

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**T E S I S**

**Caucho reciclado en comportamiento mecánico de la mezcla  
asfáltica en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides  
Carrión – 2022**

**Para optar el título profesional de:  
Ingeniero Civil**

**Autor: Bach. Daniel Anderson BARZOLA CASTILLO**

**Asesor: Mg. Lucio ROJAS VITOR**

**Cerro de Pasco - Perú - 2023**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**T E S I S**

**Caucho reciclado en comportamiento mecánico de la mezcla  
asfáltica en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides  
Carrión – 2022**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

Dr. Zenón Manuel LOPEZ ROBLES

**PRESIDENTE**

---

Mg. José Germán RAMIREZ MEDRANO

**MIEMBRO**

---

Mg. Jose Luis SOSA SANCHEZ

**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

A mi tío Gualberto y familiares por su apoyo incondicional en mi formación profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias a Dios por haberme permitido tener y disfrutar de mi familia, Gracias a mi familia por apoyarme en cada decisión y proyecto que he tenido en esta vida de la misma manera una persona en especial que confío en mí en cada momento que tuve caídas y me ayudó a levantarme qué es mi tío Gualberto

## RESUMEN

En la presente investigación se toma en cuenta las diferentes investigaciones a nivel internacional y nacional, donde nos da a conocer el uso de las partículas de caucho reciclado como agregados en mezclas asfálticas y tener una alternativa para solucionar problemas de tipo mecánico en los pavimentos.

Esta investigación se realizó con el objetivo principal de identificar las características que nos proporciona la incorporación de partículas de caucho reciclado en una mezcla asfáltica convencional por vía húmeda y disminuir la presencia de fisuras.

Se determinó si los agregados tanto fino como grueso cumplían con las normas del MTC, establecidas para la realización de un pavimento asfáltico, con estos antecedentes se procedió a realizar la granulometría correspondiente al tipo de agregado comprobando que se encuentren dentro de los límites establecido.

Luego se elaboró una serie de muestras conocidas como briquetas, preparadas en caliente a temperaturas entre los 140° y 170° C; luego de ser elaboradas se disponen a ensayar del procedimiento Marshall la cual arrojó datos de estabilidad y flujo. Las briquetas ensayadas mediante el procedimiento Marshall el cual permitió tabular los datos de forma correcta para su posterior representación mediante gráficas de cada una de sus propiedades, determinando así los porcentajes óptimos de cada uno de los pavimentos asfálticos.

**Palabras Claves:** Asfalto, mezcla asfáltica convencional, partículas de caucho reciclado

## ABSTRACT

In the present investigation, the different investigations at the international and national level are taken into account, where we are made aware of the use of recycled rubber particles as aggregates in asphalt mixtures and have an alternative to solve mechanical problems in pavements.

This research was carried out with the main objective of identifying the characteristics provided by the incorporation of recycled rubber particles in a conventional wet asphalt mix and reducing the presence of cracks.

It was determined if both fine and coarse aggregates complied with the MTC standards, established for the realization of an asphalt pavement, with this background we proceeded to carry out the granulometry corresponding to the type of aggregate, verifying that they are within the established limits.

Then a series of samples known as briquettes were prepared, prepared hot at temperatures between 140° and 170° C; After being prepared, they are ready to test the Marshall procedure, which yielded stability and flow data. The briquettes tested using the Marshall procedure which allowed to tabulate the data correctly for its subsequent representation by means of graphs of each of its properties, thus determining the optimal percentages of each of the asphalt pavements.

**Keywords:** asphalt, conventional asphalt mix, recycled rubber particles

## INTRODUCCIÓN

La investigación denominada: caucho reciclado en comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión - 2022, comprende cuatro capítulos:

El primer capítulo contempla el planteamiento de problema que describe la realidad actual y se enfoca en la situación problemática. La información mostrada presenta aspectos de innovaciones tecnológicas, en las cuales se presenta una variedad de aditivos que permita una buena resistencia de la mezcla asfáltica, evidenciando la naturaleza y magnitud del problema en estudio. Luego se realiza la formulación del problema, se incluye el objetivo que se persigue a través de la investigación, la Justificación, hipótesis y demás elementos metodológicos que guían la investigación.

El segundo capítulo muestra el Marco Teórico el mismo que contiene los antecedentes o investigaciones anteriores relacionadas con el estudio, las bases teóricas - científicas que está ligado a caucho reciclado en comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica el mismo que pretende mostrar la secuencia metodológica con la cual se pretende resolver el problema.

El tercer capítulo comprende la Metodología donde describe el tipo de Investigación, el diseño de investigación, la población y muestra las técnicas e instrumentos de recolección de datos, técnicas de procesamiento de datos y concluye con la selección y validación de los instrumentos de investigación.

En el capítulo se desarrolló los resultados de la investigación donde se realiza el análisis del escenario de la investigación caucho reciclado en comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en la época de las innovaciones tecnológicas, en las cuales se presenta una variedad de aditivos que permita una buena resistencia de la mezcla asfáltica. Por lo tanto, deberá resistir los diferentes climas y el elevado tránsito al que estará sometido así mismo se realiza la validación de hipótesis para ver cuán significativo son los resultados.

Se finaliza con las conclusiones, recomendaciones bibliografía y anexos.

El Autor

## INDICE

DEDICATORIA	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
INDICE	

## CAPÍTULO I

### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema .....	1
1.2.	Delimitación de la investigación .....	2
1.3.	Formulación del problema .....	2
1.3.1.	Problema general .....	2
1.3.2.	Problemas específicos.....	3
1.4.	Formulación de Objetivos .....	3
1.4.1.	Objetivo General:.....	3
1.4.2.	Objetivos Específicos .....	3
1.5.	Justificación del problema.....	4
1.6.	Limitaciones de la investigación.....	4

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio. ....	5
2.2.	Bases teóricas - científicas .....	7
2.3.	Definición de términos. ....	28
2.4.	Hipótesis general y específicas:.....	30
2.4.1.	Hipótesis general .....	30
2.4.2.	Hipótesis específicas .....	30
2.5.	Identificación de variables.....	30

2.6.	Definición Operacional de variables e indicadores.....	32
------	--	----

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

3.1.	Tipo de investigación .....	33
3.2.	Nivel de investigación .....	33
3.3.	Diseño de investigación.....	33
3.4.	Población y Muestra .....	34
3.5.	Métodos de la Investigación.....	33
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	35
3.7.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos. ....	35
3.8.	Tratamiento Estadístico .....	35

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

4.1.	Descripción del Trabajo de Campo .....	37
4.1.1.	Situación actual .....	37
4.1.2.	Propuesta de mejora .....	37
4.1.3.	Material.....	37
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	38
4.2.1	Ensayo realizado a los agregados .....	38
4.2.2.	Granulometría del caucho .....	41
4.2.3.	Diseño Marshall de la Mezcla Patrón.....	42
4.3.	Prueba de Hipótesis.....	69
4.3.1.	Análisis de la hipótesis específica 1 .....	69
4.3.2.	Análisis de la hipótesis específica 2.....	73
4.3.3	Análisis de la hipótesis específica 3.....	78
4.4.	Discusión de resultados.....	84

#### **CONCLUSIONES**

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

Estamos en la época de las innovaciones tecnológicas, en las cuales se presenta una variedad de aditivos que permita una buena resistencia de la mezcla asfáltica. Por lo tanto, deberá resistir los diferentes climas y el elevado tránsito al que estará sometido.

En los últimos gobiernos dieron prioridad al desarrollo de obras viales en todo el territorio peruano, ejecutando más de 15,000 kilómetros de carreteras asfaltadas, conectando e integrando a más pueblos para promover el desarrollo económico de la población.

Debido al gran aumento de vehículos motorizados en nuestra ciudad, las avenidas principales se han visto afectadas, motivo por el cual causan un enorme tráfico en horas punta y ocasiona un problema de incomodidad a los usuarios que se desplazan por ellas a sus centros de trabajo y hogares.

Tenemos la necesidad de realizar un buen diseño que nos brinde una mayor duración y resistencia mecánica al pavimento asfáltico en el Perú. Planteamos mediante el presente estudio de investigación, adicionar el caucho para mezclar con el agregado y poder obtener un buen diseño.

Es importante manejar una cultura en el reciclaje de los neumáticos, ya que este material se puede usar en la construcción de carreteras y poder cuidar nuestro medio ambiente, en tal sentido se plantea la siguiente investigación denominada: caucho reciclado en comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión – 2022.

## **1.2. Delimitación de la investigación**

En la presente investigación se toma en cuenta las diferentes investigaciones a nivel internacional y nacional, donde nos da a conocer el uso de las partículas de caucho reciclado como agregados en mezclas asfálticas y tener una alternativa para solucionar problemas de tipo mecánico en los pavimentos.

Esta investigación se realizó con el objetivo principal de identificar las características que nos proporciona la incorporación de partículas de caucho reciclado en una mezcla asfáltica convencional por vía húmeda y disminuir la presencia de fisuras.

Se determinó si los agregados tanto fino como grueso cumplían con las normas del MTC, establecidas para la realización de un pavimento asfáltico, con estos antecedentes se procedió a realizar la granulometría correspondiente al tipo de agregado comprobando que se encuentren dentro de los límites establecido.

## **1.3. Formulación del problema**

### **1.3.1. Problema general**

¿De qué manera la incorporación de partículas de caucho reciclado mejora el comportamiento de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión - 2022?

### **1.3.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo influye la incorporación de partículas de caucho reciclado en la resistencia de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión - 2022?
- ¿Cómo contribuye la incorporación de partículas de caucho reciclado en el ensayo de compresión de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión - 2022?
- ¿Cómo interviene la incorporación de partículas de caucho reciclado en los vacíos de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión - 2022?

## **1.4. Formulación de Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General:**

Determinar en qué manera la incorporación de partículas de caucho reciclado mejora el comportamiento de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión - 2022

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Analizar cómo influye la incorporación de partículas de caucho reciclado en la resistencia de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión - 2022.
- Evaluar como interviene la incorporación de partículas de caucho reciclado en el ensayo de compresión de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión - 2022.
- Demostrar como contribuye la incorporación de partículas de caucho reciclado en los vacíos de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos

flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión - 2022.

## **1.5. Justificación del problema**

### **Justificación Tecnológica.**

El presente estudio que se realiza, se enfoca en utilizar el caucho reciclado en la combinación con el agregado pétreo con el cemento asfáltico para obtener una mezcla modificada en caliente y poder mejorar la resistencia al alto tránsito según el diseño que se realice.

### **Justificación Social.**

El resultado del estudio nos permitirá dar a conocer un diseño adecuado para evitar el deterioro del pavimento asfáltico y que puedan usarlo en la construcción de carreteras, para disminuir la alta congestión vehicular que se ocasiona en horas punta y poder contribuir con nuestra sociedad.

### **Justificación Ambiental.**

El estudio de investigación a desarrollar, se modificará la mezcla asfáltica agregando caucho, la cual mejorará sus propiedades y alargará el mantenimiento de las carreteras reduciendo la contaminación ambiental por la quema de llantas.

## **1.6. Limitaciones de la investigación**

Las limitaciones que probablemente encontramos en el desarrollo del presente proyecto son los siguientes:

- a. Carencia bibliográfica actualizada en la biblioteca de la UNDAC sobre las variables en estudio.
- b. Carencia de investigadores especializados, para la elaboración y validación de los instrumentos de investigación.
- c. Escasa disponibilidad de recursos económicos para poder solventar los costos en la ejecución del presente trabajo de investigación.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio.**

##### **2.1.1. Nacional.**

Carrizales (2015), presento la tesis titulada Asfalto modificado con material reciclado de llantas para su aplicación en pavimentos flexibles. Cuyo objetivo de estudio considera encontrar un diseño de mezcla adecuado para la zona del altiplano, agregando el caucho en una mezcla asfáltica y cumpliendo con lo propuesto por MTC y que La rigidez de la mezcla modificada con caucho reciclado de llanta es menor que al de la mezcla asfáltica convencional, donde el flujo es muy elevado lo cual amenora la estabilidad del pavimento y no es el adecuado para la zona porque presentaría aguellamientos en la carretera.

Pereda y Cubas (2015) presentaron la tesis titulada Investigación de los AMCR de llantas y su comparación técnico-económico con los asfaltos convencionales. Cuyo objetivo de estudio fue demostrar la importancia de los asfaltos modificados y comparar las diferentes propiedades de acuerdo a las pruebas que exigen las normas establecidas adicionando como parte del agregado el caucho reciclado en la preparación del asfalto, el cual mejora las propiedades mecánicas y la resistencia a la reformación plástica con el uso del asfalto líquido RC-70.

Cervera (2016) en su tesis Influencia en las propiedades mecánicas de una MACR de neumáticos, Cajamarca, 2016. Cuyo objetivo de estudio es saber cómo el caucho reciclado combinado en proporciones adecuadas, se emplea para un diseño de una mezcla asfáltica lo cual mejora en forma positiva el aumento de su resistencia a la deformación y el flujo en un 2.6% y 2.3% para el tránsito pesado, según el diseño que se utilizó con 1% de PCR, obteniendo el mejor resultado según lo indica el Manual de Carreteras EG 20013.

### **2.1.2. Internacional.**

Yung, (2013) en su estudio titulado la Caracterización, diseño y verificación de una MAM con grano de llanta triturado y fibra kaltex, con el propósito de obtener el título de ingeniero civil en la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Su fin es que el objetivo principal de estudio era llegar a mejorar las propiedades del asfalto convencional adicionándole granos de caucho reciclado y la fibra de kaltex, cuyo objetivo es alcanzar un buen ligante que ayude a mejorar la viscosidad a altas temperaturas consiguiendo el aumento de la rigidez y así poder contar con un ligante que posea buenas propiedades adhesivas.

Páez y Valarezo (2015) presentaron su estudio titulado Diseño de mezclas asfálticas en caliente con adición de caucho pulverizado por vía húmeda, con el propósito de obtener el título de ingeniero civil en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Cuyo objetivo es encontrar un diseño de mezcla el cual sea apropiado según el uso que se pueda dar, para lo cual el agregado pétreo debe de cumplir con los ensayos que exigen las normas y poder obtener buenos resultados de ellas y como la estabilidad se amenora al adicionar caucho pulverizado, llegando a la conclusión la pérdida de la fuerza a las deformaciones de la briqueta, haciendo que ésta se vuelva más flexible; sin embargo esta prueba cumple con los parámetros establecidos en el Método Marshall, que especifica que deben ser mayores a 2200 libras.

Díaz y Castro (2017) presentaron su tema de investigación titulada Implementación del GCR proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá, Cuyo objetivo de estudio fue el de incluir al grano de caucho reciclado como agregado pétreo y obtener una mezcla modificada, para mejorar su vida útil del pavimento y mejorar sus propiedades de ahuellamiento y reducir los contenidos de vacíos de aire en las mezclas asfálticas, considerando que el caucho mejora esta propiedad.

## **2.2. Bases teóricas - científicas**

### **Origen de Asfalto**

Es muy conocido que el término "bitumen" se originó en Sanscrito, donde la palabra "jatu" significa alquitrán y "jatubrit" significa la creación de alquitrán, palabra referida al alquitrán producido por resinas de algunos árboles. El equivalente en latín fue originalmente "gwitu-men" (cercano al alquitrán) y por otros "pixtu-men" (alquitrán burbujeado), cuya palabra fue acortada subsecuentemente a "bitumen" pasada luego del francés a inglés.

Existen varias referencias al asfalto en la Biblia, aunque la terminología usada puede ser bastante confusa. En el libro del Génesis se refiere al impermeabilizante del Arca de Noé, el cual fue preparado con y sin alquitrán y de la aventura juvenil de Moisés en "Un Arca de Espadaña, pintarrajeada con lodo y con alquitrán".

Aun mas confusas son las descripciones de La Torre de Babel. La Versión Autorizada de la Biblia dice: "Ellos tenían ladrillos por rocas y lodo para mortero", la nueva versión autorizada dice: "Ellos usaron ladrillos en vez de piedra y alquitrán en vez de mortero". La traducción de Moffat en 1935 dice: "Ellos usaron ladrillos en vez de piedras y asfalto en vez de mortero"; así como en la nueva versión oficial de la Biblia en español. Tampoco es desconocido que los términos bitumen, alquitrán y asfalto son intercambiables.

## **Los primeros usos del asfalto**

En las vecindades de depósitos subterráneos de crudo de petróleo, laminas de estos depósitos pueden verse en la superficie. Esto puede ocurrir por fallas geológicas; la cantidad y naturaleza de este material que se observa naturalmente depende de un número de procesos naturales, los cuales pueden modificar las propiedades del material. Este producto puede ser considerado un "asfalto natural", a menudo siendo acompañado por materia mineral, y la mezcla y dependiendo de las circunstancias por las cuales hayan sido mezcladas.

Existen por supuesto grandes depósitos de crudo de petróleo en el medio ambiente y por miles de años estos han correspondido a laminas superficiales de asfalto "natural". Los antiguos habitantes de esas zonas no apreciaron rápidamente las excelentes propiedades impermeabilizantes, adhesivas y de preservación que tenía el asfalto y rápidamente dejaban de usar este producto para su disposición final. Por más de 5.000 años el asfalto en cada una de sus formas ha sido usado como un impermeabilizante y/o agente ligante.

Los Sumerios, 3.800 AC, usaron asfalto y se recuerda este como el primer uso de este producto. En Mohenjo Daro, en el valle Indus, existen tanques de agua particularmente bien preservados los cuales datan del 3.800 AC. En las paredes de este tanque, no solamente los bloques de piedra fueron pegados con un asfalto "natural" sino que también el centro de las paredes tenían "nervios" de asfalto natural.

Este mismo principio se usa actualmente en el diseño de modernos canales y diques. Se cree que Nebuchadnezzar fue un hábil exponente del uso del asfalto debido a que existe la evidencia que él usaba el producto para impermeabilización de los techos de sus palacios y como un ingrediente en sus caminos empedrados. El proceso de momificación usado por los antiguos egipcios también testifica las cualidades preservativas del asfalto, aunque es una materia de disputa si se usó asfalto en vez de resinas.

Los antiguos usos "naturales" del asfalto descritos arriba no persisten en dudas en aquellas partes habitadas del mundo donde estos depósitos de asfalto natural estaban fácilmente disponibles. En consecuencia esto parece haber sido poco desarrollo del arte en algún otro sitio. No fue hasta el fin del siglo XIX que alguno de los presentes mayores usos del asfalto fueron introducidos. Sin embargo, esto parecía haber sido algún conocimiento de carpetas alternativas en el periodo intermedio como esta en la grabación que Sir Walter Raleigh, en 1.595 proclamó el lago de asfalto que encontró en Trinidad para hacer el mejor impermeabilizante utilizado en el acollado de barcos. En la mitad del siglo XIX se intenta que el asfalto fuera manufacturado para utilizarse superficies de carreteras. El mismo provenía de depósitos naturales europeos.

Así fue como se comenzaron a utilizar productos naturales que se obtenían del suelo, dando la llegada al carbón, alquitrán y luego el asfalto manufacturado a partir del crudo de petróleo. Durante el siglo XIX el uso del asfalto estaba limitado por su escasa disponibilidad, no obstante lo cual a mediados del mismo, la roca asfáltica participaba en la pavimentación de calles en Europa y después de 1.870, en USA. El aporte intensivo del asfalto en obras viales ocurrió a principios del siglo XIX debido a dos acontecimientos casi simultáneos: la aparición del automotor con rodado neumático -que sustituyó a la llanta maciza de caucho ideada en 1.869- y la explotación masiva del petróleo cuya industrialización lo convirtió en productor principal de asfaltos.

En el primer paso, el automóvil obtuvo pronto el favor del público que reclamó buenos caminos para mayor seguridad y confort. El transporte carretero comercial creó la dependencia "camión-camino" exigiendo amplias carreteras para más y mejores vehículos. En el segundo caso, el petróleo produjo importantes volúmenes de asfaltos aptos para un directo uso vial (cementos asfálticos) y asfaltos diluidos con las fracciones livianas (cut-back). Las emulsiones bituminosas de tipo aniónico aparecieron por entonces (1.905) como

paliativo del polvo, mientras que las catiónicas lo hicieron entre 1.951 y 1.957 en Europa y EE.UU. respectivamente; en Argentina las aniónicas comenzaron a producirse a mediados de la década del '30 y las catiónicas a fines del '60. Tanta actividad volcada al campo vial hizo que se hablara de la "era del automovil y la construcción de carreteras". Los primeros trabajos asfálticos en calles y caminos fueron hechos con procesos sencillos para distribuir tanto el ligante como los áridos (a mano), apareciendo luego lanzas con pico regador y bomba manual.

El ritmo de las obras viales y la necesidad de mejorar los trabajos y reducir costos hizo progresar la operación vial. Los métodos manuales se mecanizaron apareciendo: regadores de asfalto a presión, distribuidores de piedra, aplanadoras vibrantes, rodillos con neumáticos de presión controlada, etc. Las mezclas asfálticas en sitio cambiaron niveladoras y rastras por motoniveladoras y plantas móviles o fijas. Las primeras mezclas calientes irrumpieron en el mercado alrededor de 1.870 con plantas intermitentes (pastones) de simple concepción. Hacia 1.900 se había mejorado su diseño incluyendo tolvas de árido, elevadores de materiales fríos y calientes, secadores rotativos, tanques para acopiar asfalto, mezcladoras que permitían cargar vagones a camiones. Entre 1.930 y 1.940 se incorporan cintas transportadoras, colectores de polvo y otros aditamentos, en las décadas del 50 y 60 se desarrollan plantas de mayor capacidad, hacia 1.970 se introducen sistemas computarizados para dosificación y controles de elaboración, polvo y ruido. Todo este proceso mantuvo la operatoria fundamental: secado-cribado-proporcionado-mezclado.

En 1.910 existían en EE.UU. pequeñas plantas en caliente, de mezclado en tambor que hacia 1.930 fueron reemplazadas por las de mezclador continuo, de mayor producción. En 1.960 el procedimiento de secado y mezclado en tambor fue rescatado y actualmente estas plantas (tambor mezclador) producen

mezclas de gran calidad y compiten además en el reciclado de pavimentos. Los silos para acopio de mezcla caliente forman parte de las plantas de tambor mezclador; también suelen encontrarse estos sitios en instalaciones discontinuas para independizar las operaciones de carga de los camiones, o silos de gran capacidad, dotados de revestimiento aislante, permiten al acopio de mezcla caliente durante varios días conservando su trabajabilidad.

La terminadora o pavimentadora asfáltica, fue introducida por Barber Greene en 1.937, después de siete años de experimentación, luego producidas por otras compañías con algunas variantes, pero manteniendo el esquema operativo original. En el campo de nuevos materiales ingresaron los aditivos: polímeros, fibras, agregados livianos, betunes sintéticos incoloros y mejoradores de adherencia. Los trabajos asfálticos se diversificaron: lechadas bituminosas, microaglomerados, carpetas de reducido espesor, mezclas drenantes, mezclas o lechadas en color para pisos o como seguridad vial.

### **Asfaltos Naturales**

Los asfaltos son materiales aglomerantes de color oscuro, constituidos por complejas cadenas de hidrocarburos no volátiles y de elevado peso molecular. Estos pueden tener dos orígenes; los derivados de petróleos y los naturales. Los asfaltos naturales, se han producido a partir del petróleo, pero por un proceso natural de evaporación de las fracciones volátiles, dejando las asfálticas solamente.

Estos pueden encontrarse como escurrimientos superficiales en depresiones terrestres, dando origen a lagos de asfalto, como los de las islas Trinidad y Bermudas. También aparecen impregnando los poros de algunas rocas, denominándose rocas asfálticas, como la gilsonita. Así también se encuentran mezclados con elementos minerales, como pueden ser arenas y arcillas en cantidades variables, debiendo someterse a posteriores procesos de purificación, para luego poder ser utilizadas en pavimentación. En la actualidad,

no es muy utilizado este tipo de asfalto por cuanto adolece de uniformidad y pureza.

Estos asfaltos pueden clasificarse como: Asfaltos Nativos, sólidos o semisólidos

1) Puros o casi puros.

Asfalto del lago Bermúdez.

2) Asociados con materia mineral

Asfaltos del lago Trinidad.

Asfaltos del Iraq, Boeton y Selenitza.

Asfaltos de roca europeos y americanos.

3) Asfaltitas duras

Gilsonita

Grahamita

Pez lustrosa, Manjak

El asfalto del lago Bermúdez se presenta en el lago del mismo nombre, en Venezuela. Este se ha empleado en la fabricación de asfalto emulsificado para carreteras y calles, en tejados y como impermeabilizante. Aún en nuestros días se usa como aglutinante para pisos de carreteras y como material para pavimentos. El asfalto del lago Bermúdez se refina al vapor igual que el del lago Trinidad, proceso que se analizará mas adelante.

El asfalto del lago Trinidad se presenta en el lago de asfalto del lago de la isla Trinidad y es considerado como el depósito más importante de asfalto natural en todo el mundo. Este asfalto es bastante duro y hay que extraerlo usando maquinaria especial para dicho fin, tanto así que resulta apto para soportar el ferrocarril que sirve como medio de transporte en la zona. El asfalto del lago Trinidad contiene bastante materia mineral, algunas fácilmente visibles al microscopio, que se depositan cuando se altera la viscosidad con calor y la viscosidad de sedimentación sigue aproximadamente la ley de Stoke.

En la refinería, se calienta el asfalto crudo en grandes calderas abiertas provistas de serpentinas de vapor para expulsar el agua, y después se cuele. Este producto se conoce con el nombre de Asfalto Trinidad Refinado. El asfalto refinado se reblandece mezclándolo con un residuo líquido de petróleo que sirve de fúndente, y el producto se llama cemento asfáltico o cemento de asfalto del lago Trinidad.

El asfalto del lago Trinidad se adapta bien a las mezclas con alquitrán de hulla para disminuir la volatilidad de éste y hacerlo más consistente y más estable a los aumentos de temperatura. Este asfalto es miscible con casi todos los demás asfaltos y betúmenes naturales, aceites vegetales y minerales, ceras, breas y alquitrán de hulla. Casi todos los usos de éste asfalto exigen una manipulación a temperatura elevada, y las mezclas con materiales bituminosos más blandos o más duros suelen hacerse a temperaturas comprendidas entre 107 y 204 °C. Este asfalto se emplea como material de pavimentación, y en la fabricación de materiales asfálticos para tejados, materiales impermeabilizantes, mástic asfáltico, revestimiento para tuberías y conductos, y para otros usos especializados.

Los principales yacimientos de roca asfáltica están en Europa y Norteamérica, pero hay depósitos en todo el mundo. Los asfaltos de roca norteamericanos suelen componerse de arenisca o caliza o una mezcla de ambas, impregnadas con betún; los calizos se diferencian por su estructura física de los que contienen arenisca.

Los asfaltos de roca se usan para pavimentar calles. Se mezclan uno o varios asfaltos de roca pulverizados para obtener una composición media, se extiende la mezcla, se aplica calor si es necesario, y por medio de presión se iguala la superficie. La roca pulverizada se mezcla con asfalto del lago Trinidad u otros asfaltos para obtener un mástique que es mucho más rico en betún que las mezclas de rocas. Este mástic, aplicado a una base de hormigón o de

madera a una temperatura de 177 a 232 °C, se utiliza en la fabricación de materiales para tejados, pisos y revestimientos impermeabilizadores para estanques y depósitos. Una buena parte del mástic utilizado en Estados Unidos para hacer revestimientos o pisos impermeabilizados o resistentes a los ácidos no contiene asfalto nativo de roca, sino mezclas de otros asfaltos con polvo de piedra, rocas trituradas, arena o grava.

La gilsonita o caucho mineral, sólo se presenta naturalmente en la cuenca del río Uintah, en Utah y Colorado, Estados Unidos. Es uno de los bitúmenes naturales más puros que se conocen y se distingue fácilmente de las demás asfaltitas por su color pardo, su peso específico más bajo, su contenido fijo de carbono y poco azufre. Las calidades comerciales son; selecto, segundo (corriente) y azabache. Se distinguen por el punto de reblandecimiento y el comportamiento en los solventes derivados de petróleo.

La gilsonita se emplea mucho en la fabricación de barnices negros mezclándola con aceites secantes y resinas, residuos de petróleo y otros asfaltos, con todos los cuales es miscible en todas proporciones. Se emplea también mucho en la fabricación de artículos moldeados termoplásticos, revestimientos para frenos, pisos de mástique, losetas asfálticas, compuestos saturantes para alambres aislados, bandas de transmisión, tejidos impregnados, pinturas para maderas y revestimientos de oleoductos. En virtud de su elevada resistencia dieléctrica, se usa en muchos compuestos eléctricos, y su color pardo hace que se utilice en tintas de imprenta, especialmente en los tipos pardos para rotograbado.

A diferencia de casi todos los demás asfaltos naturales o de petróleos, la gilsonita se mezcla en casi todas las proporciones con ceras para formar compuestos estables. Cuando se emplea en proporciones pequeñas en mezclas de cera-asfaltos, actúa como portador e impide la separación de la cera y el asfalto. Añadiendo una pequeña proporción de gilsonita al fúndente antes

de soplar el asfalto, el producto es menos grasiento o aceitoso. Cuando se añade a un asfalto oxidado, de temperatura de reblandecimiento elevada, la gilsonita reduce la penetración y el punto de reblandecimiento; pero cuando se añade a un asfalto oxidado de temperatura de reblandecimiento baja, reduce la penetración y eleva el punto de reblandecimiento.

La grahamita es una asfaltita que se encuentra en diversos lugares de los Estados Unidos, Cuba y Sudamérica. Los yacimientos de Oklahoma se explotaron bastante durante algunos años, pero en la actualidad casi toda la grahamita empleada procede de las minas de Cuba. La grahamita se diferencia de la gilsonita y pez lustrosa en su contenido mas alto de carbono fijo y en que se hincha pero no se funde, cuando se calienta. Su coloración es mas negra que la gilsonita y la pez lustrosa.

En los últimos años, la grahamita no se ha empleado tanto. Sus usos estaban orientados para revestimiento de tuberías, fieltros para techumbres y relleno de juntas de expansión en pavimentos rígidos. En la actualidad ha sido reemplazada por asfaltos de petróleo oxidado.

La pez lustrosa es un intermedio entre la gilsonita y la grahamita. Tiene un peso específico mas elevado y un punto de fusión mas alto. Se funde también con mas dificultad, es menos soluble en nafta de petróleo, sin embargo su solubilidad en sulfuro de carbono pasa del 95 %.

Se prefiere la pez lustrosa, de la isla de Barbados (Manjak), en la fabricación de barnices y lacas a causa de su lustre y su intenso color negro. El pez procedente de Cuba es muy variable y no tiene ninguna norma especial de calidad, sin embargo, es la más conocida y utilizada de las Antillas y otros sitios. Se ofrece a veces como sustituto de la gilsonita

### **Composición del Asfalto**

El asfalto es considerado un sistema coloidal complejo de hidrocarburos, en el cual es difícil establecer una distinción clara entre la fase continua y la

dispersa. Las primeras experiencias para describir su estructura, fueron desarrolladas por Nellensteyn en 1924, cuyo modelo fue mejorado más tarde por Pfeiffer y Saal en 1940, en base a limitados procedimientos analíticos disponibles en aquellos años.

El modelo adoptado para configurar la estructura del asfalto se denomina modelo micelar, el cual provee de una razonable explicación de dicha estructura, en el cual existen dos fases; una discontinua (aromática) formada por dos asfáltenos y una continua que rodea y solubiliza a los asfáltenos, denominada maltenos. Las resinas contenidas en los maltenos son intermediarias en el asfalto, cumpliendo la misión de homogeneizar y compatibilizar a los de otra manera insolubles asfáltenos. Los maltenos y asfáltenos existen como islas flotando en el tercer componente del asfalto, los aceites.

### **Asfaltos Derivados de Petróleo**

Los asfaltos más utilizados en el mundo hoy en día, son los derivados de petróleo, los cuales se obtienen por medio de un proceso de destilación industrial del crudo. Representan más del 90 % de la producción total de asfaltos. La mayoría de los petróleos crudos contienen algo de asfalto y a veces casi en su totalidad. Sin embargo, existen algunos petróleos crudos, que no contienen asfalto. En base a la proporción de asfalto que poseen, los petróleos se clasifican en:

Petróleos crudos de base asfáltica.

Petróleos crudos de base parafínica.

Petróleos crudos de base mixta (contiene parafina y asfalto).

El asfalto procedente de ciertos crudos ricos en parafina no es apto para fines viales, por cuanto precipita a temperaturas bajas, formando una segunda fase discontinua, lo que da como resultado propiedades indeseables, tal como la pérdida de ductilidad. Con los crudos asfálticos esto no sucede, dada su composición.

El petróleo crudo extraído de los pozos, es sometido a un proceso de destilación en el cual se separan las fracciones livianas como la nafta y kerosene de la base asfáltica mediante la vaporización, fraccionamiento y condensación de las mismas. En consecuencia, el asfalto es obtenido como un producto residual del proceso anterior.

El asfalto es además un material bituminoso pues contiene betún, el cual es un hidrocarburo soluble en bisulfuro de carbono (CS<sub>2</sub>). El alquitrán obtenido de la destilación destructiva de un carbón graso, también contiene betún, por lo tanto también es un material bituminoso pero no debe confundirse con el asfalto, ya que sus propiedades difieren considerablemente. El alquitrán tiene bajo contenido de betún, mientras que el asfalto está compuesto casi enteramente por betún, entre otros compuestos.

El asfalto de petróleo moderno, tiene las mismas características de durabilidad que el asfalto natural, pero tiene la importante ventaja adicional de ser refinado hasta una condición uniforme, libre de materias orgánicas y minerales extraños.

#### **Obtención de Asfaltos en Refinerías:**

El crudo de petróleo es una mezcla de distintos hidrocarburos que incluyen desde gases muy livianos como el metano hasta compuestos semisólidos muy complejos, los componentes del asfalto. Para obtener este debe separarse entonces las distintas fracciones del crudo de petróleo por destilaciones que se realizan en las refinerías de petróleo.

#### **Destilación Primaria:**

Es la primera operación a que se somete el crudo. Consiste en calentar el crudo en hornos tubulares hasta aproximadamente 375°C. Los componentes livianos (nafta, kerosene, gas oil), hierven a esta temperatura y se transforman en vapor. La mezcla de vapores y líquido caliente pasa a una columna

fraccionadora. El líquido o residuo de destilación primaria se junta todo en el fondo de la columna y de ahí se bombea a otras unidades de la refinería.

#### **Destilación al Vacío:**

Para separar el fondo de la destilación primaria, otra fracción libre de asfaltenos y la otra con el concentrado de ellos, se recurre comúnmente a la destilación al vacío. Difiere de la destilación primaria, en que mediante equipos especiales se baja la presión (aumenta el vacío) en la columna fraccionadora, lográndose así que las fracciones pesadas hiervan a menor temperatura que aquella a la que hervían a la presión atmosférica. El producto del fondo de la columna, un residuo asfáltico mas o menos duro a temperatura ambiente, se denomina residuo de vacío. De acuerdo a la cantidad de vacío que se practica en la columna de destilación, se obtendrán distintos cortes de asfaltos que ya pueden ser utilizados como cementos asfálticos.

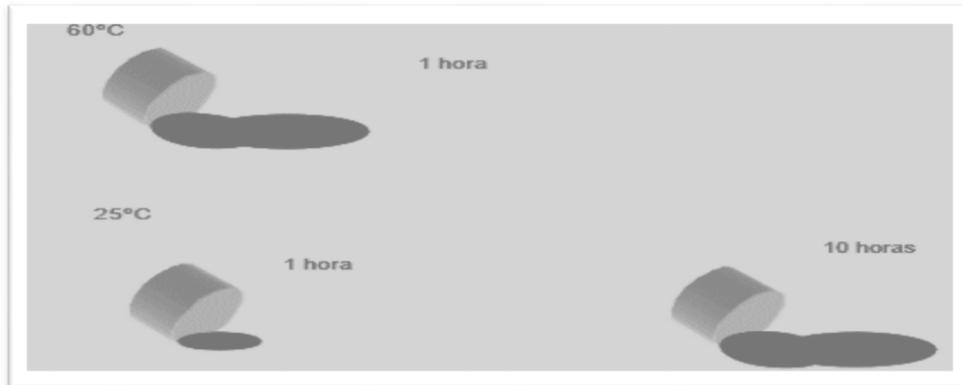
#### **Desasfaltización con propano o butano:**

El residuo de vacío obtenido por destilación al vacío, contiene los asfaltenos dispersos en un aceite muy pesado, que, a la baja presión (alto vacío) y alta temperatura de la columna de vacío, no hierve (se destila). Una forma de separar el aceite de los asfaltenos es disolver (extraer) este aceite en gas licuado de petróleo. El proceso se denomina "desasfaltización" y el aceite muy pesado obtenido, aceite desasfaltizado. Se utiliza como solvente propano o butano líquido, a presión alta y temperaturas relativamente moderadas (70 a 120 °C). El gas licuado extrae el aceite y queda un residuo semisólido llamado "bitumen".

#### **Comportamiento del Cemento Asfáltico**

Según afirma Tafur (2014), considera que "Es un material adhesivo que se adhiere al agregado a una temperatura adecuada, como propiedad principal es su endurecimiento elástico y el envejecimiento" (p.14).

Según el Instituto Mexicano del Transporte (2005), afirma que “Se debe combinar en proporciones adecuadas los materiales, para obtener una buena mezcla asfáltica a una temperatura adecuada por un tiempo limitado según la región o lugar donde se use” (p.8).

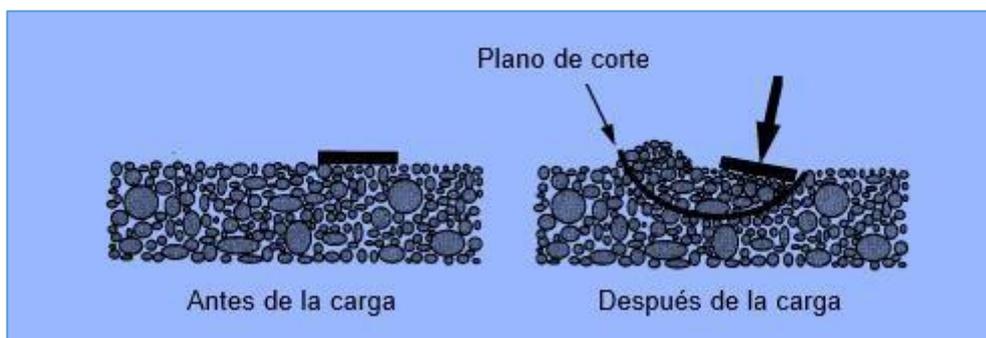


### **Comportamiento del Agregado Mineral**

#### **Agregados pétreos.**

Según Rodríguez (2005), considera que “El pavimento flexible debe de estar constituido por un agregado pétreo duro y en partículas uniformes, que se usan en la mezcla asfáltica y en la constitución de las bases del pavimento” (p.21).

Este agregado pétreo que se utiliza en la construcción de pavimentos, se encuentran en la canteras en las cuales se obtienen el tamaño deseado mediante un proceso mecánico.

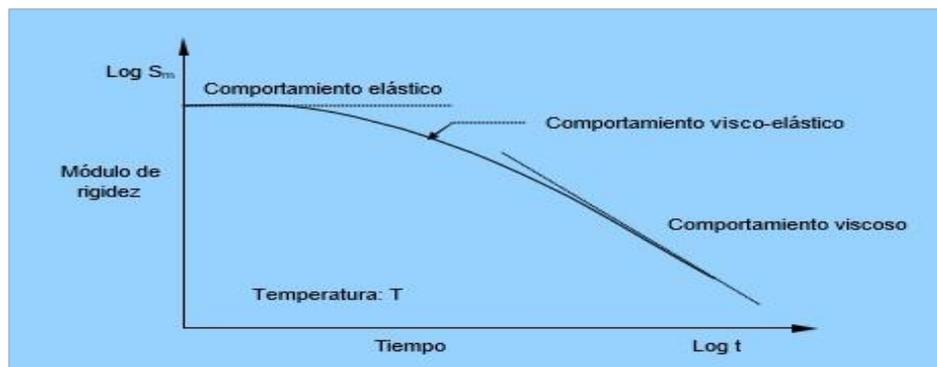


### **Comportamiento de mezclas asfálticas**

Según el IMT (2005), considera “El comportamiento visco – elastoplástico se presenta debido a la composición del material que se utiliza para combinar la mezcla asfáltica” (p.8).

Según Ramírez (2015), considera que “Es de mucha importancia realizar las pruebas en el laboratorio para poder conseguir un buen diseño de pavimento” (p.33).

Es de mucha importancia utilizar buenos materiales en la combinación de la mezcla asfáltica, porque nos garantiza buenos resultados en los ensayos de laboratorio y poder obtener una buena estructura del pavimento.



### Propiedades mecánicas.

Según Paredes Matta (2009), confirma que “El Comportamiento mecánico se da por la calidad de material que deberá cumplir con las normas vigentes y se utilizara para realizar un diseño de mezcla asfáltica en caliente [...]; considerando al módulo dinámico como propiedad mecánica a unas mezclas de otras” (p.15).

Resistencia.- “Esta propiedad está relacionada más al desgaste que pueda tener un agregado al momento de estar expuesto a la abrasión o a impactos, en el cual se puede medir con varios ensayos como lo es en el ensayo de los ángeles” (Terreros y Carvajal, 2016, p. 27).

Tenacidad.- Según Terreros y Carvajal (2016), confirma que “Debemos obtener un buen agregado pétreo, para que pueda tener una buena solidez a la falla por impacto” (p.27).

Adherencia.- La adherencia de un agregado debe tener una textura rugosa y una forma irregular y angulosa procedente de una cantera, para utilizar en una mezcla asfáltica mezcla para concreto hidráulico se utilizan material de cantera. (Terreros y Carvajal, 2016, p. 27).

Dureza.- Según Terreros y Carvajal (2016), confirma que “La dureza del agregado depende de su estructura y del lugar de procedencia, esta propiedad se confirma por medio de un ensayo resistencia del agregado” (p.27).

### **Propiedades físicas**

**Granulometría.-** Según Ballena (2013), confirma que “La granulometría es la clasificación a la medición que se lleva a cabo los materiales, haciendo pasar una muestra representativa por los tamices de mayor a menor abertura, según lo normado por el MTC” (p.37).

**Textura.-** El agregado debe tener una textura lisa o rugosa donde se puede evaluar la trabajabilidad, la resistencia al deslizamiento y su adherencia con la mezcla asfáltica.

**Forma de la partícula.-** Es importante que el agregado tenga esta propiedad, ya que mediante esta se puede evaluar la trabajabilidad, en el cual puede ser de forma redondeada, angulosa, irregular y entre otras. Cuando un agregado pétreo tiene forma irregular y angulosa esta posee buenas propiedades.

### **Mezcla asfáltica**

Según Carrizales (2015), confirma que “La cantidad adecuada de los materiales para obtener una mezcla asfáltica, nos permite realizar esta combinación en centrales fijas o móviles. Se emplea para la construcción de carreteras donde nos permita obtener una superficie de rodamiento cómoda y

segura [,,] garantizando el desplazamiento de los vehículos y sean soportadas por ésta” (p.30).

Propiedades de mezclas asfálticas. Según Garnica, (2005) afirma que “La selección apropiada de los materiales determinara el comportamiento del pavimento y la carpeta asfáltica” (p.2).

Durabilidad. Como afirma Tafur (2014), considera que “El asfalto debe resistir al alto transito al cual va estar sometido y a los cambios de temperatura, motivo por el cual puede ocasionar una disgregación de la mezclas asfáltica afectando separación de la película de asfalto” (p.17).

Estabilidad. Según Tafur (2014), afirma que “La mezcla asfáltica debe tener una buena combinacion del agregado, para soportar una deformidad y evitar el desplazamiento” (p.16).

Flexibilidad. Según Tafur (2014), afirma que “La combinación adecuada de la mezcla asfáltica tiene como cualidad de poder adaptarse a los movimientos, asentamientos de la base y subrasante” (p.17).

Trabajabilidad. Según Tafur (2014), considera que “La facilidad de la mezcla asfáltica no se requiere de mucho esfuerzo, para ser colocada y compactada” (p.18).

### **Característica de la Mezcla Asfáltica**

Agregado grueso y Agregado fino.- Con el fin de realizar un diseño de mezcla, se deben utilizar los agregados pétreos y se deben realizar los ensayos que exige el MTC, donde se verificara si el material cumple con lo exigido para su uso según la Tabla 423-01.

Tabla. Según las EG 2013, requerimientos para Agregados gruesos.

**Densidad de la mezcla.** Según Ramírez (2015), afirma que “Está relacionado con el peso unitario de la mezcla asfáltica y tener una alta densidad en el pavimento terminado” (p.34). Vacíos de aire (Va).- Según Ramírez (2015), confirma que “En una mezcla asfáltica compactada es de mucha importancia, la

presencia de los pequeños espacios de aire ya que están relacionados a la granulometría de los agregados revestidos de cemento asfáltico” (p.34).

**Vacios en el agregado mineral.-** Según Ramírez (2015), confirma que “En la mezcla asfáltica compactada se encuentran los vacíos en el agregado mineral, de acuerdo a su patrón de mezcla y al porcentaje de asfalto” (p.35).

**Contenido de asfalto.-** Según Ramírez (2015), afirma que “Esta en función al tamaño del agregado pétreo y la capacidad de absorción del asfalto” (p.36).

La cantidad del asfalto que se usa en la combinación de una mezcla asfáltica es muy importante, porque dependerá de su diseño y deberá estar de acuerdo a las necesidades del proyecto a realizar.

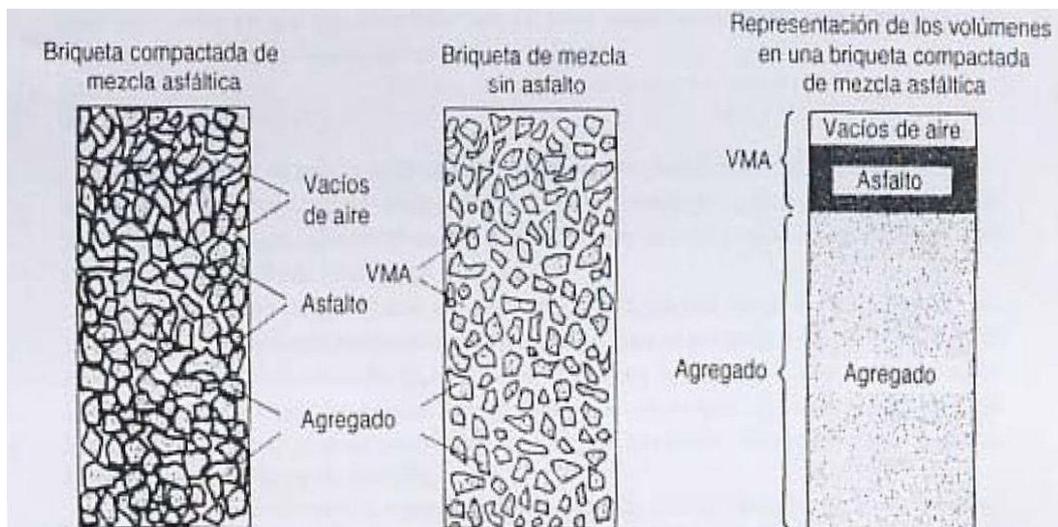


Ilustración del VMA en una probeta de mezcla compactada.

### **Gradación Para La Mezcla Asfáltica En Caliente (Mac):**

Es importante realizar el ensayo granulométrico, propuesto por las normas según la Tabla 423-03 del manual de carreteras. Según el Instituto del asfalto y la norma ASTM D 3515 donde presenta gradaciones específicas, para la cual se pueden utilizar en las diferentes combinaciones según el diseño que se utilice.

Es importante cumplir con los ensayos que se realiza a los materiales y así realizar un buen diseño que cumpla con las características que se requiere según el proyecto lo exija, basándonos en las normas del MTC.

Una mezcla asfáltica es la combinación del tamaño del árido y los finos lo cual nos brinda las propiedades físicas y se usan para firmes de carreteras, aeropuertos donde puedan resistir el alto tránsito vehicular, lo cual se realiza según el MTC E 504 (ASTM D-1559) según lo exige el (MTC EG, 2013)

### Asfaltos

Según Salvatierra (2014), considera que “El cemento asfáltico se extrae mediante la refinación del petróleo, es viscoso y su color es negro, utilizado como aglomerante en la combinación con el agregado pétreo” (p.13).

Para petroperu considera; que mediante la destilación del petróleo crudo se obtiene una buena composición química y presentan propiedades termoplásticas de solido a semisólido de considerando el factor climático.

### ASFALTOS PETROPERU

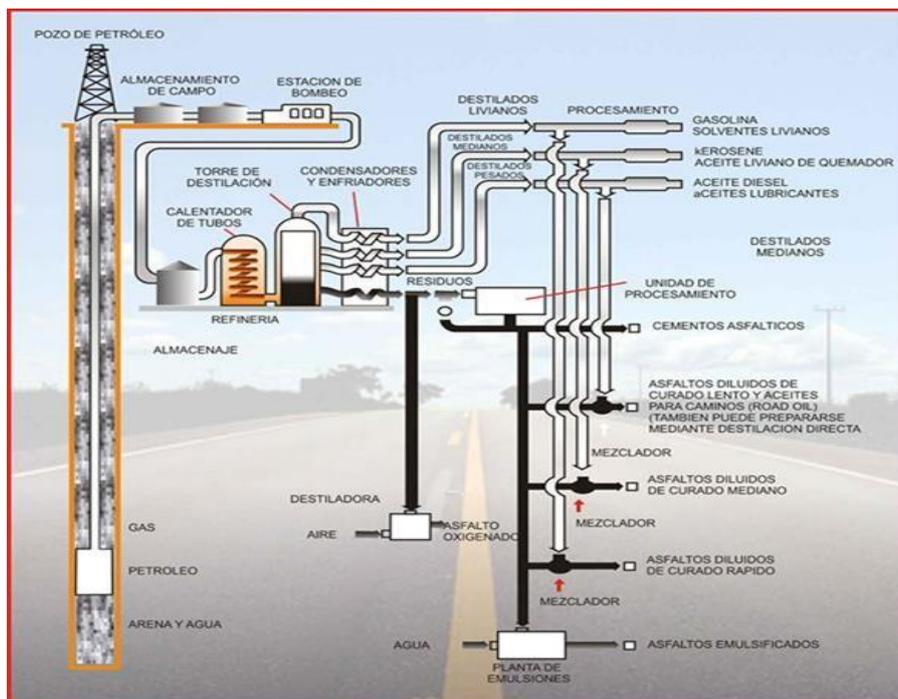


Figura: ASFALTOS PETROPERU.

### **Cemento asfáltico**

La utilización del cemento asfáltico en la construcción de carreteras será por su viscosidad absoluta y por penetración de acuerdo a la región o lugar de su empleo. Para el desarrollo de investigación, se utilizará el cemento asfáltico PEN 60/70.

### **Asfaltos Modificados**

Son de mucha importancia porque mejoran sus propiedades y prolongan su vida útil:

Según Ramírez (2006), afirma que “Realizar una buena combinación en proporciones adecuadas del agregado pétreo con el cemento asfáltico para mejorar las propiedades del asfalto modificado” (p.11).

#### **Importancia del asfalto modificado:**

Es más resistente a altas temperaturas y crece la resistencia a la deformidad de la mezcla expuesta a bajas temperaturas.

#### **Mejorar la unión del agregado pétreo.**

Aumenta la adherencia, ofreciendo mejor contención de los áridos.  
Se alarga la duración útil de la mezcla asfáltica.

### **El Caucho De Reciclaje**

Es un material elástico y resistente que lo encontramos en los neumáticos y en las plantas de las botas militares, lo cual se puede utilizar en un diseño de mezcla asfáltica. Según Cervera (2016), afirma que “El uso y el tratamiento del caucho es bueno en su reutilización en aquellos países que existen normas ambientales” (p.30).

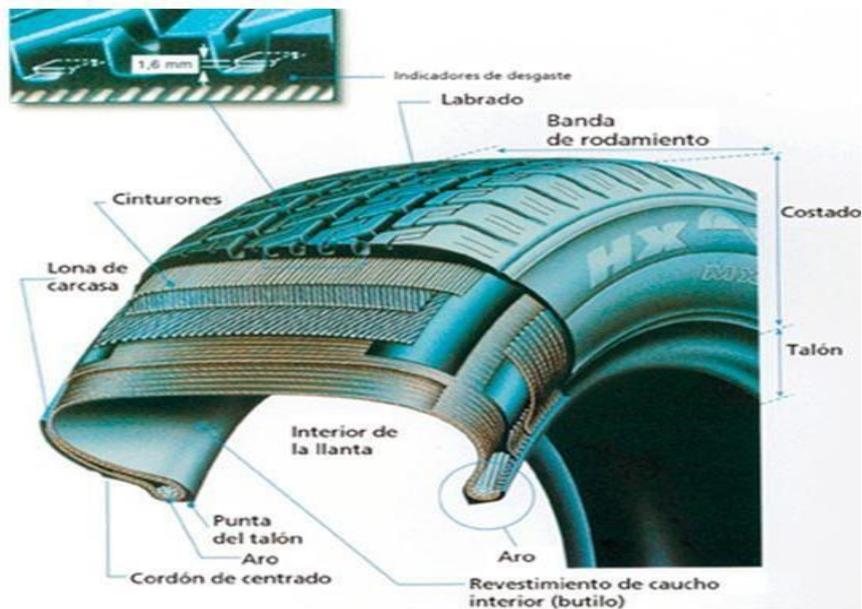


**Figura: Reciclaje de llantas**

### **El Neumático**

Es importante en el uso de los vehículos y está hecho de caucho que ayuda a tener un buen contacto con el pavimento, permitiendo el arranque y frenado lo cual es usado en las unidades de transporte ligero y pesado a nivel mundial es de caucho.

Según Castro (2008), afirma que “El neumático principalmente está cubierta de caucho y contiene aire. Donde permite el desplazamiento del vehículo soportando su carga” (p.2).



**Figura: Partes del neumático - Goodyear**

## Proceso Vía Húmeda

Para este proceso de vía humedad en la preparación de la mezcla asfáltica:

Según Silvestre (2017) considera que “La combinación del caucho con el cemento asfáltico y el agregado pétreo, tendremos como resultado una mezcla modificada, donde intervienen como característica la temperatura, el tipo, el tamaño y el porcentaje en la combinación de la mezcla asfáltica” (p.34).

Según Ramírez (2006) considera que “Es de mucha importancia establecer una temperatura de 180 – 210 °C y el tiempo de 1 a 4 horas de reacción dentro del estanque para la adhesión del agregado pétreo, el cemento asfáltico y el caucho” (p.19).



Figura: Proceso de modificación del asfalto por vía húmeda.

## Diseño de Mezclas Asfálticas

### Método Marshall

Diseñado por el ingeniero Bruce Marshall del estado de Mississippi, es el método utilizado para la elaboración de diseños y determina las propiedades de estabilidad y fluencia.

Según Maila (2013), afirma que “Los agregados pétreos deben de tener como tamaño máximo 25mm y el cemento asfáltico debe de caracterizarse por la viscosidad y la penetración. En la construcción pavimentación en caliente” (p.18).

Según Orellana (2016), afirma que “Para este método Marshall considera importante las propiedades físico – mecánicas, basándose en la medida del agregado pétreo y la cantidad del cemento asfáltico” (p.48).

#### **Densidad de la Mezcla.**

Según Ramírez (2006), afirma que “La densidad de la mezcla asfáltica, está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de la mezcla). Es importante tener una alta densidad en el pavimento terminado, para tener un rendimiento duradero” (p.34).

#### **Estabilidad Marshall**

Según Chamorro y Chancusi (2017), confirma que “La estabilidad Marshall se determina sometiendo la briqueta a compresión y poder establecer la resistencia de la briqueta a la deformación” (p.29).

#### **Fluencia Marshall**

Según Chamorro y Chancusi (2017), confirma que “La fluencia Marshall, nos mide la deformidad de la briqueta” (p.29).

### **2.3. Definición de términos.**

**Asfalto.** Pereda y Cubas (2015) mencionan que constituye un material termoplástico que posee una estructura molecular conformada por complejas cadenas de hidrocarburos. Las cadenas previamente mencionadas, según Pereda y Cubas (2015), se subdividen en dos grupos principales, los asfáltenos y los máltenos.

**Asfaltos modificados:** La Resolución Ministerial N°660-2008-MTC/02 (2008) señala que los asfaltos modificados son “Producto de la incorporación de un

polímero u otro modificador en el asfalto para mejorar sus propiedades físicas y geológicas como la disminución de la susceptibilidad a la temperatura y a la humedad” (Resolución Ministerial N°660-2008-MTC/02, 2008, pág. 7).

**Cemento asfáltico:** El asfalto con o sin fluidez tiene un método de preparación especial, relacionado con su consistencia y calidad, y se puede utilizar directamente sobre pavimentos asfálticos (Instituto del asfalto de Guatemala, 2018).

**Elastómeros:** Polímeros lineales sin forma, que se encuentran generalmente insaturados. Sometidos a vulcanización adquieren una estructura reticulada que les proporciona propiedades elásticas (Reyes, 2003).

**Estireno-butadieno-estireno (SBS).** Es un elastómero que tiene dos propiedades principales: (a) la de resistir la deformación derivada de la tensión aplicada al estirar, y (b) la de recuperar rápidamente su forma cuando se elimina el esfuerzo (LanammeUCR, 2016).

**Mejoramiento vial.** Según Resolución Directoral N°02-2018-MTC/14 (2018), consiste en el desarrollo de obras para mejorar el estándar de una vía. En cuanto a las actividades que implica, señala “actividades que implican la modificación sustancial de la geometría y de la estructura del pavimento; así como la construcción y/o adecuación de los puentes, túneles, obras de drenaje, muros, y señalizaciones necesarias” (Resolución Directoral N°02-2018-MTC/14, 2018, pág. 16).

**Mezcla asfáltica.** Borja y Cárdenas (2019) comentan “Una mezcla asfáltica (o concreto asfáltico), es un material compuesto, utilizado para la capa de rodadura de pavimentos flexibles, se compone de: agregado mineral ligados con asfalto, colocado en capas, y compactado” (Borja & Cárdenas, 2019, pág. 32).

**Mezcla asfáltica convencional.** Sobre esta, Pasandín et. al (2016) comentan “Consiste en un agregado de asfalto y materiales minerales (...) que se mezclan juntos, se extienden en capas y se compactan. Debido a sus propiedades es el

material más común en los proyectos de construcción para firmes de carreteras (...)” (Pasandín, Pérez, Ramírez, & Cano, 2016, pág. 859).

**Polímero.** Compuestos de tipo orgánicos que tienen un peso molecular elevado, se encuentran conformados por la unión de tipo covalente de grupos estructurales más sencillos, conocidos como monómeros (López, 2004).

**Vacíos.** La Resolución Directoral N°18-2016-MTC/14 (2016) Señalar que los vacíos constituyen el espacio que existe en una determinada mezcla compactada, que está rodeada de asfalto.

## **2.4. Formulación de Hipótesis:**

### **2.4.1. Hipótesis general**

La incorporación de partículas de caucho reciclado influye en el comportamiento de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión - 2022.

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

- La incorporación de partículas de caucho reciclado influye en la resistencia de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión - 2022.
- La incorporación de partículas de caucho reciclado contribuye en el ensayo de compresión de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión - 2022.
- La incorporación de partículas de caucho reciclado interviene en los vacíos de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión - 2022.

## **2.5. Identificación de variables.**

### **2.5.1. Variable Independiente**

Agregando caucho reciclado

## **2.5.2. Variable Dependiente**

Comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica

## 2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Items	Indicador	Norma	Instrumento y escala
VI: Agregando Caucho reciclado	Según Cervera (2016), afirma que "El uso y el tratamiento del caucho es bueno en su reutilización en aquellos países que existen normas ambientales" (p.30).	Cervera (2016) afirma que "El uso y el tratamiento del caucho es bueno en su reutilización en aquellos países que existen normas ambientales" (p. 30).	Caucho	1	Tamaño	ASTM D 6114 PARA ASFALTO MODIFICADO CON CAUCHO Aparato Marshall	Cuestionario Observación Fotografías
				2	Cantidad		
VD: Comportamiento Mecánico de la mezcla asfáltica	Según Paredes Matta (2009), confirma que "El Comportamiento mecánico se da por la calidad de material que deberá cumplir con las normas vigentes y se utilizara para realizar un diseño de mezcla asfáltica en caliente [...]; considerando al módulo dinámico como propiedad mecánica a unas mezclas de otras" (p.15)	Según Ballena (2013), confirma que "La granulometría es la clasificación a la medición que se lleva a cabo los materiales, haciendo pasar una muestra representativa por los tamices de mayor a menor abertura, según lo normado por el MTC" (p.37).	Resistencia	3	Flujo	Manual de Carreteras EG 2013 – MTC NTP 400.012,  ASTM D-422 Y  AASHTO T-127.  (ASTM D 2041  ASTM 1559	Cuestionario Observación Fotografías
				4	Estabilidad		
			Ensayo compresión	5	Volumen		
				6	Peso		
				7	Contenido de asfalto		
			Vacíos	8	% Vacíos de aire		
				9	Vacíos del agregado mineral		
10	Vacíos lleno de C.A						

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipo de investigación**

El tipo de investigación realizada es el descriptiva correlacional. Puesto que el propósito fue medir el grado de relación que existe entre las variables de la investigación.

#### **3.2. Nivel de investigación**

El nivel de investigación es descriptivo correlacional

#### **3.3. Métodos de la Investigación**

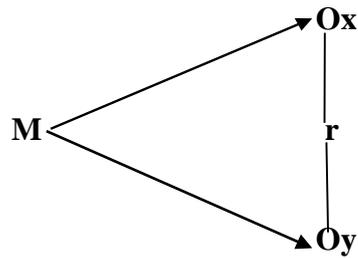
Para el presente trabajo de investigación se empleará el método de Analítico, Deductivo – Sintético, ya que cuando se emplea el análisis sin llegar a la síntesis, los conocimientos no se comprenden verdaderamente y cuando ocurre lo contrario el análisis arroja resultados ajenos a la realidad.

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

El diseño de investigación ejecutada en la investigación es el no experimental longitudinal.

Puesto que se realizó un análisis de la información sobre cómo las variables y sus relaciones progresan a través del tiempo y en el ámbito de estudio, después se formuló las respuestas a las interrogantes planteadas y finalmente se evaluó el efecto de las soluciones.

Gráfico del diseño de investigación



Donde:

M = Muestra

O = Observación

x = Agregando caucho reciclado

y = Comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica

r = Correlación de variables

### 3.5. Población y muestra

#### 3.5.1. Población

La Población de estudio para el presente proyecto de investigación está determinada por las 33 briquetas de mezcla asfáltica, de las cuales se realizarán los diferentes ensayos a los agregados normado por el MTC

#### 3.5.2. Muestra

El estudio se realizará en 30 briquetas de mezcla asfáltica en caliente, de las cuales 15 briquetas se le adicionara con contenidos de asfalto de 4.5%,5%,5.5%,6%,6.5%,7% y 15 briquetas de mezcla asfáltica con incrementos de 0.5%, 1%,1.5%.2%,2.5% y 3% de caucho de las cuales serán 03 briquetas por cada contenido de Asfalto de acuerdo a la norma ASTM 1559.

$$n = \frac{32.94}{1 + \frac{(0.05^2)(32.94 - 1)}{(1.96^2) \times (0.5)(0.5)}} = 30.41$$

El caucho reciclado será adquirido por el estudiante, en la cual se realizará la granulometría del tamaño inferior al tamiz #4 al #200, adjuntando el

polvo más fino proveniente del triturado de neumáticos. Las cuáles serán ensayados en la Prensa Marshall, según especificaciones.

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

#### **3.6.1. Técnicas.**

Entre las técnicas e instrumentos de recolección de datos, se emplearán los siguientes elementos:

- Encuestas
- Entrevistas
- Recopilación bibliográfica y/o documental.
- Recopilación electrónica (Internet)

#### **3.6.2. Instrumentos.**

- Textos
- Documentos bibliográficos
- Software de aplicación.

### **3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.**

Después de hacer la evaluación y crítica de los datos a fin de garantizar la veracidad y confiabilidad se procederá a la depuración de datos innecesarios, mediante las herramientas estadísticas adecuadas.

### **3.8. Tratamiento Estadístico**

La estrategia para probar las hipótesis, se iniciará primero con la formulación de la encuesta. Para realizar la prueba de hipótesis se empleará el programa informático SPSS en su versión 26,0, este programa procesa los datos de la encuesta y comparando las variables en función a las hipótesis planteadas, se determinará el estadístico de prueba seleccionado y corresponde al investigador la interpretación del resultado.

El estadístico a emplear será el chi-cuadrado, porque permite determinar la relación entre las dos variables determinadas, como es en el caso de la presente investigación, que se presentan en una tabla de contingencia, asimismo la prueba de independencia del Chi-cuadrado, partirá de la hipótesis de que las variables son independientes; es decir, que no existe ninguna relación entre ellas y que por lo tanto ninguna ejerce influencia sobre la otra. El objetivo de la prueba de Chi-cuadrado, es comprobar la hipótesis mediante el nivel de significación, por lo que si el valor de significación es mayor o igual que el alfa predeterminada (0.05 ó 5%) se aceptara la hipótesis, pero si esta es menor, será rechazada.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **4.1. Descripción del Trabajo de Campo**

##### **4.1.1. Situación actual**

El problema en que se encuentra el distrito de Yanahuanca, son las vías que se encuentran en mal estado causando tráfico y daños a los vehículos motores que transitan por estas calles, se busca mejorar la mezcla asfáltica para que su periodo de trabajabilidad sea mucho más duradera y resistente.

Al referirme del deterioro de las vías y la carpeta asfáltica en el distrito de Yanahuanca, se tiene que demostrar la importancia de las propiedades de la mezcla asfáltica, para que tenga una vida útil según lo exige el ministerio de transportes. Ya que las vías son construidas por el municipio y por los pobladores.

##### **4.1.2. Propuesta de mejora**

Evaluación de los diferentes diseños de la mezcla asfáltica incorporando partículas de caucho

##### **4.1.3. Material**

El material que se utilizará para realizar los diferentes diseños de mezcla asfáltica será proveniente de la cantera JMK, el cual tendrá que realizarse los diferentes ensayos y deberá cumplir con las normas según el MTC.

## 4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.

### 4.2.1 Ensayo realizado a los agregados

**Tabla 1:** Resultado de los ensayos del agregado grueso

Ensayos	Normas	Mtc	Resultados
Análisis Granulométrico por tamizado	MTC E 204 y ASTM D422		Cumple con las especificaciones
Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso	N.T.P. 400.021 y ASTM C127	Absorción Max: 1%	0.78%
Abrasión de los Ángeles al Desgaste de los Agregados	MTC E 207-2000 y ASTM C131	Max : 40%	11%
Porcentaje de Caras Fracturadas	ASTM – D5821 / MTC E- 210	85/50	95.9% / 89.8%
Porcentaje de Partículas Chatas y Alargadas	MTC E 223 y ASTM D4791	Max : 10%	3.90%
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	18% máx.	3.30%
Adherencia de los agregados	MTC E 206	95	95

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 2:** Resultado de los ensayos del agregado fino.

Ensayos	Normas	MTC	Resultados
Equivalente de arena	MTC E 114	60	61%
Límites de consistencia (Malla N° 40)	MTC E 111	32NP	NP
Índice de plasticidad (Malla N° 200)	MTC E 111	4 max	1%
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209		2.40%
Gravedad específica	MTC E 205		263.00%

Absorción	MTC E 205	0.5% max	1.33%
Adherencia de los agregados	MTC E 220	4 min	Cumple con las especificaciones

Fuente: Elaboración propia

Resultado del tamizado del agregado grueso con un peso total de 9,393

Kg

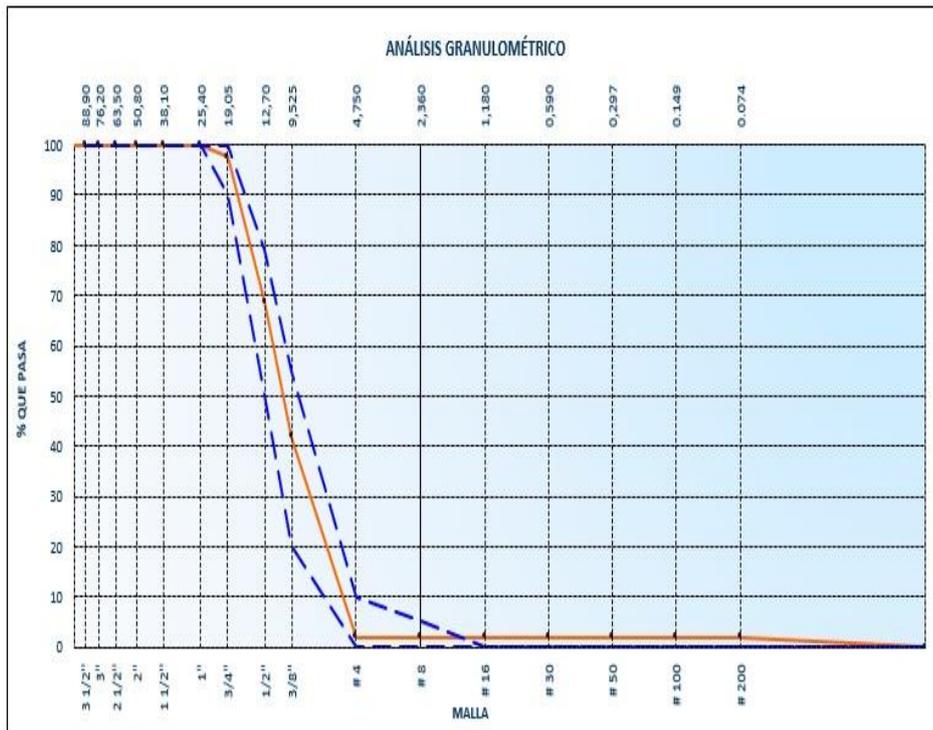
**Tabla 3: Agregado grueso**

		AGREGADO GRUESO			
	Malla	Peso Ret. (gr)	Peso Ret. (%)	Peso Ret. Acum. (%)	% Pasa Acum.
3/4"	19.05 mm	224.00	2.38	2.38	97.62
1/2"	12.70 mm	2714.00	28.89	31.28	68.72
3/8"	9.53 mm	2530.00	26.93	58.21	41.79
#4	4.75 mm	3738.00	39.80	98.01	99.54
#8	2.36 mm	0.00	0.00	98.01	86.83
#16	1.18 mm	0.00	0.00	98.01	66.82
#30	0.59 mm	0.00	0.00	98.01	48.33
#50	0.30 mm	0.00	0.00	98.01	33.76
#100	0.15 mm	0.00	0.00	98.01	21.17
#200	0.07 mm	0.00	0.00	98.01	13.26
Fondo		187.00	1.99	100.00	0.00
PESO TOTAL		9393.00			

Fuente: Elaboración propia

Basándose en la prueba de la granulometría realizada, confirma que el material pétreo obtenido de la cantera de JMK, es confiable y cumple a las normas que exige el ministerio de transportes, para realizar el diseño de la mezcla asfáltica.

**Gráfico 1:** Curva del Agregado grueso.



Fuente: Elaboración propia

Continuando con el ensayo de granulometría, se obtiene el peso de muestra de 949.60 gr.

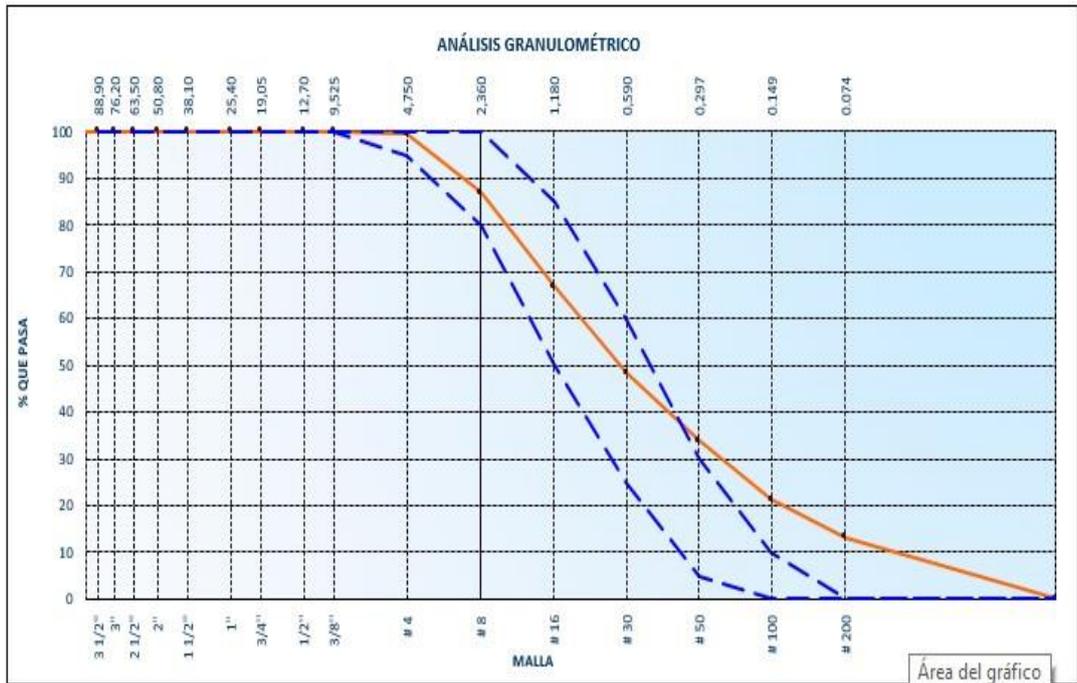
**Tabla 4:** Agregado fino

Agregado Fino

	Malla	Peso Ret. (gr)	Peso Ret. (%)	Peso Ret. Acum.	
				(%)	% Pasa Acum.
#4	4.75 mm	4.40	0.46	0.46	99.54
#8	2.36 mm	120.70	12.71	13.17	86.83
#16	1.18 mm	190.00	20.01	33.18	66.82
#30	0.59 mm	175.60	18.49	51.67	48.33
#50	0.30 mm	138.20	14.56	66.24	33.76
#100	0.15 mm	119.60	12.59	78.83	21.17
#200	0.07 mm	75.10	7.91	86.74	13.26
Fondo		125.90	13.26	100.00	0.00
PESO TOTAL		949.60			

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 2: Granulometría**



Fuente: Elaboración propia

**4.2.2. Granulometría del caucho**

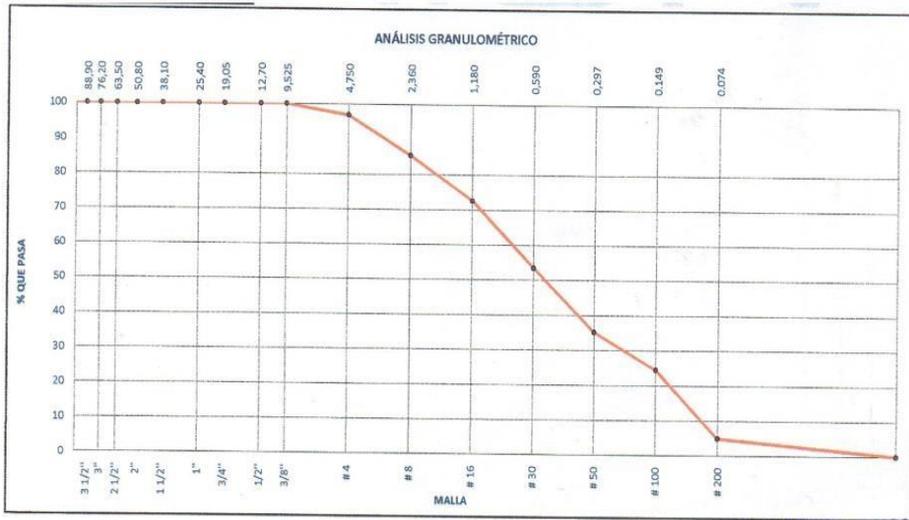
Se realizó la granulometría del caucho desde la malla N° 4 hasta la malla N°200 Con la finalidad de establecer sus características según la norma NTP 339.128 y ASTM D422 y con un peso de muestra 1051.70 kg.

**Tabla 5: Granulometria del caucho.**

		<b>CAUCHO</b>			
	<b>Malla</b>	Peso Ret. (gr)	Peso Ret. (%)	Peso Ret. Acum. (%)	% Pasa Acum.
<b>#4</b>	4.75 mm	<b>32.40</b>	3.08	3.08	86.92
<b>#8</b>	2.36 mm	<b>120.50</b>	11.46	14.54	85.46
<b>#16</b>	1.18 mm	<b>135.20</b>	12.66	27.39	72.61
<b>#30</b>	0.59 mm	<b>201.30</b>	19.14	46.53	53.47
<b>#50</b>	0.30 mm	<b>192.40</b>	18.29	64.83	35.17
<b>#100</b>	0.15 mm	<b>112.00</b>	10.65	75.48	24.52
<b>#200</b>	0.07 mm	<b>205.60</b>	19.55	95.03	4.97
<b>Fondo</b>		<b>53.20</b>	4.97	100.00	0.00
<b>PESO TOTAL</b>		<b>1051.70</b>			

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 3:** Granulometría del caucho.



**Fuente:** Elaboración propia

Habiendo realizado el ensayo de granulometría al caucho, se obtiene el gráfico que establece la medida máxima de 4.75mm. Hasta 0.07 mm. De PCR dando como resultado una granulometría continúa.

**4.2.3. Diseño Marshall de la Mezcla Patrón**

Continuando con el proceso para hallar el peso adecuado en la combinación de los materiales y poder obtener una mezcla patrón, se realizan combinaciones en las siguientes proporciones: 4.50%, 5.0 %, 5.5 %, 6.0 % ,6.5 %.

**Tabla 6:** Agregados para el MAC convencional.

Porcentaje de asfalto	4.5%	5%	5.5%	6%	6.5%
Peso de asfalto	54	60	66	72	78
Peso de piedra	458.4	456	453.6	451.2	392.4
Peso de arena	687.6	684	680.4	676.8	729.6
Peso de filler					
Peso de briqueta	1200	1200	1200	1200	1200

**Fuente:** Elaboración propia, 2018.

Se realiza el peso de los agregados 1146 g, luego se colocan dentro del horno para ser secadas a temperaturas de 105°C - 110°C, se prepararon 3 briquetas de mezcla asfáltica basándose al incremento del cemento asfáltico en 4.5% hasta 6.5% para luego ser colocadas en los moldes y proceder a compactarlas en forma manual con 50 golpes por cada lado, se procede a desmoldar las briquetas para poder anotar los datos del peso específico y de absorción, luego se procede a realizar la rotura de las briquetas obteniendo el valor de la estabilidad, el flujo, los vacíos del agregado mineral y los vacíos llenos con cemento asfáltico. Este procedimiento se realiza dentro de los ambientes del laboratorio de suelos RCP.

En la siguiente tabla mostramos los resultados obtenidos mediante el ensayo Marshall, del diseño propuesto con porcentaje del cemento asfáltico PEN 60/70 adicionando desde 4.5%, donde se obtuvo la densidad, los vacíos, la estabilidad, flujo, Según el MAC B, para los 50 golpes por lado.

**Tabla 7:** Cuadro Ensayo Marshall para 4.5% C.A sin PCR.

ITEM	NUMERO DE PROBETAS	CA al 4.5 %			Prom.
		1	2	3	
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	4.5	4.5	4.5	4.5
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	38.2	38.2	38.2	38.2
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	57.3	57.3	57.3	57.3
4	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.018	1.018	1.018	1.0
5	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO	2.73	2.734	2.734	2.7
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.82	2.82	2.82	2.8
7	ALTURA DE LA BRIQUETA (cm)	6.16	6.15	6.19	6.2
8	ALTURA PROMEDIO		6.2		
9	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1197.5	1195.2	1198.8	1197.2
10	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA (g)	1206.8	1204.8	1205.5	1205.7
11	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	715	714	715	714.7

12	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g) 12-11	9.3	9.6	6.7	8.5	
13	VOLUMEN DE BRIQUETA (cm <sup>3</sup> ) 13	491.8	490.8	490.5	491.0	
14		2.435	2.435	2.444	2.438	
15		PESO ESPESIFICO DE LA BRIQUETA 11/15	2.57	2.57	2.57	2.570
16		<b>PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041</b> % DE VACÍOS DE AIRE (%) ((17-16)/17)*100	5.256	5.245	4.901	5.134
17	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm <sup>3</sup> ) (2+3+4)/(2/6+3/7)	2.787	2.787	2.787	2.787	
18	% VMA (16*95.5)/19	16.555	16.546	16.243	16.45	
19	% DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. ((21-18)/(21))*100	68.255	68.302	69.826	68.794	
20	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(1+2+3+4/17)-(1/5)	2.769	2.769	2.769	2.769	
21	% ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL 100*((2320)*(5))/(20*23)	-0.235	-0.235	-0.235	-0.235	
22	% DE ASFALTO EFECTIVO (%) 1-(24*%agreg)/100	4.735	4.735	4.735	4.735	
23	FLUJO (mm)	2.6	2.2	2.9	2.57	
24	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1250 1	1226 1.04	1239	1238	
25				FACTOR DE ESTABILIDAD	1	1.01
26	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1250	1275	1239	1255	
27	INDICE DE RIGIDEZ	480.6	579.8	427.4	495.9	

Fuente: Agustín Robles, 2018

A continuación, presentamos los resultados obtenidos mediante el ensayo Marshall, el porcentaje del cemento asfáltico PEN 60/70 adicionado es de 5%, donde se obtuvo la densidad, los vacíos, la estabilidad, flujo. Según el MAC B, para los 50 golpes por lado.

**Tabla 8:** Cuadro Ensayo Marshall para 5% C.A sin PCR.

ITEM	NUMERO DE PROBETAS	CA al 5.0 %			Prom.
		4	5	6	
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	5.0	5.0	5.0	5.0
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	38.9	38.9	38.9	38.9
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	56.1	56.1	56.1	56.1
4	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.018	1.018	1.018	1.0
5				2.734	2.7
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO	2.734	2.734	2.82	2.8
	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.82	2.82	2.82	

7	ALTURA DE LA BRIQUETA (cm)	6.16	6.19	6.17	6.2
8	ALTURA PROMEDIO		6.2		
9	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)			1198.3	1197.4
9	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA (g)	1197.6	1196.2	1205.6	1207.1
10	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	1207.2	1208.5	716	717.0
11	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g) 12-11	712	723	7.3	9.7
12		9.6	12.3		490.1
13	VOLUMEN DE BRIQUETA (cm <sup>3</sup> ) 12-13			489.6	
13		495.2	485.5		
14	PESO ESPECIFICO DE LA BRIQUETA 11/15	2.418	2.464	2.448	2.443
14				2.569	
15	<b>PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041</b>	<b>2.569</b>	<b>2.569</b>		<b>2.569</b>
16	% DE VACÍOS DE AIRE (%) ((17-16)/17)*100	<b>5.862</b>	<b>4.093</b>	<b>4.729</b>	<b>4.895</b>
17	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm <sup>3</sup> ) (2+3+4)/(2/6+3/7)	<b>2.786</b>	<b>2.786</b>	<b>2.786</b>	<b>2.786</b>
18	% VMA 100-(16*95.5)/19	<b>17.530</b>	<b>15.981</b>	<b>16.538</b>	<b>16.683</b>
19	% DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. ((21-18)/(21))*100	<b>66.563</b>	<b>74.388</b>	<b>71.405</b>	<b>70.785</b>
20	PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(1+2+3+4/17)-(1/5)	<b>2.793</b>	<b>2.793</b>	<b>2.793</b>	<b>2.793</b>
21	% ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL 100*((23-20)*(5))/(20*23)	0.093	0.093	0.093	<b>0.093</b>
22	% DE ASFALTO EFECTIVO (%) 1-(24*%agreg)/100	4.907	4.907	4.907	<b>4.907</b>
23	FLUJO (mm)	<b>3.2</b>	<b>3.6</b>	<b>3.4</b>	<b>3.40</b>
24	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)			<b>1347</b>	<b>1325</b>
25	FACTOR DE ESTABILIDAD	<b>1273</b>	<b>1356</b>		<b>1.04</b>
25		1.04	1.04	1.04	
26	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	<b>1324</b>	<b>1410</b>	<b>1401</b>	<b>1378</b>
27	INDICE DE RIGIDEZ	413.6	391.6	412.1	<b>405.8</b>

Fuente: Agustín Robles, 2018.

A continuación presentamos los resultados obtenidos mediante el ensayo Marshall, el porcentaje del cemento asfáltico PEN 60/70 adicionado es de 5.5%, donde se obtuvo la densidad, los vacíos, la estabilidad, flujo. Según el MAC B, para los 50 golpes por lado.

**Tabla 9:** Cuadro Ensayo Marshall para 5.5% C.A sin PCR.

ITEM	NUMERO DE PROBETAS	CA al 5.5 %			Prom.
		7	8	9	
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	5.5	5.5	5.5	5.5
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	37.8	37.8	37.8	37.8
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	56.7	56.7	56.7	56.7
4	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.018	1.018	1.018	1.0
5	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO	2.734	2.734	2.734	2.7
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.82	2.82	2.82	2.8
7	ALTURA DE LA BRIQUETA (cm)	6.18	6.13	6.17	6.2
8	ALTURA PROMEDIO		6.2		
9	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)			1195.5	1196.6
9	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA (g)	1197.7	1196.6	1205.7	1204.5
10	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	1203.2	1204.6	717	716.3
11	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	12-11	717	715	7.9
12				10.2	
12		5.5	8.0	488.7	488.2
13	VOLUMEN DE BRIQUETA (cm³)	12-13	486.2	489.6	
14	PESO ESPECIFICO DE LA BRIQUETA 11/15	2.463	2.444	2.446	2.451
15	<b>PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041</b>	<b>2.552</b>	<b>2.552</b>	<b>2.552</b>	<b>2.552</b>
16	% DE VACÍOS DE AIRE (%) ((17-16)/17)*100	<b>3.472</b>	<b>4.231</b>	<b>4.142</b>	<b>3.948</b>
17	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³) (2+3+4)/(2/6+3/7)	<b>2.787</b>	<b>2.787</b>	<b>2.787</b>	<b>2.787</b>
18	% VMA $100 - (16 * 95.5) / 19$	<b>16.464</b>	<b>17.121</b>	<b>17.044</b>	<b>16.876</b>
19	% DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. $((2118)/(21)) * 100$	<b>78.911</b>	<b>75.289</b>	<b>75.696</b>	<b>76.632</b>
20	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL $(2+3+4)/(1+2+3+4/17) - (1/5)$	<b>2.797</b>	<b>2.797</b>	<b>2.797</b>	<b>2.797</b>
21	% ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL $100 * ((23-20) * (5)) / (20 * 23)$	0.139	0.139	0.139	0.139
22	% DE ASFALTO EFECTIVO (%) $1 - (24 * \% \text{agreg}) / 100$	5.361	5.361	5.361	5.361
23	FLUJO (mm)	<b>4.20</b>	<b>3.80</b>	<b>4.10</b>	<b>4.03</b>
24	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	<b>1365</b>	<b>1366</b>	<b>1355</b>	<b>1362</b>
25	FACTOR DE ESTABILIDAD	1.04	1.04		1.04
26	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	<b>1419</b>	<b>1420</b>	1.04 <b>1409</b>	<b>1416.3</b>
27	INDICE DE RIGIDEZ	338.0	373.8	343.7	351.8

Fuente: Agustín Robles, 2018.

A continuación, presentamos los resultados obtenidos mediante el ensayo Marshall, el porcentaje del cemento asfáltico PEN 60/70 adicionado es de 6%, donde se obtuvo la densidad, los vacíos, la estabilidad, flujo. Según el MAC B, para los 50 golpes por lado.

**Tabla 10:** Cuadro Ensayo Marshall para 6% C.A sin PCR.

ITEM	NUMERO DE PROBETAS	CA al 6.0 %			Prom.
		10	11	12	
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	6	6	6	6
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	32.9	32.9	32.9	34.5
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	61.1	61.1	61.1	59.5
4	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.018	1.018	1.018	1
5	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO	2.734	2.734	2.734	2.7
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.82	2.82	2.82	2.8
7	ALTURA DE LA BRIQUETA (cm)	6.16	6.19	6.19	6.2
8	ALTURA PROMEDIO		6.2		
9	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1194.6	1196.2	1197.7	1196.2
10	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA (g)	1205.4	1205.2	1204.2	1204.9
11	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	719	717	721	719.0
12	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g) 12-11	10.8	9.0	6.5	8.8
13	VOLUMEN DE BRIQUETA (cm³) 12-13	486.4	488.2	483.2	485.9
14	PESO ESPECIFICO DE LA BRIQUETA 11/15	2.456	2.450	2.479	2.462
15	<b>PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041</b>	<b>2.535</b>	<b>2.535</b>	<b>2.535</b>	<b>2.535</b>
16	% DE VACÍOS DE AIRE (%) $((17-16)/17)*100$	<b>3.116</b>	<b>3.344</b>	<b>2.222</b>	<b>2.894</b>
17	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³) $(2+3+4)/(2/6+3/7)$	<b>2.789</b>	<b>2.789</b>	<b>2.789</b>	<b>2.789</b>
18	% VMA $100-(16*95.5)/19$	<b>17.232</b>	<b>17.427</b>	<b>16.468</b>	<b>17.042</b>
19	% DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. $((21-18)/(21))*100$	<b>81.916</b>	<b>80.810</b>	<b>86.510</b>	<b>83.078</b>
20	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL $(2+3+4)/(1+2+3+4/17)-(1/5)$	<b>2.801</b>	<b>2.801</b>	<b>2.801</b>	<b>2.801</b>
21	% ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL $100*((23-20)*(5))/(20*23)$	0.159	0.159	0.159	0.159
22	% DE ASFALTO EFECTIVO (%) $1-(24*\%agreg)/100$	5.841	5.841	5.841	5.841
23	FLUJO (mm)	<b>4.8</b>	<b>5.2</b>	<b>4.5</b>	<b>4.83</b>
24	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	<b>1191</b>	<b>1179</b>	<b>1482</b>	<b>1284</b>
25	FACTOR DE ESTABILIDAD	1.04	1.04		1.04

26	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1239	1227	1.04 1553	1339.7
27	INDICE DE RIGIDEZ	317.7	278.8	345	313.8

Fuente: Agustín Robles, 2018.

A continuación presentamos los resultados obtenidos mediante el ensayo Marshall, el porcentaje del cemento asfáltico PEN 60/70 adicionado es de 6.5%, donde se obtuvo la densidad, los vacíos, la estabilidad, flujo. Según el MAC B, para los 50 golpes por lado.

**Tabla 11:** Cuadro Ensayo Marshall para 6.5% C.A sin PCR.

ITEM	NUMERO DE PROBETAS	CA al 6.5 %			Prom.
		13	14	15	
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	6.5	6.5	6.5	6.5
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	32.7	32.7	32.7	32.7
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	60.8	60.8	60.8	60.8
4	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.018	1.018	1.018	1.0
5	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO	2.734	2.734	2.734	2.7
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.82	2.82	2.82	2.8
7	ALTURA DE LA BRIQUETA (cm)	6.19	6.17	6.15	6.2
8	ALTURA PROMEDIO		6.2		
9	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1197.7	1195.9	1196.3	1196.6
10	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA (g)	1205.4	1203.8	1204.3	1204.5
11	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	721	719	723	721.0
12	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g) 12-11	7.7	7.9	8.0	7.9
13	VOLUMEN DE BRIQUETA (cm³) 12-13	484.4	484.8	481.3	483.5
14	PESO ESPECÍFICO DE LA BRIQUETA 11/15	2.473	2.467	2.486	2.475
15	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2.513	2.513	2.513	2.513
16	% DE VACÍOS DE AIRE (%) ((17-16)/17)*100)	1.610	1.839	1.092	1.514

17	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm <sup>3</sup> ) $(2+3+4)/(2/6+3/7)$	2.791	2.791	2.791	2.791
18	% VMA $100-(16*95.5)/19$	17.175	17.368	16.739	17.094
19	% DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. $((21-18)/(21))*100$	90.627	89.412	93.477	91.172
20	PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO TOTAL $(2+3+4)/(1+2+3+4/17)-(1/5)$	2.799	2.799	2.799	2.799
21	% ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL $100*((2320)*5)/(20*23)$	0.098	0.098	0.098	0.098
22	% DE ASFALTO EFECTIVO (%) $1-(24*\%agreg)/100$	6.402	6.402	6.402	6.402
23	FLUJO (mm)			4.6	4.50
24	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	4.7	4.2	1289	1214
25	FACTOR DE ESTABILIDAD	1100	1254	1.04	1.0
26	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1057	1304	1341	1233.9
27	INDICE DE RIGIDEZ	224.9	310.5	291.4	275.6

Fuente: Agustín robles, 2018.

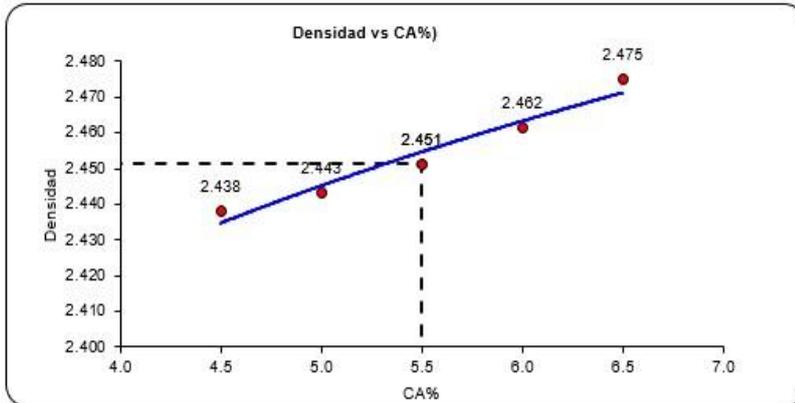
Mediante el procedimiento realizado se obtienen los datos en que se concluyen demostrando mediante gráficos según la cantidad de asfalto que se utiliza.

**Tabla 12:** Datos de la mezcla convencional.

Asfalto 60/70	Densidad	% Vacíos	VMA	VFA	Estabilidad	Flujo
%	gr/cc	%	%	%	Kg	mm
4.5	2.438	5.134	16.45	68.79	1255	2.57
5	2.443	4.895	16.68	70.78	1378	3.40
5.5	2.451	3.948	16.87	76.63	1416	4.03
6	2.462	2.894	17.04	83.07	1339.7	4.83
6.5	2.475	1.514	17.09	91.17	1233.9	4.50

Fuente: Elaboración propia

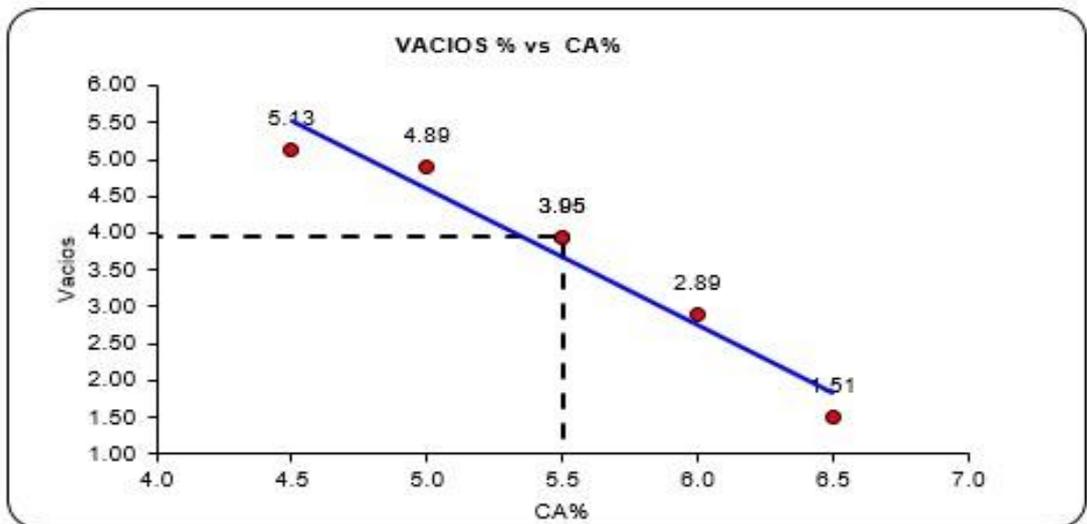
**Grafico 4:** Variación de la densidad con respecto al % CA.



Fuente: Elaboración propia, 2018

Conforme al gráfico se observa el resultado de la densidad con 2.451 g/cm<sup>2</sup> a un porcentaje óptimo de 5.5% de asfalto según el diseño realizado.

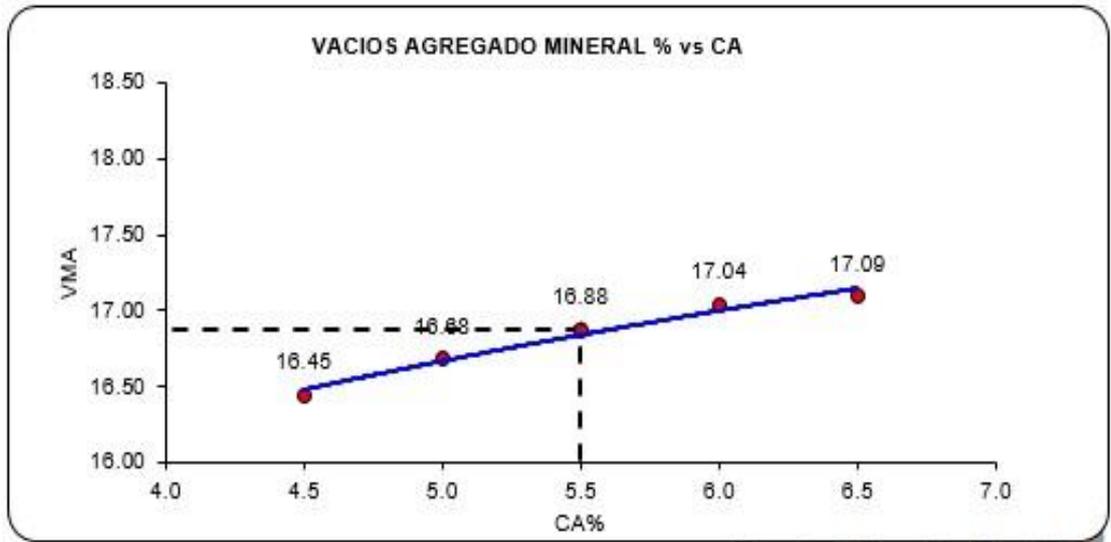
**Grafico 5:** Variación del porcentaje de vacíos de aire en la mezcla con respecto al % CA



Fuente: Elaboración propia, 2018.

De acuerdo a los diseños de las briquetas se obtiene el porcentaje de vacíos de aire en la mezcla asfáltica con 3.9% con una cantidad de 5.5% de asfalto según los datos obtenidos nos da el gráfico va en forma descendente.

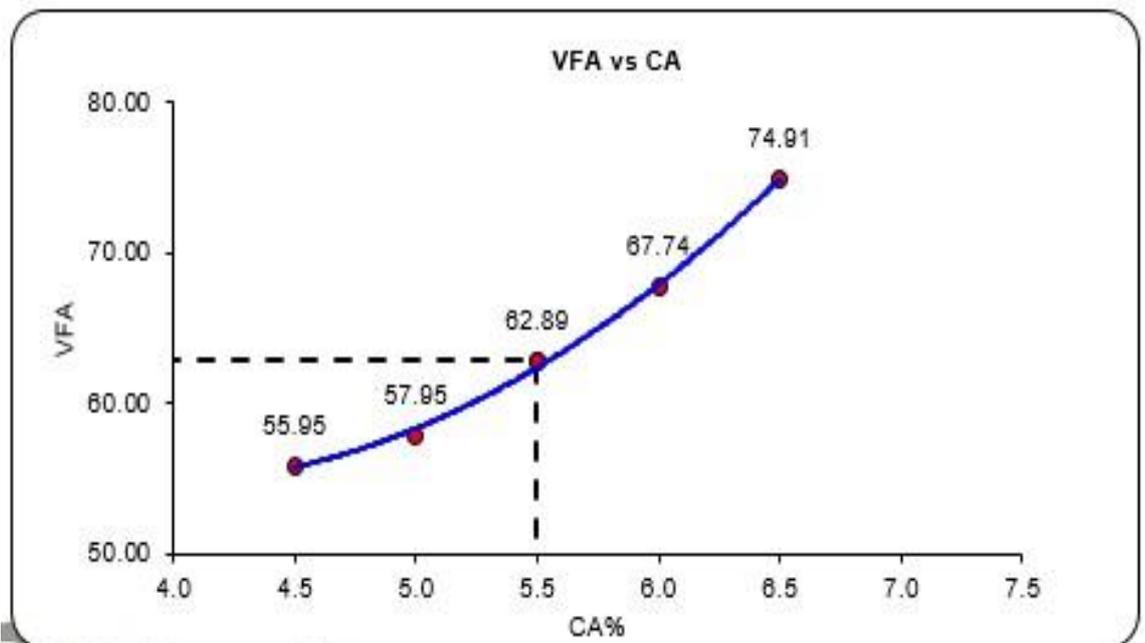
**Grafico 6:** Variación del VMA con respecto al % CA.



Fuente: Elaboración propia, 2018

Según el contenido de asfalto en cada diseño los vacíos del agregado mineral va en aumento de acuerdo con el grafico obtenido.

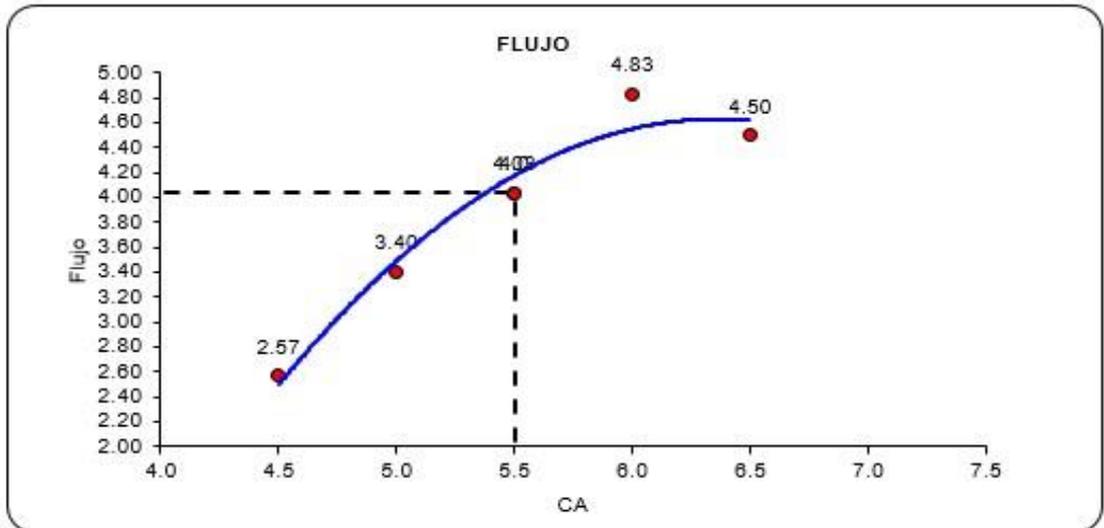
**Grafico 7:** Variación de loa VFA con respecto al % CA.



Fuente: Elaboración propia, 2018

De acuerdo con los datos obtenidos se observa que los vacíos llenos de cemento asfáltico es de 62.89% con un óptimo me 5.5% de asfalto y va en forma ascendente según el grafico.

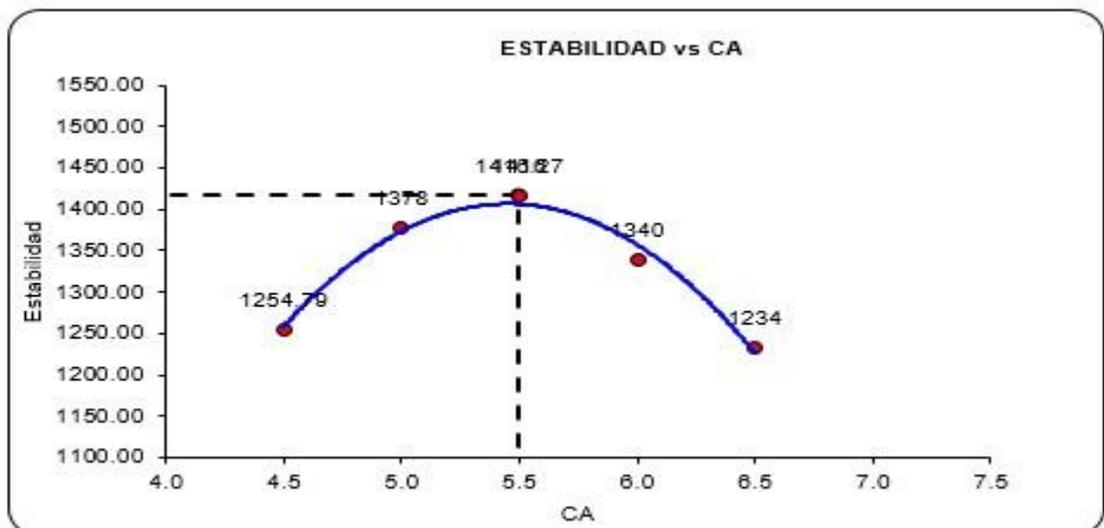
**Grafico 8:** Variación del flujo con respecto al % CA.



Fuente: Elaboración propia, 2018

De acuerdo con En el flujo de la mezcla convencional se obtuvo 4.03mm con un óptimo de 5.5% de asfalto

**Grafico 9:** Variación de la estabilidad con respecto al % CA.



**Fuente: Elaboración propia, 2018**

Considerando el resultado de la estabilidad obtenida de la mezcla convencional con nos da el siguiente gráfico con los siguientes valores de 1416 kg con un óptimo de 5.5% de asfalto. A continuación presentamos los resultados obtenidos mediante el ensayo Marshall, el porcentaje del cemento asfáltico PEN 60/70 adicionado es de 4.5%, con una incorporación de caucho de 0.5% donde se obtuvo la densidad, los vacíos, la estabilidad, flujo. Según el MAC B, para los 50 golpes por lado.

**Tabla 13:** Cuadro Ensayo Marshall para 4.5% C.A con 0.5% de caucho.

ITEM	NUMERO DE PROBETAS	1	PC al 0.5 %		Prom.
			2	3	
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	4.5	4.5	4.5	4.5
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	38.2	38.2	38.2	38.2
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	57.3	57.3	57.3	57.3
4	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO – APARENTE	1.018	1.018	1.018	1.0
5	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO	2.76	2.76	2.76	2.8
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.72	2.72	2.72	2.7
7	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	2.838	2.838	2.838	2.8
8	ALTURA DE LA BRIQUETA (cm)	6.14	6.19	6.16	6.16
9	ALTURA PROMEDIO	1194.5	1196.8	1197.5	1196.3
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1208.1	1206.2	1205.4	1206.6
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA (g)	715	710	712	712.3
12	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)				
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g) 12-11	13.6	9.4	7.9	10.3
14	VOLUMEN DE BRIQUETA (cm³) 12-13	493.1	496.2	493.4	494.2
15	PESO ESPECÍFICO DE LA BRIQUETA 11/15	2.422	2.412	2.427	2.420
16	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	<b>2.638</b>	<b>2.638</b>	<b>2.638</b>	<b>2.638</b>
17	% DE VACÍOS DE AIRE (%) ((17-16)/17)*100	8.172	8.570	7.997	8.246

18	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm <sup>3</sup> ) $(2+3+4)/(2/6+3/7)$	2.736	2.736	2.736	2.736
19	% VMA $100 - (16 \cdot 95.5)/19$	15.441	15.807	15.280	15.509
20	% DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. $((21-18)/(21)) \cdot 100$	47.077	45.786	47.663	46.842
21	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL $(2+3+4)/(1+2+3+4/17) - (1/5)$	2.852	2.852	2.852	2.852
22	% ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL $100 \cdot ((23-20) \cdot 5)/(20 \cdot 23)$	1.513	1.513	1.513	1.513
23	% DE ASFALTO EFECTIVO (%) $1 - (24 \cdot \% \text{agreg})/100$	2.987	2.987	2.987	2.987
24	FLUJO (mm)	3.1	3.1	2.9	3.033
25	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1856	1928	2020	1934.6
26	FACTOR DE ESTABILIDAD	1.09	1.04	1.09	1.07
27	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	2023	2005	2201	2076
28	FACTOR DE RIGIDEZ	623	647	724	664.60

Fuente: Agustín Robles, 2018.

Porcentaje del cemento asfáltico PEN 60/70 adicionado es de 5%, con una incorporación de caucho de 1%, donde se obtuvo la densidad, los vacíos, la estabilidad, flujo. Según el MAC B, para los 50 golpes por lado.

**Tabla 14:** Cuadro Ensayo Marshall para 5% C.A con 1% PCR.

ITEM	NUMERO DE PROBETAS	4	PC al 1.0 %		Prom.
			5	6	
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	5.0	5.0	5.0	5.0
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	38.9	38.9	38.9	38.9
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	53.3	53.3	53.3	53.3
4	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO – APARENTE	1.018	1.018	1.018	1.0
5	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO	2.76	2.76	2.76	2.8
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.72	2.72	2.72	2.7
7	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	2.838	2.838	2.838	2.8
8	ALTURA DE LA BRIQUETA (cm)	6.19	6.12	6.18	6.16
9	ALTURA PROMEDIO		6.16		

<b>10</b>	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1195.1	1196.8	1197.6	<b>1196.5</b>
<b>11</b>	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA (g)	1203.8	1204.6	1202.3	<b>1203.6</b>
<b>12</b>	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	717	713	712	<b>714.0</b>
<b>13</b>	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g) 12-11	8.7	7.8	4.7	<b>7.1</b>
<b>14</b>	VOLUMEN DE BRIQUETA (cm <sup>3</sup> ) 12-13	486.8	491.6	490.3	<b>489.6</b>
<b>15</b>	PESO ESPECIFICO DE LA BRIQUETA 11/15	2.455	2.434	2.443	<b>2.444</b>
<b>16</b>	<b>PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041</b>	<b>2.629</b>	<b>2.629</b>	<b>2.629</b>	<b>2.629</b>
<b>17</b>	% DE VACÍOS DE AIRE (%) ((17-16)/17)*100	6.618	7.398	7.091	<b>7.036</b>
<b>18</b>	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm <sup>3</sup> ) (2+3+4)/(2/6+3/7)	2.737	2.737	2.737	<b>2.737</b>
<b>19</b>	% VMA 100-(16*95.5)/19	14.779	15.491	15.211	<b>15.161</b>
<b>20</b>	% DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. ((21-18)/(21))*100	55.221	52.243	53.384	<b>53.616</b>
<b>21</b>	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(1+2+3+4/17)-(1/5)	2.876	2.876	2.876	<b>2.876</b>
<b>22</b>	% ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL 100*((23-20)*(5))/(20*23)	1.799	1.799	1.799	<b>1.799</b>
<b>23</b>	% DE ASFALTO EFECTIVO (%) 1-(24*%agreg)/100			3.201	<b>3.201</b>
<b>24</b>	FLUJO (mm)	3.201	3.201	4.1	<b>3.93</b>
<b>25</b>	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	3.9	3.8	1898	<b>1826</b>
<b>26</b>	FACTOR DE ESTABILIDAD	1.09	1.09	1.09	<b>1.01</b>
<b>27</b>	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1834	2068	2068	<b>1990.3</b>
<b>28</b>	FACTOR DE RIGIDEZ	432	499	463	<b>465</b>

Fuente: Agustín Robles, 2018.

Porcentaje del cemento asfáltico PEN 60/70 adicionado es de 5.5%, con una incorporación de caucho de 1.5%, donde se obtuvo la densidad, los vacíos, la estabilidad, flujo. Según el MAC B, para los 50 golpes por lado.

**Tabla 15:** Cuadro Ensayo Marshall para 5.5% C.A con 1.5% PCR.

ITEM	NUMERO DE PROBETAS	PC al 1.5 %			Prom.
		7	8	9	
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	5.5	5.5	5.5	5.5
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	37.6	37.6	37.6	37.6
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	53.1	54.1	54.1	53.8
4	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.018	1.018	1.018	1.0
5	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO	2.76	2.76	2.76	2.8
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.72	2.72	2.72	2.7
7	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	2.838	2.838	2.838	2.8
8	ALTURA DE LA BRIQUETA (cm)	6.16	6.13	6.19	6.16
9	ALTURA PROMEDIO		6.16		
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1197.4	1197.7	1196.8	1197.3
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA (g)	1205.6	1206.3	1208.5	1206.8
12	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	720	721	724	721.7
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g) 12-11	8.2	8.6	11.7	9.5
14	VOLUMEN DE BRIQUETA (cm <sup>3</sup> ) 12-13	485.6	485.3	484.5	485.1
15	PESO ESPECÍFICO DE LA BRIQUETA 11/15	2.466	2.468	2.470	2.468
16	<b>PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041</b>	<b>2.604</b>	<b>2.604</b>	<b>2.604</b>	<b>2.604</b>
17	% DE VACÍOS DE AIRE (%) ((17-16)/17)*100	5.307	5.224	5.139	5.223
18	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm <sup>3</sup> ) (2+3+4)/(2/6+3/7)	2.736	2.736	2.736	2.736
19	% VMA 100-(16*95.5)/19	14.846	14.77	14.690	14.767
20	% DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. ((21-18)/(21))*100	64.255	64.619	65.015	64.630
21	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(1+2+3+4/17)-(1/5)	2.876	2.872	2.872	2.873
22	% ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL 100*((23-20)*(5))/(20*23)	1.801	1.763	1.763	1.776
23	% DE ASFALTO EFECTIVO (%) 1-(24*%agreg)/100	3.699	3.737	3.737	3.724
24	FLUJO (mm)	4.8	5.2	5.2	5.07
25	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1777	1770	1778	1775
26	FACTOR DE ESTABILIDAD	1.09	1.09	1.09	1.01
27	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1937	1937	1938	1934.8
28	FACTOR DE RIGIDEZ	370	340	342	351

Fuente: Agustín Robles, 2018.

Porcentaje del cemento asfáltico PEN 60/70 adicionado es de 6%, con una incorporación de caucho de 2%, donde se obtuvo la densidad, los vacíos, la estabilidad, flujo. Según el MAC B, para los 50 golpes por lado.

**Tabla 16:** Cuadro Ensayo Marshall para 6% C.A con 2% PCR.

ITEM	NUMERO DE PROBETAS	10	PC al 2.0 %		Prom.
			11	12	
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	6	6	6	6.0
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	38.3	38.3	38.3	38.3
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	52.9	52.9	52.9	52.9
4	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.018	1.018	1.018	1.0
5	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO	2.76	2.76	2.76	2.8
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.72	2.72	2.72	2.7
7	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	2.838	2.838	2.838	2.8
8	ALTURA DE LA BRIQUETA (cm)	6.18	6.15	6.19	6.17
9	ALTURA PROMEDIO		6.17		
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1197.7	1197.4	1195.6	1196.9
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA (g)	1206.8	1203.7	1206.2	1205.6
12	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	723	719	726	722.7
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g) 12-11	9.1	6.3	10.6	8.7
14	VOLUMEN DE BRIQUETA (cm³) 12-13	483.8	484.7	480.2	482.9
15	PESO ESPECÍFICO DE LA BRIQUETA 11/15	2.476	2.470	2.490	2.479
16	<b>PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041</b>	<b>2.580</b>	<b>2.580</b>	<b>2.580</b>	<b>2.580</b>
17	% DE VACÍOS DE AIRE (%) $((17-16)/17)*100$	4.046	4.248	3.496	3.930
18	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³) $(2+3+4)/(2/6+3/7)$	2.737	2.737	2.737	2.737
19	% VMA $100 - (16*95.5)/19$	14.967	15.146	14.479	14.864
20	% DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. $((21-18)/(21))*100$	72.965	71.951	75.853	73.590
21	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL $(2+3+4)/(1+2+3+4/17)-(1/5)$	2.870	2.870	2.870	2.870
22	% ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL $100*((23-20)*(5))/(20*23)$	1.724	1.724	1.724	1.724

23	% DE ASFALTO EFECTIVO (%) 1-( 24*%agreg)/100	4.276	4.276	4.276	4.276
24	FLUJO (mm)	5.4	5.9	5.8	5.70
25	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1720	1749	1725	1731
26	FACTOR DE ESTABILIDAD	1.09	1.09	1.14	1.10
27	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1875	1906	1967	1915.9
28	FACTOR DE RIGIDEZ	319	296	297	304

**Fuente: Agustín Robles, 2018.**

Porcentaje del cemento asfáltico PEN 60/70 adicionado es de 6.5%, con una incorporación de caucho de 2.5%, donde se obtuvo la densidad, los vacíos, la estabilidad, flujo. Según el MAC B, para los 50 golpes por lado.

**Tabla 17:** Cuadro Ensayo Marshall para 6.5% C.A con 2.5% PCR.

ITEM	NUMERO DE PROBETAS	13	PC al 2.5 %		Prom.
			14	15	
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	6.5	6.5	6.5	6.5
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	38.0	38.0	38.0	38.0
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	52.7	52.7	52.7	52.7
4	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO – APARENTE	1.018	1.018	1.018	1.0
5	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO	2.76	2.76	2.76	2.8
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.72	2.72	2.72	2.7
7	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	2.838	2.838	2.838	2.8
8	ALTURA DE LA BRIQUETA (cm)	6.14	6.21	6.16	6.17
9	ALTURA PROMEDIO		6.17		
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1196.4	1198.8	1197.8	1197.7
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA (g)	1202.7	1204.1	1205.4	1204.1
12	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	728	719	722	723.0
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g) 12-11	6.3	5.3	7.6	6.4
14	VOLUMEN DE BRIQUETA (cm ) 12 - 13	474.7	485.1	483.4	481.1
15	PESO ESPECÍFICO DE LA BRIQUETA 11/15	2.520	2.471	2.478	2.490
16	<b>PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041</b>	<b>2.554</b>	<b>2.554</b>	<b>2.554</b>	<b>2.554</b>
17	% DE VACÍOS DE AIRE (%) ((17-16)/17)*100)	1.318	3.240	2.981	2.513
18	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³) (2+3+4)/(2/6+3/7)	2.737	2.737	2.737	2.737

19	% VMA (16*95.5)/19	100-	13.890	15.567	15.341	14.932
20	% VFA 18)/(21))*100	((21-	90.508	79.185	80.568	83.420
21	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(1+2+3+4/17)-(1/5)		2.864	2.864	2.864	2.864
22	% ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL 100*((23- 20)*(5))/(20*23)		1.650	1.650	1.650	1.650
23	% DE ASFALTO EFECTIVO (%) 1- (24*%agreg)/100		4.850	4.850	4.850	4.850
24	FLUJO (mm)		5.8	6.5	6.2	6.17
25	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)		1969	1805	1940	1905
26	FACTOR DE ESTABILIDAD		1.14	1.09	1.09	1.10
27	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)		2244	1968	2115	2108.9
28	FACTOR DE RIGIDEZ		339	278	313	310

Fuente: Agustín Robles, 2018.

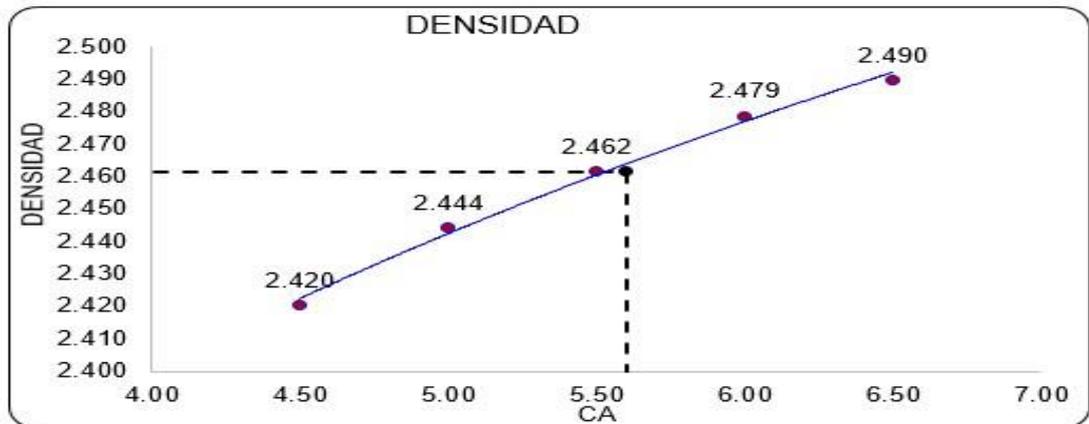
Considerando los diferentes diseños de mezcla asfáltica que se realizaron se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 18:** Resultados de la mezcla asfáltica incorporando caucho.

Asfalto 60/70	Caucho	Densidad	% Vacíos	VMA	VFA	Estabilidad	Flujo
%	%	gr/cc	%	%	%	Kg	mm
4.5	0.5	2.42	8.24	15.5	46.84	2012	3.03
5	1	2.457	7.03	15.16	53.61	1826	3.43
5.5	1.5	2.462	5.22	14.76	64.63	1775	5.07
6	2	2.479	3.93	14.86	73.59	1731	5.7
6.5	2.5	2.477	2.51	14.93	83.42	1902	6.17

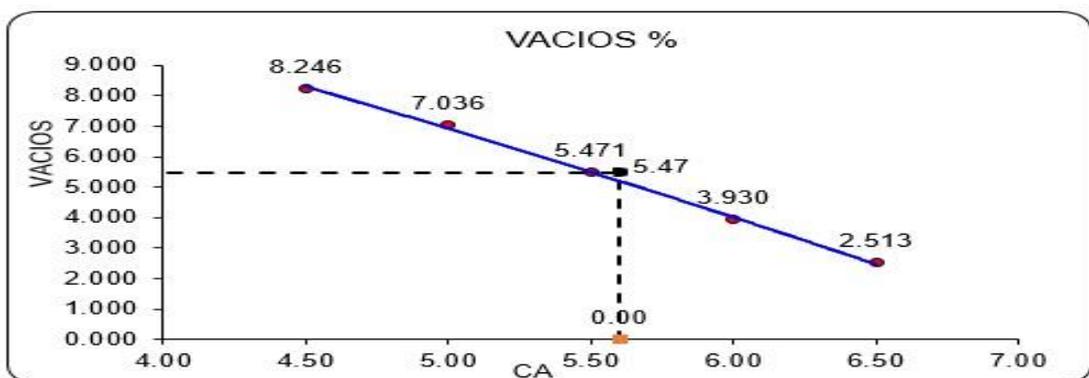
Fuente: Elaboración propia

**Grafico 10:** Variación de la Densidad con respecto al % CA con caucho.



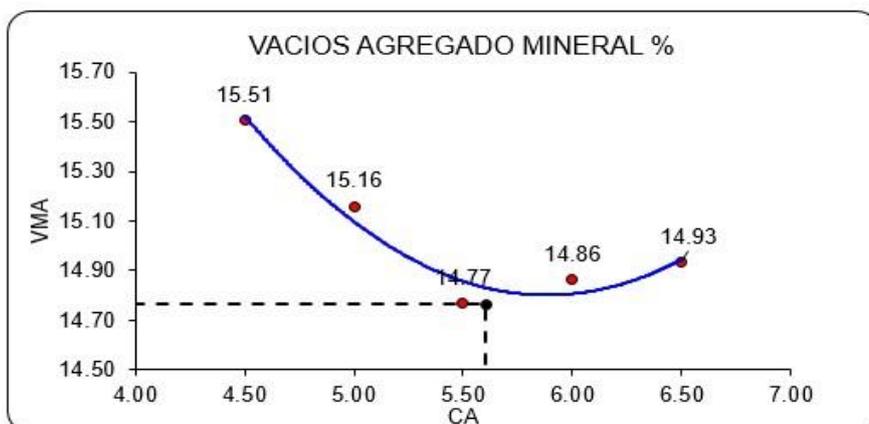
Fuente: Agustín Robles, 2018

**Grafico 11:** Variación del porcentaje de Vacíos en la mezcla con respecto al % CA con caucho.



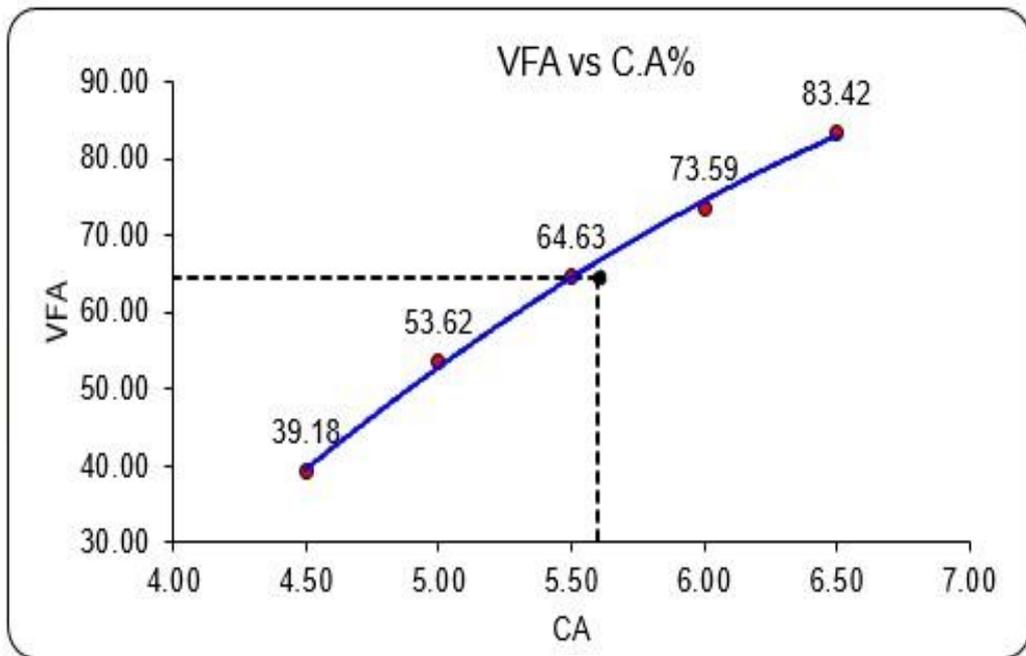
Fuente: Agustín Robles, 2018.

**Grafico 12:** Variación VMA con respecto al % CA con caucho.



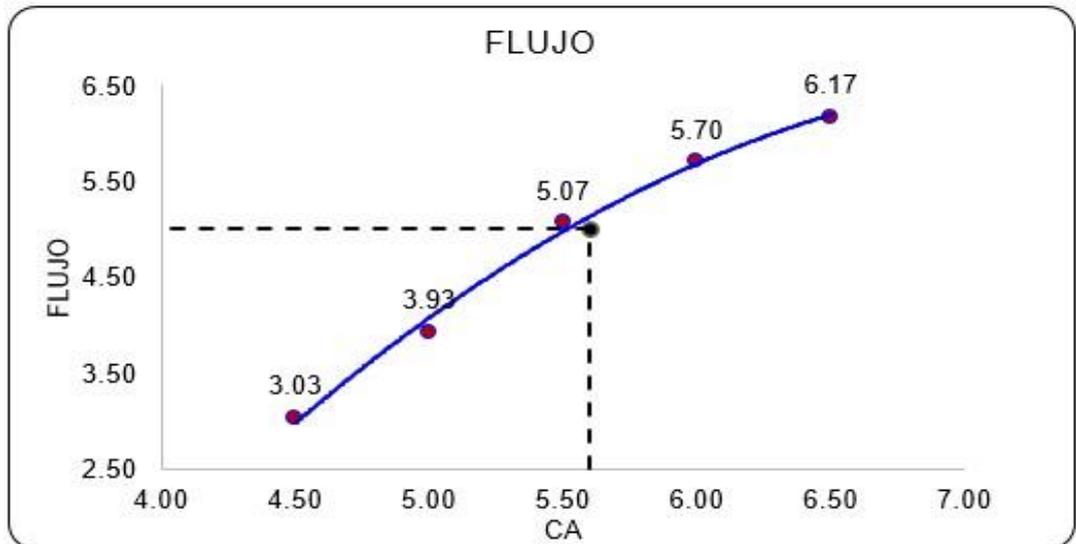
Fuente: Agustín Robles, 2018

**Gráfico 13:** Variación de los VFA con respecto al % CA con caucho.



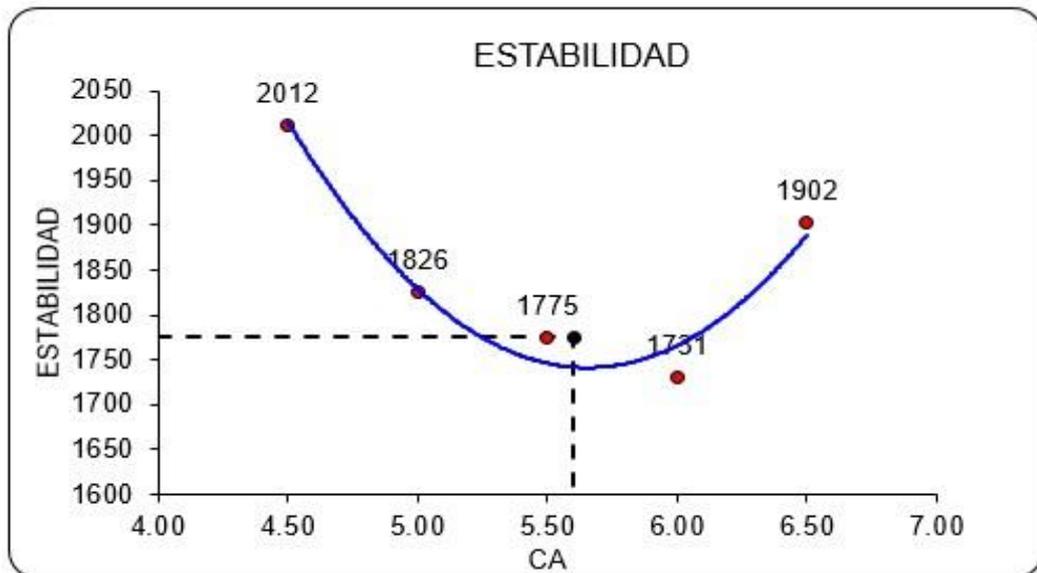
Fuente: Agustín Robles, 2018.

**Gráfico 14** Variación del flujo con respecto % CA con caucho.



Fuente: Agustín Robles, 2018

**Grafico 15:** Variación de la estabilidad con respecto % CA con caucho.



**Fuente:** Agustín Robles, 2018.

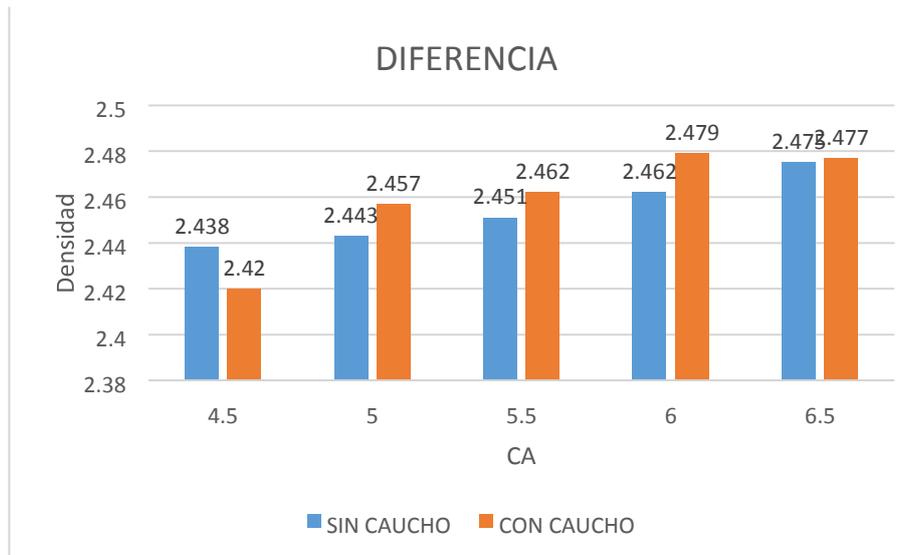
A continuación, se muestra los resultados de las densidades

**Tabla 19:** Comparación de densidades.

Porcentajes		Densidad sin caucho	Densidad con caucho
% CA	% caucho	gr/cc	gr/cc
4.5	0.5	2.438	2.42
5	1	2.443	2.457
5.5	1.5	2.451	2.462
6	2	2.462	2.479
6.5	0.5	2.475	2.477

**Fuente:** Elaboración propia

**Grafico 16:** Variación de la densidad.



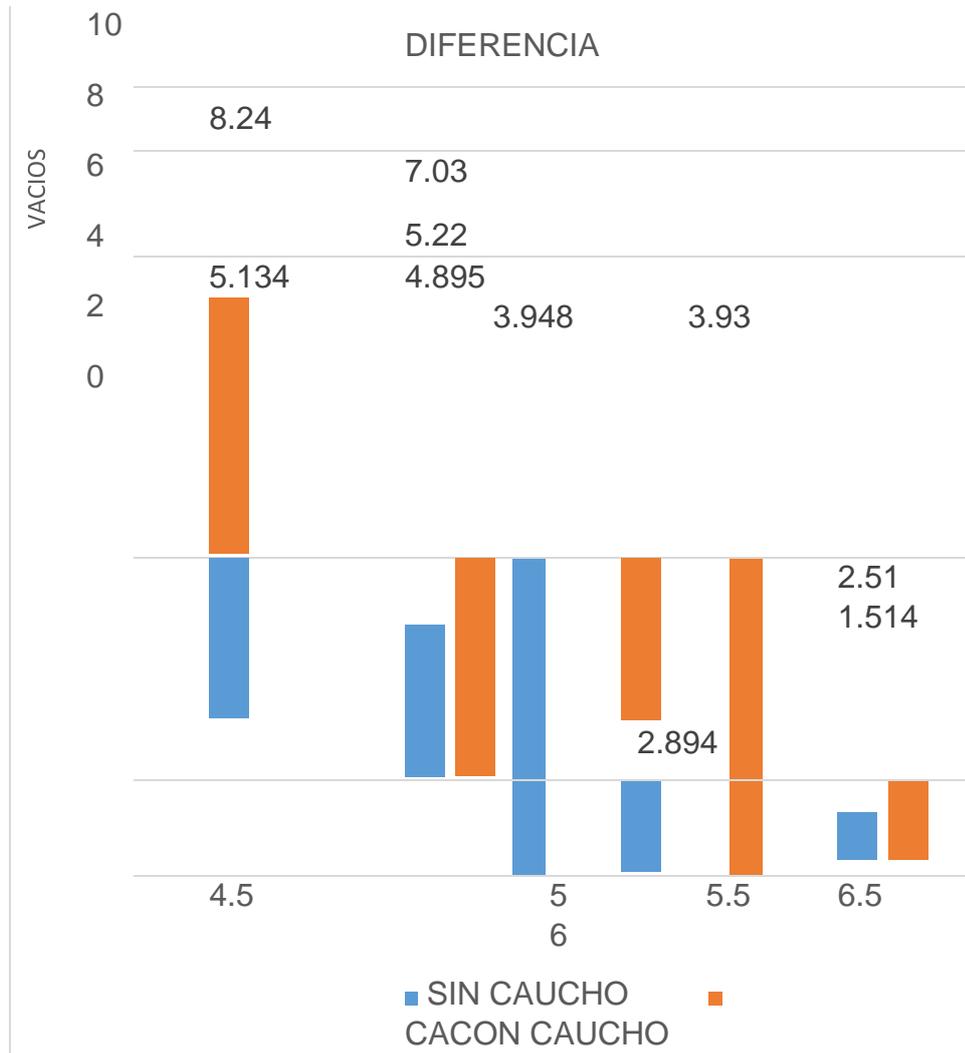
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 20:** Comparación de vacíos.

Porcentajes		Vacíos sin caucho	Vacíos con caucho
% CA	% caucho	%	%
4.5	0.5	5.134	8.24
5	1	4.895	7.03
5.5	1.5	3.948	5.22
6	2	2.894	3.93
6.5	0.5	1.514	2.51

Fuente: Elaboración propia

**Grafico 17** Variación de los vacíos en la mezcla asfáltica.



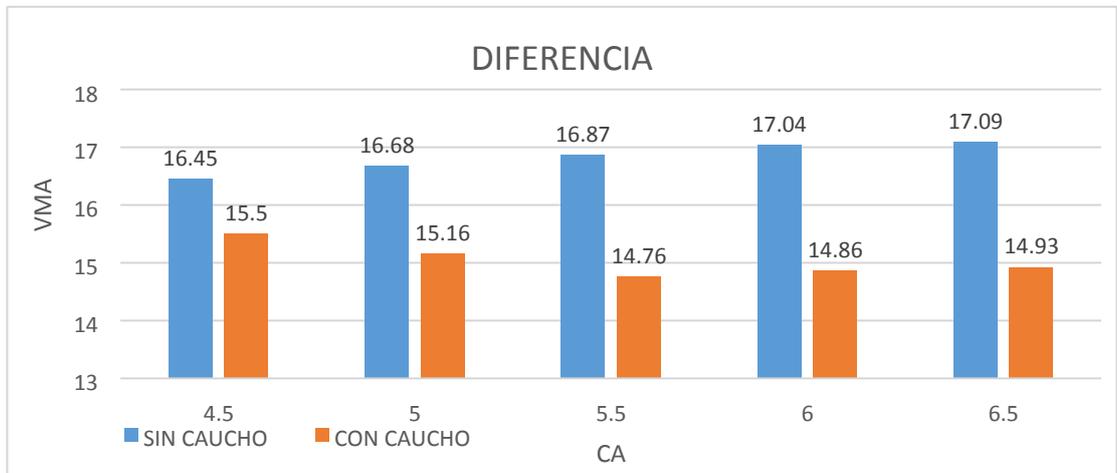
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 21:** Variación de los VMA en la mezcla asfáltica.

	Porcentajes	VMA sin caucho	VMA con caucho
% CA	% caucho	%	%
4.5	0.5	16.45	15.5
5	1	16.68	15.16
5.5	1.5	16.87	14.76
6	2	17.04	14.86
6.5	0.5	17.09	14.93

Fuente: Elaboración propia

**Grafico 18:** Variación de VMA.



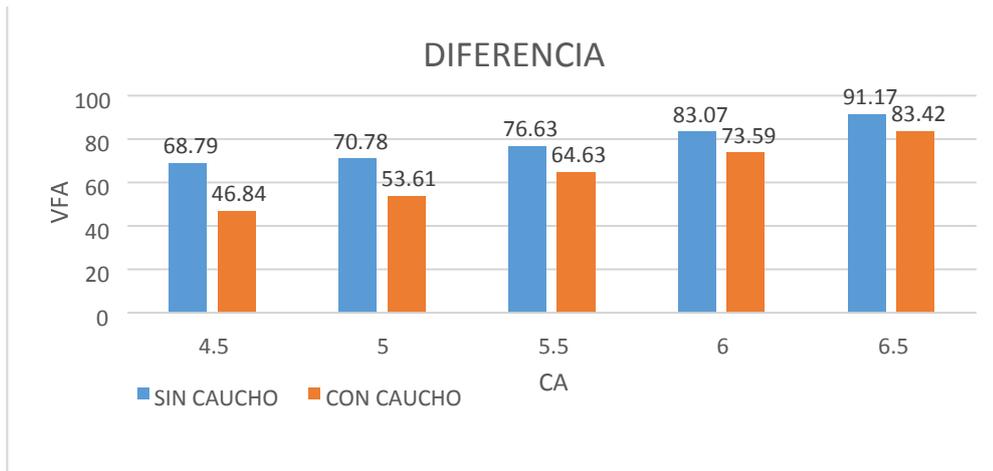
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 22:** Variación de los VFA en la mezcla asfáltica.

Porcentajes		VFA sin caucho	VFA con caucho
% CA	% caucho	%	%
4.5	0.5	68.79	46.84
5	1	70.78	53.61
5.5	1.5	76.63	64.63
6	2	83.07	73.59
6.5	0.5	91.17	83.42

Fuente: Elaboración propia

**Grafico 19:** Variación de VFA.



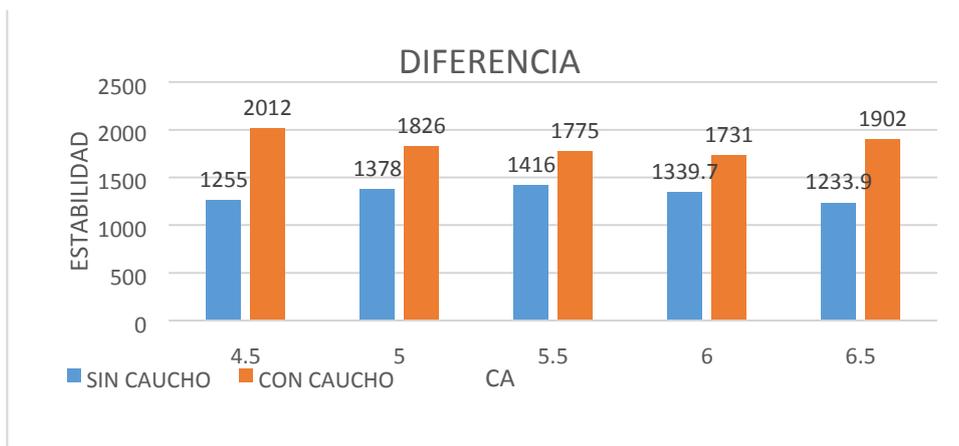
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 23:** Variación de la estabilidad en la mezcla asfáltica.

Porcentajes		Estabilidad sin caucho	Estabilidad con caucho
% CA	% caucho	Kg	Kg
4.5	0.5	1255	2012
5	1	1378	1826
5.5	1.5	1416	1775
6	2	1339.7	1731
6.5	0.5	1233.9	1902

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 20** Variación de la estabilidad.



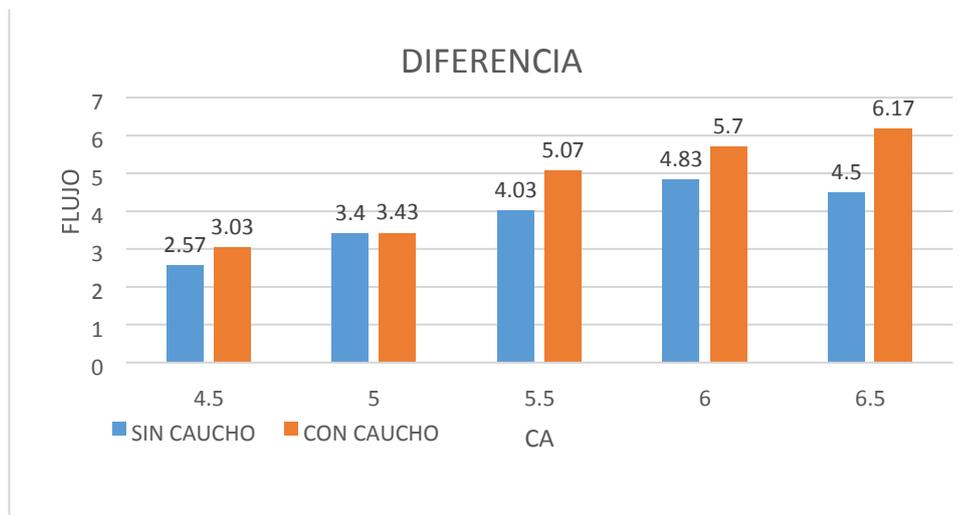
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 24:** Variación del flujo en la mezcla asfáltica.

Porcentajes		Flujo sin caucho	Flujo con caucho
% CA	% caucho	mm	mm
4.5	0.5	2.57	3.03
5	1	3.4	3.43
5.5	1.5	4.03	5.07
6	2	4.83	5.7
6.5	0.5	4.5	6.17

Fuente: Elaboración propia

**Grafico 21:** Variación del Flujo.



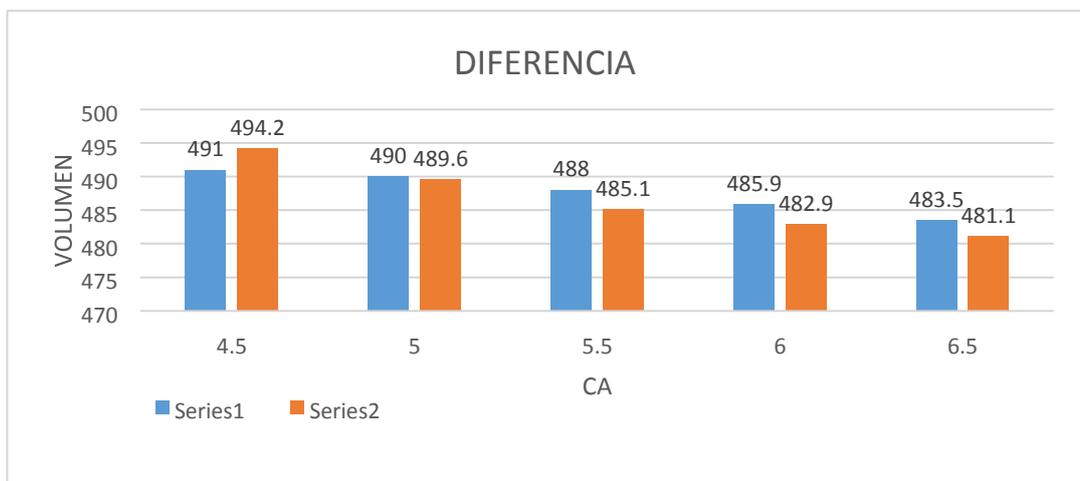
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 25:** Diferencia en volumen de las briquetas.

Porcentajes		Volumen sin caucho	Volumen con caucho
% CA	% caucho	cm3	cm3
4.5	0.5	491	494.2
5	1	490	489.6
5.5	1.5	488	485.1
6	2	485.9	482.9
6.5	0.5	483.5	481.1

Fuente: Elaboración propia

**Grafico 22:** Variación de los volúmenes de las briquetas.



Fuente: Elaboración propia

### 4.3. Prueba de Hipótesis.

Con el propósito de conocer si la incorporación de partículas de caucho reciclado influye en el comportamiento de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión. Se analizó cada una de las hipótesis concernientes a cada indicador utilizado. A partir de ello se utilizó en primer lugar la prueba de normalidad de Shapiro Wilk (ya que se trabaja con menos de 50 datos por distribución). Esto con el propósito de analizar si existe normalidad en las distribuciones analizadas. Si existe normalidad se utiliza la prueba de T de Student de muestras independientes y si no existe normalidad en al menos una de las distribuciones analizadas se utiliza la prueba U de Mann-Whitney.

#### 4.3.1. Análisis de la hipótesis específica 1

##### Indicador Estabilidad

##### Prueba de Normalidad

**Tabla 26:** Prueba de normalidad para el indicador Estabilidad.

	<b>Pruebas de normalidad</b> Formas de administración de la mezcla asfáltica Estadístico	Shapiro-Wilk gl	Sig.
Estabilidad	Sin caucho reciclado 0,927	5	0,576
	Con caucho reciclado 0,959	5	0,799

**Fuente:** Spss

La significancia fue 0,576 en sin caucho reciclado, y 0,799 en con caucho reciclado; es decir, dos resultados mayores al nivel de significancia de 0,05. De manera que se interpreta que existe normalidad en ambas distribuciones analizadas. Por lo cual se debe utilizar la prueba de T de Student de muestras independientes.

### Prueba de T de Student de muestras independientes

- **Hipótesis**

Ho: La incorporación de partículas de caucho reciclado no influye en la estabilidad de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión.

H1: La incorporación de partículas de caucho reciclado influye en la estabilidad de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión.

- **Nivel de significancia**

$\alpha$ : 0,05

- **Regla de rechazo**

Si la significancia (Sig.) <  $\alpha$ : se rechaza la H0

Si la significancia (Sig.) >  $\alpha$ : no se rechaza la H0

- **Resultados**

**Tabla 27:** Estadísticas descriptivas para el indicador Estabilidad.

Estadísticas de grupo					
	Formas de administración de la mezcla asfáltica	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Estabilidad	Sin caucho reciclado	5	1324,5200	78,26900	35,00296
	Con caucho reciclado	5	1849,2000	111,02567	49,65219

Fuente: Spss versión 22

En la tabla se puede observar, a nivel descriptivo, que el promedio para el indicador Estabilidad con caucho es superior al promedio del indicador Estabilidad sin caucho: 1324,52 Kg. < 1849,200 Kg.

**Tabla 28:** Prueba de T de Student de muestras independientes para el indicador Estabilidad

Prueba de muestras independientes										
	Prueba de Levene de igualdad de varianzas	Prueba t para la igualdad de medias								
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Estabilidad	Se asumen varianzas iguales	0,61	0,46	-8,637	8	0,00	-52,468,000	6,074,988	-66,476,946	-38,459,054

Fuente: Spss versión 22

### Decisión

La significancia dio como resultado 0,000, de manera que a un nivel de significancia de 0,05 (margen de error del 5%) se rechaza la hipótesis nula y por ende se puede decir que la incorporación de partículas de caucho reciclado influye en la estabilidad de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión.

### Indicador Flujo

#### Prueba de Normalidad

**Tabla 29:** Prueba de normalidad para el indicador Flujo.

Pruebas de normalidad				
	Formas de administración de la mezcla asfáltica	Estadístico	Shapiro-Wilk	
			gl	Sig.
Flujo	Sin caucho reciclado	0,960	5	0,807
	Con caucho reciclado	0,902	5	0,420

**Fuente: Spss versión 22**

La significancia fue 0,807 en sin caucho reciclado, y 0,420 en con caucho reciclado; es decir, dos resultados mayores al nivel de significancia de 0,05. De manera que se interpreta que existe normalidad en ambas distribuciones analizadas. Por lo cual se debe utilizar la prueba de T de Student de muestras independientes.

**Prueba de T de Student de muestras independientes**

- **Hipótesis**

Ho: La incorporación de partículas de caucho reciclado no influye en el flujo de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión.

H1: La incorporación de partículas de caucho reciclado influye en el flujo de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión.

- **Nivel de significancia**

$\alpha$ : 0,05

- **Regla de rechazo**

Si la significancia (Sig.)  $< \alpha$ : se rechaza la H0

Si la significancia (Sig.)  $> \alpha$ : no se rechaza la H0

- **Resultados**

**Tabla 30:** Estadísticas descriptivas para el indicador Flujo.

Estadísticas de grupo					
Formas de administración de la mezcla asfáltica		N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Flujo	Sin caucho reciclado	5	3,8660	0,90207	0,40342
	Con caucho reciclado	5	4,6800	1,38723	0,62039

Fuente: Spss versión 2

En la tabla se puede observar, a nivel descriptivo, que el promedio para el indicador Flujo con caucho es superior al promedio del indicador Flujo sin caucho: 3,8660 mm < 4,6800 mm.

**Tabla 31:** Prueba de T de Student de muestras independientes para el indicador Flujo.

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Flujo	Se asumen varianzas iguales	2,381	0,16	-1,100	8	0,303	-0,814	0,74002	-252,048	0,89248

Fuente: Spss versión 22

- **Decisión**

La significancia dio como resultado 0,303, de manera que a un nivel de significancia de 0,05 (margen de error del 5%) no se rechaza la hipótesis nula y por ende se puede decir que la incorporación de partículas de caucho reciclado no influye en el flujo de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión.

#### 4.3.2. Análisis de la hipótesis específica 2

Indicador Densidad

## Prueba de Normalidad

**Tabla 32:** Prueba de normalidad para el indicador Densidad.

Pruebas de normalidad				
	Formas de administración de la mezcla asfáltica	Estadístico	Shapiro-Wilk	
			gl	Sig.
Densidad	Sin caucho reciclado	0,956	5	0,778
	Con caucho reciclado	0,859	5	0,225

**Fuente: Spss**

La significancia fue 0,778 en sin caucho reciclado, y 0,225 en con caucho reciclado; es decir, dos resultados mayores al nivel de significancia de 0,05. De manera que se interpreta que existe normalidad en ambas distribuciones analizadas. Por lo cual se debe utilizar la prueba de T de Student de muestras independientes.

## Prueba de T de Student de muestras independientes

- **Hipótesis**

Ho: La incorporación de partículas de caucho reciclado no influye en la densidad de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión.

H1: La incorporación de partículas de caucho reciclado influye en la densidad de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión.

- **Nivel de significancia**

$\alpha$ : 0,05

- **Regla de rechazo**

Si la significancia (Sig.) <  $\alpha$ : se rechaza la H0

Si la significancia (Sig.) >  $\alpha$ : no se rechaza la H0

- **Resultados**

**Tabla 33:** Estadísticas descriptivas para el indicador Densidad.

Estadísticas de grupo					
Densidad	Formas de administración de la mezcla asfáltica	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
		Sin caucho reciclado	5	2,4538	0,01492
	Con caucho reciclado	5	2,4590	0,02376	0,01063

**Fuente: Spss versión 22**

En la tabla se puede observar, a nivel descriptivo, que el promedio para la densidad con caucho es mayor al promedio de la densidad sin caucho  $2,4538 \text{ gr/cc} < 2,4590 \text{ gr/cc}$ .

**Tabla 34:** Prueba de T de Student de muestras independientes para el indicador Densidad.

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Densidad	Se asumen varianzas iguales	0,39	0,55	-0,41	8	0,689	-0,0052	0,01255	-0,0341	0,02373

**Fuente: Spss versión 22**

- **Decisión**

La significancia dio como resultado 0,689, de manera que a un nivel de significancia de 0,05 (margen de error del 5%) no se rechaza la hipótesis nula y por ende se puede decir que la incorporación de partículas de caucho reciclado no influye en la densidad de la mezcla asfáltica

convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca  
Provincia de Daniel Alcides Carrión.

### **Indicador Volumen**

### **Prueba de Normalidad**

### **Decisión**

La significancia dio como resultado 0,689, de manera que a un nivel de significancia de 0,05 (margen de error del 5%) no se rechaza la hipótesis nula y por ende se puede decir que la incorporación de partículas de caucho reciclado no influye en la densidad de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión.

### **Indicador Volumen**

### **Prueba de Normalidad**

**Tabla 35:** Prueba de normalidad para el indicador Volumen.

<b>Pruebas de normalidad</b>				
	Formas de administración de la mezcla asfáltica	Estadístico	Shapiro-Wilk	
			gl	Sig.
Volumen	Sin caucho reciclado	0,961	5	0,814
	Con caucho reciclado	0,944	5	0,692

**Fuente: Spss versión 22**

La significancia fue 0,814 en sin caucho reciclado, y 0,692 en con caucho reciclado; es decir, dos resultados mayores al nivel de significancia de 0,05. De manera que se interpreta que existe normalidad en ambas distribuciones analizadas. Por lo cual se debe utilizar la prueba de T de Student de muestras independientes.

### **Prueba de T de Student de muestras independientes**

H0: La incorporación de partículas de caucho reciclado no influye en el volumen de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión.

H1: La incorporación de partículas de caucho reciclado influye en el volumen de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión.

- **Nivel de significancia**

$\alpha$ : 0,05

- **Regla de rechazo**

Si la significancia (Sig.) <  $\alpha$ : se rechaza la H0

Si la significancia (Sig.) >  $\alpha$ : no se rechaza la H0

- **Resultados**

**Tabla 36:** Estadísticas descriptivas para el indicador Volumen.

<b>Estadísticas de grupo</b>					
	Formas de administración de la mezcla asfáltica	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Volumen	Sin caucho reciclado	5	487,6800	3,04746	1,36286
	Con caucho reciclado	5	486,5800	5,31385	2,37643

**Fuente:** Spss versión 22

En la tabla se puede observar, a nivel descriptivo, que el promedio para el indicador Volumen con caucho es inferior al promedio del indicador Volumen sin caucho: 487,6800 cm<sup>3</sup> > 486,5800 cm<sup>3</sup>.

**Tabla 37:** Prueba de T de Student de muestras independientes para el indicador Volumen.

Prueba de muestras independientes										
	Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias							
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
								Inferior	Superior	
Volumen	Se asumen varianzas iguales	2,253	0,17	0,402	8	0,699	110,000	273,949	-521,727	741,727

Fuente: Spss versión 22

### Decisión

La significancia dio como resultado 0,699, de manera que a un nivel de significancia de 0,05 (margen de error del 5%) no se rechaza la hipótesis nula y por ende se puede decir que la incorporación de partículas de caucho reciclado no influye en el volumen de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión.

### 4.3.3 Análisis de la hipótesis específica 3

#### Indicadores Vacíos

#### Prueba de Normalidad

Tabla 38: Prueba de normalidad para el indicador Vacíos.

Pruebas de normalidad				
	Formas de administración de la mezcla asfáltica	Estadístico	Shapiro-Wilk	
			gl	Sig.
Vacíos	Sin caucho reciclado	0,930	5	0,598
	Con caucho reciclado	0,976	5	0,914

Fuente: Spss versión 22

La significancia fue 0,598 en sin caucho reciclado, y 0,914 en con caucho reciclado; es decir, dos resultados mayores al nivel de significancia de

0,05. De manera que se interpreta que existe normalidad en ambas distribuciones analizadas. Por lo cual se debe utilizar la prueba de T de Student de muestras independientes.

### Prueba de T de Student de muestras independientes

- **Hipótesis**

H<sub>0</sub>: La incorporación de partículas de caucho reciclado no influye en los vacíos de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión.

H<sub>1</sub>: La incorporación de partículas de caucho reciclado influye en los vacíos de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión.

- **Nivel de significancia**

$\alpha$ : 0,05

- **Regla de rechazo**

Si la significancia (Sig.) <  $\alpha$ : se rechaza la H<sub>0</sub>

Si la significancia (Sig.) >  $\alpha$ : no se rechaza la H<sub>0</sub>

- **Resultados**

**Tabla 39:** Estadísticas descriptivas para el indicador % Vacíos.

Estadísticas de grupo					
	Formas de administración de la mezcla asfáltica	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
% Vacíos	Sin caucho reciclado	5	3,6770	1,49762	0,66976
	Con caucho reciclado	5	5,3860	2,30580	1,03119

Fuente: Spss versión 22

En la tabla se puede observar, a nivel descriptivo, que el promedio para el indicador % Vacíos con caucho es mayor al promedio del indicador %Vacíos sin caucho 3,6770% < 5,3860%.

**Tabla 40:** Prueba de T de Student de muestras independientes para el indicador Vacíos.

		Prueba de muestras independientes								
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
% Vacíos	Se asumen varianzas iguales	1,084	0,33	-1,390	8	0,202	-170,900	122,960	-454,447	112,647

**Fuente: Spss versión 22**

### Decisión

La significancia dio como resultado 0,202, de manera que a un nivel de significancia de 0,05 (margen de error del 5%) no se rechaza la hipótesis nula y por ende se puede decir que la incorporación de partículas de caucho reciclado influye en los vacíos de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión.

### Indicador de VMA

### Prueba de Normalidad

**Tabla 41:** Prueba de normalidad para el indicador VMA.

Pruebas de normalidad				
	Formas de administración de la mezcla asfáltica	Estadístico	Shapiro-Wilk	
			gl	Sig.
VMA	Sin caucho reciclado	0,937	5	0,643
	Con caucho reciclado	0,913	5	0,483

Fuente: Spss versión 22

### Prueba T de Student de muestras independientes

- **Hipótesis**

Ho: La incorporación de partículas de caucho reciclado no influye en el VMA de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión.

H1: La incorporación de partículas de caucho reciclado influye en el VMA de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión.

- **Nivel de significancia**

$\alpha$ : 0,05

- **Regla de rechazo**

Si la significancia (Sig.) <  $\alpha$ : se rechaza la H0

Si la significancia (Sig.) >  $\alpha$ : no se rechaza la H0

- **Resultados**

**Tabla 42:** Estadísticas descriptivas para el indicador VMA.

Estadísticas de grupo					
	Formas de administración de la mezcla asfáltica	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
	Con caucho reciclado	5	15,042 0	0,29533	0,13208

Fuente: Spss versión 22

En la tabla se puede observar, a nivel descriptivo, que el promedio para el indicador VMA con caucho es inferior al promedio del indicador VMA sin caucho  $16,8260\% > 15,0420\%$ .

**Tabla 43:** Prueba de T de Student de muestras independientes para el indicador VMA.

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
VMA	Se asumen varianzas iguales	0,06	0,81	10,060	8	0,00	178,400	0,17734	137,505	219,295

Fuente: Spss versión 22

### Decisión

La significancia dio como resultado 0,00, de manera que a un nivel de significancia de 0,05 (margen de error del 5%) se rechaza la hipótesis nula y por ende se puede decir que la incorporación de partículas de caucho reciclado influye en el VMA de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión.

### Indicador VFA

#### Prueba de Normalidad

**Tabla 44:** Prueba de normalidad para el indicador VFA.

Pruebas de normalidad				
Formas de administración de la mezcla asfáltica		Estadístico	Shapiro-Wilk	Sig.
			gl	
VFA	Sin caucho reciclado	0,942	5	0,679
	Con caucho reciclado	0,975	5	0,903

Fuente: Spss versión 22

La significancia fue 0,679 en sin caucho reciclado, y 0,903 en con caucho reciclado; es decir, dos resultados mayores al nivel de significancia de 0,05. De manera que se interpreta que existe normalidad en ambas distribuciones analizadas. Por lo cual se debe utilizar la prueba de T de Student de muestras independientes.

### Prueba T de Student de muestras independientes

- **Hipótesis**

Ho: La incorporación de partículas de caucho reciclado no influye en el VFA de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión.

H1: La incorporación de partículas de caucho reciclado influye en el VFA de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión.

- **Nivel de significancia**

$\alpha$ : 0,05

- **Regla de rechazo**

Si la significancia (Sig.) <  $\alpha$ : se rechaza la H0

Si la significancia (Sig.) >  $\alpha$ : no se rechaza la H0

- **Resultados**

**Tabla 45:** Estadísticas descriptivas para el indicador VFA.

		Estadísticas de grupo			
	Formas de administración de la mezcla asfáltica	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
VFA	Sin caucho reciclado	5	78,0880	9,19163	4,11062
	Con caucho reciclado	5	64,4180	14,75674	6,59941

Fuente: Spss versión 22

En la tabla se puede observar, a nivel descriptivo, que el promedio para el indicador VFA con caucho es inferior al promedio del indicador VFA sin caucho: 64,4180% < 78,0880%.

**Tabla 46:** Prueba de T de Student de muestras independientes para el indicador VFA.

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior	
VFA	Se asumen varianzas iguales	1,124	0,32	1,758	8	0,117	1,367,000	777,493	425,902	3159902

Fuente: Spss versión 22

### Decisión

La significancia dio como resultado 0,117, de manera que a un nivel de significancia de 0,05 (margen de error del 5%) se rechaza la hipótesis nula y por ende se puede decir que la incorporación de partículas de caucho reciclado no influye en el VFA de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión.

#### 4.4. Discusión de resultados.

La significancia dio como resultado 0,000, de manera que a un nivel de significancia de 0,05 (margen de error del 5%) se rechaza la hipótesis nula y por ende se puede decir que la incorporación de partículas de caucho reciclado influye en la estabilidad de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión.

La significancia dio como resultado 0,303, de manera que a un nivel de significancia de 0,05 (margen de error del 5%) no se rechaza la hipótesis nula y por ende se puede decir que la incorporación de partículas de caucho reciclado no influye en el flujo de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión.

La significancia dio como resultado 0,689, de manera que a un nivel de significancia de 0,05 (margen de error del 5%) no se rechaza la hipótesis nula y por ende se puede decir que la incorporación de partículas de caucho reciclado no influye en la densidad de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión.

La significancia dio como resultado 0,699, de manera que a un nivel de significancia de 0,05 (margen de error del 5%) no se rechaza la hipótesis nula y por ende se puede decir que la incorporación de partículas de caucho reciclado no influye en el volumen de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión.

La significancia dio como resultado 0,202, de manera que a un nivel de significancia de 0,05 (margen de error del 5%) no se rechaza la hipótesis nula y por ende se puede decir que la incorporación de partículas de caucho reciclado influye en los vacíos de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión.

La significancia dio como resultado 0,00, de manera que a un nivel de significancia de 0,05 (margen de error del 5%) se rechaza la hipótesis nula y por ende se puede decir que la incorporación de partículas de caucho reciclado influye en el VMA de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión.

La significancia dio como resultado 0,117, de manera que a un nivel de significancia de 0,05 (margen de error del 5%) se rechaza la hipótesis nula y por

ende se puede decir que la incorporación de partículas de caucho reciclado no influye en el VFA de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión.

## CONCLUSIONES

1. De acuerdo al estudio del objetivo general realizado, La incorporación de partículas de caucho reciclado influye en el comportamiento de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión, mejora el comportamiento de la mezcla asfáltica en caliente.
2. La incorporación de partículas de caucho reciclado influye de forma significativa en la resistencia de la mezcla asfáltica convencional solo en el indicador Estabilidad en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión.
3. La significancia dio como resultado 0,000, de manera que a un nivel de significancia de 0,05 (margen de error del 5%) se rechaza la hipótesis nula y por ende se puede decir que la incorporación de partículas de caucho reciclado influye en la estabilidad de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión.
4. La incorporación de partículas de caucho reciclado interviene de forma significativa en los vacíos de la mezcla asfáltica convencional solo en el indicador VMA en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión.
5. Para este trabajo de investigación se utilizó las partículas de caucho que varia el tamaño desde 0.07mm a 4.75mm según el ensayo granulométrico realizado, y tenemos como antecedentes en otras investigaciones anteriores.

## **RECOMENDACIONES**

1. Se debería de crear un centro de investigación que se dedique al estudio de la mezcla asfáltica para los diversos climas que tenemos en nuestro Perú.
2. Realizar más investigaciones disminuyendo el porcentaje de asfalto de la MAC con PCR hasta llegar a valores menos conservadores y poder utilizar aditivos para poder obtener una mejor resistencia.
3. Se alienta a futuras investigaciones, la búsqueda de mejoras en los procesos de granulación de los neumáticos en desuso, consiguiendo equipamiento y logística adecuada para tal fin.
4. El estado debería apoyar en la investigación para encontrar una mezcla asfáltica con residuos, que sea durable y económica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GUAMANQUISPE, Fernanda. Análisis de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas con adición de caucho de llanta reciclado. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, 2017.

CHAMORRO Y CHANCUSI, Estudio de las propiedades mecánicas del asfalto modificado con polvo de caucho reciclado incorporado por vía húmeda y por vía seca frente al asfalto flexible sin modificación, Universidad Central del Ecuador, 2017.

CAHUANA Y LIMAS. Análisis comparativo del comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica modificada con betutec ic + aditivo warmix respecto a la mezcla asfáltica convencional. 2018.

CARRIZALES, José. Asfalto modificado con material reciclado de llantas para su aplicación en pavimentos, Universidad Nacional del Altiplano, Perú, 2015.

CERVERA, Augusto. influencia en las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica incorporando caucho reciclado de neumáticos, cajamarca, Universidad Privada del Norte, Perú, 2016.

DÁVALOS, Ivette Obtención de mezclas asfálticas mediante la adición de material reciclado: poliestireno expandido Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Peru, 2015.

FAJARDO Y VERGARAY. Efecto de la incorporación por vía seca, del polvo de neumático reciclado, como agregado fino en mezclas asfálticas, Universidad San Martín de Porras, Perú, 2014.

[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lii/granados\\_m\\_d/capitulo6.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lii/granados_m_d/capitulo6.pdf)

<http://www.e-asfalto.com/pavimentos/pavimentos.htm>

[http://www.e-](http://www.e-asfalto.com/pavimentos/pavimentos.htm)

[asfalto.com/pavimentos/pavimentos.htm](http://www.e-asfalto.com/pavimentos/pavimentos.htm)

- MAILA, Manuel. Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímero etileno vinil acetato (eva), Universidad Central del Ecuador, 2013.
- MTC. (2013). Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras. Lima: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.
- MTC. (2016). Manual de Ensayo de Materiales. Lima: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.
- ORELLANA, Susana. Análisis del comportamiento y beneficios de las mezclas asfálticas tibias Universidad Nacional de Ingeniería, Peru, 2016.
- RAMÍREZ, Náyade. Estudio de la utilización de caucho de neumáticos en mezclas asfálticas en caliente mediante proceso seco, Universidad de Chile, 2006.
- RAMÍREZ, Marco. Evaluación de compatibilidad de mezclas asfálticas, utilizando agregados de la cantera san martin con cemento asfaltico pen60/70 y emulsión asfáltica css-1hp, Universidad Privada Antenor Orrego Trujillo – Perú, 2015.
- RODRIGUEZ, Karina. Mejora de una mezcla asfáltica drenante con adición de caucho e icopor, Pontificia Universidad Javierana Bogotá, Colombia, 2005.
- TERREROS Y CARVAJAL. Análisis de las propiedades mecánicas de un concreto convencional adicionando fibra de cáñamo, Universidad Católica de Colombia, 2016.
- VALDERRAMA, Santiago. Pasos para elaborar proyectos de investigación científica. Lima: Editorial San Marcos, 2014, 495 p. ISBN: 9786123028787
- HERNADEZ, Roberto, FERNADEZ, Roberto y BAPTISTA, Pilar. Metodología de la Investigacion. 6.<sup>a</sup> ed. México: Edamsa Impresiones, 2014. 634 pp.ISBN 9701057538.

## **ANEXOS**

## Anexos 01: Instrumentos de Recolección de Datos

### Resultado de los ensayos del agregado grueso

Ensayos	Normas	Mtc	Resultados
Análisis Granulométrico por tamizado	MTC E 204 y ASTM D422		Cumple con las especificaciones
Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso	N.T.P. 400.021 y ASTM C127	Absorción Max: 1%	0.78%
Abrasión de los Ángeles al Desgaste de los Agregados	MTC E 207-2000 y ASTM C131	Max : 40%	11%
Porcentaje de Caras Fracturadas	ASTM – D5821 / MTC E- 210	85/50	95.9% / 89.8%
Porcentaje de Partículas Chatas y Alargadas	MTC E 223 y ASTM D4791	Max : 10%	3.90%
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	18% máx.	3.30%
Adherencia de los agregados	MTC E 206	95	95

**Fuente: Elaboración propia**

### Resultado de los ensayos del agregado fino.

Ensayos	Normas	MTC	Resultados
Equivalente de arena	MTC E 114	60	61%
Límites de consistencia (Malla N° 40)	MTC E 111	32NP	NP
Índice de plasticidad (Malla N° 200)	MTC E 111	4 max	1%
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209		2.40%
Gravedad específica	MTC E 205		263.00%

Absorción	MTC E 205	0.5% max	1.33%
Adherencia de los agregados	MTC E 220	4 min	Cumple con las especificaciones

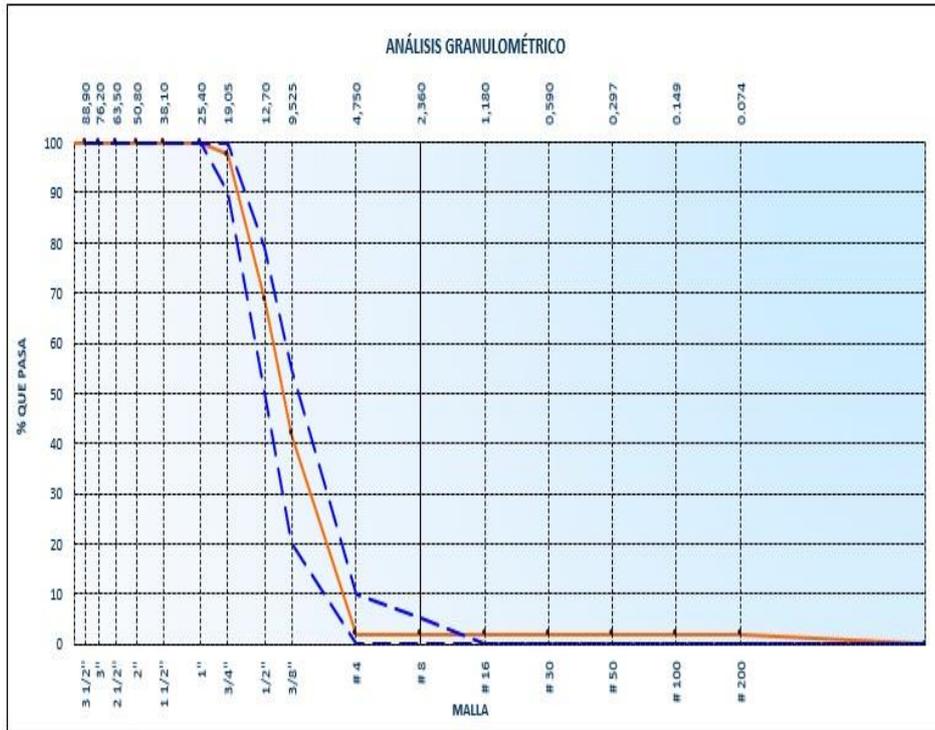
Fuente: Elaboración propia

### Agregado grueso

		AGREGADO GRUESO			
	Malla	Peso Ret. (gr)	Peso Ret. (%)	Peso Ret. Acum. (%)	% Pasa Acum.
3/4"	19.05 mm	224.00	2.38	2.38	97.62
1/2"	12.70 mm	2714.00	28.89	31.28	68.72
3/8"	9.53 mm	2530.00	26.93	58.21	41.79
#4	4.75 mm	3738.00	39.80	98.01	99.54
#8	2.36 mm	0.00	0.00	98.01	86.83
#16	1.18 mm	0.00	0.00	98.01	66.82
#30	0.59 mm	0.00	0.00	98.01	48.33
#50	0.30 mm	0.00	0.00	98.01	33.76
#100	0.15 mm	0.00	0.00	98.01	21.17
#200	0.07 mm	0.00	0.00	98.01	13.26
Fondo		187.00	1.99	100.00	0.00
PESO TOTAL		9393.00			

Fuente: Elaboración propia

### Curva del Agregado grueso.



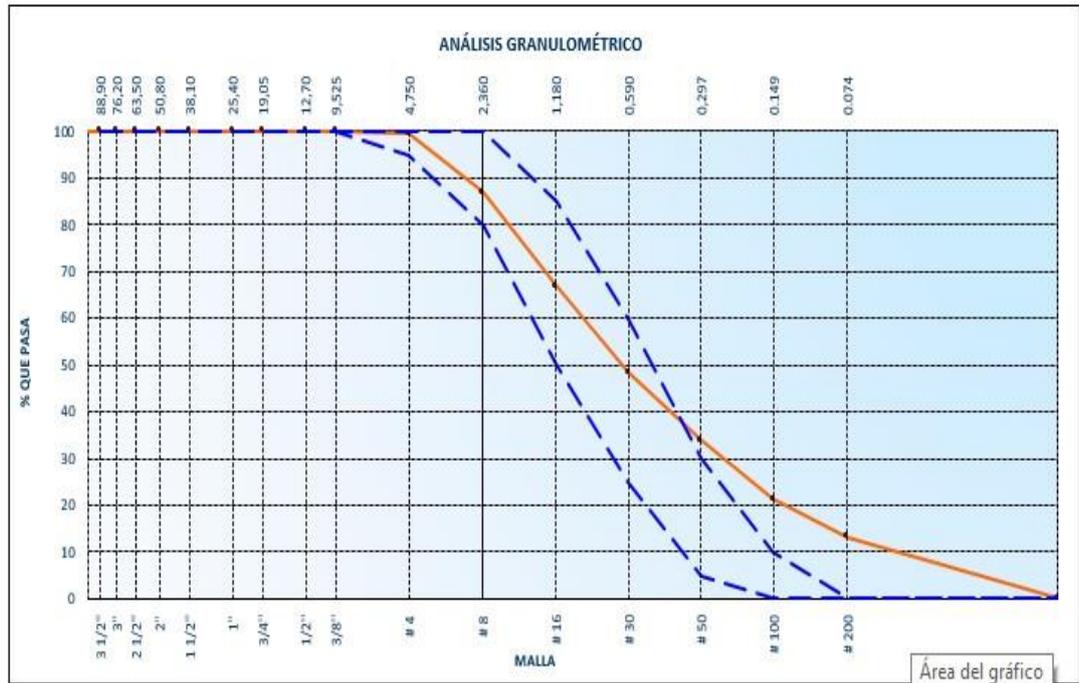
Fuente: Elaboración propia

### Agregado Fino

	Malla	Peso Ret. (gr)	Peso Ret. (%)	Peso Ret. Acum. (%)	% Pasa Acum.
#4	4.75 mm	4.40	0.46	0.46	99.54
#8	2.36 mm	120.70	12.71	13.17	86.83
#16	1.18 mm	190.00	20.01	33.18	66.82
#30	0.59 mm	175.60	18.49	51.67	48.33
#50	0.30 mm	138.20	14.56	66.24	33.76
#100	0.15 mm	119.60	12.59	78.83	21.17
#200	0.07 mm	75.10	7.91	86.74	13.26
Fondo		125.90	13.26	100.00	0.00
PESO TOTAL		949.60			

Fuente: Elaboración propia

## Granulometría



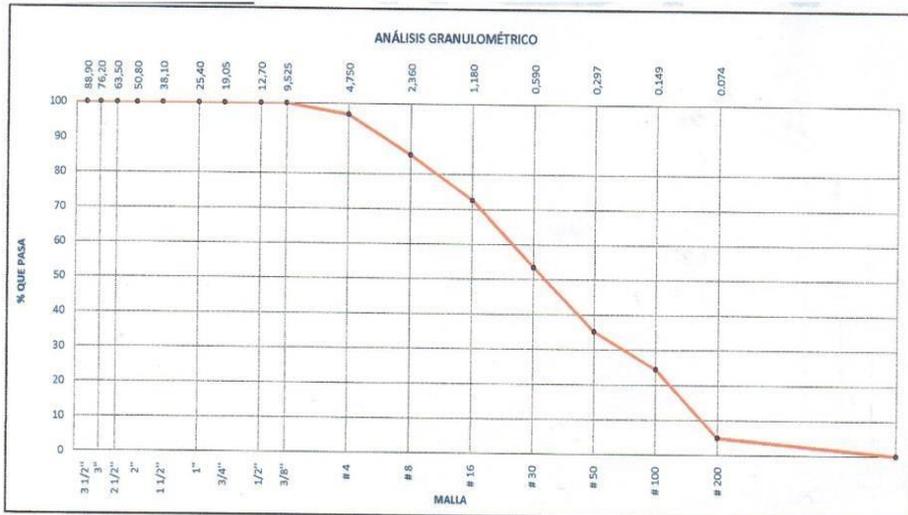
Fuente: Elaboración propia

## Granulometria del caucho.

		CAUCHO				
	Malla	Peso Ret. (gr)	Peso Ret. (%)	Peso Ret. Acum. (%)	% Pasa Acum.	
	<b>#4</b>	4.75 mm	<b>32.40</b>	3.08	3.08	86.92
	<b>#8</b>	2.36 mm	<b>120.50</b>	11.46	14.54	85.46
	<b>#16</b>	1.18 mm	<b>135.20</b>	12.66	27.39	72.61
	<b>#30</b>	0.59 mm	<b>201.30</b>	19.14	46.53	53.47
	<b>#50</b>	0.30 mm	<b>192.40</b>	18.29	64.83	35.17
	<b>#100</b>	0.15 mm	<b>112.00</b>	10.65	75.48	24.52
	<b>#200</b>	0.07 mm	<b>205.60</b>	19.55	95.03	4.97
	<b>Fondo</b>		<b>53.20</b>	4.97	100.00	0.00
	<b>PESO TOTAL</b>		<b>1051.70</b>			

Fuente: Elaboración propia

## Granulometría del caucho.



Fuente: Elaboración propia

## Agregados para el MAC convencional.

Porcentaje de asfalto	4.5%	5%	5.5%	6%	6.5%
Peso de asfalto	54	60	66	72	78
Peso de piedra	458.4	456	453.6	451.2	392.4
Peso de arena	687.6	684	680.4	676.8	729.6
Peso de filler					
Peso de briqueta	1200	1200	1200	1200	1200

Fuente: Elaboración propia, 2018.

**Cuadro Ensayo Marshall para 4.5% C.A sin PCR.**

ITEM	NUMERO DE PROBETAS	CA al 4.5 %			Prom.
		1	2	3	
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	4.5	4.5	4.5	4.5
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	38.2	38.2	38.2	38.2
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	57.3	57.3	57.3	57.3
4	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.018	1.018	1.018	1.0
5	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO	2.73	2.734	2.734	2.7
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.82	2.82	2.82	2.8
7	ALTURA DE LA BRIQUETA (cm)	6.16	6.15	6.19	6.2
8	ALTURA PROMEDIO		6.2		
9	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1197.5	1195.2	1198.8	1197.2
10	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA (g)	1206.8	1204.8	1205.5	1205.7
11	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	715	714	715	714.7
12	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g) 12-11	9.3	9.6	6.7	8.5
13	VOLUMEN DE BRIQUETA (cm³) 12-	491.8	490.8	490.5	491.0
14	13	2.435	2.435	2.444	2.438
15	PESO ESPECIFICO DE LA BRIQUETA 11/15	2.57	2.57	2.57	2.570
16	<b>PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041</b> % DE VACÍOS DE AIRE (%) ((17-16)/17)*100	5.256	5.245	4.901	5.134
17	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³) (2+3+4)/(2/6+3/7)	2.787	2.787	2.787	2.787
18	% VMA 100- (16*95.5)/19	16.555	16.546	16.243	16.45
19	% DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. ((21-18)/(21))*100	68.255	68.302	69.826	68.794
20	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(1+2+3+4/17)-(1/5)	2.769	2.769	2.769	2.769
21	% ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL 100*((2320)*(5))/(20*23)	-0.235	-0.235	-0.235	-0.235
22	% DE ASFALTO EFECTIVO (%) 1-(24*%agreg)/100	4.735	4.735	4.735	4.735
				2.9	

23	FLUJO (mm)	2.6	2.2	1239	2.57
24	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1250	1226	1239	1238
25	FACTOR DE ESTABILIDAD	1	1.04		1
26	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1250	1275	1239	1255
27	INDICE DE RIGIDEZ	480.6	579.8	427.4	495.9

Fuente: Agustín Robles, 2018

### Cuadro Ensayo Marshall para 5% C.A sin PCR.

ITEM	NUMERO DE PROBETAS	CA al 5.0 %			Prom.
		4	5	6	
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	5.0	5.0	5.0	5.0
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	38.9	38.9	38.9	38.9
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	56.1	56.1	56.1	56.1
4	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.018	1.018	1.018	1.0
5	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO	2.734	2.734	2.734	2.7
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.82	2.82	2.82	2.8
7	ALTURA DE LA BRIQUETA (cm)	6.16	6.19	6.17	6.2
8	ALTURA PROMEDIO		6.2		
9	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)			1198.3	1197.4
10	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA (g)	1197.6	1196.2	1205.6	1207.1
11	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	1207.2	1208.5	716	717.0
12	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	12-11	712	723	9.7
13	VOLUMEN DE BRIQUETA (cm³)	12-13	9.6	12.3	490.1
14	PESO ESPECÍFICO DE LA BRIQUETA		495.2	485.5	
15	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041		2.418	2.448	2.443
16	% DE VACÍOS DE AIRE (%) ((17-16)/17)*100		2.464	2.569	2.569
17	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³) (2+3+4)/(2/6+3/7)		2.569	2.569	2.569
18	% VMA 100-(16*95.5)/19	17.530	15.981	16.538	16.683
19	% DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. ((21-18)/(21))*100	66.563	74.388	71.405	70.785
20	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(1+2+3+4/17)-(1/5)	2.793	2.793	2.793	2.793
21	% ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL 100*((23-20)*(5))/(20*23)	0.093	0.093	0.093	0.093
22	% DE ASFALTO EFECTIVO (%) 1-(24*%agreg)/100	4.907	4.907	4.907	4.907

23	FLUJO (mm)	3.2	3.6	3.4	3.40
24	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1273	1356	1347	1325
25	FACTOR DE ESTABILIDAD			1.04	1.04
26	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)			1324	1410
27	INDICE DE RIGIDEZ	413.6	391.6	412.1	405.8

Fuente: Agustín Robles, 2018.

### Cuadro Ensayo Marshall para 5.5% C.A sin PCR.

ITEM	NUMERO DE PROBETAS	CA al 5.5 %			Prom.
		7	8	9	
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	5.5	5.5	5.5	5.5
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	37.8	37.8	37.8	37.8
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	56.7	56.7	56.7	56.7
4	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.018	1.018	1.018	1.0
5	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO	2.734	2.734	2.734	2.7
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.82	2.82	2.82	2.8
7	ALTURA DE LA BRIQUETA (cm)	6.18	6.13	6.17	6.2
8	ALTURA PROMEDIO		6.2		
9	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)			1195.5	1196.6
10	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA (g)	1197.7	1196.6	1205.7	1204.5
11	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	1203.2	1204.6	717	716.3
12	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	12-11	717	715	7.9
13	VOLUMEN DE BRIQUETA (cm³)	12-13	5.5	8.0	488.2
14	PESO ESPECIFICO DE LA BRIQUETA 11/15	486.2	489.6	488.7	2.451
15	PESO ESPECIFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2.463	2.444	2.446	2.552
16	% DE VACÍOS DE AIRE (%) ((17-16)/17)*100	2.552	2.552	2.552	2.552
17	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³) (2+3+4)/(2/6+3/7)	3.472	4.231	4.142	3.948
18	% VMA	2.787	2.787	2.787	2.787
19	% DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. ((2118)/(21))*100	100-(16*95.5)/19	16.464	17.121	17.044
20	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(1+2+3+4/17)-(1/5)	78.911	75.289	75.696	76.632
21	% ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL 100*((23-20)*(5))/(20*23)	2.797	2.797	2.797	2.797
		0.139	0.139	0.139	0.139

22	% DE ASFALTO EFECTIVO (%) $1 - \frac{24 \cdot \% \text{agreg}}{100}$	5.361	5.361	5.361	5.361
23	FLUJO (mm)	4.20	3.80	4.10	4.03
24	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1365	1366	1355	1362
25	FACTOR DE ESTABILIDAD	1.04	1.04		1.04
26	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1419	1420	1.04 1409	1416.3
27	INDICE DE RIGIDEZ	338.0	373.8	343.7	351.8

Fuente: Agustín Robles, 2018.

### Cuadro Ensayo Marshall para 6% C.A sin PCR.

ITEM	NUMERO DE PROBETAS	CA al 6.0 %			Prom.
		10	11	12	
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	6	6	6	6
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	32.9	32.9	32.9	34.5
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	61.1	61.1	61.1	59.5
4	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.018	1.018	1.018 2.734	1
5	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO	2.734	2.734		2.7
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.82	2.82	2.82	2.8
7	ALTURA DE LA BRIQUETA (cm)	6.16	6.19	6.19	6.2
8	ALTURA PROMEDIO		6.2		
9	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1194.6	1196.2	1197.7	1196.2
10	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA (g)	1205.4	1205.2	1204.2	1204.9
11	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	719	717	721	719.0
12	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g) 12-11	10.8	9.0	6.5	8.8
13	VOLUMEN DE BRIQUETA (cm³) 12-13	486.4	488.2	483.2	485.9
14	PESO ESPECÍFICO DE LA BRIQUETA 11/15	2.456	2.450	2.479	2.462
15	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2.535	2.535	2.535	2.535
16	% DE VACÍOS DE AIRE (%) $((17-16)/17) \cdot 100$	3.116	3.344	2.222	2.894
17	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³) $(2+3+4)/(2/6+3/7)$	2.789	2.789	2.789	2.789
18	% VMA $100 - (16 \cdot 95.5)/19$	17.232	17.427	16.468	17.042
19	% DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. $((21-18)/(21)) \cdot 100$	81.916	80.810	86.510	83.078
20	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL $(2+3+4)/(1+2+3+4/17) - (1/5)$	2.801	2.801	2.801	2.801
21	% ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL $100 \cdot ((23-20) \cdot (5))/(20 \cdot 23)$	0.159	0.159	0.159	0.159

22	% DE ASFALTO EFECTIVO (%) $1 - (24 * \% \text{agreg}) / 100$	5.841	5.841	5.841	5.841
23	FLUJO (mm)	4.8	5.2	4.5	4.83
24	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1191	1179	1482	1284
25	FACTOR DE ESTABILIDAD	1.04	1.04	1.04	1.04
26	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1239	1227	1553	1339.7
27	INDICE DE RIGIDEZ	317.7	278.8	345	313.8

Fuente: Agustín Robles, 2018.

### Cuadro Ensayo Marshall para 6.5% C.A sin PCR.

ITEM	NUMERO DE PROBETAS	CA al 6.5 %			Prom.
		13	14	15	
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	6.5	6.5	6.5	6.5
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	32.7	32.7	32.7	32.7
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	60.8	60.8	60.8	60.8
4	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.018	1.018	1.018	1.0
5	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO	2.734	2.734	2.734	2.7
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.82	2.82	2.82	2.8
7	ALTURA DE LA BRIQUETA (cm)	6.19	6.17	6.15	6.2
8	ALTURA PROMEDIO		6.2		
9	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1197.7	1195.9	1196.3	1196.6
10	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA (g)	1205.4	1203.8	1204.3	1204.5
11	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	721	719	723	721.0
12	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g) 12-11	7.7	7.9	8.0	7.9
13	VOLUMEN DE BRIQUETA (cm³) 12-13	484.4	484.8	481.3	483.5
14	PESO ESPESIFICO DE LA BRIQUETA 11/15	2.473	2.467	2.486	2.475
15	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2.513	2.513	2.513	2.513

16	% DE VACÍOS DE AIRE (%) ( (17-16)/17)*100)	1.610	1.839	1.092	1.514
17	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³) (2+3+4)/(2/6+3/7)	2.791	2.791	2.791	2.791
18	% VMA 100-(16*95.5)/19	17.175	17.368	16.739	17.094
19	% DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. ((21-18)/(21))*100	90.627	89.412	93.477	91.172
20	PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(1+2+3+4/17)-(1/5)	2.799	2.799	2.799	2.799
21	% ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL 100*((2320)*(5))/(20*23)	0.098	0.098	0.098	0.098
22	% DE ASFALTO EFECTIVO (%) 1-(24*%agreg)/100	6.402	6.402	6.402	6.402
23	FLUJO (mm)			4.6	4.50
24	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	4.7	4.2	1289	1214
25	FACTOR DE ESTABILIDAD	1100	1254	1.04	1.0
26	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1057	1304	1341	1233.9
27	INDICE DE RIGIDEZ	224.9	310.5	291.4	275.6

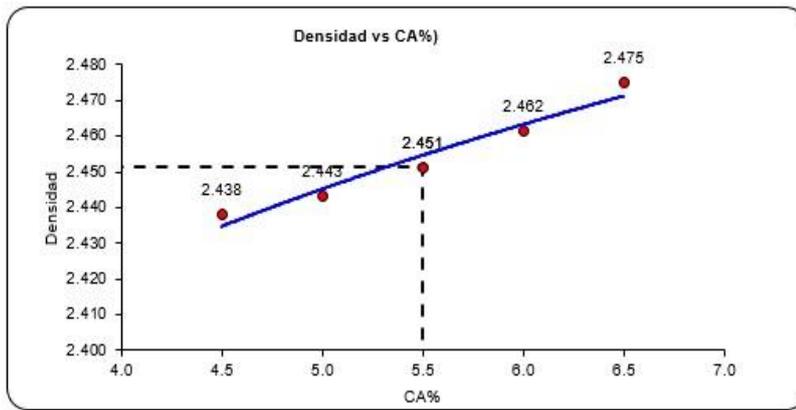
Fuente: Agustín robles, 2018.

#### Datos de la mezcla convencional.

Asfalto 60/70	Densidad	% Vacíos	VMA	VFA	Estabilidad	Flujo
%	gr/cc	%	%	%	Kg	mm
4.5	2.438	5.134	16.45	68.79	1255	2.57
5	2.443	4.895	16.68	70.78	1378	3.40
5.5	2.451	3.948	16.87	76.63	1416	4.03
6	2.462	2.894	17.04	83.07	1339.7	4.83
6.5	2.475	1.514	17.09	91.17	1233.9	4.50

Fuente: Elaboración propia

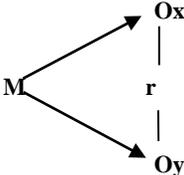
#### Variación de la densidad con respecto al % CA.



Fuente: Elaboración propia, 2018

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

### CAUCHO RECICLADO EN COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN EL DISTRITO DE YANAHUANCA PROVINCIA DE DANIEL ALCIDES CARRIÓN - 2022

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	SISTEMA DE VARIABLES	METODOLOGÍA
<p><b>PROBLEMA PRINCIPAL:</b> ¿De qué manera la incorporación de partículas de caucho reciclado mejora el comportamiento de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión - 2022?</p> <p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS:</b> ¿Cómo influye la incorporación de partículas de caucho reciclado en la resistencia de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión - 2022?</p>	<p><b>OBJETIVO PRINCIPAL:</b> Determinar en qué manera la incorporación de partículas de caucho reciclado mejora el comportamiento de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión - 2022</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</b> Analizar cómo influye la incorporación de partículas de caucho reciclado en la resistencia de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión - 2022.</p>	<p><b>HIPÓTESIS PRINCIPAL:</b> La incorporación de partículas de caucho reciclado influye en el comportamiento de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión - 2022.</p> <p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:</b> La incorporación de partículas de caucho reciclado influye en la resistencia de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión - 2022.</p> <p>La incorporación de partículas de caucho reciclado contribuye en el ensayo de compresión de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión - 2022.</p>	<p><b>Variable Independiente</b> Agregando caucho reciclado</p> <p><b>Variable Dependiente:</b> Comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica</p>	<p><b>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</b> <b>Tipo:</b> Descriptivo</p> <p><b>Nivel:</b> Correlacional <b>Diseño:</b> No experimental.</p> <div style="text-align: center;">  <pre> graph TD     M --&gt; Ox     M --&gt; Oy     Ox --- r --- Oy             </pre> </div> <p><b>Dónde:</b> M = Muestra. O = Observación. x= Agregando caucho reciclado y= Comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica</p> <p><b>Población</b> La Población de estudio para el presente proyecto de investigación está determinada por las 33 briquetas de mezcla asfáltica, de las cuales se realizarán los diferentes ensayos a los agregados normado por el MTC</p> <p><b>Muestra</b></p>

<p>¿Cómo contribuye la incorporación de partículas de caucho reciclado en el ensayo de compresión de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión - 2022?</p> <p>¿Cómo interviene la incorporación de partículas de caucho reciclado en los vacíos de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión - 2022?</p>	<p>Evaluar como interviene la incorporación de partículas de caucho reciclado en el ensayo de compresión de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión - 2022.</p> <p>Demostrar como contribuye la incorporación de partículas de caucho reciclado en los vacíos de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión - 2022.</p>	<p>La incorporación de partículas de caucho reciclado interviene en los vacíos de la mezcla asfáltica convencional en pavimentos flexibles en el Distrito de Yanahuanca Provincia de Daniel Alcides Carrión - 2022.</p>		<p>El estudio que se realizará en 30 briquetas de mezcla asfáltica en caliente, de las cuales 15 briquetas se le adicionara con contenidos de asfalto de 4.5%,5%,5.5%,6%,6.5%,7% y 15 briquetas de mezcla asfáltica con incrementos de 0.5%, 1%,1.5%.2%,2.5% y 3% de caucho de las cuales serán 03 briquetas por cada contenido de Asfalto de acuerdo a la norma ASTM 1559.</p> $n = \frac{32.94}{1 + \frac{(0.05^2)(32.94 - 1)}{(1.96^2) \times (0.5)(0.5)}} = 30.41$ <p>El caucho reciclado será adquirido por el estudiante, en la cual se realizará la granulometría del tamaño inferior al tamiz #4 al #200, adjuntando el polvo más fino proveniente del triturado de neumáticos. Las cuáles serán ensayados en la Prensa Marshall, según especificaciones.</p>
--	--	---	--	---