	6.1	6.0	5.5	5.4	5.4	4.5	4.6	5.1
17 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715
18 V.M.A. (%)	17.8	17.8	17.7	17.2	17.3	17.3	17.8	17.5	17.4	18.0	18.0	18.0	18.2	18.3	18.7
19 % VACUOS LLENADOS CON C.A.	48.9	48.9	49.7	58.1	57.8	57.8	64.0	65.1	65.5	69.4	70.0	70.0	75.3	74.9	72.7
20 PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.809	2.809	2.809	2.810	2.810	2.810	2.804	2.804	2.804	2.802	2.802	2.802	2.804	2.804	2.804
21 ASFALTO ABSORBIDO POR EL AGREGADO TOTAL	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
22 % ASFALTO EFECTIVO	3.79	3.79	3.79	4.30	4.30	4.30	4.9	4.9	4.9	5.4	5.4	5.4	5.88	5.88	5.88
23 FLUJO (0.075mm) (g)	10.5	10.5	11.0	11.0	11.0	12.0	12.0	12.0	13.0	13.0	13.0	14.0	14.0	15.0	15.0
24 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	887	925	942	1234	1166	1069	1141	1149	1200	1128	1047	1094	946	959	971
25 FACTOR DE ESTABILIDAD (TABLA)	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.09	1.04	1.14	1.09	1.04	1.09	1.09	1.09	1.09	1.04
26 ESTABILIDAD CORREGIDA (Kg)	922	962	979	1283	1213	1165	1188	1310	1308	1173	1142	1193	1031	1045	1010

5.0%  
ASFALTO 60/70

OBSERVACIONES :

Fuente: Fotografía propia obtenida del Laboratorio Suelos JCH S.A.C.