



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Aplicación de policarbonato bisfenol-a en la CU-105, para  
mejorar su comportamiento físico y mecánico del pavimento  
flexible, Cusco - 2023

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**  
**Ingeniero Civil**

**AUTOR:**

Mora Romero, Ronald Rodrigo (orcid.org/0000-0002-8605-8793)

**ASESOR:**

Dr. Cancho Zúñiga, Gerardo Enrique (orcid.org/0000-0002-0684-5114)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de Infraestructura Vial

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA - PERÚ

2024



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, CANCHO ZUÑIGA GERARDO ENRIQUE, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CALLAO, asesor de Tesis titulada: "Aplicación de policarbonato bisfenol-a en la CU-105, para mejorar su comportamiento físico y mecánico del pavimento flexible, Cusco - 2023", cuyo autor es MORA ROMERO RONALD RODRIGO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 19%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 26 de Junio del 2024

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
CANCHO ZUÑIGA GERARDO ENRIQUE DNI: 07239759 ORCID: 0000-0002-0684-5114	Firmado electrónicamente por: CANCHOZUNIGA el 29-08-2024 12:14:53

Código documento Trilce: TRI - 0774325



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**Declaratoria de Originalidad del Autor**

Yo, MORA ROMERO RONALD RODRIGO estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CALLAO, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Aplicación de policarbonato bisfenol-a en la CU-105, para mejorar su comportamiento físico y mecánico del pavimento flexible, Cusco - 2023", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
RONALD RODRIGO MORA ROMERO DNI: 70032186 ORCID: 0000-0002-8605-8793	Firmado electrónicamente por: MORRONAL13 el 26- 06-2024 12:32:52

Código documento Trilce: TRI - 0774328

## DEDICATORIA

La presente investigación se la dedico a mi hijo y a mis padres quienes fueron mi principal apoyo en mi vida hasta el día de hoy para lograr así mis objetivos y mis metas como profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer a nuestro creador Dios por darnos la sabiduría y la fuerza para realizar la investigación que me conducirá a mi meta de obtener el título profesional. Por otro lado, quiero expresar mi gratitud al Dr. Gerardo Enrique, Cancho Zúñiga mi asesor e impulsor del presente estudio, quien me brindó conocimiento y apoyo incondicional. La Universidad César Vallejo es muy apreciada por permitirme llevar a cabo esta investigación y cumplir con mi objetivo de graduarme como profesional.

## Índice de contenidos

Carátula.....	i
Declaratoria de autenticidade del assessor.....	ii
Declaratoria de autenticidade del autor.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento.....	v
Índice de contenidos.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. MÉTODOLÓGÍA.....</b>	<b>5</b>
<b>III. RESULTADOS.....</b>	<b>11</b>
<b>IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>77</b>
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>82</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>84</b>
REFERENCIAS .....	85
ANEXOS.....	88

## RESUMEN

En esta investigación titulada “Aplicación de Policarbonato de Bisfenol como Aditivo para Mejorar su Comportamiento Físico y Mecánico de un Pavimento Flexible en Caliente, Cusco 2023”. El estudio actual es de tipo aplicado y tiene un diseño experimental descriptivo que utiliza un enfoque cuantitativo para manipular variables. Esto se debe a que el objetivo del estudio es encontrar características, propiedades u otros fenómenos que puedan analizarse, ya que el pavimento mixto asfáltico es mejor en agregados, combinaciones y/o mezclas de agregados gruesos y agregados naturales, con un cemento asfáltico que puede ser PEN 120/150 u otros que existen en el mercado, el resultado es un producto que puede adaptarse mejor al tráfico de vehículos y a las diferentes condiciones climáticas. En este contexto, es necesario preservar el pavimento antiguo incorporando policarbonato (bis-phenol-a) a una mezcla asfáltica como aditivo, debido al deterioro de las superficies de las carreteras que es causado por defectos de calidad en los materiales utilizados, por lo que es necesario aplicar nuevos materiales, como el policarbonato (bis-phenol-a), que mejoran el comportamiento físico y mecánico del pavimento, ayudando así al medio ambiente.

El resultado máximo de densidad del CD residual de las mezclas asfálticas que contienen policarbonatos de Bisphenol o BPA fue de 2,37 (gr/cm<sup>3</sup>) con una adición de polímero del 5.00%, y se puede visualizar que los valores que al final se obtuvieron son inferiores a lo normal. La muestra de mezcla asfáltica tiene un valor numérico máximo de 1,112(gramos por centímetro cuadrado). Cada mezcla asfáltica tiene una buena estabilidad, que se muestra en libras superior a la estabilidad de las mezclas asfálticas convencionales. La dosis ideal de cemento asfáltico es del 6,00%, lo que indica una mejora del 1,92% en la estabilidad de la mezcla asfáltica con policarbonato de bisfenol (CD residual). Esto es muy importante para las combinaciones asfálticas utilizadas en condiciones de calor. En términos de datos, es un valor sin significado significativo.

**Palabras clave:** Densidad, estabilidad, flujo al incorporar policarbonato de bisfenol.

## **ABSTRACT**

In this research entitled “Application of Bisphenol Polycarbonate as an Additive to Improve its Physical and Mechanical Behavior of a Hot Flexible Pavement, Cusco 2024”. The current study is of an applied type and has a descriptive experimental design that uses a quantitative approach to manipulate variables. This is because the objective of the study is to find characteristics, properties or other phenomena that can be analyzed, since the mixed asphalt pavement is better in aggregates, combinations and/or mixtures of coarse aggregates and natural aggregates, with an asphalt cement that can be PEN 120/150 or others that exist in the market, the result is a product that can better adapt to vehicle traffic and different climatic conditions. In this context, it is necessary to preserve the old pavement by incorporating polycarbonate (bis-phenol-a) to an asphalt mix as an additive, due to the deterioration of road surfaces that is caused by quality defects in the materials used, so it is necessary to apply new materials, such as polycarbonate (bis-phenol-a), which improve the physical and mechanical behavior of the pavement, thus helping the environment.

The maximum density result (residual CD) of the asphalt mixtures containing Bisphenol A or BPA polycarbonates was 2.37 (gr/cm<sup>3</sup>) with a polymer addition of 5.00%, and it can be seen that the values obtained at the end are lower than normal. The asphalt mix sample has a maximum numerical value of 1.112 (grams per square centimeter). Each asphalt mix has a good stability, which is shown in pounds superior to the stability of conventional asphalt mixes. The ideal asphalt cement dosage is 6.00%, which indicates a 1.92% improvement in the stability of the asphalt mix with bisphenol polycarbonate (residual CD). This is very important for asphalt blends used in hot conditions. In terms of data, it is a value without significant meaning.

Keywords: Density, stability, flow by incorporating bisphenol polycarbonate.

## I. INTRODUCCIÓN

El pavimento flexible es un componente esencial de la infraestructura vial que enfrenta desafíos constantes debido a factores como el tráfico pesado, las condiciones climáticas y el desgaste natural. En este contexto, la presente investigación hará los ensayos necesarios para ver si mejora las propiedades físicas y mecánicas de los pavimentos. La conservación de este material se ha convertido en una prioridad absoluta por tanto se busca incorporar materiales para que mejore la durabilidad y el rendimiento de los pavimentos que hoy en día existen en el mercado nacional. El policarbonato bisfenol-A (residuos de cd) ha demostrado tener propiedades que podrían ser beneficiosas para mejorar la resistencia y durabilidad del pavimento flexible. Su aplicación en este contexto específico busca brindar soluciones innovadoras para los desafíos actuales que enfrenta la CU-105, que es una vía regional en Cusco. **A nivel internacional**, según el artículo publicado por **(Singh y Mittal, 2019, p.91)**, se realizó un estudio experimental para determinar la eficacia del uso de residuos plásticos para el mejoramiento de los suelos que contiene finos en un gran porcentaje. Este análisis examinó muestras que contenían diferentes cantidades de plástico reciclado (0%, 0,5%, 1% y 1,5% del peso del suelo seco) cortadas en tiras de 5 mm x 3 mm. Los hallazgos de la investigación indican que la adición de desechos plásticos contribuye significativamente al aumento de la densidad seca máxima (MSD), el contenido de humedad óptimo (OMC) y, en cierta medida, la resistencia a la compresión libre (UCS). Según informes y publicaciones ambientales recientes, se ha observado un aumento significativo en la fabricación de materiales basados en polímeros, que son producidos a partir del reciclaje de botellas de plástico, residuos de CD, llantas, etc. Todo ello ha dado lugar a una abundante fuente de desechos no orgánicos, destacando el incremento en la acumulación de plásticos desechables en diferentes partes del mundo. Según un informe de la, la creciente cantidad de desechos plásticos ha llevado a la aparición de empresas dedicadas al reciclaje y la transformación de estos materiales (OECD, 2022, p.14). En concordancia con lo expresado por **(Álvarez, 2016, p.42)**, es fundamental comprender que el mantenimiento, la prevención y la rehabilitación de carreteras son esenciales para prolongar la vida útil de los pavimentos flexibles y reducir su impacto en los costos

a largo plazo. Empresas privadas han introducido productos innovadores relacionados con la mejora del pavimento flexible y rígido. Estas soluciones se ajustan a las regulaciones vigentes para revestimientos de concreto y asfalto y se caracterizan por su simplicidad y facilidad de uso. **A nivel nacional**, la modificación del asfalto con polímeros es un método alternativo para mejorar el desempeño y la durabilidad del asfalto en caliente. Este método implica la integración de polímeros en asfaltos convencionales para mejorar sus propiedades mecánicas y físicas. Su objetivo es reducir los efectos causados por condiciones climáticas y el tráfico vehicular, prolongando la vida útil de las carreteras. Esta modificación ha destacado por su capacidad para mantener altos niveles de rendimiento a lo largo del tiempo, al tiempo que disminuye los costos de mantenimiento y operación durante varios años (**Infante y Vásquez, 2016, p.35**). Por otro lado, se incorporaron polímeros para modificar el asfalto. Este enfoque representa un método distinto utilizado con el propósito de mejorar la durabilidad de las carreteras pavimentadas con asfalto en caliente. Incluye la incorporación de polímeros en la producción de asfalto mediante métodos tradicionales para mejorar sus propiedades mecánicas y físicas. El siguiente proceso busca reducir los daños causados tanto por las condiciones climáticas como por el tráfico vehicular, los autores también mencionan el tiempo de vida útil de las carreteras en servicio (**Sañac Vilca y Quisoe Serrano, 2019, p.5**), este PET triturado se obtuvo a partir de plástico PET reciclado que había sido procesado en instalaciones de reciclaje. Los resultados del estudio muestran que agregar PET reciclado de varios tamaños (9,50 mm a 0,075 mm) el valor CBR aumenta significativamente en proporciones adecuadas, especialmente un 5% con respecto al peso seco del suelo. (Índice de soporte de California). Este valor aumentó del 3,4% original al 7,8%, un aumento significativo del 129%, mientras que la expansión disminuyó del 1,1% al 0,6%, correspondiente a una disminución del 45%. **A nivel local**, los principales problemas con los pavimentos de asfalto son su deterioro, lo que reduce su vida útil. Los pavimentos se deterioran como resultado del tránsito diario en la zona. Las mezclas de pavimentos asfálticos son una capa de rodadura hecha de agregados pétreos y cemento asfáltico. Una de sus funciones es brindar a los usuarios de la CU-105 conseguir una superficie de rodamiento cómoda y segura, así como un producto que sea más resistente al tránsito de vehículos y a las variaciones climáticas. Debido al deterioro de las

superficies de las carreteras causado por materiales de baja calidad, es necesario aplicar nuevos materiales como el policarbonato (bis-phenol-a), que mejoran el comportamiento físico y mecánico del pavimento y ayudan al medio ambiente. Por lo tanto, es necesario preservar el pavimento existente con policarbonato (bis-phenol-a) agregando una mezcla asfáltica en caliente como aditivo. Teniendo en cuenta lo anterior se plantea lo siguiente, Aplicación de policarbonato bisfenol-a en la CU105, para mejorar su comportamiento físico y mecánico del pavimento flexible, Cusco - 2023, como **Problema General** tenemos: **¿De qué manera la aplicación de policarbonato bisfenol-a como aditivo, influirá en su comportamiento físico y mecánico de un pavimento flexible, Cusco 2023?** Además, se tiene como **Problemas Específicos**: la primera: ¿De qué manera la aplicación de policarbonato de bisfenol o BPA (cd residual) en la CU-105 influirá en el comportamiento físico del pavimento flexible en caliente? La segunda: ¿De qué manera la aplicación de policarbonato de bisfenol O BPA (cd residual) en la CU105 influirá en el comportamiento mecánico del pavimento flexible en caliente? La tercera: ¿De qué manera influirá en el comportamiento del pavimento flexible la dosificación del policarbonato de bisfenol O BPA (cd residual) en la CU-105? Se tiene las siguientes justificaciones, **Justificación** que sustenta un análisis de las mezclas asfálticas utilizando productos plásticos para su uso in situ, los materiales utilizados para aplicar el policarbonato de bisfenol o cd residual y cómo estos materiales juegan un papel importante en la creación de una mezcla ideal, económica y amigable con el medio ambiente. Se propuso el uso del policarbonato de bisfenol (cd residual) en las mezclas asfálticas porque tiene las características físicas y mecánicas requeridas para su uso con estos materiales. Estos materiales pueden ser utilizados en el departamento del Cusco a futuro. Las ciudades ubicadas cerca de las carreteras principales no pueden desarrollarse económicamente porque estas rutas de transporte por la presencia de fallas en la carpeta de rodadura y baches profundos, todo debido a un mantenimiento insuficiente, lo que dificulta la libre circulación y el flujo del transporte público y privado. **Justificación Teórica**, debido a la necesidad de mejorar las propiedades, la durabilidad y la resistencia del pavimento, se busca ampliar el conocimiento con la incorporación de materiales plásticos reciclados, residuos de CD, en la composición del asfalto. El siguiente enfoque busca maximizar las propiedades del

pavimento utilizando nuevas técnicas que utilizan plásticos reciclados, el Ministerio del Ambiente MAE, (2015) señala que según la reforma del texto común del tomo 6 de actos jurídicos secundarios, el manejo integrado de residuos sólidos se refiere a las disposiciones y/o normas del reglamento, Capítulo 6, Sección 1, artículo 55. Normas para la gestión de desechos sólidos, sus características de composición de las normas son la base para su formulación, volumen y costos, incluyendo disposición, reciclaje, comercio o destino. **Justificación Metodológica**, la investigación hasta este punto guarda coherencia con los procedimientos y problemáticas de la investigación con los efectos que ocasionan el envejecimiento en el asfalto de la zona y la búsqueda de un elemento que sea compatible con este para minimizar el daño ocasionado en la estructura del pavimento. **Justificación Práctica**, el desecho de CD después de ser triturado, convertido en polvo y separado de los materiales que lo componen puede tener una variedad de usos. Las características físicas y mecánicas que presenta para su uso en mezclas asfálticas podrían utilizarse en la vía de intervención y en el departamento en el futuro. **Justificación Social**, esta investigación indica que el reciclaje de desechos plásticos puede ser utilizado e implementado mediante un proceso de corte y trituración para mejorar las carreteras, al mismo tiempo que aumenta la conciencia entre los residentes de la zona sobre el aumento de la contaminación y las posibilidades de reutilización de estos desechos de CD en la construcción civil, en busca de mejorar su comportamiento físico y mecánico, así conseguir una mezcla más amigable con el medio ambiente, el policarbonato de bisfenol-a (cd residual), un material reciclado que contribuye a la descontaminación ambiental y su producción es más económica y rentable que otros productos, ofrece otra alternativa para mejorar la calidad del servicio de las carreteras a un precio económico y ecológico.

Y para implementar todo lo sugerido el **objetivo general es:** Determinar y analizar si la aplicación del policarbonato (BPA) residuo de CD en la CU-105 mejorar las propiedades físicas y mecánicas de un pavimento flexible, Cusco 2023. Es como se presenta en los siguientes **objetivos específicos:** **1)** Evaluar el comportamiento físico al aplicar policarbonato de bisfenol o BPA(cd residual) en la CU-105, para mejorar su comportamiento físico del pavimento flexible en caliente, Cusco 2023. **2)** Evaluar el comportamiento al aplicar policarbonato de bisfenol o BPA (cd

residual) en la CU-105, para mejorar su comportamiento mecánico del pavimento flexible en caliente, Cusco 2023. **3)** Determinar si la dosificación 5%, 5.5% y 6% de policarbonato de bisfenol (cd residual) en la CU-105, mejora su comportamiento físico y mecánico del pavimento flexible en caliente, Cusco 2023.

Y para lograr todo ello se desarrolló la **Hipótesis general:** la incorporación de policarbonato de bisfenol O BPA (cd residual) en la CU-105, que mejoraran las propiedades físicas y mecánicas de un pavimento flexible, Cusco 2023. La **Hipótesis Nula:** la incorporación de policarbonato de bisfenol O BPA (cd residual) en la CU-105, que no mejoraran las propiedades físicas y mecánicas de un pavimento flexible, Cusco 2023. Las **Hipótesis Específicas: 1)** la aplicación de policarbonato de bisfenol O BPA (cd residual) en la CU-105 influirá para mejorar su comportamiento físico del pavimento flexible en caliente, Cusco 2023. **2)** la aplicación de policarbonato de bisfenol (cd residual) en la CU-105 influirá para mejorar su comportamiento mecánico del pavimento flexible en caliente, Cusco 2023. **3)** Determinar si la dosificación 5%, 5.5% y 6% de policarbonato de bisfenol (cd residual) en la CU-105, mejora su comportamiento físico y mecánico del pavimento flexible en caliente, Cusco 2023.

## II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo y diseño de investigación

- Tipo de investigación

**De acuerdo con el propósito,** según **Lozada (2014)**, el objetivo de la investigación aplicada es comprender las consecuencias de la aplicación inmediata del conocimiento en situaciones que ocurren en el sector social o productivo. Se basa en los resultados científicos de la investigación original, pero conecta la teoría con el producto.

Esta investigación tiene como objetivo evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los pavimentos termoplásticos que incorporan policarbonato de bisfenol (CD residual) al asfalto.

**Según Nivel de investigación,** tiene un alcance descriptivo porque explica la relación de causa y efecto entre dos variables, según el nivel de investigación.

**De acuerdo con su enfoque o naturaleza de la investigación, la investigación** Batista, Fernández y Hernández (2014) el objetivo de la investigación cuantitativa es analizar situaciones a través de cálculos numéricos y tablas y gráficos. La investigación es cuantitativa porque procesará información con características observables y medibles, para lo que se utilizarán pruebas estadísticas como elementos numéricos; se analizarán y cuantificarán para describir masa, resistencia y otros elementos para obtener información detallada. Los hallazgos ayudaron a establecer el propósito del estudio y determinar el nivel de resistencia de los pavimentos flexibles que incorporaban plástico reciclado en la carretera CU-105, tramo Calca – Lares, en la Provincia de Calca – Cusco.

- **Diseño de Investigación**

Este estudio, de acuerdo a Hernández, Fernández y Batista (2014), permite observar los efectos potenciales de las causas manipuladas. El estudio fue observacional y manipuló la variable dependiente utilizando policarbonato de bisfenol A (residuo de CD) para determinar los cambios en las propiedades físico-mecánicas del recubrimiento flexible.

Las diferentes medidas son longitudinales porque se registran más de una vez, por tanto, la investigación actual adopta un enfoque de diseño experimental, ya que se pretende analizar la reacción de las variables ante la incorporación de material reciclado de plástico y comparar su resistencia a la flexión en ambos diseños de pavimento distintos, así mismo, se caracteriza por su naturaleza de corte transversal, dado que se llevará a cabo durante un intervalo de tiempo definido.

## 2.2. Variables, Operacionalización

### Variable Dependiente

Y. Aplicación del Policarbonato de Bisfenol

- **Definición conceptual:** Es una técnica tradicional que mejora el comportamiento físico y mecánico del asfalto, lo que mejora el comportamiento de la carpeta de rodadura.

- **Definición operacional:** Se realizarán ensayos de laboratorio para evaluar sus propiedades físicas y mecánicas. La operacionalización de variables es un sistema que define las variables hipotetizadas y las divide en indicadores para verificar la existencia de la hipótesis. (Borja, 2012).

### **Variables Independiente**

X1. Comportamiento físico

X2. Comportamiento mecánico

- **Definición conceptual:** Es un material con alta composición de polímeros termoplásticos que son obtenidas al calentar el policarbonato de bisfenol (residuos de cd) a temperaturas controladas de 70°C.

Según Cuba (2017) planteo en su investigación que: “Es una evaluación vial para identificar el deterioro que afecta al pavimento y a los usuarios y comprender el estado en el que se encuentra.” (p.67).

- **Dimensiones:** Dosificación del policarbonato de bisfenol o bpa(residuos de cd).
- **Indicadores:** 5%, 5.5% y 6%

## **2.3. Población, muestra y muestreo**

### **2.3.1. Población**

“Una población es un grupo de personas u objetos de interés para un estudio en particular. Los estudios en poblaciones grandes son difíciles de llevar a cabo porque medirlas todas tomaría demasiado tiempo. Por lo tanto, las muestras deben analizarse”. (Castro, 2019).

El mencionado por el autor Castro en nuestro presente estudio se aproxima al concepto de población, se considera como población el número total de bloques de asfalto agregados incorporando policarbonato de bisfenol-a, en la cu-105, tramo Calca – Lares, en la Provincia de Calca - Cusco.

### **2.3.2. Muestra.**

“Un subconjunto o parte de una población que tiene los mismos rasgos generales que la población que se está estudiando se denomina muestra. Una

vez más, esto se calcula mediante la aplicación de una fórmula lógica". (Condori, 2020)

Según Hernández Sampieri (2010, p. 173), un "subconjunto de la población que debe estar previamente establecido y servir como población informadora consultiva" se refiere al patrón. El patrón o muestra tradicional para tomar este vistazo sería en la carretera CU-105, tramo Calca – Lares, en la Provincia de Calca – Cusco.

### **2.3.3. Muestreo**

Según esto (MATA, 1997, p. 19), el muestreo se utiliza para seleccionar muestras de aditivos de toda la población. "Consiste en un estricto conjunto de reglas, métodos y estándares para seleccionar elementos duros y rápidos que reflejen lo que está sucediendo en la población en su conjunto". No se consideró una técnica estadística para determinar la muestra debido al tipo de estudio.

### **2.3.4. Unidad de Análisis.**

Para esta investigación, se utilizará una briqueta de asfalto como unidad de medida y/o análisis.

## **2.4 Técnica e instrumento de recolección de datos**

Según Fidias (2012), hay varias formas de recopilar información. Por lo tanto, este estudio utilizará la observación.

Descubra sistemas de datos que utilizan métodos y mecanismos de recopilación de datos que los analistas pueden usar. Esto nos permitirá comprender mejor las unidades de nuestras observaciones.

Observación

Revisión documental

Mediante el primer enfoque que es la observación, se examinarán las modificaciones realizadas en las muestras de estudio, evaluando las disparidades entre los dos tipos de pavimento. El segundo método analizará los registros disponibles que contengan información sobre la composición de la carreta y el proceso de pavimentación en la cu-105 en Cusco.

**Instrumento:** Un formulario de recopilación de datos dedicado permitirá la recopilación de datos proporcionados por el Laboratorio Central de MTC en función de dimensiones como la consistencia, el porcentaje de vacíos, la volatilidad, entre otras. (variables independientes) y potencialmente la capacidad de trabajar, la resistencia y los huecos (variables dependientes) (consultar Anexos 1 a 5). Los procedimientos estandarizados del MTC se utilizan para verificar la validez y la confiabilidad de estos hallazgos.

**Recolección de información:** Estos dispositivos se convierten en vías materiales por las cuales los investigadores acumulan y recopilan datos estadísticos. Las pruebas utilizadas en este estudio pueden incluir hojas de recopilación de datos y controles de laboratorio basados en consistencia, estabilidad, porcentaje de vacíos (variables independientes) y mecanizado, tolerancia y construcción del método AASHTO (variables dependientes) (ver Apéndices 1-4).

**Validez:** "Utilizando métodos decisivos, la prueba consiste en la representación de la herramienta de evaluación: "Los expertos (que lo utilizan o controlan de forma segura) pueden racionalizar y evaluar el dispositivo y solicitar nuevas formas en el software". (Rivas Clotte, 2012, p. 185).

**Confiabilidad:** Según (Hernández Sampieri, 2010 p. 201), La confiabilidad, según él, "se refiere al grado en que un dispositivo produce resultados estables y consistentes".

Las tareas en profundidad tienen investigaciones obtenidas utilizando fuentes auténticas como fuente de validez, esta tarea será completamente confiable porque incluirá artículos y estudios inusuales y una buena forma de monitorear el desempeño, similar a las investigaciones.

"Implica el estudio de métodos que permiten describir en detalle lo que sucede en un argumento implícito, por lo tanto, los comentarios se pueden combinar con varios observadores, ya sean evaluadores o observadores, para priorizar el valor y el progreso. Por lo tanto, la confiabilidad no refleja el grado de similitud del argumento con la investigación actual y las fuentes de mejora e investigación viables. (Hidalgo C, 2006, pág. 127).

El personal capacitado y el equipo adecuado pueden llevar a cabo equipos y actualizar la información y una serie de objetos que intentan recolectar datos del terreno, y luego pueden completar el trabajo para resolver los desafíos necesarios. Alternativamente, el personal capacitado puede evaluar previamente y revisar los formularios de configuración.

## **2.5. Procedimiento**

Se llevó a cabo una exploración in-situ para determinar el tipo de material utilizado y el tipo de falla que requerirá la investigación actual. Además, se llevarán a cabo pruebas de laboratorio en un pavimento flexible construido con materiales reciclados para mostrar los hallazgos en tablas y gráficos.

## **2.6. Aspectos éticos**

La investigación actual en este artículo respeta la autoría de las fuentes, se adhiere a reglas, valores y principios éticos, respeta los derechos de autor y de propiedad intelectual y es una colección de revistas, libros y artículos. Nuevamente, vale la pena mencionar que esto se hace de acuerdo con las reglas de estilo ISO 690. Durante el desarrollo del estudio se respetó el medio ambiente y se siguieron los estándares marcados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Determinación de los sitios de muestreo

Para la presente investigación el material a utilizar cumple con las normas y especificaciones técnicas actuales vigentes del presente año, las cuales se muestran a continuación y son necesarias e importantes para el correcto desarrollo de la presente investigación, una parte de los materiales a utilizar existen en la frontera de CUSCO con APURIMAC en la localidad de Cunyac (Apurímac), de la planta de asfalto de Plan COPESCO.



Fuente: Elaboración propia

#### Ubicación

Los agregados y el asfalto utilizados en esta investigación se encuentran en las áreas de Huambutio y Huacarpay en el distrito de Huasao en la provincia de Cusco, departamento de Cusco a  $13^{\circ}36'03.58''$  S y  $71^{\circ}43'40.88''$  O, a una elevación de 3091 msnm.

Figura 3.1. La planta de asfalto se encuentra en un lugar geográfico específico.  
(PLAN COPESCO)



Fuente: Google Earth

### **Descripción del tipo de material**

Los agregados a utilizar pueden ser grava (3/4") y de (1/2"), gravilla (3/8") y arena que son extraídos del río Apurímac en su totalidad son chancados para la provisión de material para el gobierno regional del Cusco (Plan COPESCO), los mismos que se utilizan en varios proyectos de inversión y construcción en la ciudad debido a sus buenas propiedades físicas y mecánicas.

### **Se toma una muestra de agregados pétreos.**

Se utilizó el método de cuarteo para recolectar una muestra de material de agregado triturado, que consistió en grava (3/4") y de (1/2"), gravilla (3/8") y arena del inventario de la planta asfáltica de Plan COPESCO propiedad del Gobierno Regional del Cusco.

Figura 3.2. Realizar la recolección de muestras



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.3. Realizar la recolección de muestras



Fuente: Elaboración propia

### **Características de los agregados pétreos**

En el laboratorio de materiales de construcción, se realizaron ensayos con agregados pétreos y cemento asfáltico "INVERSIONES ASPHALT CUSCO E.I.R.L.

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO” y otros ensayos se realizaron en los laboratorios del GOBIERNO REGIONAL CUSCO (Plan COPESCO) en las áreas de hormigón y pavimentos de los laboratorios de asfalto.

### **agregados piedras gruesas y finas**

Los ensayos de áridos gruesos y finos están normados por la ASTM o su equivalente en las normas AASHTO, y los resultados de los ensayos deben cumplir con las especificaciones generales para el mejor diseño de mezclas asfálticas.

## **3.2. Caracterización del agregado pétreo**

### **3.2.1. Ensayo granulométrico según las normas (ASTM C-136) (AASHTO T-27)**

El objetivo de este método de prueba es calcular la distribución del tamaño de las partículas de agregado grueso y fino en el material mediante el uso de un tamiz con aberturas cuadradas de tamaño decreciente. Este método también se puede utilizar con tamices redondos de laboratorio, pero no es adecuado para áridos en mezclas asfálticas.

Cualquier proceso manual o mecánico para separar las partículas de agregados por tamaño para comprender cómo cada tamaño afecta el peso de los agregados se conoce como granulometría de agregados o análisis de tamaño de partículas. Para la separación por tamaños, utilice rejillas con diferentes aperturas para permitir el tamaño máximo de agregado en cada rejilla. En realidad, representa el peso de cada categoría principal en cada agregado. En la práctica, el peso de cada dimensión se muestra como el porcentaje retenido en cada cuadrícula en relación con la muestra total. Dado que cada cuadrícula representa el valor del material, estos porcentajes ahorrados se calculan de forma parcial y acumulativa en cada cuadrícula. (dimensiones de la partícula).

Los tamaños de prueba de detección comúnmente utilizados para proyectos de inversión en carreteras son 2 1/2”, 2”, 1 1/2”, 1”, 3/4”, 1/2”, 3/8” pulgadas cuadradas para partículas grandes, No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No. 100, No. 200 son los tamaños de malla de las partículas más pequeñas por pieza en bruto. El porcentaje de material que queda como relleno en el tamiz número 100. El porcentaje de material que pasa la malla 100 pero permanece en la malla 200 se

conoce como agregado fino. Las impurezas, los limos y las arcillas que pasan por un tamiz de malla 200 se denominan materiales finos.

Se llevaron a cabo tres ensayos de granulometría para los diferentes agregados utilizados: arena natural, arena chancada y piedra chancada. Los resultados obtenidos de cada agregado fueron presentados como promedio.

Figura 3.3. Se examina la granulometría de los agregados.



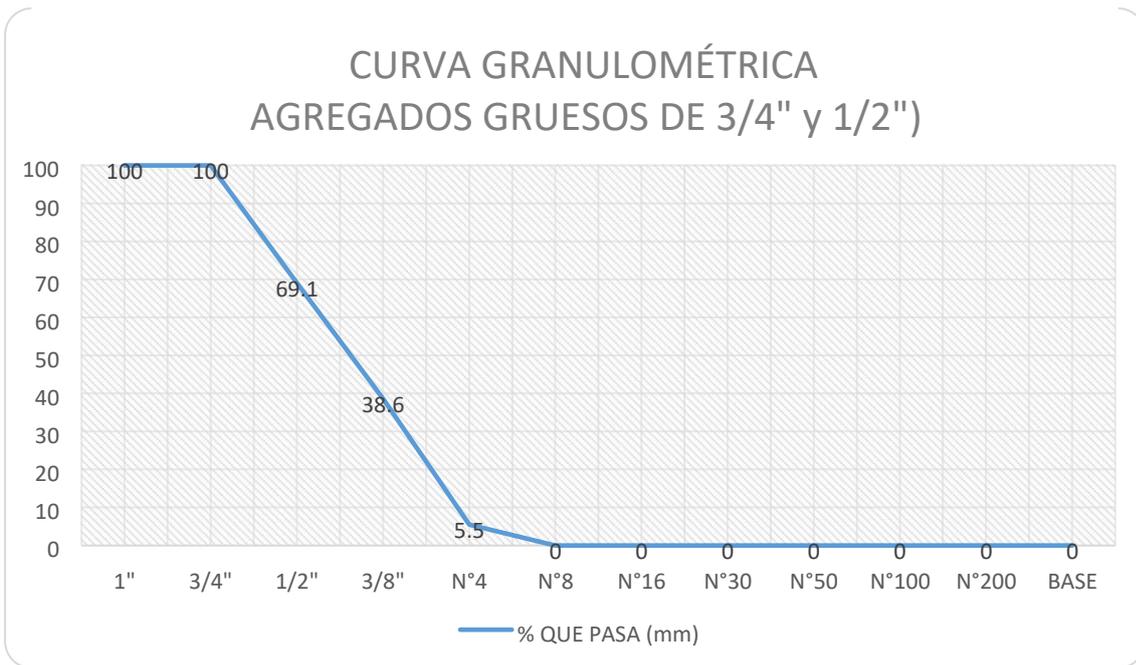
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.1. La granulometría típica del agregado grueso (arena natural, arena chancada o piedra chancada) según las normas MTC E 204 y ASTM D4-3515

CURVA TEORICA										
Tamiz		% QUE PASA			(% ) RETENIDO			SUMATORIA	ESPECIFICACIONES ASTM D4 - 3515	
					Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena Natural			
pulg.	mm.	Piedra Chancada	Arena Chancada	NATUR AL	40.00%	30.00%	30.00%	MEZCLA	Min	Máx
1"	25	100	100	100	40	30	30		100	100
3/4"	19	100	100	100	40	30	30	100	90	100
1/2"	12.5	69.1	99	100	27.6	29.7	30	87.3		
3/8"	9.5	38.6	97.7	100	15.4	29.3	30	74.8	56	80
Nº 4	4.75	5.5	88	90.9	2.2	26.4	27.3	55.9	35	- 65
Nº 08	2.36	0	56.7	77.9	0	17	23.4	40.4	23	- 49
Nº 16	1.19	0	39.9	63.4	0	12	19	31		
Nº 30	0.6	0	29.3	40.7	0	8.8	12.2	21		
Nº 50	0.3	0	20.7	17.5	0	6.2	5.3	11.5	5	- 19
Nº 100	0.15	0	14.2	8.2	0	4.3	2.5	6.7		
Nº 200	0.075	0	10.3	5.4	0	3.1	1.6	4.7	2	- 8
Tamaño máximo del agregado					pulg.	3/4"				
Tamaño máximo nominal del agregado					pulg.	1/2"				

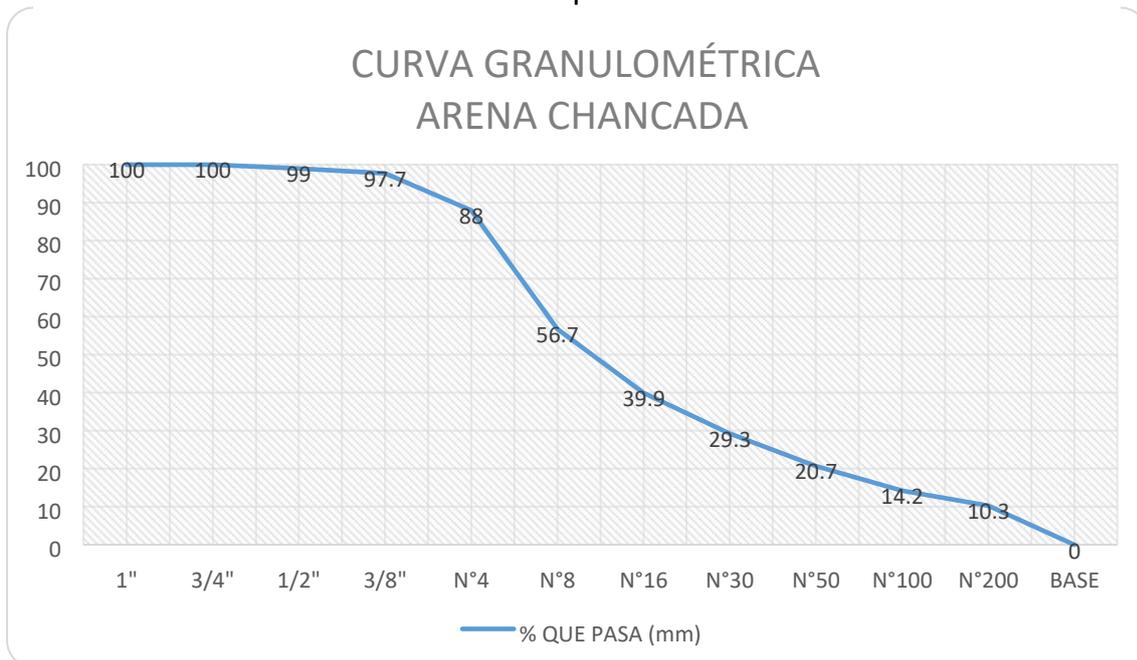
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.1. Representación de la curva granulométrica de agregados como grueso 3/4" y 1/2"



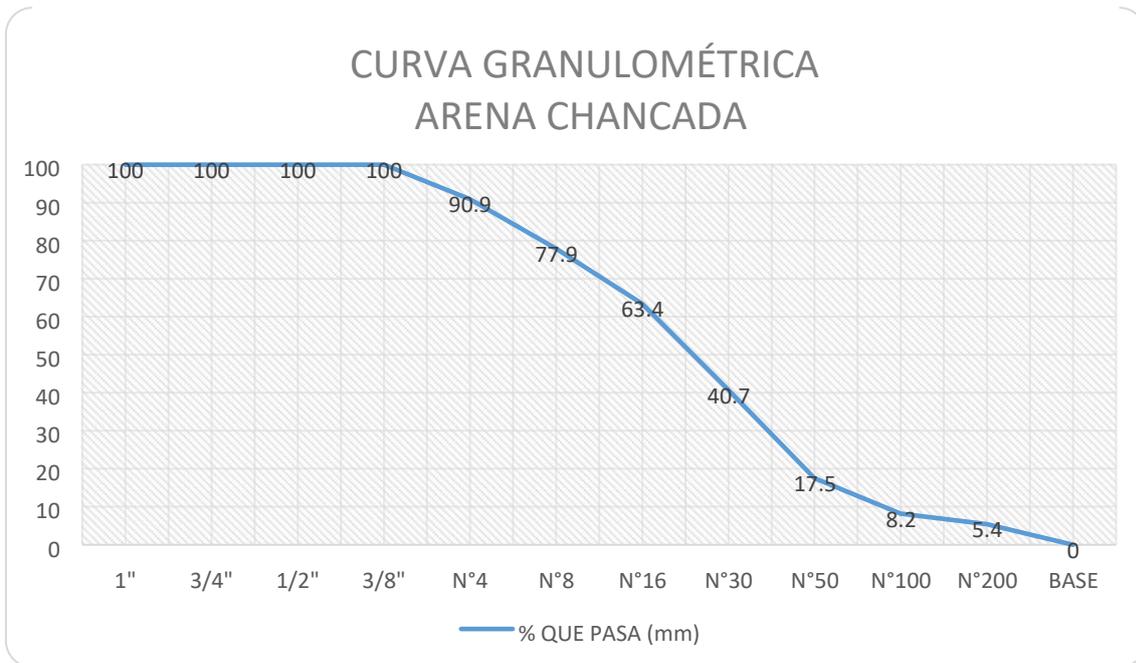
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.2. Granulometría promedio arena chancada



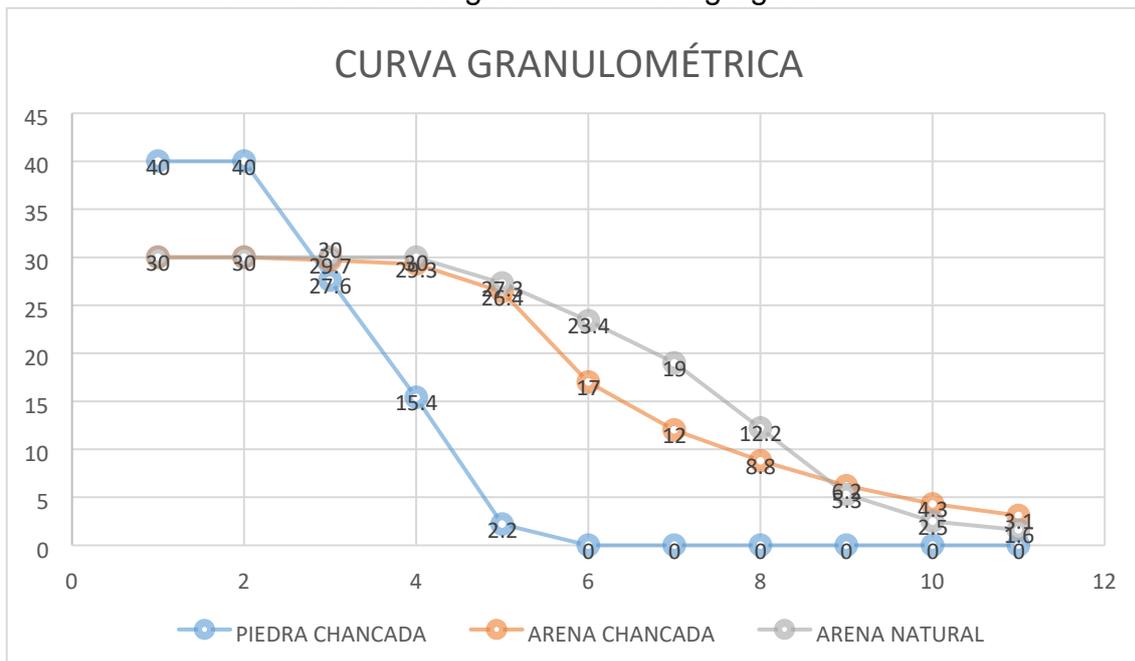
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.3. Curva granulometrica de partícula de agregados finos (arena natural)



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.4. Curva granulométrica agregado



Fuente: Elaboración propia

**3.2.2. Los ensayos de absorción de agua y peso específico del agregado grueso se realizaron tres veces según las normas (ASTM C-127) (AASHTO T-85).**

Esta prueba proporciona un método para medir la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de un agregado grueso. Se tomaron medidas de gravedad específica en grava de 3/4", 1/2" y 3/8" para esta prueba.

Primero, se lava la muestra con agua hasta que se elimine completamente el polvo u otras materias extrañas que se habían adherido a la superficie de las partículas. Luego, se seca en una estufa a 100 a 110 grados centígrados.

Después, se sumergió en agua durante 24 horas, las partículas se secaron sobre un paño y se calculó el peso de la muestra (s.s.) cuando estaba saturada con la superficie seca. Después, la muestra se colocó en una canasta de metal y luego se colocó en una cesta de metal. El peso se mide inmergiéndolo en agua a 25 °C.

Figura 3.5. Agregado saturado 24 horas antes de la masa seca superficial



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.4. Datos del ensayo de gravedad específica: absorción de agregados

<b>AGREGADO GRUESO (gr.)</b>

IDENTIFICACIÓN					
A	Peso Material. Sat. Sup. Seca (en Aire)	2421.00	2502.00		
B	Peso Material. Sat. Sup. Seca (en Agua)	1504.00	1554.00		
C	Vol. de Masas + Vol. de Vacíos = A-B	917.00	948.00		
D	Peso Mat. Seco en estufa (105°)	2410.00	2490.00		
E	Volumen de Masa = C - ( A-D )	906.00	936.00		
	Pe Bulk (Base seca) =D/C	2.628	2.627		2.627
	Pe Bulk (Base Saturada) =A/C	2.640	2.639		2.64
	Pe Aparente (Base seca) = D/E	2.660	2.66		2.66
	% Absorción =(( A-D ) / D ) x 100	0.460	0.48		0.47

Fuente: Elaboración propia

### Cálculos:

$$\text{Peso específico Bulk (base saturada)} = \frac{A}{\dots B}$$

$$\text{Peso específico Bulk (base saturada)} = \frac{2421.0}{1504.0}$$

$$\text{Peso específico a granel} = 2.640 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso específico Bulk (base saturada)} = \frac{A}{\dots B}$$

$$\text{Peso específico Bulk (base saturada)} = \frac{2502.0}{1554.0}$$

$$\text{Peso específico a granel} = 2.63924 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso específico sobre una superficie seca saturada} = \frac{B}{B - C}$$

$$\text{Peso específico sobre una superficie seca saturada} = \frac{5000.10}{5000.10 - 3077}$$

**Peso específico saturado con superficie seca = 2.60 gr/cm<sup>3</sup>**

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{A - C}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{4946}{4946 - 3077}$$

**Peso específico aparente = 2.65 gr/cm<sup>3</sup>**

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{B - A}{A} * 100$$

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{(5000.10 - 4946)}{4946} * 100$$

**% de Absorción = 1.09 gr/cm<sup>3</sup>**

Tabla 3.5. Resultados de la muestra de ensayo de peso específico para el agregado: (grueso 3/4")

Muestra N°	Peso esp. (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso esp. saturado C/ superfisie seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso esp. aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	Porcentaje De absorción
01	02.57	02.60	02.65	01.09
02	02.64	02.67	02.72	01.12
03	02.62	02.65	02.71	01.22
<b>Promedio</b>	<b>02.61</b>	<b>02.64</b>	<b>02.69</b>	<b>01.15</b>

Fuente: Elaboración propia

El mismo procedimiento de cálculo se realizó en el agregado grueso de (3/8") Tabla 3.6. Los resultados del ensayo de peso específico se muestran a continuación, para el agregado grueso (3/8")

Muestra nº	Peso muestra secada "a"  (gr)	Peso muestra saturada con sup. seca "b"  (gr)	Peso muestra saturada dentro del agua "c"  (gr)	Peso específico a granel  (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico saturado con sup. seca  (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico aparente  (gr/cm <sup>3</sup> )	%  De absorción
01	4941.30	5000.20	3121.00	02.63	02.66	02.71	01.19
02	4929.80	5000.00	3108.00	02.61	02.64	02.71	01.42
03	4937.57	5000.00	3114.00	02.62	02.65	02.71	01.26
Promedio				02.62	02.65	02.71	01.29

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.3. Ensayo de peso específico y absorción de agregados finos de acuerdo con las normas vigentes (AASHTO T84) y (ASTM C-128)

El perfil de densidad del agregado seco sirve como punto de referencia para calcular la gravedad específica requerida para las proporciones de agregado, asfalto y huecos utilizados en el método de diseño.

Tabla 3.7. Ensayo de peso específico para agregado fino (Arena)

Muestra nº	Peso muestra  (gr)	Peso de matríz  (gr)	Muestra + matríz + agua  (gr)	Peso del agua agregado al matríz "w" (ml) ó (gr)	Peso muestra secada "a" (gr)	Volumen del matríz "v" (ml)	P. e. a granel  (gr/cm <sup>3</sup> )	P. e. saturado con sup. Secca  (gr/cm <sup>3</sup> )	P. e. aparente  (gr/cm <sup>3</sup> )	%  De absorción
01	500	192.4	975.5	283.10	485.40	500.00	02.24	02.31	02.40	02.92
02	500	220	1030.7	310.70	486.70	500.00	02.57	02.64	02.77	02.66
03	500	175.9	993.8	317.90	484.90	500.00	02.66	02.75	02.90	03.02

<b>Promedio</b>	<b>02.49</b>	<b>02.56</b>	<b>02.69</b>	<b>02.87</b>
-----------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Fuente: elaboración propia

### 3.2.4.1. Ensayo de arena equivalente (AASHTO T-176) y ASTM D-2419)

Si las partículas pasan el número 4 (4,75 mm) para la rejilla, la prueba equivalente de arena y agregado fino proporciona un valor empírico para la cantidad, forma y propiedades relativas del material fino en la muestra de prueba. El equivalente de arena es la relación en porcentaje entre la altura de la arcilla y la arena. Primero se toma una muestra del material y se pasa por el tamiz número 1. Después de completar esta prueba, se coloca en el recipiente. Luego, coloque la muestra de arena que se utilizará en la probeta, canalice la muestra hacia la probeta, apriete la probeta hasta que desaparezcan todas las burbujas de aire y deje reposar la probeta durante 10 minutos.

Coloque el tubo de enjuague o lavado encima del tambor, enjuague el material en las paredes del tambor sin permitir que se pegue, luego deje que el tambor y su contenido reposen durante al menos 20 minutos. Luego mida el tiempo con un cronómetro y retire inmediatamente el tubo de lavado. Finalmente, lea y registre el nivel equivalente de arena alcanzado durante el período de sedimentación de 20 minutos.

Tabla 3.7. Equivalente de arena del agregado fino (Arena)

N° de muestra	H1	H2	Equivalente de arena (%)
	(cm)	(cm)	
01	10.20	14.30	71.33
02	10.30	14.10	73.05
03	10.10	13.60	74.26
		<b>Promedio</b>	<b>72.88</b>

Fuente: elaboración propia

$$\begin{aligned} \text{Equivalente de} &= \frac{H_1}{H_2} * 100 \text{ Arena} \\ \text{Equivalente de Arena} &= \frac{10.20}{14.30} * 100 \end{aligned}$$

Tabla 3.8. Resultado del ensayo de equivalente de arena

Equivalente de arena promedio (%)	Norma
72.88	> 50%

Fuente: elaboración propia

### 3.2.4.2. Los ensayos de desgaste de la máquina de Los Ángeles (AASHTO T-96) y ASTM C131

Durante las obras de producción, colocación y sellado de pavimentos, y especialmente durante la vida útil del pavimento, los áridos deben ser resistentes al desgaste y a la degradación permanente. Debido a la carga y las condiciones de carga, las cargas de las ruedas se transfieren a través de los neumáticos a la superficie de la carretera con una presión vertical aproximadamente uniforme y alta. La estructura del pavimento distribuye las tensiones de carga desde la resistencia máxima en la superficie hasta la resistencia mínima en la superficie del suelo. Como las capas superficiales soportan la mayor carga, los agregados utilizados en las capas inferiores de la estructura del pavimento (base) deben ser más fuertes que los agregados utilizados en las capas inferiores. Desgaste causado por la carga de vehículos. Sin embargo, los agregados transmiten fuerzas a través de puntos de contacto con altas presiones. La resistencia a la abrasión y/o el desgaste en los puntos de contacto entre agregados se mide principalmente por la Prueba de Abrasión de Los Ángeles ASTM C-131 o AASTHO T-96.

Figura 3.9. Desgaste por medio de la máquina de los Ángeles



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.10. ASTM C-131 de requerimiento según el tamaño de material que se tenga

Gradación		A	B	C	D
Diametro		Cantidad de material a emplear (gr)			
PASA	RETENIDO				
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	N°4			2500±10	
N°4	N°8				5000±10
<b>Peso total</b>		<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>
Numero de esferas		12	11	8	6
N° de revoluciones		500	500	500	500
Tiempo de rotación		15	15	15	15

Fuente: elaboración propia

Tabla 3.10. Datos de laboratorio para el ensayo de desgaste de los Ángeles

<b>Datos de laboratorio</b>		
<b>Gradación b</b>		
<b>Pasa tamiz</b>	<b>Retenido tamiz</b>	<b>Peso retenido</b>
3/4"	1/2"	2500
1/2"	3/8"	2500

Fuente: elaboración propia

**Cálculos:**

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{P_{\text{inicial}} - P_{\text{final}}}{P_{\text{inicial}}} * 100$$

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{5000 - 3968.7}{5000} * 100$$

$$\% \text{ Desgaste} = 20.63 \%$$

Tabla 3.11. Resultado del ensayo de desgaste de los Ángeles (Grava)

<b>Gradación</b>	<b>Peso inicial (gr)</b>	<b>Peso final (gr)</b>	<b>% de desgaste</b>	<b>Especificación ASTM</b>
B	5000	3968.7	20.63	35% MAX

Fuente: elaboración propia

Tabla 3.12. Datos para el ensayo de desgaste de los Ángeles (Gravilla)

<b>Datos de laboratorio</b>		
<b>Gradación C</b>		
<b>Pasa tamiz</b>	<b>Retenido tamiz</b>	<b>Peso retenido</b>
3/8"	1/4"	2500

1/4"	N°4	2500
------	-----	------

Fuente: Elaboración propia

### Cálculos:

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{P_{\text{inicial}} - P_{\text{final}}}{P_{\text{inicial}}} * 100$$

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{5000 - 3911.8}{5000} * 100$$

$$\% \text{ Desgaste} = 21.76 \%$$

Tabla 3.13. Resultado del ensayo de desgaste de los Ángeles (Gravilla)

Gradación	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	% De desgaste	Especificación ASTM
C	5000	3911.8	21.76	35% MAX

Fuente: Elaboración propia

#### 3.2.5.1. Análisis de partículas fracturadas (ASTM D-5821)

El porcentaje de una muestra de agregado grueso que consiste de partículas fracturadas que cumplen con los requisitos específicos se determina mediante este método de ensayo.

Figura 3.10. Preparar la muestra para el ensayo



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.14. Datos ensayo de caras fracturadas

Descripción		Unidad	Lectura
Grava 3/4"	Peso total de la muestra	gr	1500
	Peso de caras fracturadas retenidas	gr	1474.7

Fuente: Elaboración propia **Cálculos:**

Peso caras no fracturadas = Peso total de la muestra – Peso de caras fracturadas

Peso caras no fracturadas = 1474.7 – 1500

**Peso caras no fracturadas = 25.3 gr.**

Peso de caras fracturadas

Porcentaje de caras fracturadas =  $\frac{\text{Peso de caras fracturadas}}{\text{total de la muestra}} * 100\%$

Porcentaje de caras fracturadas =  $\frac{1474.7}{1500} * 100\%$

**Porcentaje de caras fracturadas = 98.31 %**

### 3.2.5.2. Experimento para medir partículas alargadas y planas (ASTM D 4791-10)

Este método se utiliza para calcular los porcentajes de partículas planas y alargadas en el agregado grueso.

Este método de prueba permite verificar el cumplimiento con las especificaciones de forma del agregado grueso.

Tabla 3.15. Resultados del ensayo de caras laminadas (Grava ¾")

<b>Material</b>	<b>Peso retenido (gr)</b>	<b>Peso retenido partículas laminares (gr)</b>	<b>% Retenido partículas laminares</b>
¾"	1000	42.5	4.25
Peso Total	1000		
(%) Total de partículas laminares (máximo 15%)			<b>4.25</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.16. Resultados del ensayo de caras laminadas (Gravilla 3/8)

<b>Material</b>	<b>Peso retenido (gr)</b>	<b>Peso retenido partículas laminares (gr)</b>	<b>% Retenido partículas laminares</b>
3/8"	1000	64.8	06.48
Peso Total	1000		
(%) Total de partículas laminares (máximo 15%)			<b>06.48</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.17. Resultados del ensayo de partículas chatas (Grava ¾")

<b>Material</b>	<b>Peso retenido (gr)</b>	<b>Peso retenido partículas chatas (gr)</b>	<b>% Retenido partículas chatas</b>
¾"	1000	57.2	05.72

Peso Total	1000		
(%) Total de partículas chatas alargadas (Máximo 15%)			<b>05.72</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.18. Resultados del ensayo de partículas chatas (Gravilla 3/8")

Material	Peso retenido (gr)	Peso retenido partículas chatas (gr)	% Retenido partículas chatas
3/8"	1000	23.6	02.36
Peso total	1000		
(%) Total de partículas chatas alargadas (Máximo 15%)			<b>02.36</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.3. Atributos del cemento asfáltico

Se evaluaron y caracterizaron cementos asfálticos para una construcción óptima STRATURA PEN 120-150

El cemento asfáltico se utiliza para crear mezclas asfálticas en caliente porque sus características adhesivas facilitan la unión de los áridos. Los cementos asfálticos se clasifican utilizando tres métodos basados en penetración, viscosidad o comportamiento.

Se llevó a cabo la extracción de muestras del cemento asfáltico en la planta asfáltica del Gobierno Regional Cusco bajo el Plan COPESCO.

Figura 3.11. Recolección de las muestras de cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

Los ensayos que fueron realizados sobre el cemento asfáltico, se detallan a continuación:

Penetración

Punto de Inflamación con copa abierta (Punto de chispa y llama)

Peso específico del cemento asfáltico

Punto de Ablandamiento

Ductilidad

Tabla 3.19. Datos del ensayo de laboratorio (penetración del cemento asfáltico 120-150)

Ensayo		Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio	Especificaciones	
							Mínimo	Máximo
Penetración a 25°C, 100s. 5seg. (0.1mm) AASHTO T-49	Lectura N°1	mm.	129	127	127			
	Lectura N°2	mm.	131	132	133			
	Lectura N°3	mm.	130	129	130			
	Promedio	mm.	130	129	130	130	125	140

Fuente: Elaboración propia

**Calculamos:**

Calcular el valor medio de las pruebas realizadas.

Resultado: Con el valor promedio, el valor de penetración de la aguja es de 90 mm a 25 °C y 5 segundos.

**3.3.1. Test de punto de inflamación (AASHTO T 79-96)**

La temperatura más baja a la que los materiales volátiles se separan de la muestra y se "inflaman" en presencia de una llama abierta es el punto de inflamación de un ligante asfáltico. El punto de inflamación del asfalto se refiere a la temperatura a la que el material puede calentarse en una llama abierta sin que se queme. La temperatura a la que arde el material generalmente es mucho más baja. Aunque rara vez se menciona en las especificaciones del asfalto, esta última temperatura se conoce como punto de inflamación.

Primero, llene el vaso con cemento asfáltico y aumente la temperatura. La llama de prueba debe pasar por el centro del vaso. El termómetro marca la temperatura en un punto de inflamación cuando aparece una llama en cualquier parte de la superficie.

Tabla 3.20. Datos del ensayo de punto de inflamación del cemento asfáltico 120-150

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio	Especificaciones	
						Mínimo	Máximo
Punto de Inflamación AASHTO T-48	°C	274	270	272	272	>232	-

Fuente: Elaboración propia

**Calculando:**

Calcular el valor medio de las pruebas realizadas.

Resultado: Con el valor promedio, el valor del punto de inflamación es 272 °C

### 3.3.2. Ensayo de peso gravedad y/o específico del asfalto (ASTM D-71) (AASHTO T 229-97)

La gravedad específica de un material es la proporción entre su peso en el aire a una temperatura dada y un volumen igual de agua que fluye a través de él a la misma temperatura (25°C). La gravedad específica es la proporción entre el peso de un material en un volumen determinado y el peso de un volumen igual de agua a una temperatura específica. Como resultado, una gravedad específica de 1,05 indica que el peso del material a una temperatura dada es 1,05 veces el peso del agua.

Tabla 3.21. Datos del ensayo de peso específico del cemento asfáltico 120-150

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio	Especificaciones	
						mínimo	máximo
Peso Picnómetro	gr.	35.1	33.9	32.9			
Peso Picnómetro + Agua (25°C)	gr.	86.2	86.9	86.1			
Peso Picnómetro + Muestra	gr.	59.6	58.8	58.4			
Peso Picnómetro + Agua + Muestra	gr.	86.8	87.3	86.6			
<b>Peso específico</b>	gr./cm <sup>3</sup>	<b>1.022</b>	<b>1.014</b>	<b>1.017</b>	<b>1.018</b>	1	1.05

Fuente: Elaboración propia

**Calculando:**

Calcular el valor medio de las pruebas realizadas.

Resultado: con un valor medio, el valor de densidad del cemento asfáltico es de

1018 gr/cm<sup>3</sup>

### 3.3.3. Test de punto de ablandamiento de laboratorio (ASTM D-36) (AASHTO T 53-96)

Este método utiliza un probador de globo de 30 a 200°C para determinar el punto de reblandecimiento de materiales bituminosos.

Por lo general, estos materiales no se ablandan a una temperatura dada; gradualmente e imperceptiblemente, el material cambia de un estado ligeramente líquido, quebradizo o demasiado espeso a un estado líquido, blando y viscoso. Por lo tanto, para comparar los resultados, la determinación del punto de reblandecimiento debe realizarse utilizando un método arbitrario pero inequívoco. Utiliza brea fundida para llenar un anillo de latón de tamaño estándar. Se coloca una bola de acero de cierto tamaño y peso en el centro de la muestra después de que se haya suspendido en un baño de agua. Luego se registra la temperatura de la bola y se calienta la solución del baño a una velocidad determinada.

Tabla 3.22. Datos del ensayo de laboratorio punto de ablandamiento del cemento asfáltico 120-150

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio	Especificaciones	
						Mínimo	Máximo
Punto de ablandamiento	°C	41.0	42.0	45.0	43	42	53

Fuente: Elaboración propia

#### Cálculando:

Calcular el valor medio de las pruebas realizadas.

Resultado: Con el valor promedio, el valor del punto de reblandecimiento es 43 °C

### 3.3.4. Ensayo de ductilidad (AASHTO T 51-00) y ASTM D-113

La ductilidad y/o elasticidad del material asfáltico se mide en centímetros como la longitud estirada antes de romperse cuando se tiran los extremos de las briquetas hechas de una muestra preparada como se describe en el punto 1 a una velocidad y temperatura específicas. Las pruebas se llevan a cabo a 25 °C ± 0,5°C y a 5 cm/min ± 5%, a menos que se especifique lo contrario. La velocidad debe especificarse para otras temperaturas.

Figura 3.14. Moldes utilizados para realizar un ensayo de ductilidad



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.15. Para realizar el ensayo de laboratorio, una muestra de moldes se coloca a 25 °C.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.23. Datos para la prueba de elasticidad del cemento asfáltico PEN 120/150.

Ensayo	Unidad	Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 03	Promedio	Especificaciones	
						Mínimo	Máximo

<b>Ductilidad a 25°C AASHTO T- 51</b>	cm.	105	106	108	<b>106</b>	>100	-
---	-----	-----	-----	-----	------------	------	---

Fuente: Elaboración propia **Cálculos:**

Calcular el valor medio de las pruebas realizadas.

Resultado: En promedio, el valor de elasticidad es de 106 cm.

### 3.3.5. Resumen de los resultados de la prueba de cemento asfáltico

Los hallazgos de la investigación se muestran y se comparan con las especificaciones técnicas sugeridas en las normas ASTM.

Tabla 3.24. Los resultados de la caracterización del cemento asfáltico PEN 120/150 se resumen en el siguiente cuadro:

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio	Especificaciones	
						Mínimo	Máximo
Peso Picnómetro	grs.	35.1	33.9	32.9			
Peso Picnómetro + Agua (25°C)	grs.	86.2	86.9	86.1			
Peso Picnómetro + Muestra	grs.	59.6	58.8	58.4			
Peso Picnómetro + Agua + Muestra	grs.	86.8	87.3	86.6			
Peso Específico	grs./cm <sup>3</sup>	<b>1.022</b>	<b>1.014</b>	<b>1.017</b>	<b>1.018</b>	1	1.05
Punto de Inflamación AASHTO T-48	°C	274	270	272	<b>&gt;272</b>	>232	-
Ductilidad a 25°C AASHTO T-51	cm.	105	106	108	<b>106</b>	>100	-
Penetración a 25°C, 100s.	Lectura N°1	89	87	87			
	Lectura N°2	91	92	93			

5seg.( 0.1mm) AASHTO T-49	Lectura N°3		90	89	90			
	Promedio	mm.	90	89	90	<b>90</b>	85	100
Punto de ablandamiento	°C		41.0	42.0	45.0	<b>43</b>	42	53

Fuente: Elaboración propia

### 3.4. Dosificación para mezclas asfálticas

Se llevó a cabo la dosificación porcentual de cada agregado de acuerdo con las especificaciones, y se utilizaron los agregados de la Planta del Gobierno Regional del Cusco (Plan COPESCO) ubicada en el distrito de Huambutio. Se determinó que la zona granulométrica de la mezcla asfáltica convencional es del 40%. La mezcla consiste en 30 pulgadas de piedra triturada, 30 pulgadas de arena triturada, 30 pulgadas de agregado fino de arena natural, 6% asfalto 120/150 y un aditivo de adherencia de 0.75% ricot z 300.

Tabla 3.25. Dosificación para la mezcla asfáltica

ENSAYO GRANULOMETRICO (ASTM D 3515)									
TAMIZ ASTM N°	1"	3/4"	3/8"	N°4	N°8	N°50	N°200	PESO	5.50%
ABERTURA EN MM	25.0	19.05	9.50	4.76	2.38	0.297	0.07		
PESO RETENIDO	0.0	0.00	630.00	472.5	387.5	722.5	170.00	2500	
%RETENIDO PARCIAL	0.0	0.00	25.20	18.9	15.5	28.9	6.80		
% RETENIDO ACUMULADO	0.0	0.00	25.20	44.1	59.6	88.5	95.30		
%QUE PASA	100.0	100.00	74.80	55.9	40.4	11.5	4.70	%C.A	5.5
ESPECIFICACION "A"	100.0	90-100	56-80	35-65	23-49	5.19	2.80		
ASFALTO 120/150									

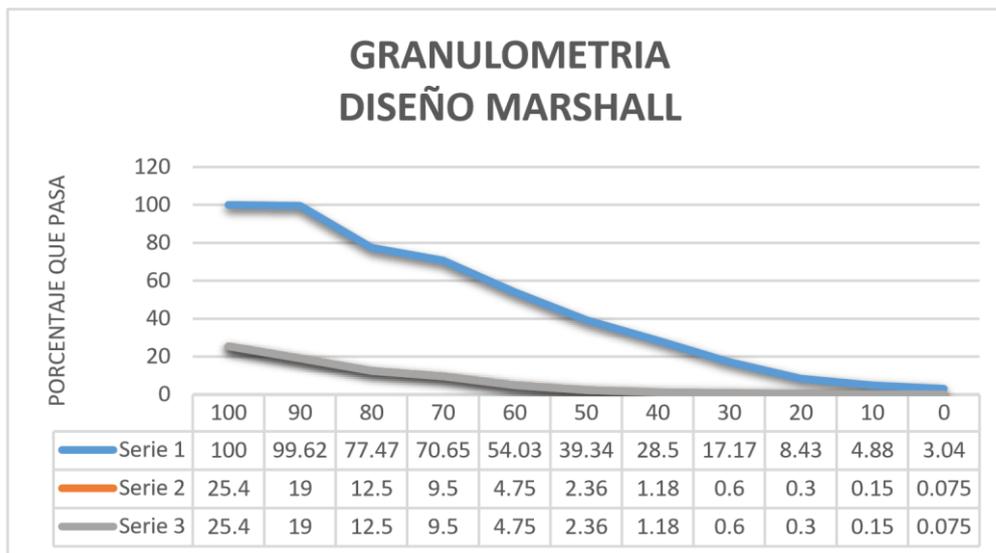
ENSAYO GRANULOMETRICO (ASTM D 3515)										
TAMIZ ASTM N°	1"	3/4"	3/8"	N°4	N°8	N°50	N°200	N°-200	PESO	5.50%
ABERTURA EN MM	25.0	19.05	9.50	4.76	2.38	0.297	0.07	0.07		
PESO RETENIDO	0.0	0.00	630.00	472.5	387.5	722.5	170.00	117.50	2500	



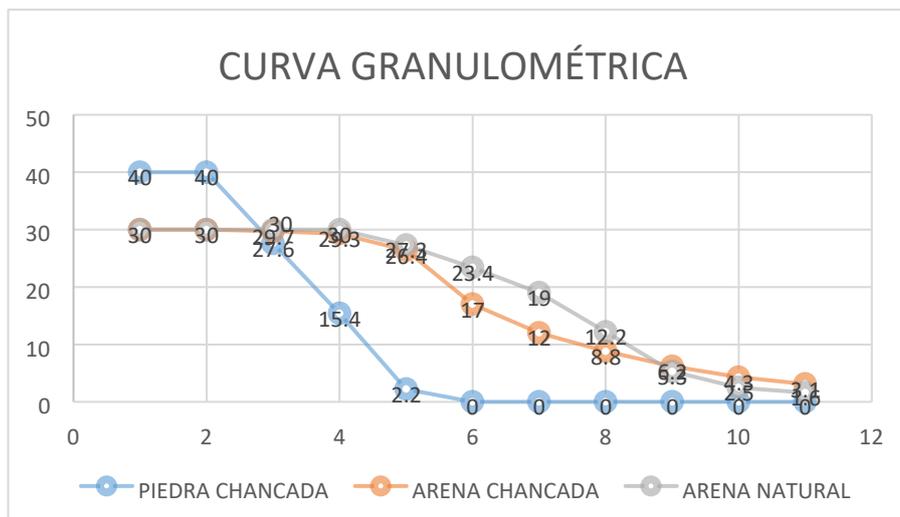
Nº4	4.75	129.60	685.69	15.75	0.00	831.04	2298.40	45.97	<b>54.03</b>	35	65
Nº8	2.36	0.00	340.69	393.75	0.00	734.44	3032.84	60.66	<b>39.34</b>	23	49
Nº16	1.18	0.00	48.88	493.50	0.00	542.38	3575.22	71.50	<b>28.50</b>	-	-
Nº30	0.60	0.00	14.89	551.25	0.00	566.14	4141.36	82.83	<b>17.17</b>	-	-
Nº50	0.30	0.00	6.84	430.50	0.00	437.34	4578.70	91.57	<b>8.43</b>	5	19
Nº100	0.15	0.00	9.14	168.00	0.00	177.14	4755.84	95.12	<b>4.88</b>	-	-
Nº200	0.075	0.00	0.00	47.25	0.00	47.25	4803.09	96.06	<b>3.94</b>	2	8
BASE	-	11.20	35.71	0.00	150.00	196.91	5000.00	100.00	<b>0.00</b>	-	-

Fuente: Elaboración propia

Grafico 3.4. Faja de trabajo



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

### 3.5. Análisis de la dosis (%) óptima de cemento asfáltico.

Se crearon 18 núcleos (briquetas) utilizando el método Marshall y se mezclaron con diferentes proporciones de cemento asfáltico para encontrar la relación de uso ideal.

Determine aproximadamente la cantidad de asfalto a utilizar.

$$\text{Porcentaje A} = 0.035 * a + 0.045 * b + K * c + F$$

Donde:

El porcentaje de asfalto en la mezcla es A, y a es el porcentaje. El tamiz retenido número 8 B representa el porcentaje. Pasante de tamiz número 8 c = (%) que pasa por la malla N° 200 de agregado

K = 0,15 para una tasa de retención del 11 % al 15 % para una pantalla de 3/4 de pulgada, para una tasa de retención del 6 % al 10 % y 0,18 para una tasa de retención del 5 % o menos.

Dependiendo de la absorción del material, F es del 0 al 2% (se puede suponer que es 0,7).

**Procedimiento de cálculo:**

$$\%A = 0.035 * 60.66 + 0.045 * 39.34 + 0.2 * 3.94 + 0.7$$

$$\%A = 5.38$$

Los porcentajes de procesamiento para este tipo de briquetas son los siguientes: 5.0, 5.5, 6.0 es decir, hacemos 3 briquetas de cada punto y luego sumamos los porcentajes de peso mencionados para toda la muestra, generalmente incluida. Las tabletas son de 1200 gramos. Material de piedra.

### 3.5.2. Cantidades de diferentes contenidos de asfalto PEN 120/150 en la mezcla.

Si deseamos medir y calcular el peso de agregado de la dosificación que debemos proporcionar en la pastilla, que tenga 5.0 % de cemento asfáltico necesitamos tener los siguientes datos:

Tabla 3.26. Datos de dosificación para varias proporciones de cemento. asfáltico

<b>Peso total del testigo (gr)</b>	<b>1200</b>
<b>Ponderación de grava (%)</b>	32
<b>Ponderación de gravilla (%)</b>	23
<b>Ponderación de arena (%)</b>	42
<b>Ponderación de filler (%)</b>	3
<b>Total agregado (%)</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.27. Dosificación Marshall para diferentes condiciones o (%) de cemento asfáltico.

<b>Porcentaje de cemento asfáltico (%)</b>	<b>5.0%</b>	<b>5.5%</b>	<b>6.0%</b>
<b>Porcentaje de agregado (%)</b>	96.0%	95.5%	95.0%
<b>Peso de cemento asfáltico (gr)</b>	48.00	54.00	60.00
<b>Peso de grava (gr)</b>	368.64	366.72	364.80
<b>Peso de gravilla (gr)</b>	264.96	263.58	262.20

<b>Peso de arena (gr)</b>	483.84	481.32	478.80
<b>Peso de filler (suelo) (gr)</b>	34.56	34.38	34.20
<b>Peso total de la testigos (gr)</b>	<b>1200.0</b>	<b>1200.0</b>	<b>1200.0</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.6. Determine la cantidad de polímero, cemento asfáltico y agregado presentes en la mezcla de prueba.

La tecnología de asfalto modificado se ha convertido en una tecnología ampliamente utilizada en todo el mundo para mejorar el rendimiento de las mezclas de asfalto convencionales en condiciones de gradientes de temperatura y volumen de tráfico.

Este proyecto tenía como objetivo probar si la adición de polímeros a la mezcla asfáltica mejoraría sus propiedades mecánicas. El porcentaje de polímeros que se agregarán a la mezcla se determina a través de varios estudios, por lo que en este proyecto cambiaremos el porcentaje de polímeros del 5 % al 8 %. 5%, 6%, 7% y 8% en cemento asfáltico y policarbonato de bisfenol A (CD residual).

#### 3.6.2. Preparación de muestras mixtas de asfalto.

Materiales y equipos utilizado:

Martillo de compactación

Moldes para la preparación de probetas

Extractor de probetas

Bandejas metálicas

Cuchara para la mezcla

Cuchara para extraer los agregados

Papel filtro

Brocha

Placa de calentamiento

Termómetro

Espátula

Balanza con sensibilidad de 0.1 gr.

Guantes

Barbijo

Trapos

Medidor de la estabilidad

Mezcla de agregados

### **3.6.3. Procedimiento del ensayo**

El "Laboratorio de Asfaltos Proyecto PLAN COPESCO" del Gobierno Regional del Cusco fue utilizado para preparar la muestra. Se midieron 7 puntos de contenido de cemento asfáltico para determinar el contenido ideal de cemento asfáltico en la mezcla.

Antes de poner en marcha la mezcla. Las partes del molde y la base de compresión se limpian y calientan a 100-150°C. Por un lado, se pesan las diferentes partes del relleno en diferentes bandejas, se cuentan las piezas y luego cada bandeja se coloca en un horno, cuyo contenido se calienta a una temperatura de 130-140°C. Sin embargo, el cemento asfáltico se calienta a una temperatura de 120-140 °C.

Durante el proceso de calentamiento se debe agitar el árido, especialmente el asfalto, para que la herramienta no se sobrecaliente.

Figura 3.19. Calcule el contenido de agregado de la mezcla asfáltica.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.20. El cemento asfáltico y el agregado se calientan.



Fuente: Elaboración propia

Coloque la paleta en la báscula y agregue cemento asfáltico caliente al agregado hasta que alcance el peso total del agregado y el cemento asfáltico, luego calcule el porcentaje de la masa total de la mezcla.

Figura 3.21. Agrega más cemento asfáltico para preparar la mezcla.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.22. Agrega más cemento asfáltico para preparar la mezcla.



Fuente: Elaboración propia

Se mezcla el cemento asfáltico PEN 120/150 con los agregados hasta que se forme una mezcla homogénea. La temperatura de la mezcla no debe ser inferior a 130°C y no se debe recalentar.

Figura 3.23. Compactación de las briquetas



Fuente: Elaboración propia

En un molde abierto de 4 pulgadas de diámetro y 3 pulgadas de alto, coloque la mezcla. La compactación se lleva a cabo a través de un anillo especial que consta de: un disco de 3 7/8" de diámetro fijado a la superficie de la mezcla compactada, un martillo en forma de cilindro hueco que se mueve a lo largo del tobogán y termina en un círculo. Un peso de martillo de 10 libras y una altura de caída libre de 18 pulgadas son las medidas de la placa. Para crear la mezcla, se utilizaron 75 golpes a cada lado de la briqueta utilizada en vías de tránsito pesado durante el proceso de compactación, lo que resultó en 21 briquetas. Durante la noche, el molde con los gránulos se enfrió a temperatura ambiente.

Figura 3.25. Extractor hidráulico



Fuente: Elaboración propia

### **3.7. Procedimiento, preparación**

#### **3.7.1. El proceso de agregar policarbonato de bisfenol A (residuos de CD) a una mezcla asfáltica a través de un proceso de calentamiento.**

Se agregaron testigos (briquetas) con policarbonato de bisfenol (residuo de CD) al PEN 120/150. Los diferentes porcentajes de peso indican el porcentaje de masa del cemento asfáltico.

#### **3.7.2. Proceso de polímeros para adición a mezclas asfálticas.**

Los trozos de CD usados fueron triturados con una trituradora de CD, este proceso se llevó manualmente para la trituración de plásticos en diminutas partes de cualquier tipo de plásticos.

Las partículas de policarbonato de BPA (CD residual) en la trituradora de plástico tuvieron un tamaño máximo de 1,5 mm. para agregarlos posteriormente a la mezcla asfáltica.

Figura 3.24. Residuos de CD triturados



Fuente: Elaboración propia

#### **3.7.3. Procedimiento para agregar polímeros a las mezclas asfálticas.**

El policarbonato de bisfenol A, también conocido como residuos de CD, se puede agregar a las mezclas asfálticas mediante dos métodos muy diferentes: húmedo y seco. En el proceso húmedo, el polímero se mezcla con cemento asfáltico modificado; en el proceso seco, se mezcla con un agregado granular.

Para agregar los dos polímeros a la mezcla asfáltica y estudiar sus propiedades mecánicas y físicas, se utilizará el proceso por vía húmeda.

Las briquetas de policarbonato de bisphenol-a y/o BPA (CD residual) que se agregaron a la mezcla asfáltica en caliente se identificaron por separado para su posterior estudio.

Figura 3.25. Asignar un id. a las muestras



Fuente: Elaboración propia

#### **3.7.4. El ensayo de Marshall**

Se prueba el flujo y la estabilidad de las briquetas en una prensa después de retirarlas del molde. Primero, se debe medir la altura promedio de cada extremo del bloque de carbón con un medidor de boquilla. Luego, se debe aplicar un factor de corrección para ajustar la altura. Antes de la prueba, la muestra se coloca en un baño de agua a  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) durante al menos treinta minutos y no más de cuarenta. Las superficies internas de los fantasmas se limpian completamente y su temperatura debe mantenerse entre  $21^{\circ}\text{C}$  y  $38^{\circ}\text{C}$ . Se debe calentar al baño maría hasta alcanzar la temperatura especificada si la temperatura es menor. Para que la mandíbula superior pueda deslizarse fácilmente sin atascarse, la varilla guía está lubricada con una película de aceite. Antes de aplicar la carga, verifique que el puntero del anillo de carga esté en la posición cero.

El núcleo, también conocido como trozo de carbón, se colocó en las mandíbulas y se cargó a una velocidad de carga constante de  $50,8\text{ mm por minuto}$ . el segundo

por minuto (2 pulgadas por minuto) hasta que ocurra la fractura. La carga máxima alcanzada determina el punto de rotura. El valor de estabilidad Marshall es el número total de libras necesarias para romper la muestra a 60 grados centígrados. Un medidor de tensión (flujo) se conecta a la barra de tiro y se retira cuando se alcanza la carga máxima para probar la estabilidad.

Figura 3.25. Muestra sometida a baño María



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.26. Ensayo en la prensa Marshall de flujo y estabilidad



Fuente: Elaboración propia

**3.8. Metodología para determinar las propiedades mecánicas de las mezclas bituminosas convencionales y modificadas con policarbonato de bisfenol (residuo de CD).**

Para una mejor comprensión, se realizarán paso a paso pruebas de briquetas de carbón tradicionales y briquetas de carbón modificadas, y al final se agregará una tabla resumen.

### 3.8.1 Testigos y/o Briquetas

Se asigna un número a las briquetas en función del porcentaje de cemento asfáltico presente en la mezcla para identificarlas.

Tabla 3.06. Identificación de briquetas

<b>Porcentaje de cemento asfáltico</b>	<b>05.0 %</b>	01
		02
		03

Fuente: Elaboración propia

### 3.8.2. El tamaño de las briquetas

La altura de la briketa se mide después de compactarla con un martillo. Cuando el contenido de asfalto es del 5,0%, la altura correspondiente es la siguiente:

Tabla 3.07. Altura media de cada briketa

<b>ID</b>	<b>Altura</b>
01	06.12
02	06.05
03	06.13

Fuente: Elaboración propia

### 3.8.3 Adición y mezcla de la base

El porcentaje de betún en la preparación de cinco núcleos y/o briquetas se denomina matriz mixta. Este cálculo tiene un porcentaje de betún del 5,0%. Los cálculos siguientes se realizan de manera uniforme.

$$\text{Base agregado} = \frac{\text{Base del agreg.} * 100}{100 - \text{Base de mezcla}}$$

$$\text{Base agregado} = \frac{5.0 * 100}{100 - 5.0}$$

**Base del agregado = 5.26 %**

### 3.8.4. Peso seco del testigo o briqueta

El peso del testigo de asfalto en el aire se mide después de desmoldar.

Tabla 3.08. Peso seco de los testigos

Identificación	Peso seco del testigo (gr)
01	1,167.80
02	1,162.40
03	1,158.30

Fuente: Elaboración propia

### 3.8.5 El peso de la briqueta o testigo en aire saturado y superficialmente seco.

El peso de las briquetas saturadas y secadas superficialmente consiste en medir el peso de las briquetas después del secado después de 30 minutos de inmersión en agua a 25°C.

Tabla 3.09. Peso del testigo o briqueta superficialmente seca

<b>Identificación</b>	<b>Peso s.s.s. del testigo (gr)</b>
01	1,171.20
02	1,165.80
03	1,164.20

Fuente: Elaboración propia

### 3.8.6 El peso de la briqueta o testigo sumergido en agua

El peso del núcleo o masa sumergida en agua se mide a 25°C después de sumergirse en agua.

Tabla 3.10. El peso del testigo y/o la briqueta en agua.

<b>Identificación</b>	<b>Peso del testigo (gr) sumergido en agua</b>
01	681.00
02	677.00
03	671.00

Fuente: Elaboración propia

### 3.8.7 Volumen del testigo y/o briqueta

Para este cálculo se realiza para un testigo identificado como:

$$\text{Vol. testigo} = \text{Peso s. s. s.} - \text{Peso sumergido}$$

$$\text{Vol. testigo} = 1,171.20 - 681.00$$

$$\text{Vol. briqueta} = 490.20 \text{ cm}^3$$

### 3.8.8 Densidad del testigo o briqueta

Este cálculo se realiza para un testigo y/o briqueta de asfalto definido como:

Densidad real

$$\text{Densidad real} = \frac{\text{Peso testigo en aire}}{\text{Volumen de briqueta}}$$

$$\text{Densidad real} = \frac{1,167.80}{490.20}$$

$$\text{Densidad real} = 2.38 \text{ gr/cm}^3$$

### Densidad máxima teórica de fundición.

$$\text{Densidad máxima teórica} = \frac{100}{\left( \frac{\% \text{ asfalto}}{\text{Peso espe. asfalto}} \right) + \left( \frac{100 - \% \text{ asfalto}}{\text{Peso espe. Agreg. grueso}} \right)}$$

$$\text{Densidad máxima teórica} = \frac{100}{\left( \frac{5.00}{1.018} \right) + \left( \frac{100 - 5.00}{2.69} \right)}$$

$$\text{Densidad máxima teórica} = 2.53 \text{ gr/cm}^3$$

### 3.8.9. Porcentaje de espacio sin ocupar

Este cálculo se realiza para una briqueta de asfalto que se define como: porcentaje de mezcla hueca o vacía (**Vv**)

$$Vv = \left[ \frac{D_{maxT} - \text{Dens. promedio}}{D_{maxT}} \right] * 100$$

$$Vv = \left[ \frac{2.53 - 2.37}{2.53} * \right] 100$$

$$Vv = 6.24 \%$$

**(%) de vacíos en el agregado mineral (V.A.M)**

$$VAM = \left( \frac{\% \text{ de asfl. } * \text{ Dens. promedio}}{\text{Peso específico del asfalto}} \right) + Vv$$

$$VAM = \left( \frac{5.00 * 2.37}{1.018} \right) + 6.24$$

**VAM = 15.55 % Porcentajes de huecos y/o vacíos llenos de asfalto (R.B.V.)**

$$VAM \left( \frac{VAM - Vv}{VAM} \right) \quad RBV = * 100$$

$$RBV = \left( \frac{15.55 - 6.24}{15.55} \right) * 100$$

$$RBV = 59.86 \%$$

**3.8.10 Flujo y Estabilidad**

Las prensas Marshall tienen características como la estabilidad y la fluencia.

Tabla 3.11. Estabilidad y fluencia

Ident.	Lectura ideal	
	Estabilidad	Fluencia
01	950	14
02	970	13
03	950	12

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.12. Estabilidad real

Identificación	Lectura (l ibras)	
	Estabilidad	Real
01	950	2539.94
02	970	2593.79
03	950	2539.94

Fuente: Elaboración propia

Para ajustar la altura de la briqueta, utilice la fórmula a continuación:

La estabilidad de calibración es igual a la estabilidad multiplicada por el factor de corrección de altitud.

Para:

Factor de corrección de altura = Factor de corrección en función de la altura de las briquetas según el método Marshall que sean inferiores a 63,43 cm.

Tabla 3.13. Altitud media y factor de corrección de altitud.

Ident.	Altura promedio en (cm)	Altura factor de corrección	Factor de corrección promedio del
01	06.13	01.066	01.072
02	06.06	01.088	
03	06.14	01.063	

Fuente: La Tabla A0608\_1 del Manual de ABC Vol. 4 describe el factor de corrección por altura para la estabilidad Marshall (Norma AASHTO).

Tabla 3.14. Estabilidad optima

<b>Ident.</b>	<b>La estabilidad real en (lb)</b>	<b>Altura Factor de corrección</b>	<b>La estabilidad corregida</b>	<b>Promedio de la estabilidad (lb)</b>
<b>01</b>	2539.94	01.065	2705.04	2740.64
<b>02</b>	2593.79	01.087	2819.45	
<b>03</b>	2539.94	01.062	2697.42	

Fuente: Elaboración propia

Para comprender la fluencia medida en los medios Marshall:

Tabla 3.15. Fluencia en la prensa Marshall

<b>Identificación</b>	<b>Lectura dial fluencia (plg)</b>	<b>Promedio</b>
<b>01</b>	14.00	13.00
<b>02</b>	13.00	
<b>03</b>	12.00	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.16. Resultados de fluencia y estabilidad.

<b>Ident.</b>	<b>Estabilidad</b>		<b>Especificación (lb)</b>	<b>Fluencia</b>		<b>Especificación (plg)</b>
	<b>Correccion Real (lb)</b>	<b>Promedio (lb)</b>		<b>Lectura (plg)</b>	<b>Promedio (plg)</b>	
<b>1</b>	2705.04	2740.64	>1800	14.00	13.00	8 a 16
<b>2</b>	2819.45			13.00		
<b>3</b>	2697.42			12.00		

Fuente: Elaboración propia

### 3.8.11 Resultados de diseño para una dosificación óptima de asfalto en la mezcla

La tabla de resultados se muestra a continuación.

Tabla 3.17. Resultados óptimos para el diseño de colocación de asfalto.

N° PROBETA	ALTURA DE PRO	% ASFALTO	DENSIDAD DE TESTIGO	% VACIOS			ESTABILIDAD MARSHALL	FLUENCIA
		BASE D MEZCL	PROMEL	% DE VACIO	V.A.M VACIOS AGREGAI O MINERZ	R.B.V RELACIC BETUME	VACIOS PROMEL	PROMEL
		%	gr/cm3	%	%	%	LIBRAS	0.01 PULGADA
1	6.12	4.00	2.37	6.24	15.55	59.86	2740.635	13.00
2	6.05							
3	6.13							
4	6.15	4.50	2.4	4.42	15.02	70.56	3257.945	14.00
5	6.10							
6	6.05							
7	6.18	5.00	2.41	3.23	15.06	78.55	3423.941	15.00
8	6.16							
9	6.13							
10	6.14	5.50	2.41	2.46	15.48	84.12	3287.552	16.33
11	6.05							
12	6.22							
13	6.10	6.00	2.4	2.04	16.2	87.38	2923.708	18.33
14	6.13							
15	6.17							
16	6.15	6.50	2.39	1.95	17.19	88.64	2478.782	20.33
17	6.14							
18	6.13							
19	6.15	7.00	2.36	2.18	18.42	88.19	1834.480	22.67
20	6.13							
21	6.11							

Fuente: Elaboración propia

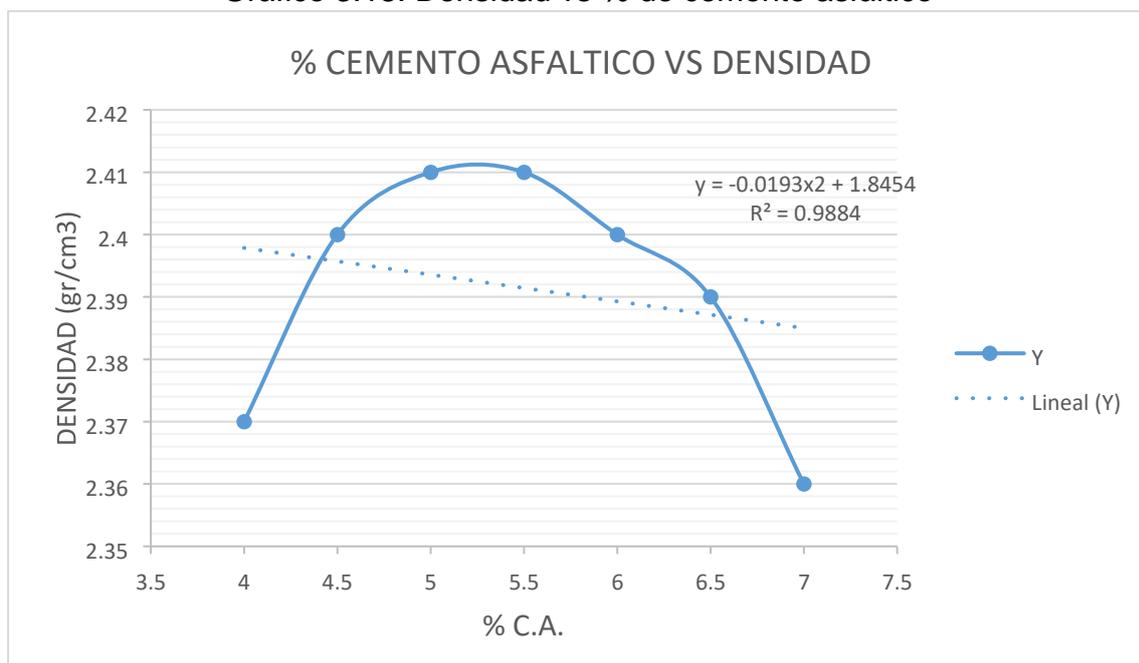
Cuando se obtuvieron todos los valores se dibujó una curva que cumplía las siguientes condiciones.

- La densidad de la briqueta en comparación con el porcentaje de cemento asfáltico

- La proporción de huecos en la mezcla en comparación con la proporción de cemento asfáltico.
- El porcentaje de cemento asfáltico en comparación con los vacíos de agregado mineral (VAM)
- Los porcentajes de espacios llenos de asfalto (RBV) en comparación con el porcentaje de cemento asfáltico
- Estabilidad en comparación con el porcentaje de cemento asfáltico

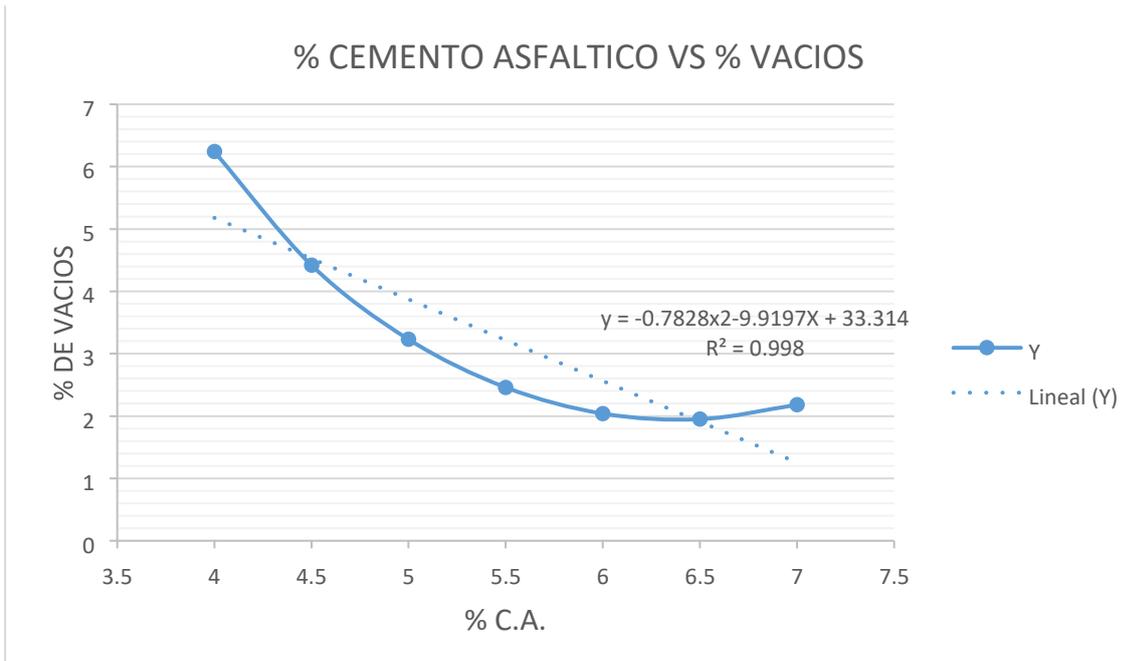
La fluctuación en comparación con el porcentaje de cemento asfáltico

Gráfico 3.18. Densidad vs % de cemento asfáltico

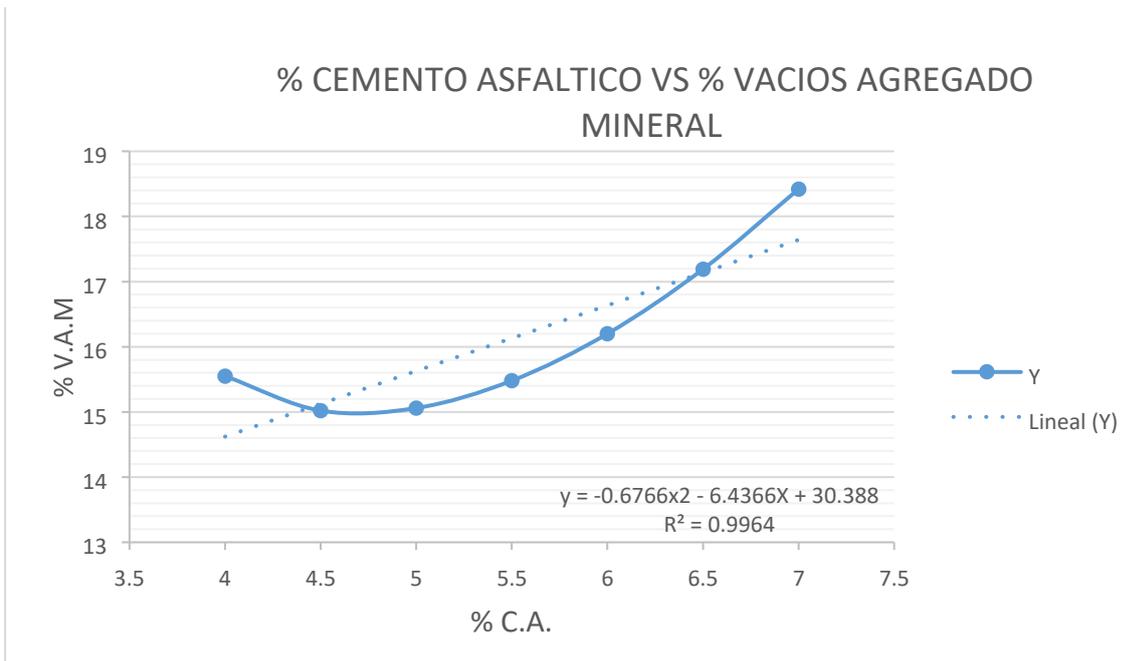


Fuente: Elaboración propia

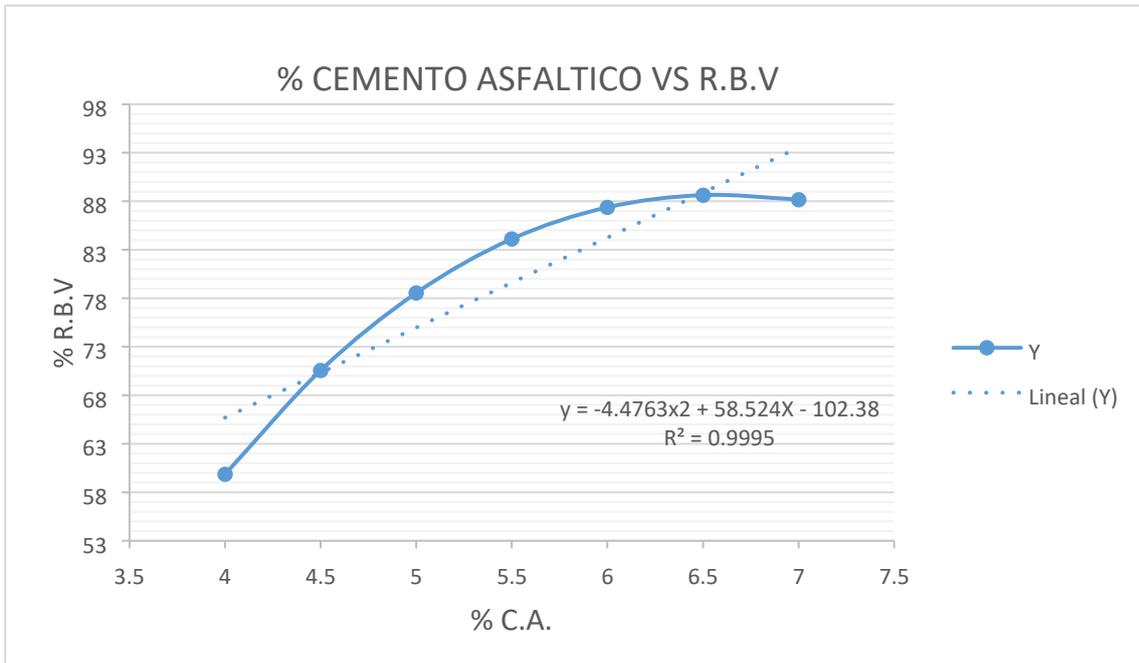
Gráfico 3.19. El porcentaje de cemento asfáltico en comparación con el porcentaje de vacío de la mezcla



Fuente: Elaboración propia  
 Gráfico 3.20. Los vacíos del agregado mineral (VAM) en comparación con el porcentaje de cemento asfáltico

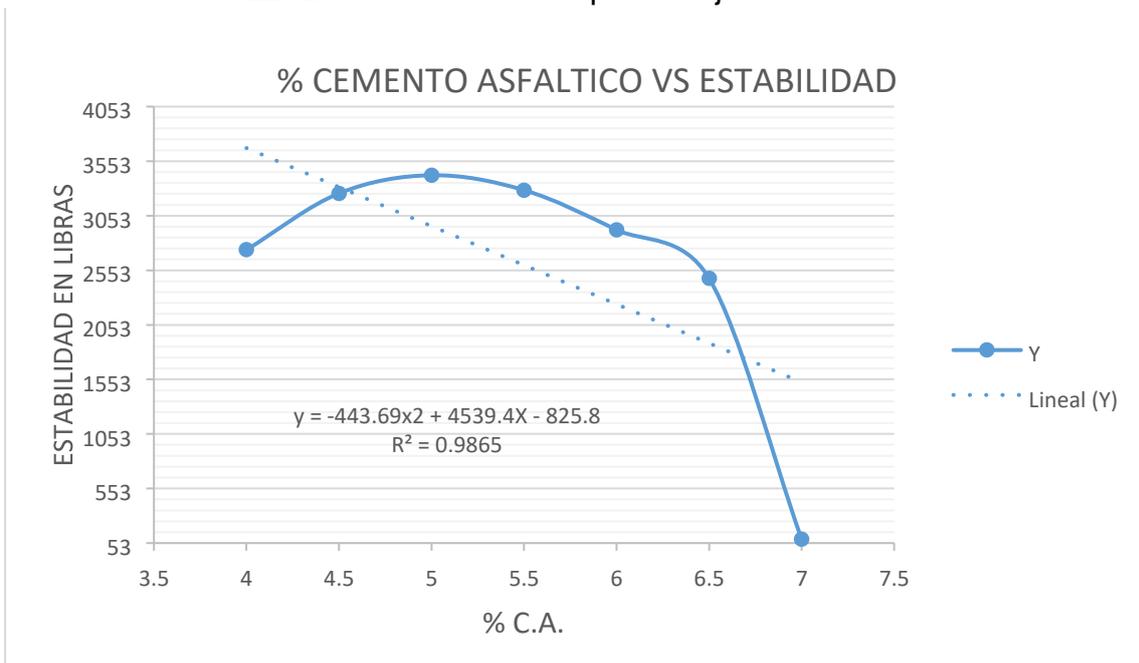


Fuente: Elaboración propia  
 Gráfico 3.21. El porcentaje de vacíos llenos de asfalto (RBV) en comparación con el porcentaje de cemento asfáltico



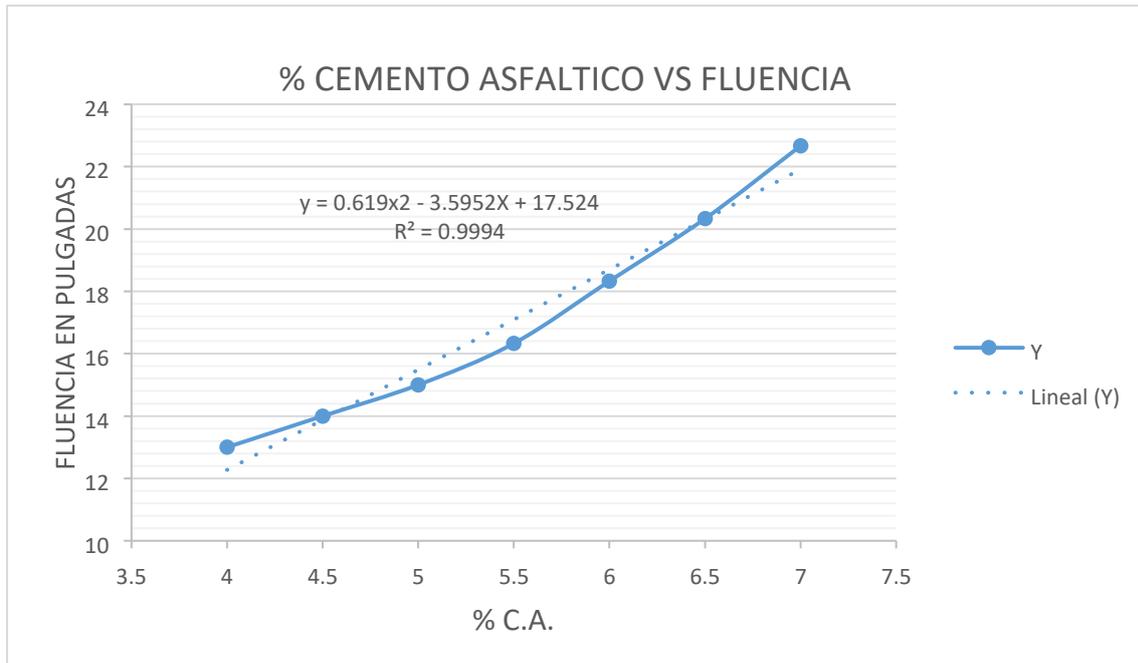
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.22. Estabilidad frente al porcentaje de cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.23. La fluencia del cemento asfáltico en relación al porcentaje



Fuente: Elaboración propia

Según las gráficas obtenidas, se tiene:

Tabla 3.24. Resultados del diseño de la combinación asfáltica

	El ensayo	Proporcion de diseño	Porcentaje C.A.
<b>Determinación de la proporción ideal de cemento asfáltico</b>	La estabilidad de Marshall (libras)	3358.861	05.12
	La densidad máxima es de (gr/cm <sup>3</sup> )	02.41	05.41
	Los vacíos en la mezcla (%)	04.01	04.69
	<b>Porcentaje óptimo de C.A.:</b>	<b>Promedio=</b>	<b>05.07</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.25. Excelentes resultados para el diseño de combinaciones asfálticas

Diseño Marshall Valores Obtenidos				
Aspectos	Porcentaje De asfalto	óptimo % de valores	Especificaciones técnicas	
Densidades	05.07	02.41	-----	-----
Porcentajes de Vacíos	05.07	03.15	<b>03.00</b>	<b>05.00</b>

R.B.V.	05.07	79.27	<b>75.00</b>	<b>82.00</b>
V.A.M.	05.07	15.15	<b>13.00</b>	-----
Estabilidad (libras)	05.07	3357.95	<b>&gt;1800 lb. (75 golpes)</b>	
Fluencia	05.07	15.21	<b>08.00</b>	<b>16.00</b>
<b>% óptimo de C.A:</b>			<b>05.07</b>	

Fuente: Elaboración propia

Valores de los agregados de la planta de COPESCO; cumple con las especificaciones de diseño de Marshall.

### 3.9. Dosificación de PBA con los diferentes %

La mezcla asfáltica en caliente con policarbonato de bisfenol (CD residual) recibió la dosificación adecuada.

Tabla 3.26. Dosificación de cada porcentaje de polímero en la M.A caliente.

<b>Peso cemento asfáltico (gr)</b>	<b>58.41</b>	<b>57.80</b>	<b>56.75</b>
<b>Porcentaje de polímero (%)</b>	<b>5.0%</b>	<b>5.5%</b>	<b>6.0%</b>
<b>Porcentaje de agregado (%)</b>	<b>94.93%</b>	<b>94.93%</b>	<b>94.93%</b>
<b>Polímero (gr)</b>	2.43	3.04	3.65
<b>Peso de grava (gr)</b>	364.53	364.53	364.53
<b>Peso de gravilla (gr)</b>	262.01	262.01	262.01
<b>Peso de arena (gr)</b>	478.45	478.45	478.45
<b>Peso de filler (suelo) (gr)</b>	34.17	34.17	34.17
<b>Peso de los testigos (kg)</b>	<b>1.2</b>	<b>1.2</b>	<b>1.2</b>

Fuente: Elaboración propia

### Longitud de los testigos

Tabla 3.27. Datos y resultados sobre la altura media de los núcleos (aglomerados) de policarbonato de bisphenol

<b>% Polímero</b>	<b>Identificación</b>	<b>h1 (cm)</b>	<b>h2 (cm)</b>	<b>h3 (cm)</b>	<b>h4 (cm)</b>	<b>Promedio (cm)</b>
-------------------	-----------------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------------

<b>5 %</b>	<b>1</b>	6.2	6.3	6.45	6.2	<b>6.29</b>
	<b>2</b>	6.3	6.35	6.3	6.35	<b>6.32</b>
	<b>3</b>	6.4	6.3	6.4	6.3	<b>6.35</b>
	<b>4</b>	6.35	6.3	6.3	6.4	<b>6.34</b>
	<b>5</b>	6.3	6.35	6.55	6.25	<b>6.36</b>
<b>5.5 %</b>	<b>6</b>	6.1	6.25	6.55	6.25	<b>6.29</b>
	<b>7</b>	6.3	6.25	6.4	6.3	<b>6.31</b>
	<b>8</b>	6.35	6.4	6.25	6.26	<b>6.32</b>
	<b>9</b>	6.4	6.4	6.25	6.3	<b>6.34</b>
	<b>10</b>	6.4	6.3	6.4	6.35	<b>6.36</b>
<b>6 %</b>	<b>11</b>	6.35	6.3	6.35	6.3	<b>6.33</b>
	<b>12</b>	6.3	6.25	6.35	6.25	<b>6.29</b>
	<b>13</b>	6.3	6.25	6.35	6.35	<b>6.31</b>
	<b>14</b>	6.25	6.25	6.2	6.3	<b>6.25</b>
	<b>15</b>	6.25	6.35	6.2	6.1	<b>6.23</b>

Fuente: Elaboración propia

### Densidad de la briqueta

Tabla 3.28. La densidad real y media de las briquetas de PBA

<b>% Polímero</b>	<b>Identificación</b>	<b>Densidad briqueta</b>	
		<b>Real (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Promedio (gr/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>5 %</b>	<b>1</b>	2.35	<b>2.35</b>
	<b>2</b>	2.36	
	<b>3</b>	2.36	
	<b>4</b>	2.35	
	<b>5</b>	2.35	

5.5 %	6	2.38	2.37
	7	2.37	
	8	2.37	
	9	2.38	
	10	2.37	
6 %	11	2.38	2.38
	12	2.39	
	13	2.39	
	14	2.38	
	15	2.38	
	22	2.36	
	23	2.35	
	24	2.34	
	25	2.34	

Fuente: Elaboración propia

### 3.9.1 Evaluación de la estabilidad

Cada porcentaje de PBA (CD residual) produjo tres grupos de briquetas, lo que resultó en cinco briquetas para cada porcentaje de polímero, que se enumeran a continuación: 1, 2, 3,4 y 5 (5 %), 6, 7, 8, 9 y 10 (5,5 %) y 11, 12, 13, 14 y 15 (6 %). Se utilizaron un total de cincuenta unidades de carbón durante el estudio, y cada bloque de carbón anterior fue clasificado en función del porcentaje de polímero agregado a la mezcla asfáltica. Para lograr los resultados de estabilidad en los puntos anteriores, hemos utilizado el porcentaje de cemento asfáltico ideal del 5,07% para los bloques de carbón con adición de polímero.

Las lecturas del dial proporcionadas por Marshall Instruments nos dieron resultados de estabilidad en milímetros (mm), que convertí a unidades de libra fuerza (lb) en el laboratorio de asfalto de PLAN COPESCO.

Primero se colocó el bloque de carbón en un baño de agua a 60 grados centígrados durante 30 minutos para obtener lecturas de estabilidad y fluencia del aparato Marshall.

Tabla 3.29. Datos y hallazgos sobre la estabilidad de las briquetas de policarbonato de bisphenol.

Estabilidad Marshall							
Identificación	% Polímero	Dial (mm)	La carga (lb)	Altura de briqueta factor de corrección de	Corrección de estabilidad real	Promedio Estabilidad (lb.)	Especificación
0	0 %				3357.95	3357.95	>1800 lb.
1	5 %	916	2448.384	1.016	2487.558	2553.686	>1800 lb.
2		950	2539.939	1.008	2560.258		
3		945	2526.475	1.000	2526.475		
4		962	2572.252	1.003	2579.969		
5		980	2620.787	0.998	2614.171		
6	5.5 %	1135	3038.167	1.016	3086.716	3157.561	>1800 lb.
7		1110	2970.787	1.011	3003.465		
8		1160	3105.427	1.008	3130.270		
9		1186	3175.440	1.003	3184.966		
10		1266	3390.864	0.998	3382.386		
11	6 %	1413	3786.705	1.005	3805.639	3531.883	>1800 lb.
12		1297	3474.340	1.016	3529.929		
13		1312	3514.732	1.011	3553.394		
14		1276	3417.792	1.027	3510.072		
15		1180	3159.283	1.032	3260.379		
22		845	2257.195	0.998	2251.552		
23		850	2270.659	1.003	2277.471		
24		858	2292.201	1.000	2292.201		
25		897	2397.220	0.985	2361.262		

Fuente: Elaboración propia

### 3.9.2 Evaluación del flujo

Al igual que con la estabilidad, haga 3 juegos de briquetas cada uno en porcentaje de PBA (CD residual), haciendo 5 briquetas para cada porcentaje de polímero, se las enumeró de la siguiente manera: 1, 2, 3,4 y 5 (5%); 6, 7, 8, 9 y 10 (5.5 %); 11, 12, 13, 14 y 15 (6 %); todos los trozos de carbón anteriores se calculan como un

porcentaje del polímero que agregan a la mezcla asfáltica. Para los bloques de carbón con adición de polímero, hemos utilizado un (%) óptimo de C.A del 5,07 % para lograr los resultados de fluencia en este momento.

Tabla 3.30. Datos de fluencia y resultados de aglomerados de policarbonato de bisphenol

Identificación	% Polímero	Lectura del dial del flujo (plg)	Fluencia promedio (plg)	Especificación
<b>0</b>	0 %	15.21	<b>15.21</b>	<b>8 a 16</b>
<b>1</b>	5 %	10	<b>11.40</b>	<b>8 a 16</b>
<b>2</b>		11		
<b>3</b>		12		
<b>4</b>		11		
<b>5</b>		13		
<b>6</b>	5.5 %	12	<b>12.00</b>	<b>8 a 16</b>
<b>7</b>		11		
<b>8</b>		11		
<b>9</b>		13		
<b>10</b>		13		
<b>11</b>	6 %	12	<b>13.00</b>	<b>8 a 16</b>
<b>12</b>		13		
<b>13</b>		13		
<b>14</b>		13		
<b>15</b>		14		
<b>22</b>		16		
<b>23</b>		16		
<b>24</b>		15		
<b>25</b>		15		

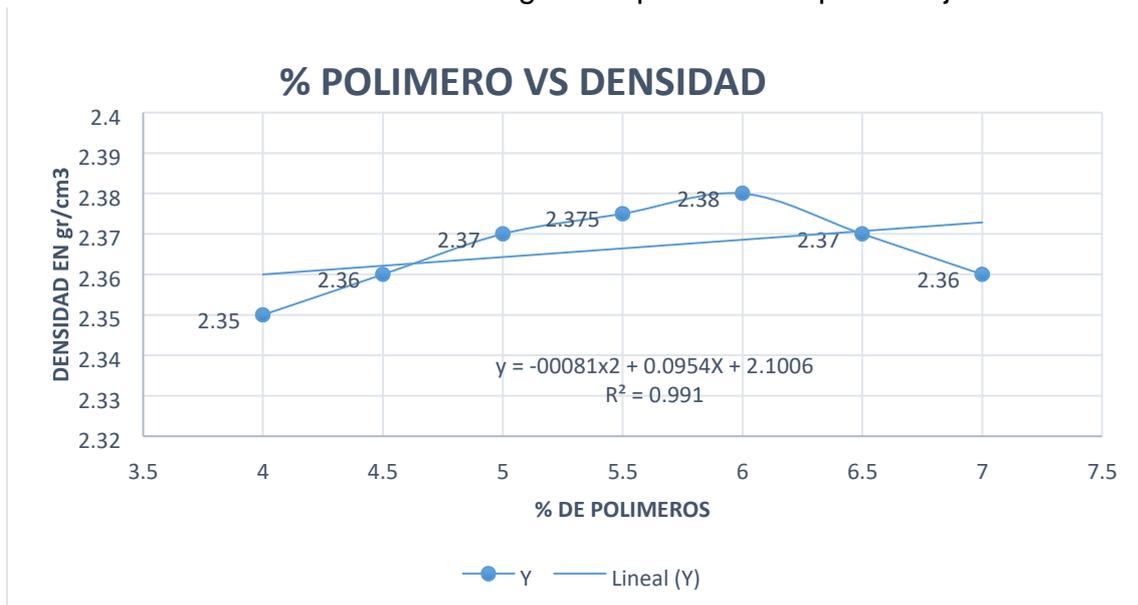
Fuente: Elaboración propia

### 3.10. Resumen de los hallazgos de los ensayos Marshall para la mezcla asfáltica en caliente con policarbonato de bisfenol-A (residuo de CD):

Se obtuvieron los valores siguientes, después de los cuales se trazaron las curvas que correspondían a la siguiente tabla:

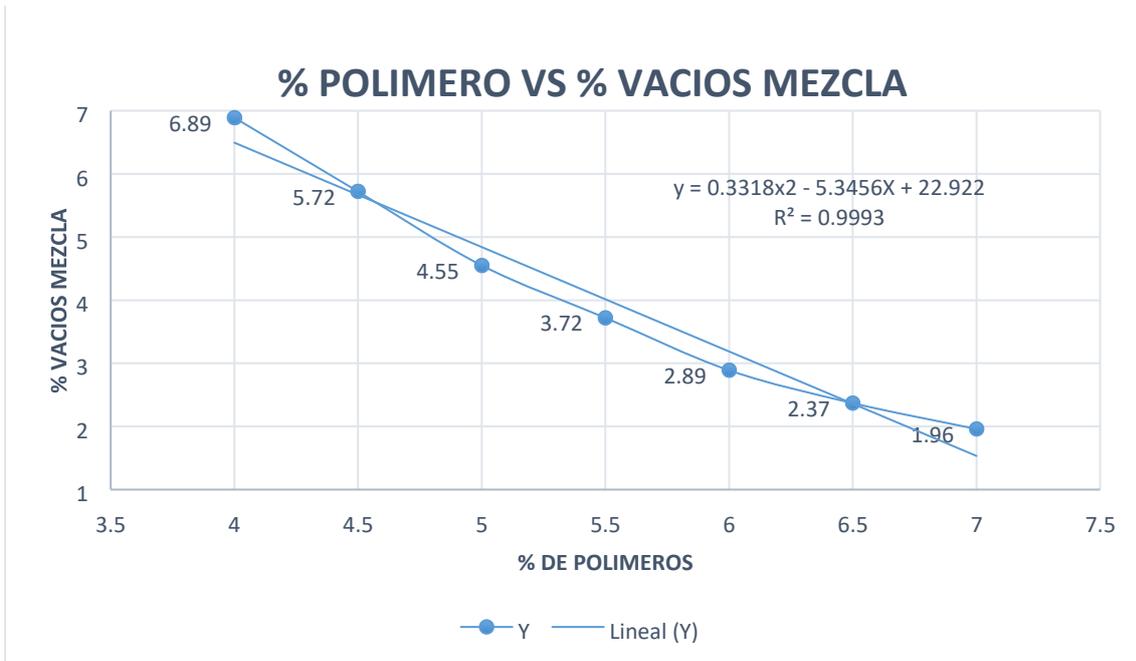
- La densidad de la briqueta en comparación con el porcentaje de polímero de la mezcla asfáltica
- La proporción de vacíos en la mezcla en comparación con la proporción de polímero en la mezcla asfáltica
- Vacíos de agregado mineral natural (V.A.M.) vs % de polímero en la combinación asfáltica
- El porcentaje de vacíos llenos de asfalto (R.B.V.) en comparación con el porcentaje de polímero en la combinación asfáltica
- Estabilidad vs (%) de polímero en la modificación asfáltica
- Fluencia vs % de polímero en la combinación asfáltica

Gráfico 3.31. Densidad del testigo o briqueta versus porcentaje de PBA



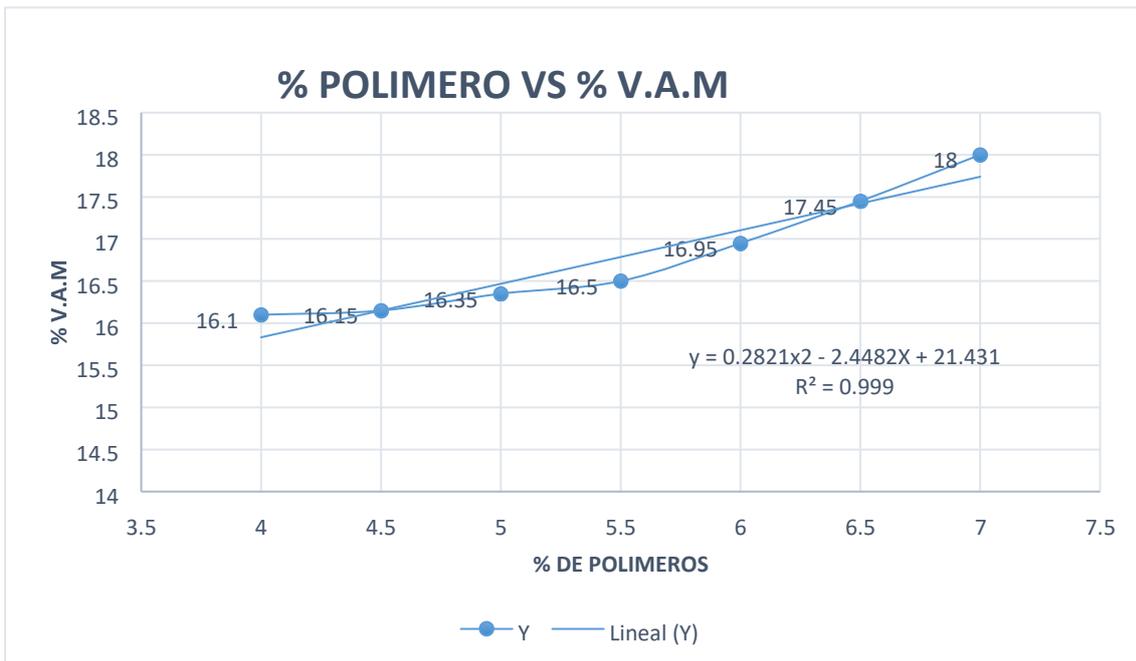
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.32. El porcentaje de vacíos en la mezcla en comparación con el porcentaje de PBA



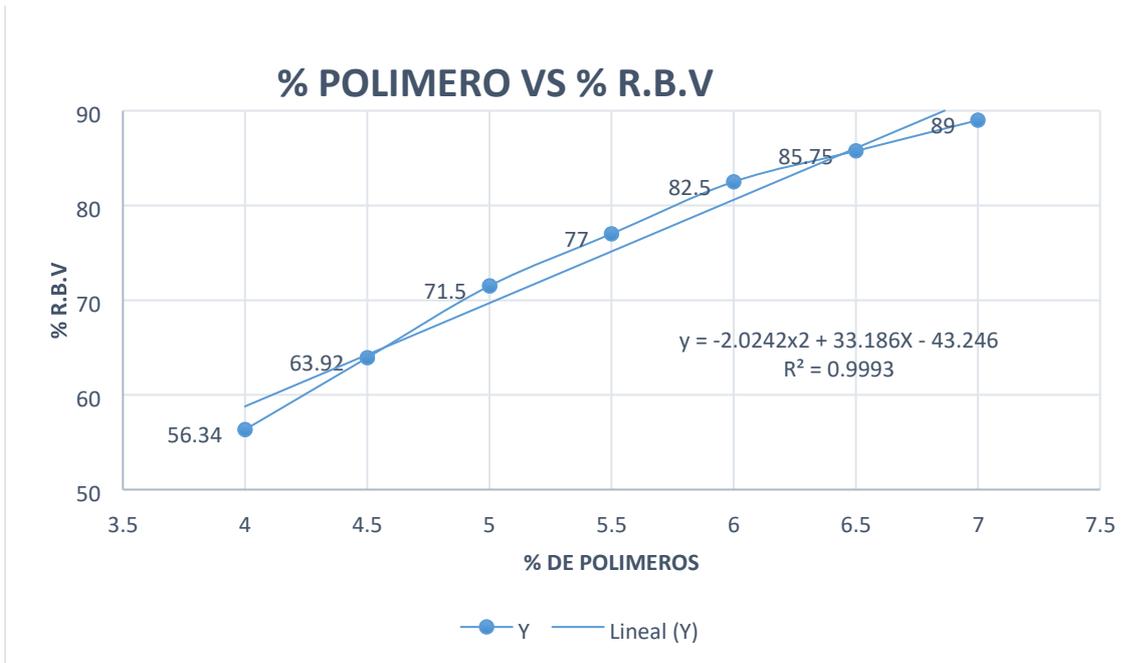
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.33. Los vacíos de agregado mineral (VAM) en comparación con el porcentaje de PBA



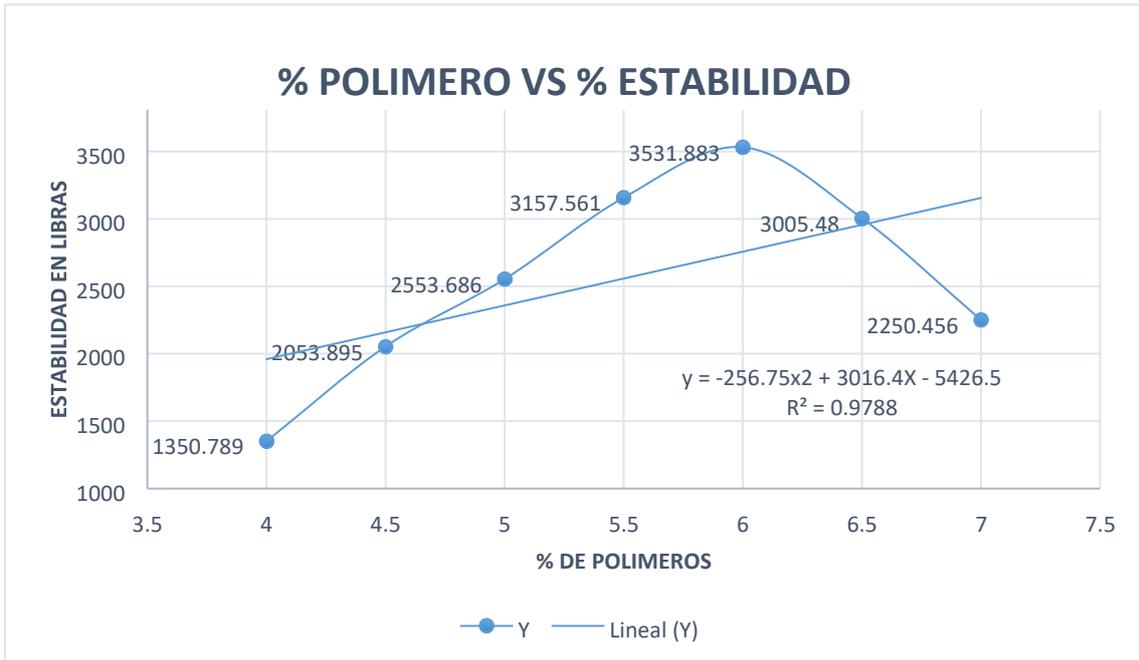
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.34. El porcentaje de asfalto vacío (RBV) en comparación con el porcentaje de PBA



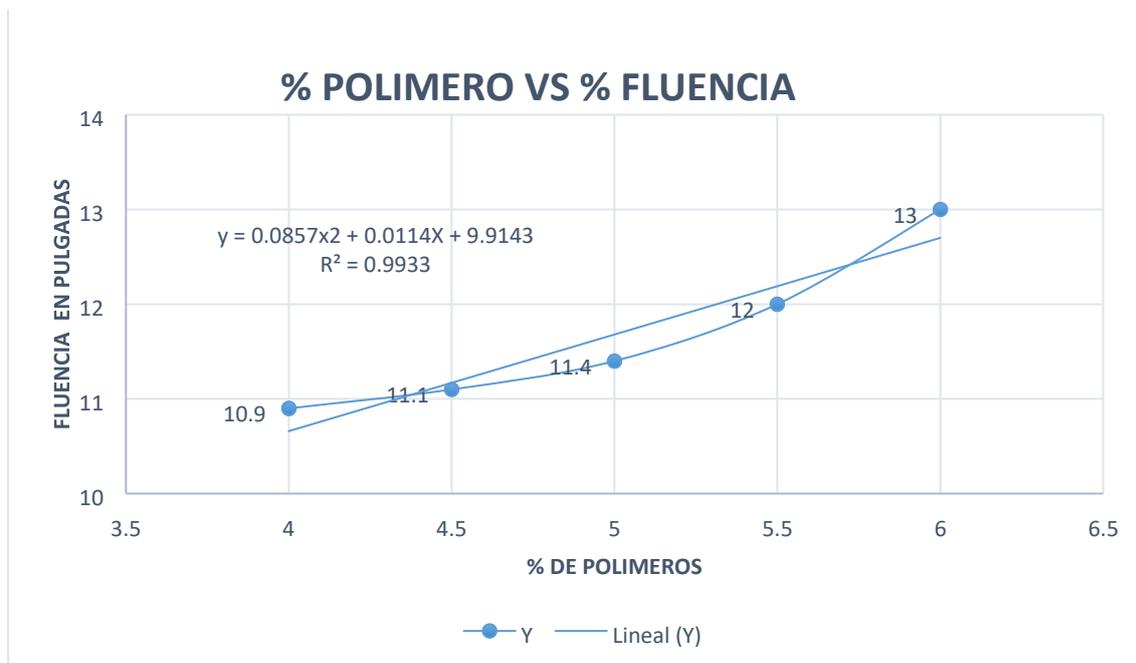
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.35. Estabilidad en comparación con el porcentaje de policarbonato de bisphenol



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.36. Fluencia en comparación con el porcentaje de policarbonato de bisphenol



Fuente: Elaboración propia

Según las gráficas obtenidas:

Tabla 3.37. Resultados del diseño Marshall de policarbonato de bisfenol (CD residual):

Determinación del porcentaje óptimo de polímero en la mezcla	El ensayo	Valor de ensayo	% Polímero
	La estabilidad de Marshall (libras)	3432.96	05.87
	Densidad máx. (gr/cm <sup>3</sup> )	02.38	05.89
	Vacíos (%)	04.00	05.29
	<b>% óptimo de polímero:</b>	<b>Promedio=</b>	<b>05.68</b>

Fuente: Elaboración propia

Tala 3.38. Resultantes de la optimización del diseño de una mezcla asfáltica de policarbonato con bisfenol A (CD residual).

Valores del ensayo Marshall (diseño)					
Identificación	Porcentaje polímero	De	Valores con % optimo	Especificaciones técnicas	
% Densidad	05.676		02.38	-----	-----
Vacíos porcentaje	05.676		03.33	<b>3</b>	<b>5</b>
R.B.V.	05.676		79.95	<b>75</b>	<b>82</b>

V.A.M.	05.676	16.64	<b>13</b>	-----
Estabilidad (libras)	05.676	3423.29	<b>&gt;1800 libras. (75 golp.)</b>	
% Fluencia	05.676	12.75	<b>8.00</b>	<b>16.00</b>
<b>% óptimo de polímero:</b>			<b>5.67</b>	

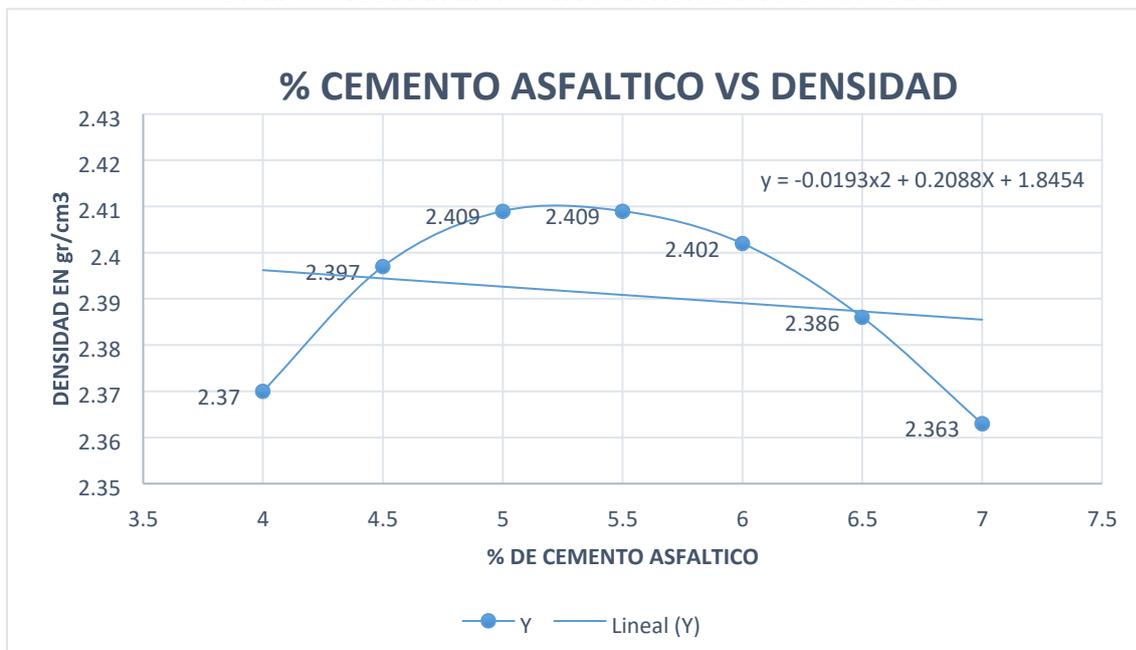
Fuente: Elaboración propia

### 3.11 Resultados y su análisis

La siguiente figura muestra los resultados del comportamiento de las propiedades mecánicas para el desempeño posterior de la mezcla en caliente de policarbonato de asfalto de bisfenol después de determinar los valores adecuados de densidad, estabilidad y fluencia para cada contenido de cemento asfáltico y polímero. (Análisis de los resultados del balance general de residuos de CD).

Se optó por graficar el porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla asfáltica en caliente en comparación con el porcentaje de policarbonato de bisfenol (CD residual) en la mezcla asfáltica polimérica y en comparación con la densidad de las briquetas en la figura siguiente.

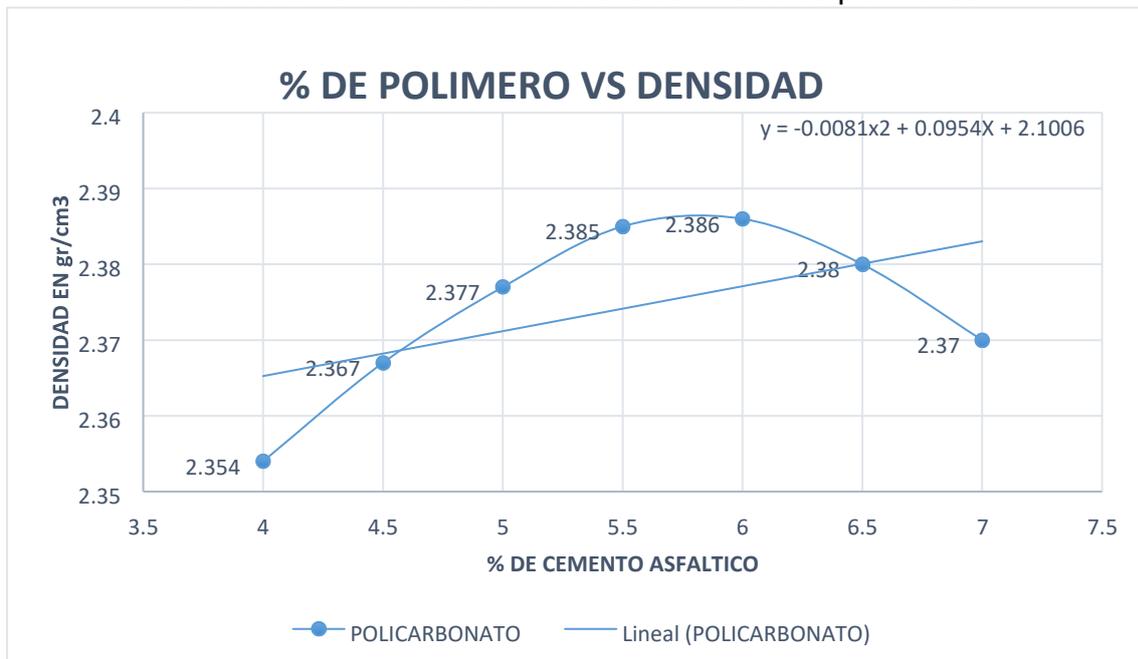
Gráfico 3.39. Análisis curva densidad vs % de C.A.



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 3.36 muestra la relación entre el porcentaje de cemento asfáltico y la densidad (gramos por centímetro cúbico). Se observó una sección transversal donde la densidad aumenta con el porcentaje para comprender el comportamiento de las propiedades mecánicas. A medida que aumenta el porcentaje de cemento asfáltico, se puede observar que la densidad se mantiene entre el 5.5% y el 6% y alcanza su punto máximo cuando alcanza su nivel máximo. A medida que aumenta el porcentaje de cemento asfáltico, la densidad disminuye gradualmente. Se analizaron los valores de contenido de cemento asfáltico, que oscilaron entre el 5,00 % y el 6,00 %, y el peso aparente osciló entre 2.370 y 2.363, y la ecuación de la línea de tendencia polinómica es:  $y = -0.0193x^2 + 0.2088x + 1.8454$ .

Gráfico 3.40. Análisis curva densidad vs % de polímeros



Fuente: Elaboración propia

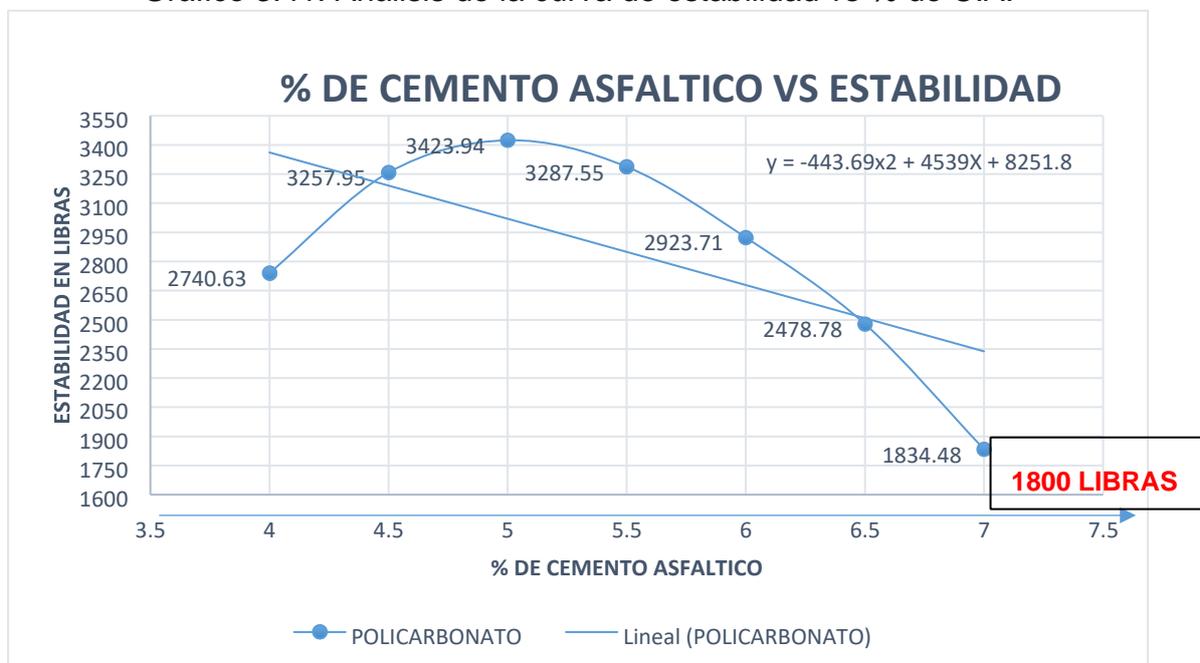
En la gráfica 3.37 se muestra Para evaluar y comprender el comportamiento de las propiedades mecánicas, podemos observar la relación entre el porcentaje de contenido de polímero y la densidad (gr/cm³). En la figura, podemos ver que la densidad aumenta en proporción al porcentaje de polímero de bisfenol A (CD residual) hasta alcanzar su punto máximo, luego disminuye a medida que aumenta el porcentaje de polímero de BPA (CD residual). Se ha estudiado el contenido ideal de cemento asfáltico (5,07%) con un contenido de polímero del 5 al 6% y una densidad de mezcla de 2.353 a 2.346 (gr/cm³). La curva se ajusta mejor a los

ésteres (residuos de CD) con una línea de tendencia polinómica y cuya ecuación es  $y = -0.0081x^2 + 0.0954x + 2.1006$  la mezcla con sílice oscila entre 2.354 y 2.324 (gr/cm<sup>3</sup>) con una tendencia polinómica cuya ecuación se ajusta mejor a la curva es:  $y = -0.0108x^2 + 0.1215x + 2.0409$ .

### 3.11.1. Para el análisis de la estabilidad

Se optó por graficar el porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla asfáltica en caliente y el porcentaje de policarbonato de bisfenol (CD residual) en la mezcla asfáltica polimérica en la siguiente curva para obtener datos de estabilidad para cada contenido. Cemento asfáltico para mezclas asfálticas en caliente, así como cada contenido de polímero para mezclas asfálticas con polímeros.

Gráfico 3.41. Análisis de la curva de estabilidad vs % de C.A.

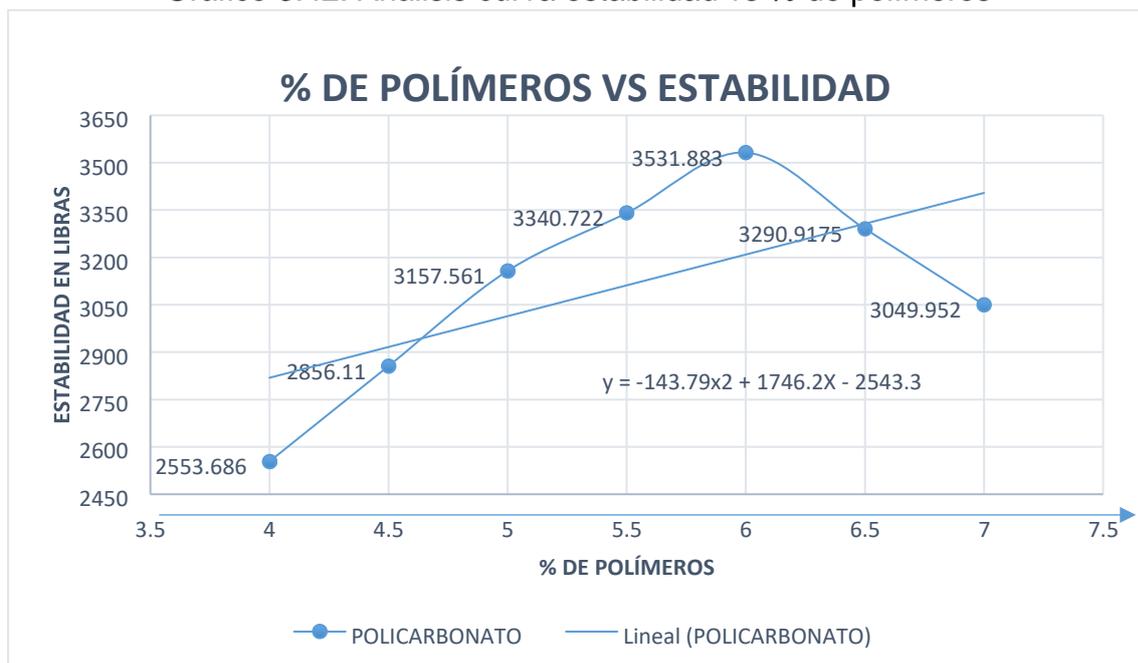


Fuente: Elaboración propia

La gráfica 3.38 muestra el porcentaje de cemento asfáltico en libras en comparación con la estabilidad. La gráfica muestra que la estabilidad aumenta a medida que aumenta el porcentaje de cemento asfáltico hasta cierto punto, lo que ayuda a ver y comprender el comportamiento de las propiedades mecánicas. La estabilidad disminuye a medida que aumenta la cantidad de cemento asfáltico, lo que significa que el contenido ideal de cemento asfáltico para esta propiedad mecánica oscila entre el 5 % y el 6%. Esto está cerca del valor ideal de dosificación de cemento asfáltico teórico, que da un porcentaje ideal del 6,28%, pero nos ayuda a estimar el

valor ideal calculado (5,7%). El contenido de cemento asfáltico se evaluó entre el 5% y el 6%, y su rango de estabilidad fue de 2740.63 libras a 1834.48 libras. El valor más alto, 3357.95 libras, se encontró con un contenido de cemento asfáltico del 5.07%, que era el más alto. La ecuación de la figura se utiliza para determinar el contenido de cemento asfáltico, y la siguiente ecuación se utiliza para encontrar la línea de tendencia polinómica que se ajusta mejor a esta curva:  $y = -443,69 x^2 + 4539,4x - 8251,8$

Gráfico 3.42. Análisis curva estabilidad vs % de polímeros



Fuente: Elaboración propia

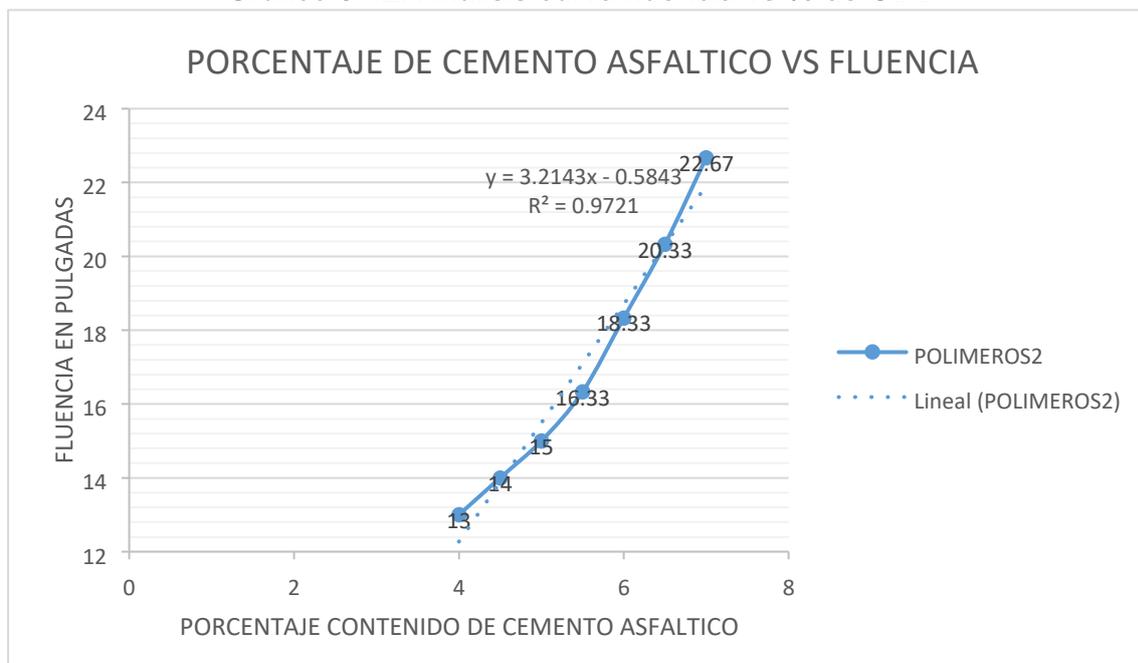
La relación entre el porcentaje de contenido de polímero y el porcentaje de estabilidad, que se expresará en libras, se muestra en la gráfica 4.39. Para observar y comprender el comportamiento mecánico y físico, podemos observar que el porcentaje de bisfenol en el diagrama de estabilidad aumenta a medida que aumenta el polímero. La dosis ideal de cemento asfáltico se encontró en el 5,07% durante los cálculos. La estabilidad de la mezcla asfáltica de policarbonato de bisfenol (CD residual) osciló entre 2,553,686 libras y 2,284,735 libras para diferentes valores de contenido de polímero de BPA del 5% al 6%; el uso de la ecuación del policarbonato de bisfenol o BPA (CD residual) para el estudio de la línea de tendencia polinómica es de 3422.26 libras y tiene un contenido óptimo de polímero de 5.68%. Esta es la ecuación que mejor se ajusta a la curva estudiada y

es la siguiente:  $y = -256.75x^2 + 3016.4x - 5426.5$ . La ecuación de la línea de tendencia polinómica del estudio es:  $y = -143.79x^2 + 1746.2x - 2543.3$ , lo que indica claramente que la estabilidad de las mezclas asfálticas con policarbonato de bisfenol (CD residual) ha mejorado en un 1,9%. es evidente. No tiene importancia para la estabilidad de las mezclas asfálticas convencionales.

### 3.11.2 Sobre la fluencia en comparación con el porcentaje de cemento asfáltico PEN 120/150

Los porcentajes de fluencia del cemento asfáltico y el porcentaje de policarbonato de bisfenol A o BPA (CD residual) en la mezcla asfáltica en caliente se compararon gráficamente para una mezcla asfáltica que contiene los siguientes polímeros y los elementos poliméricos correspondientes.

Gráfico 3.42. Análisis curva fluencia vs % de C.A.

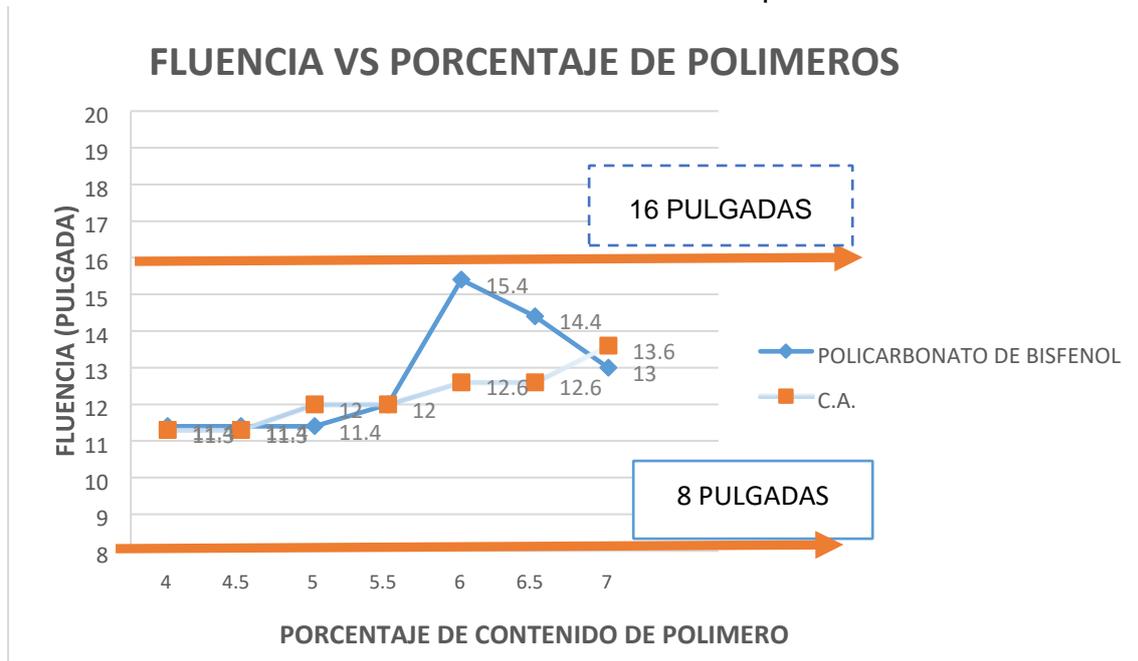


Fuente: Elaboración propia

La gráfica 3.40 muestra el porcentaje de cemento asfáltico versus la fluencia en 0.01 pulgada; para entender el comportamiento mecánico y físico, el flujo es proporcional al porcentaje de cemento asfáltico, es decir, cuanto mayor sea el porcentaje de cemento asfáltico, mayor será el flujo. El estudio se llevó a cabo con un contenido de cemento asfáltico del 5% al 6% y una fluencia de 13.00 a 22.67 por ciento pulgadas, con el valor más alto de contenido de cemento del 22.67 por

ciento. La ecuación para la línea de tendencia polinómica cuadrática del asfalto es la siguiente:  $0.619x^2 - 3.5952x + 17.524 = y$ .

Gráfico 3.43. Análisis curva fluencia vs % de polímeros con BPA



Fuente: Elaboración propia

El contenido de polímero se muestra en el gráfico anterior como porcentaje del caudal, expresado en 0,01 pulgadas. Por ejemplo, la fluencia aumenta con el contenido de policarbonato (CD residual), es decir, el porcentaje de policarbonato de bisfenol A (CD residual) presente en la mezcla. Se examinaron varios contenidos de policarbonato de bisfenol (CD residual) con valores entre 5% y 6%, y se encontró que el porcentaje óptimo de cemento asfáltico era el 5,07%. Esto es diferente del policarbonato de bisfenol o residuo de BPA (CD residual), balanza, tasa de fluencia entre 11,40 y 15,40 ppm, y el valor máximo de BPA (CD residual) era de 15,40 ppm. La mezcla que incorpora el policarbonato de bisfenol (CD residual) experimenta una disminución de su deformación en un 32.38%, según la línea de tendencia polinómica cuadrática y la ecuación:  $y = 0.0857x^2 + 0.0114x + 9.9143$ .

### 3.12. Comparación de los resultados

Tabla 3.44. Densidad de mezclas asfálticas convencionales en calientes

(%) de cemento asfáltico	Densidad (grs/cm <sup>3</sup> )
04.00	02.37
04.50	02.40
05.00	02.41
05.50	02.41
6.0	2.40
6.5	2.39
7.0	2.36

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.45. Densidad de combinación asfáltica con policarbonato de bisphenol

Porcentaje de polímero (%)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )
04.00	02.35
05.00	02.37
06.00	02.38
07.00	02.37
08.00	02.35

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en las tablas siguientes: La densidad de la mezcla asfáltica se determina utilizando 7 por ciento del contenido de cemento asfáltico. Cuando el contenido de cemento asfáltico es del 5 % y del 5 % y la densidad es de 2.41 gr/cm<sup>3</sup>, alcanza su valor más alto. Esto se debe a que la densidad de la mezcla

asfáltica que contiene policarbonato de bisfenol A o BPA (residuo de CD), que tiene un porcentaje de polímero del 6% y una densidad de 2.38 gr/cm<sup>3</sup>, por lo que significa que las mezclas asfálticas convencionales tienen mayor densidad, que las mezclas asfálticas que incorporaron policarbonato de bisfenol-A o BPA (residuo de CD) (2.41>2.38)(2.41>2.39).

### 3.12.1. Comparación de resultados de estabilidad

Tabla 3.59. Mezclas asfálticas tradicionales ensayo de Estabilidad Marshall

(%) de C.A	Estabilidad en (lbs)
04.00	2740.64
04.50	3257.95
05.00	3423.94
05.50	3287.55
06.00	2923.71
06.50	2478.78
07.00	1834.48

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.60. Estabilidad optima en mezclas asfálticas con la incorporación de bisphenol-A o BPA (residuo de CD)

Porcentaje de polímero (%)	Estabilidad (libras)
04.00	2553.686
05.00	3157.561
06.00	3531.883
07.00	3049.952
08.00	2284.735

Fuente: Elaboración propia

Los valores de estabilidad para la mezcla asfáltica de policarbonato de bisfenol o BPA con un contenido de polímero (CD residual) del 6% son fáciles de ver en la tabla anterior. El contenido es inferior al de las dos mezclas anteriores. Se puede observar que la mezcla asfáltica con 6% de polímero de policarbonato de bisfenol A (residuo de CD) es más estable que la mezcla asfáltica típica. Por lo tanto, las mezclas asfálticas con polímeros no son tan estables como las mezclas asfálticas convencionales. Las ecuaciones proporcionadas por estas cifras muestran los valores de estabilidad ideales para cada mezcla asfáltica convencional. El contenido ideal de cemento asfáltico de 5,07% proporciona la estabilidad ideal. Las mezclas asfálticas que contienen policarbonato de bisfenol o BPA (CD residual) tuvieron un valor de estabilidad de 3,357.95 libras. El valor de estabilidad obtenido con el contenido óptimo de polímero de 5,68% fue 3,422,26 libras, por lo que el valor de estabilidad de las propiedades mecánicas es 3357,95 libras. El valor más alto se encontró para la estabilidad de las mezclas asfálticas que contienen bisfenol - policarbonato (residuos de CD) con un porcentaje de polímero del 5,68% (3422,26 > 3357,95), se observó una mejora del 1,92% respecto a las mezclas asfálticas convencionales. Este es un valor insignificante en comparación con el valor de estabilidad del material. Valor de estabilidad más bajo (1800 lbs), pero no se mezcla significativamente en comparación con el asfalto normal.

### 3.12.2. Comparativo de los resultados obtenidos de fluencia

Tabla 3.62. Fluencias obtenidas en las mezclas asfálticas convencionales

(%) cemento asfáltico	Fluencia en (0.01 pulgadas)
4.0	13.00
4.5	14.00
5.0	15.00
5.5	16.33

6.0	22.67
6.5	20.33

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.53. Fluencia obtenida en las combinaciones asfálticas incorporando bisphenol o BPA (CD residual)

Porcentaje de polímero (%)	Fluencia (0.01 pulgadas)
05.00	11.40
05.50	12.00
06.00	15.40
06.50	14.40

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la tabla anterior, la fluencia de las mezclas asfálticas tradicionales es proporcional al porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla, es decir, el valor de fluencia de la mezcla asfáltica aumenta con el porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla. Por ejemplo, para asfalto tradicional con un contenido de cemento asfáltico del 6%, el valor de fluencia de la mezcla asfáltica alcanza el 22,67%. Sin embargo, para mezclas asfálticas. Las mezclas con bisfenol y policarbonato (CD residual) tienen un contenido de polímero máximo de 15,40 pulgadas. La fluencia aumentará un poco. Por lo tanto, este estudio muestra claramente que las mezclas asfálticas convencionales tienen una fluencia mayor que la combinación asfáltica con polímeros (policarbonato) de bisphenol o BPA (CD residual) como se estudió en este proyecto ( $22,67 > 15,40$ ) ( $22,67 > 14,60$ ), en este caso valores de fluencia. Los obtenidos en mezclas asfálticas con polímeros son menores debido a sus reducidos valores de deformación y fluencia de ambos en comparación con las mezclas asfálticas convencionales.

## **4. DISCUSIÓN**

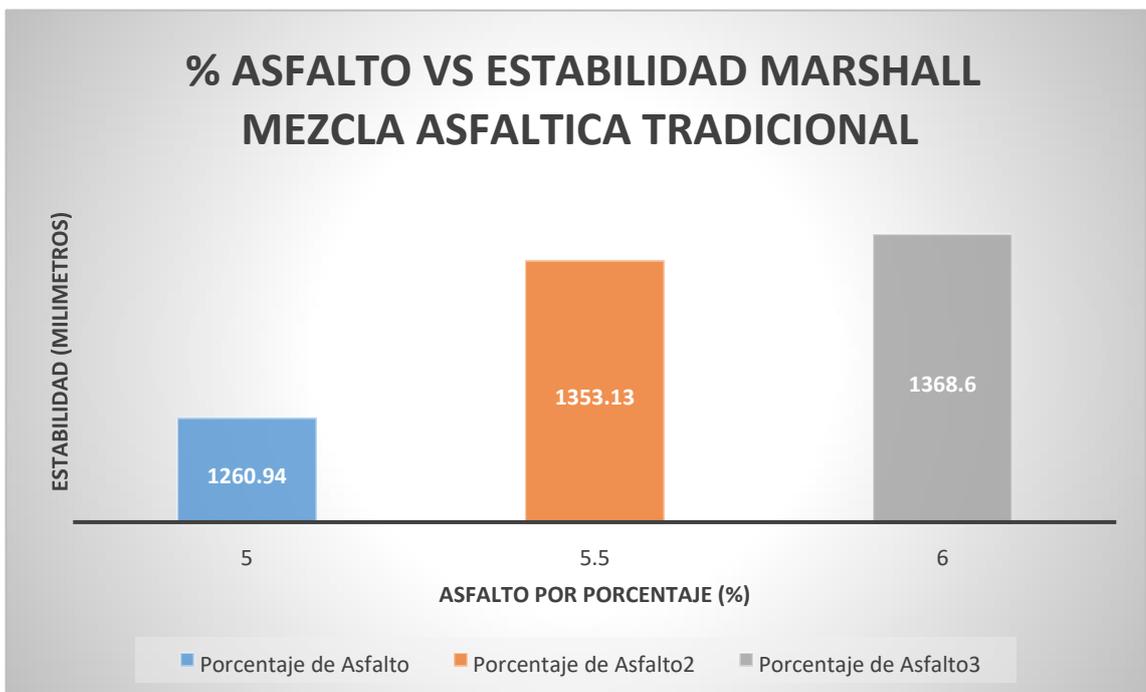
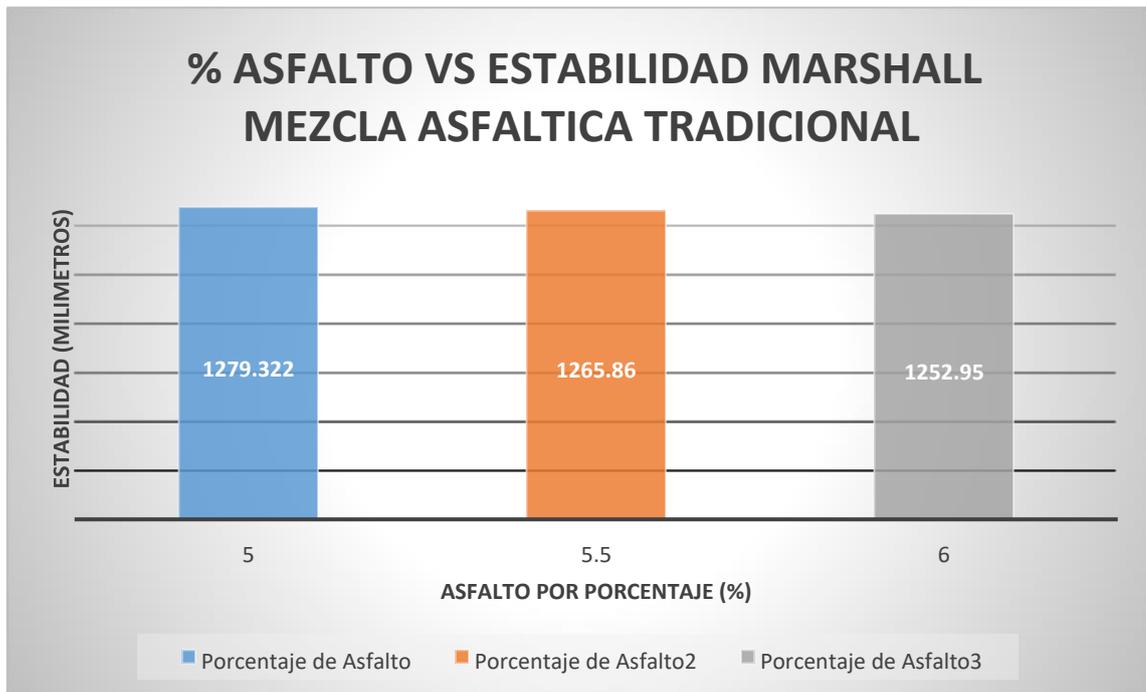
Según resultados obtenidos de exámenes de laboratorio las investigaciones se puede corroborar las diferencias que existen entre el ensayo Marshall convencional ante el modificado, según el resumen de la siguiente tabla:

### **4.1. Resultados obtenidos del análisis realizado:**

a) Según los hallazgos de la investigación de (Pañomino,2022), los parámetros volumétricos ideales para una combinación asfáltica convencional inducida al daño por humedad son los siguientes: la estabilidad Marshall en comparación con el porcentaje de asfalto es del

6.33% de asfalto, con la adición del 1% de polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado. Los resultados frente a una combinación asfáltica convencional son los siguientes:

a.1. Análisis de los resultados en la Estabilidad Marshall vs Asfalto:

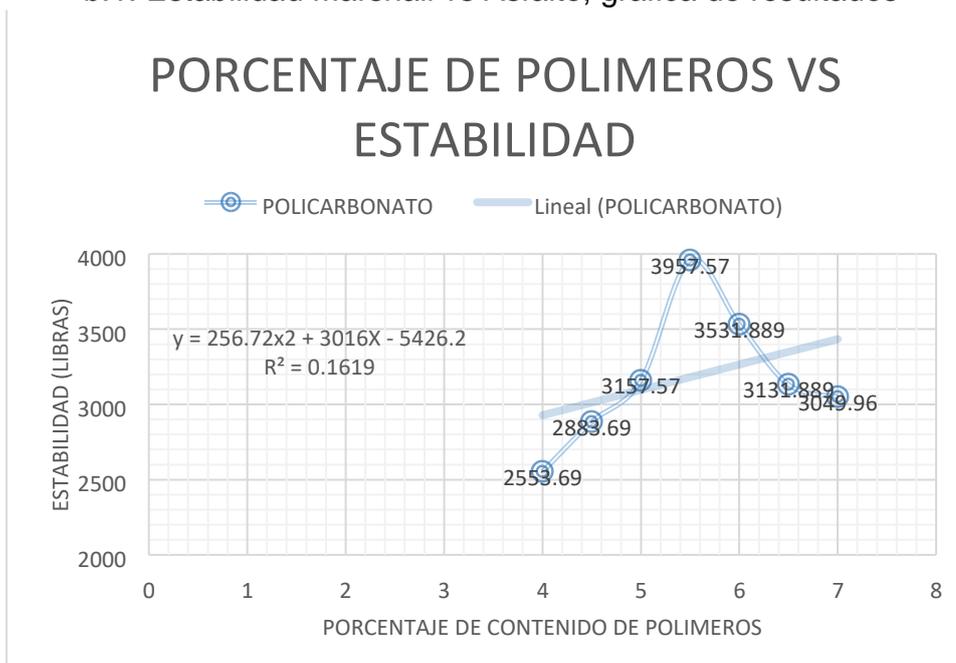


Fuente: (Palomino,2022)

En la gráfica anterior, se puede ver que el investigador encontró variaciones en la estabilidad de la combinación asfáltica modificada (se agregó HDPE) con respecto al porcentaje de asfalto. Al 6.33% de asfalto, la estabilidad ideal fue de 1368.60 kg, que cumple con los requisitos del manual de vialidad y la norma técnica CE.010 para pavimentos urbanos establecidos por RNE.

b) Con base en la gráfica del trabajo obtenido en este estudio, podemos observar el comportamiento del polímero en porcentaje versus estabilidad en kilogramos, y podemos observar el comportamiento mecánico con base en la gráfica de estabilidad, la cual aumenta con el porcentaje de aumento en policarbonato, hasta alcanzar la máxima estabilidad, según el análisis y cálculo teórico, debido a que el valor óptimo tiene una estabilidad significativa, el contenido de CA necesario para el cálculo inicial es el 5,07%, con una desviación significativa del 1,61%. De acuerdo con la ecuación de la línea de tendencia polinómica de este estudio, se puede observar que la adición de policarbonato aumenta la estabilidad óptima de la mezcla asfáltica en un 1,92%, lo cual es un cambio significativo. Esto cumple con los valores y requisitos de la Norma Técnica de Pavimentos Urbanos CE.010 y el Manual de Carreteras.

b.1. Estabilidad Marshall vs Asfalto, grafica de resultados



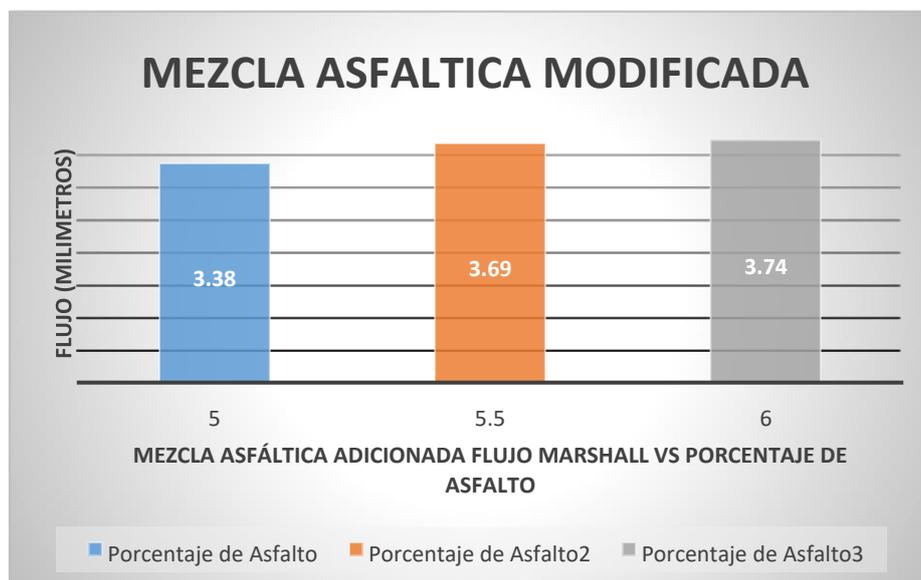
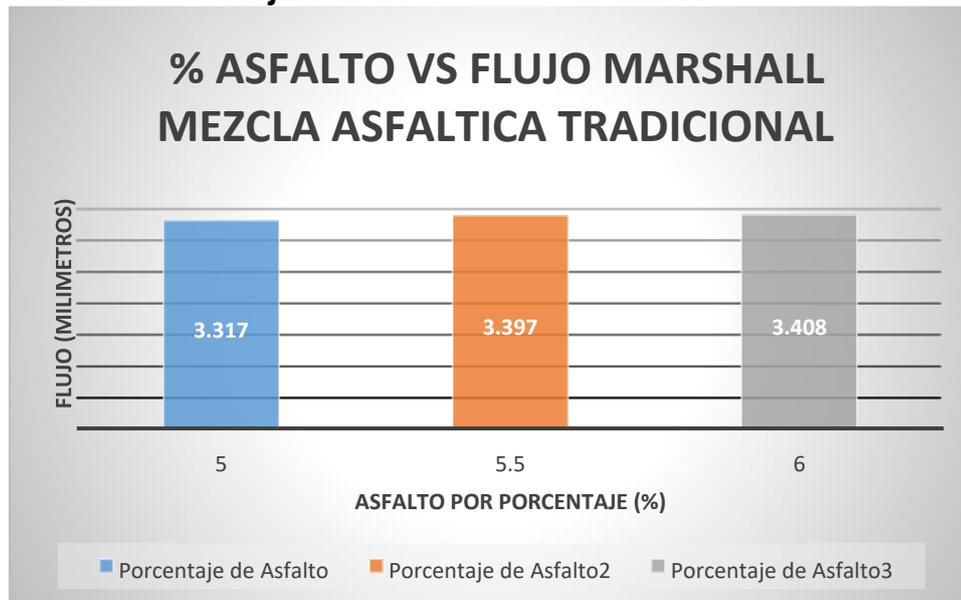
Fuente: Elaboración Propia

**4.2. Resultados del análisis realizado**

a) Según (Palomino, 2022), los resultados obtenidos en esta investigación, la variación del flujo de las mezclas asfálticas adicionales con HDPE

respecto al porcentaje de asfalto, el porcentaje optimo al 6.33% de asfalto, el flujo Marshall optimo es de 3.740 mm, que es de acuerdo a la ecuación presentada por el investigador Palomino 2022, con una línea de tendencia polinómica, este valor se corresponde con los requisitos del manual de vialidad y de la norma técnica CE.010 para pavimentos urbanos establecidos por RNE.

**a.1. Curva de Flujo vs % de cemento Asfáltico**

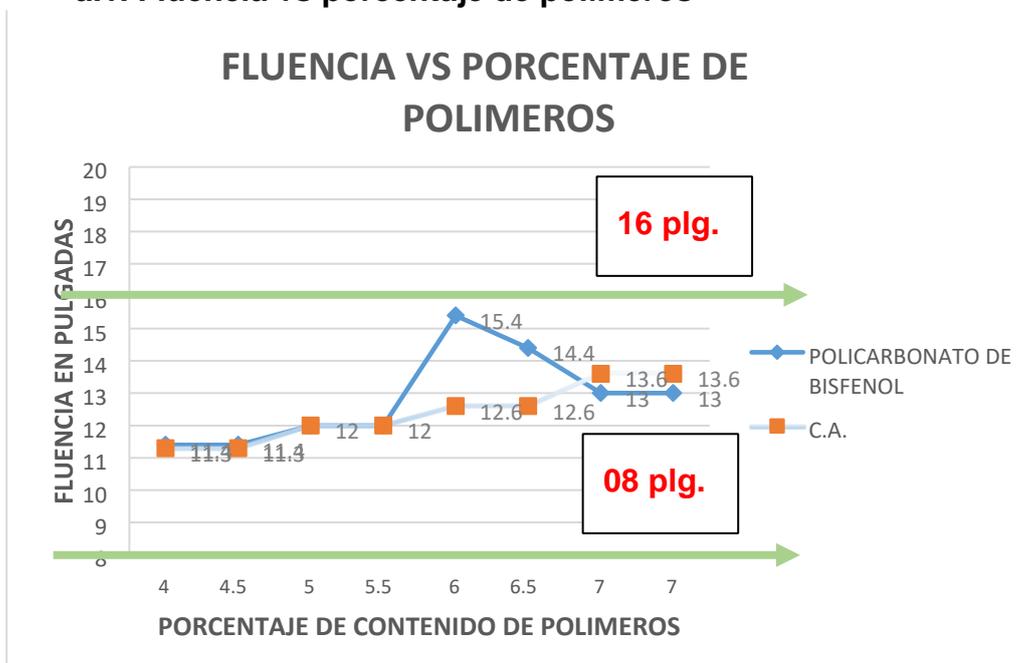


Fuente: (Palomino, 2022)

**b)** De la gráfica de trabajo obtenida para este estudio se puede observar que el comportamiento del polímero se muestra entre el (%) de C.A PEN 120/150, expresado como porcentaje, y la fluencia, expresada como 0.01

pulgada. Se ha observado en la Fig. que el coeficiente de flujo es proporcional al porcentaje de CA; a mayor porcentaje de CA (PEN 120/150), mayor será el flujo. Esto ayuda a comprender el comportamiento mecánico. Como resultado de esta investigación, se encontró una variación en el flujo de 11.40 pulgadas por pulgada a 15.40 pulgadas por pulgada, con el valor más alto en milímetros de 3.91 milímetros. Que se obtiene al 6% de cemento asfáltico, demostrando que los resultados obtenidos disminuyen su deformación en un 32.38% según la tendencia de la línea polinómica de segundo grado como se puede visualizar en la gráfica:

### a.1. Fluencia vs porcentaje de polímeros



Fuente: Elaboración propia

## 5. Conclusiones

### 5.1 Conclusiones

### **Conclusión 1**

- La densidad (CD residual) máxima de las mezclas asfálticas con policarbonatos de Bisfenol o BPA fue de 2,38 (gr/cm<sup>3</sup>) cuando se agregó el 6% de polímero. Los valores obtenidos fueron inferiores a lo normal, por lo que se puede inferir que el valor máximo de las muestras de mezclas asfálticas convencionales es de 2,41 (gr/cm<sup>3</sup>).

### **Conclusión 2**

- Se llevó a cabo un análisis de la estabilidad de cada mezcla asfáltica, y el porcentaje perfecto de la combinación de policarbonato de bisphenol (CD residual) fue del 5,68%, con una estabilidad de 3,422.26 libras, superior a la estabilidad de la combinación asfáltica tradicional de 3,357.95 libras. La dosis ideal de cemento asfáltico es del 5,07%, lo que indica que la estabilidad de la mezcla asfáltica con policarbonato de bisfenol (CD residual) aumenta en un 1,92% si se utiliza en mezclas asfálticas en caliente; sin embargo, este valor no es significativo para la investigación actual.

### **Conclusión 3**

- Se llevó a cabo un análisis de la fluencia de cada una de las mezclas asfálticas y se encontró que las mezclas asfálticas tradicionales tuvieron una fluencia máxima de 22.67 pulgadas, mientras que la mezcla con policarbonato de bisphenol (CD residual) tuvo una fluencia de 15.33 pulgadas. Se concluyó que los resultados de la mezcla convencional fueron superiores a los de la mezcla con policarbonato, lo que demuestra que los resultados obtenidos fueron y disminuyeron la deformación hasta en un 32.38% para mezclas con policarbonato.

### **Conclusión 4**

- El uso de policarbonatos de bisfenol (CD residual) en mezclas asfálticas en caliente con cemento asfáltico PEN 120/150. Según la norma técnica CE.010 de pavimentos urbanos indicados en el RNE, para el tráfico pesado, en términos de fluencia y estabilidad ideales de acuerdo con los ensayos Marshall, los resultados obtenidos son mínimos, pero están dentro de los límites. La especificación de propiedad mecánica para la estabilidad es de

1,800 libras, por lo que la combinación de policarbonato de bisphenol BPA (CD residual) tiene un valor de estabilidad de 3,422.26 libras, y para el flujo, el rango de tráfico pesado es de 8 a 16 pulgadas, lo que da como resultado en este rango, la mezcla de asfalto que fue incorporada con policarbonato de BPA (residuo de CD) alcanzó un valor de 15.33 centésimas de pulgada.

#### APLICACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENDIDOS:

Figura 5.1. Procedimiento para el colocado de la mezcla asfáltica incorporando policarbonato



Fuente: Elaboración propia

#### 6.- Recomendaciones

- Se dedica tiempo a la caracterización de agregados finos, gruesos y cemento asfáltico PEN 120/150 a medida que aumenta la población universitaria para maximizar el uso de los diferentes equipos y materiales que tiene un laboratorio.
- Al preparar mezclas asfálticas en caliente, es importante tener en cuenta las fluctuaciones y controlar cuidadosamente la temperatura, ya que calentar el cemento asfáltico durante demasiado tiempo puede provocar que pierda sus propiedades.

- Sea preciso al utilizar equipos de medición, porque sólo con precisión se pueden obtener buenos resultados de investigación.
  
- Este trabajo se realizó sobre asfalto modificado con la adición y/o incorporación de policarbonato de bisphenol o BPA (residuos de cd) que se espera continuar con más investigaciones sobre las diferentes mezclas de polímeros que hay en el mercado que son incorporadas a una mezcla asfáltica que se pueden lograr y los beneficios que se pueden lograr al usar el polímero usando el tiempo a mediano y largo plazo el termino cambia asfalto.

## **6.1. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

Almeida, J.O., Teixeira, P.F., Delgado, R.M.

Life cycle cost optimisation in highway concrete bridges management (2015) Structure and Infrastructure Engineering, 11 (10), pp. 1263-1276. Cited 18 times.

Amini, A.A., Mashayekhi, M., Ziari, H., Nobakht, S.

Life cycle cost comparison of highways with perpetual and conventional pavements (2012) International Journal of Pavement Engineering, 13 (6), pp. 553-568. Cited 19 times.

Amoaning-Yankson, S., Amekudzi-Kennedy, A. Transportation system resilience: Opportunities to expand from principally technical to sociotechnical approaches (2017) Transportation Research Record, 2604 (1), pp. 28-36. Cited 9 times.

Anand, P., Nahvi, A., Ceylan, H., Pyrialakou, V.D., Gkritza, K., Gopalakrishnan, K., Kim, S., Taylor, P.C. Energy and Financial Viability of Hydronic Heated Pavement Systems (2017) No. DOT/FAA/TC-17/47. Cited 1 time.

ASOS IEM: ASOS/AWOS/METAR data (2018) IEM: ASOS/AWOS/METAR Data. Cited 3 times.

Batioja-Alvarez, D.D., Kazemi, S.-F., Hajj, E.Y., Siddharthan, R.V., Hand, A.J.T.

Probabilistic mechanistic-based pavement damage costs for multitrip overweight vehicles (2018) *Journal of Transportation Engineering Part B: Pavements*, 144 (2), art. no. 04018004, . Cited 12 times.

Bid Letting (2017) Minnesota Department of Transportation. Cited 1 time.

Bozorgzad, A., Chon, B.J., Sampath, A., Kim, Y., Lee, H.D. Impacts of WMA additives on viscosity and cracking of asphalt binder (2018) *Advances in Civil Engineering Materials*, 7 (1), pp. 496-506. Cited 3 times.

Bozorgzad, A. Consistent distribution of air voids and asphalt and random orientation of aggregates by flipping specimens during gyratory compaction process (2017) *Construction and Building Materials*, 132, pp. 376-382. Cited 13 times.

Caterpillar Performance Handbook 10) (2015) Caterpillar Inc. Cited 1 time.

Ceylan, H., Kim, S., Zhang, Y., Nahvi, A., Gushgari, S., Jahren, C.T., Gopalakrishnan, K., Douglas, D., Gransberg, Arabzadeh, A. Evaluation of Otta Seal Surfacing for Low-Volume Roads in Iowa (2018) IHRB Project TR-674. Cited 1 time.

Overby, C., Pinard, M. Otta seal surfacing (2013) *Transportation Research Record*, (2349), pp. 136-144. Cited 8 times.

El-Din, M.N., Kim, J. Simplified seismic life cycle cost estimation of a steel jacket offshore platform structure (2017) *Structure and Infrastructure Engineering*, 13 (8), pp. 1027-1044. Cited 11 times.

Fathi, A., Mazari, M., Saghafi, M. Multivariate Global Sensitivity Analysis of Rocking Responses of Shallow Foundations under Controlled Rocking (2018) *Eighth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*. Cited 4 times.

FHWA 2006 Status of the Nation's Highways, Bridges, and Transit: Conditions & Performance (2013) 2013 Status of the Nation's Highways, Bridges, and Transit: Conditions and Performance. Cited 164 times.

(2017) Using a Life Cycle Planning Process to Support Asset Management. Cited 3 times.

Ferreira, A., Santos, J. Life-cycle cost analysis system for pavement management at project level: Sensitivity analysis to the discount rate (2013) *International Journal of Pavement Engineering*, 14 (7), pp. 655-673. Cited 22 times.

Asset Management Overview 18) (2007) Office of Asset Management. Cited 1 time.  
(2015) FHWA FY 2016 Budget Estimates | US Department of Transportation. Cited 1 time.

Trombulak, S.C., Frissell, C.A. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities (2000) *Conservation Biology*, 14 (1), pp. 18-30. Cited 1707 times.

Geoffroy, D.N. Cost-effective preventive pavement maintenance (1996) *CostEffective Preventive Pavement Maintenance*. Cited 29 times. Source: Scopus  
22) Ghalesari, A.T., Rasouli, H. Effect of gravel layer on the behavior of piled raft foundations (2014) *Geotechnical Special Publication*, (240 GSP), pp. 373-382. Cited 15 times.

Gransberg, D.D., Scheepbouwer, E. Infrastructure asset life cycle cost analysis issues (2010) *AACE International Transactions*, 1, pp. 237-246. Cited 10 times. Source: Scopus  
24) Gushgari, S.Y., Zhang, Y., Nahvi, A., Ceylan, H., Kim, S. Otta Seal Construction for Asphalt Pavement Resurfacing (2018) *International Conference on Transportation and Development 2018: Airfield and Highway Pavements - Selected Papers from the International Conference on Transportation and Development 2018*, pp. 177-184. Cited 6 times.

Huntington, G., Ksaibati, K. Management of unsealed gravel roads: State of the practice in American counties (2011) *Transportation Research Record*, (2232), pp. 1-9. Cited 6 times.

Jahren, C.T., Smith, D., Thorius, J., Rukashaza-Mukome, M., White, D., Johnson, G. (2005) *Economics of Upgrading an Aggregate Road*. Cited 11 times.

Johnson, E. (2011) *Otta Seal–Thin Bituminous Surfacing Option for Aggregate Roads*. Cited 3 times. Source: Scopus  
28) Johnson, G. *Minnesota's Experience with Thin Bituminous Treatments for Low-Volume Roads* (2003) *Transportation Research Record*, II (1819), pp. 333-337. Cited 10 times.

Kawa, I., Zhang, Z., Ronald Hudson, W. (1998). Cited 1 time.

Kelly, K., Juma, S. Environmentally Optimized Design for Low-Volume District Roads in Tanzania (2015) Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2472, pp. 40-48. Cited 1 time.

Bozorgzad, A., Kim, Y., Lee, H. Determining the Optimum Content and Stirring Time of Emerging Dry Polymer for Asphalt Using Rotational Viscometer, Dynamic Shear Rheometer, and Atomic Force Microscopy (2018) Advances in Civil Engineering Materials, 7 (1), pp. 33-45. Cited 6 times.

## ANEXOS

### Anexo 1. Matriz de Consistencia

<b>Título:</b> Aplicación de policarbonato bisfenol-a en la CU-105, para mejorar su comportamiento físico y mecánico del pavimento flexible, Cusco - 2023						
<b>Autor:</b> Bach. Mora Romero, Ronald Rodrigo						
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Problema General:	Objetivos General:	Hipótesis General:				
¿De qué manera la aplicación de policarbonato de bisfenol-a (CD recidual) en la CU-105, influirá en su comportamiento físico y mecánico de un pavimento flexible, Cusco 2023?	Determinar y analizar si la aplicación del policarbonato de bisfenol-a (CD recidual) en la CU-105 mejorará las propiedades físicas y mecánicas de un pavimento flexible, Cusco 2023	La incorporación de policarbonato de bisfenol-a (CD recidual) en la CU-105, que mejoraran las propiedades físicas y mecánicas de un pavimento flexible, Cusco 2023	<b>Variable Independiente:</b> Policarbonato de bisfenol-a	Propiedades Químicas	0.00% (PATRON) 5.00% (C.A) 5.50% (C.A) 6.00% (C.A)	Instrumentos mecanicos como equipos y herramientas de laboratorio como hornos, balanza, tamiz, etc.
<b>PROBLEMAS ESPECIFICOS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<b>HIPOTESIS ESPECIFICAS</b>	<b>Variable Dependiente:</b> Propiedades Físicas y Mecánicas del Asfalto PEN 120/150	Propiedades Físicas	Peso Unitario Porcentaje de Vacios Densidad Fluencia y Estabilidad	Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013” dispuesto por el Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC) Norma Tecnica CE.010 de Pavimentos urbanos indicados en el Reglamento nacional de edificaciones del Perú (RNE)
¿De qué manera la aplicación de policarbonato de bisfenol-a (CD recidual) en la CU-105 influirá en el comportamiento físico del pavimento flexible en caliente?	Evaluar el comportamiento físico al aplicar policarbonato de bisfenol-a (residuo de cd) en la CU-105, para mejorar su comportamiento físico del pavimento flexible en caliente, Cusco 2023	La aplicación de policarbonato de bisfenol-a (CD recidual) en la CU-105 influirá para mejorar su comportamiento físico del pavimento flexible en caliente, Cusco 2023				
¿De qué manera la aplicación de policarbonato de bisfenol-a (CD recidual) en la CU-105 influirá en el comportamiento mecánico del pavimento flexible en caliente?	Evaluar el comportamiento al aplicar policarbonato de bisfenol-a (residuo de cd) en la CU-105, para mejorar su comportamiento mecánico del pavimento flexible en caliente, Cusco 2023	La aplicación de policarbonato de bisfenol-a (CD recidual) en la CU-105 influirá para mejorar su comportamiento mecánico del pavimento flexible en caliente, Cusco 2023				
¿De qué manera influirá en el comportamiento del pavimento flexible la dosificación del policarbonato de bisfenol-a (CD recidual) en la CU-105?	Determinar si la dosificación 5%, 5.5% y 6% de policarbonato de bisfenol-a (CD recidual) en la CU-105, mejora su comportamiento físico y mecánico del pavimento flexible en caliente, Cusco 2023	Determinar si la dosificación 5%, 5.5% y 6% de policarbonato de bisfenol-a (CD recidual) en la CU-105, mejora su comportamiento físico y mecánico del pavimento flexible en caliente, Cusco 2023				

Titulo: Aplicación de policarbonato bisfenol-a en la CU-105, para mejorar su comportamiento físico y mecánico del pavimento flexible, Cusco - 2023 Autor: Mora Romero, Ronald Rodrigo