

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Según los datos, existen en el mundo alrededor de 40 millones de kilómetros de carreteras fabricadas, generalmente, mediante rocas y arenas mezcladas con betún, lo que viene siendo el asfalto que todos conocemos. Pero la empresa escocesa **MacRebur** ha conseguido desarrollar un tipo de plástico que puede sustituir parte de esa mezcla y que, lo más importante, está formado 100 % por residuos reciclados

La empresa asegura que puede eliminar el 10% de betún que se utiliza en la fabricación del asfalto convencional y sustituirlo por la mezcla de plástico reciclado. Además, asegura que el material que resulta es hasta un 60 % más fuerte, y su vida útil puede ser un 10 % mayor que la de las carreteras tradicionales.

Para la conservación del buen estado hacemos eco de una innovación más en las carreteras fabricadas con plástico reciclado manteniendo o mejorando sus propiedades físico mecánicas.

En la investigación se han realizado ensayos con diversos tipos de plásticos como PET, polipropileno, aunque este último ha sido el que mejores resultados ha dado. “Hemos hecho un estudio muy grande con los residuos de silos bolsa y con eso las pruebas en laboratorio han dado muy buen resultado”, explica la Dra. Silvia Angelone, directora del proyecto. “Lo que nos queda ahora es ver si lo podemos llevar al pavimento, ahí tenemos dos etapas, una es la fabricación de la mezcla asfáltica en la planta y después la puesta en el lugar”.

La idea de utilizar los plásticos para crear mezclas asfálticas surge de la afinidad de ambos materiales, puesto que plástico y el asfalto provienen del petróleo. Lo que se pretende es aprovechar un residuo que “como mínimo, no modifique las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas; pero si las modificara, tendría que mejorarlas”, destaca la investigadora.

[\(https://www.residuosprofesional.com/investigadores-argentinos-utilizan-residuos-plasticos-para-crear-nuevas-mezclas-asfalticas/\)](https://www.residuosprofesional.com/investigadores-argentinos-utilizan-residuos-plasticos-para-crear-nuevas-mezclas-asfalticas/)

Como también se realizaron diferentes investigaciones para el diseño de mezclas asfálticas con aditivos de plástico más conocido como asfalto verde.

- De acuerdo a la investigación de título **“Comparación técnica y económica entre las mezclas asfálticas tradicionales y reforzadas con plásticos reciclado en la ciudad de Lima-2017”**. Su objetivo principal es determinar el porcentaje de mejora de las características físicas y estructurales de la mezcla asfáltica modificada con plástico en comparación a la tradicional.

Los resultados que obtuvo al realizar los diferentes ensayos, que realizó por la vía seca reemplazando el 1% del agregado fino, que analizó 45 briquetas variando el porcentaje de plástico en un 0,5% 1% 1,5% unas 15 briquetas para cada porcentaje de plástico que llegó a verificar que el contenido óptimo con el cual mejora las características físicas y estructurales la mezcla asfáltica es 1%, mejora la resistencia a la deformación en un 3,11% lo que implica mayor soporte de cargas frente al tradicional. La capacidad de soportar cargas de la mezcla modificada con plástico aumentó un 4,49% con respecto a la mezcla tradicional, como también se comprueba que existe una reducción de la densidad de la mezcla en un 1,7% mejorando la productividad y la colocación (Fausto, 2017).

- Según la tesis de (Bach. NAVARRO JIMÉNEZ, José Martin.) de Pimentel-Perú, titulada **“Propuesta de Diseño de Mezclas Asfálticas con Adiciones de PET”**, su objetivo de investigación era elaborar una mezcla asfáltica en caliente con adiciones de PET, que permita determinar la estabilidad y flujo para pavimentos flexibles, donde concluyó que a pesar de que el PET es un material que tiene su punto de fusión a 260°C, no permite adicionarlo directamente ya que al calentarlo a 80°C se solidifica en 2 minutos en un color marrón oscuro, donde se hizo variar un porcentaje entre el 4,5% y 6,5% de cemento asfáltico haciendo variar el porcentaje PET en un 0,3% y un 0,5% que pasa la malla N°40 a 160°C, la cual se compactó con 50 golpes por cada cara, obteniendo un factor de estabilidad de 10,25 KN y el flujo es de 540 kg. (Navarro Jimenez, 2017)

- En la tesis de autoría (Bach, Semili Luis, Espinoza Japa) de título **“Utilización del plástico PET reciclado como agregado Ligante para un Diseño de mezcla Asfáltica en Caliente de Bajo Transito en la Ciudad de Huanuco-2018”** el cual su investigación realizada fue Determinar las características físicas y estructurales de la mezcla asfáltica, usando plástico PET reciclado y fundido para una carpeta de bajo tránsito en la ciudad de Huánuco. Los ensayos se realizaron por el método de reemplazo de la mezcla asfáltica por la vía líquida, ya que el plástico PET se utilizó como un agregado ligante reemplazando el 100% del Asfalto Tradicional. Habiéndose realizado tres ensayos Marshall de la mezcla asfáltica con plástico fundido, con 45 briquetas, 5 por cada juego de ensayo, con diferentes porcentajes de plástico siendo 18%, 20%, 22%, 24%, y 26% de peso total del peso de la muestra, se llegó a verificar que no se puede determinar el contenido óptimo y tres ensayos Marshall de la mezcla tradicional con 15 briquetas tres juegos de 5 muestras verificándose el contenido óptimo de 5,45% de asfalto de PEN 60/70. (Bach. Semilí Luis, 2019)

1.2 SITUACIÓN PROBLÉMICA

El problema con los desechos plásticos de polipropileno que aqueja no solo a nuestro país sino a diferentes partes del mundo, contaminando nuestro medio ambiente, agua y suelo debido a su tardado tiempo de descomposición, presenta una problemática muy seria.

Por esa razón se propone el rehuso de los materiales plásticos incorporando nuevas e innovadoras mezclas asfálticas.

El análisis de las mezclas asfálticas para realizar estructuras de pavimento con un nuevo cemento asfáltico añadiendo polipropileno fundido para así mezclarlo con el material pétreo creando una nueva mezcla asfáltica que resulte de mayor calidad. Como también incentivar a la reutilización de materiales plásticos en diferentes estructuras de la ingeniería para crear materiales que cumplan con las normas técnicas, que sean de un bajo costo, y muy amigables con el planeta.

1.2.1 PROBLEMA

¿Qué incidencia tendrá la adición de Polipropileno fundido en los valores físicos de estabilidad y flujo establecidos para la mezcla tradicionales en caliente?

1.2.2 RELEVANCIA Y FACTIBILIDAD DEL PROBLEMA

El análisis de la incidencia de la adición de POLIPROPILENO fundido en las mezclas asfálticas en caliente, se encuentra entre los rangos que exige las normas como también los manuales de construcción.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Técnica: La presente investigación experimental es de gran importancia debido a que permitirá ampliar nuestro conocimiento en el campo de la construcción de Pavimentos, ya que aquí se pretende obtener resultados al 95%, que permita la mejora en la elaboración de mezclas asfálticas, como el desempeño de las mezclas con adición de POLIPORPILENO fundido, donde buscaremos un alto grado de: Estabilidad, Fluidez, Resistencia.

Resultados que se verán reflejados en beneficio de la elaboración.

Económico: Esta tesis busca reducir los costos de la elaboración de mezclas asfálticas, basándose en el reciclaje de plástico de POLIPROPILENO debido a que su uso es muy grande en la sociedad, sin embargo se busca que el plástico de POLIPROPILENO aporte propiedades técnicas que cumplan las especificaciones dadas para el uso, como consecuencia favorezca al costo y el rendimiento de la mezcla asfáltica.

Social: La implementación del uso de materiales plásticos en mezclas asfálticas permite concientizar e incentivar a la sociedad, como también el reciclado del polipropileno reduce en una gran cantidad la contaminación medioambiental.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar la incidencia de la adición del polipropileno fundido como aditivo en mezclas asfálticas, a través de la metodología Marshall, para así generar una mezcla que permita mejorar la estabilidad y flujo que las mezclas tradicionales en caliente.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer la metodología para agregar el polipropileno fundido en la mezcla.
- Diseñar una mezcla asfáltica.
- Analizar técnica y económicamente.
- Validar los resultados finales.

1.5 HIPÓTESIS

Si, al adicionarse plástico de POLIPROPILENO reciclado fundido a la mezcla asfáltica, cumple con los valores físicos establecidas por la norma AASHTO para mezcla asfálticas tradicionales, como también cumple la resistencia a la deformación plástica y la estabilidad de las probetas utilizando el aparato MARSHALL según la norma AASHTO T245-97.

1.6 IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente tesis se clasifica en una investigación del tipo experimental ya que se plantea el diseño de una mezcla asfáltica utilizando plástico de POLIPOROPLENO FUNDIDO como aditivo al cemento asfáltico, para evaluar la incidencia y ver si cumple con los parámetros que da la normativa para mezclas asfálticas tradicionales, diseñadas con el método MARSHALL.

1.7 UNIDAD DE ESTUDIO Y DECISIÓN MUESTRAL

1.7.1 UNIDAD DE ESTUDIO

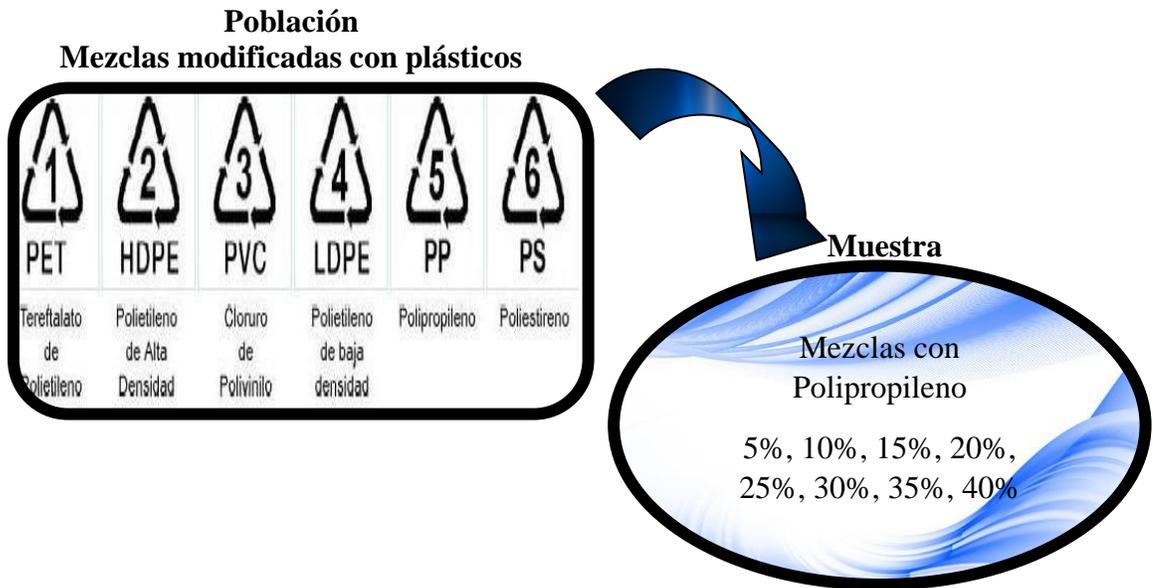
El análisis de la mezcla asfáltica que se hara para su posterior estudio se realizara de acuerdo a la norma AASHTO y según la metodología de diseño de mezclas asfálticas MARSHALL.

1.7.2 POBLACIÓN

La población de estudio es todas las mezclas asfálticas con diferentes ensayos, con diferentes cantidades de contenido de material plástico de polipropileno fundido con agregados de un banco de materiales de la ciudad de Tarija.

1.7.3 MUESTRA

Los diferentes grupos de probetas que se ensayarán en laboratorio serán 5 con el mismo porcentaje de polipropileno haciendo un total de muestras de 40 briquetas con un porcentaje de polipropileno de 5%, 10% , 15% , 20% , 25% , 30% , 35% , 40%, con respecto al peso del cemento asfáltico.



1.7.4 SELECCIÓN DE LAS TÉCNICAS DE MUESTREO

La técnica de muestreo aplicada para el desarrollo de esta tesis es el muestreo probabilístico estratificado debido a que cada grupo de muestras están separadas en diferentes estratos con un diferente porcentaje de POLIPROPILENO FUNDIDO para su posterior ensayo.

1.8 MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS

Los métodos y técnicas de investigación son los procedimientos para los investigadores para obtener datos necesarios del objeto de estudio para llegar a validar los resultados, así mismo que los datos obtenidos tengan garantía de investigación.

1.8.1 MÉTODOS

Los métodos empleados son el método empírico y método teórico.

El método empírico consiste en experimentar, observar, medir, comprobar, los resultados que queremos conocer, el método experimental es el más básico de una investigación, con la observación se procura evaluar un resultado, el comportamiento y el desarrollo de la mezcla asfáltica con el fin de tomar datos para analizarlos, el experimentador puede aislar el objeto de estudio para poder modificarlo en condiciones controladas cambiando las condiciones iniciales para poder medir los resultados.

El método teórico permite establecer relaciones esenciales del nuestro objeto de investigación que no son observables directamente y es importante para posibilitar un concepto de los datos empíricos para proceder a la construcción y desarrollo de teorías.

1.8.2 TÉCNICAS

Las técnicas utilizadas para la investigación que se usaran son la de revisión bibliográfica, como también el trabajo en campo.

La revisión bibliográfica es muy importante, es argumentar el porqué de la investigación documental, se descompone la pregunta principal del objeto de estudio en sub preguntas de tal manera que sea más fácil encontrar mucha más información relevante.

El trabajo en campo se puede resumir en lo que realizará la preparación de probetas que debe seguir el método MARSHALL para el diseño de mezclas asfálticas.

1.9 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Los diferentes datos recogidos mediante los diferentes ensayos Marshall serán procesados con la ayuda de hojas de cálculo Excel.

La interpretación de los resultados de la investigación será comparada mediante tablas y gráficos que nos presenta los manuales de especificaciones técnicas de la Administradora Boliviana de Carreteras, como también se realizará la comparación de los resultados obtenidos en laboratorio entre la mezcla tradicional y la mezcla adicionando polipropileno en el cemento asfáltico.

1.10 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El alcance de la presente investigación será el diseño de una mezcla en caliente por el método Marshall añadiendo Polipropileno fundido, para su posterior análisis y comparación del comportamiento de la estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica, con una mezcla tradicional, realizada con cemento asfáltico de 85-100 de procedencia brasilera para un tráfico pesado, con agregados pétreos de la chancadora Miraflores.

CAPÍTULO II
ASPECTOS
GENERALES DE LAS
MEZCLAS
ASFÁLTICAS EN
CALIENTE

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

2.1 MEZCLAS ASFÁLTICAS

Las mezclas asfálticas es un conjunto de materiales de distinto tipo como ser lo agregados tanto grueso como fino para ser aglomerado con un ligante del tipo hidrocarbúricos como es el cemento asfáltico.

También se puede definir a la mezcla asfáltica como una combinación de agregados minerales, aglomerados mediante un ligante asfáltico y mezclados de tal manera que los agregados pétreos queden cubiertos por una película uniforme de asfalto.

Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el comportamiento funcional de la misma como pavimento.

El Instituto del Asfalto de los Estados Unidos de Norteamérica, describe al asfalto como un cemento fuerte, fácilmente adhesivo, altamente impermeable, y durable.

Es una sustancia plástica que proporciona una flexibilidad controlable a las mezclas de material mineral con las que usualmente se combina. No obstante que es un sólido o semisólido, en condiciones normales de temperatura ambiental el asfalto puede ser fácilmente licuado mediante aplicación de calor.

El asfalto se considera como un cemento bituminoso, debido al hecho de que está constituido por hidrocarburos.

Existen diferentes clasificaciones de mezclas asfálticas en nuestro medio como ser las que se caracterizan por su temperatura de la mezcla puesta en obra, por su proporción de vacíos, por el tamaño máximo de su agregado pétreo.

2.1.1 CARACTERIZADOS POR SU TEMPERATURA

Las mezclas asfálticas caracterizados por su temperatura se dividen en dos: las mezclas en caliente y las mezclas en frío.

2.1.1.1 MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

Las mezclas asfálticas en caliente son una combinación de agregados y un ligante bituminoso, los agregados como el ligante se calienta a una temperatura superior a la temperatura ambiental que se encuentre entre 140°C a 160°C, sus características dependen de las propiedades de los agregados tanto fino como grueso, a su vez también incide el porcentaje del ligante que contenga la mezcla.

Se produce en una planta que puede generar altas temperaturas para el mezclado de los materiales, para su posterior traslado en grandes recipientes a la obra donde sea requerida; como también se puede producir en obra pero esta última es más complicado su producción debida que es difícil generar altas temperaturas como también se realiza en un poco volumen.

Figura 1 : Mezcla asfáltica en caliente



Fuente: Mezclas asfálticas

2.1.2 PROPIEDADES CONSIDERADAS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS

El diseño de una mezcla asfáltica consiste básicamente en la selección del tipo y granulometría del agregado a emplear, y de la selección del tipo y contenido de asfalto, de tal manera que se obtengan las propiedades deseadas en la mezcla y se satisfagan los requisitos específicos del proyecto.

La selección apropiada de los materiales con la calidad suficiente que constituirán la mezcla y de sus proporciones correctas, requiere el conocimiento de las propiedades más significativas de las mezclas, y de su influencia en el comportamiento del pavimento. Para una aplicación específica e independientemente del procedimiento de diseño empleado.

Son diferentes propiedades que se toman en cuenta a la hora de del diseño de una mezcla asfáltica ya que de este análisis dependerá su funcionalidad final.

- Estabilidad
- Durabilidad
- Flexibilidad
- Resistencia a la fatiga
- Resistencia al fracturamiento por bajas temperaturas
- Resistencia al daño por humedad
- Resistencia al deslizamiento
- Trabajabilidad
- **ESTABILIDAD**

La estabilidad de un asfalto es su capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas; un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos, ondulaciones y otras señas que indican cambios en la mezcla.

- **DURABILIDAD**

La durabilidad comprende todas las características que permiten una mayor vida de servicio del concreto asfáltico, como ser:

- ✓ Resistencia del asfalto a endurecerse durante la operación de mezcla.
- ✓ Resistencia al efecto abrasivo del tránsito, y a la acción destructiva de los agentes atmosféricos (aire, agua, cambios de temperatura).

- **FLEXIBILIDAD**

Se entenderá por pavimento flexible aquel que está compuesto por una capa o carpeta asfáltica es decir el pavimento flexible utiliza una mezcla de agregado grueso o fino (piedra machacada, grava y arena) con material bituminoso obtenido del asfalto o petróleo, y de los productos de la hulla.

- **RESISTENCIA A LA FATIGA**

La mezcla asfáltica en caliente debe tener la suficiente resistencia a tensión para soportar los esfuerzos en la base de la capa y lo bastante resistente para soportar las cargas del tráfico sin tener fisuras. Se sabe que asfaltos muy rígidos no tienden a comportarse mejor a la fatiga.

- **RESISTENCIA AL FRACTURAMIENTO POR BAJAS TEMPERATURAS**

La resistencia al fracturamiento, es la capacidad que debe tener una mezcla asfáltica al ser sometida a bajas temperaturas no debe sufrir agrietamientos.

- **RESISTENCIA AL DAÑO POR HUMEDAD**

Es la resistencia al paso de agua y aire hacia el interior, o a través de la mezcla asfáltica. La resistencia al daño por humedad se relaciona con las propiedades químicas del agregado mineral y el contenido de vacíos de aire en la mezcla compactada, y por tanto con los procesos de oxidación del asfalto, su adherencia y el drenaje del pavimento.

2.1.2.1.1 RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

Una mezcla debe tener la capacidad para no perder adherencia entre el neumático y la superficie de rodamiento, en particular cuando está húmeda. Una resistencia al deslizamiento baja se relaciona generalmente con las características de su micro textura del agregado.

- **TRABAJABILIDAD**

La trabajabilidad de las mezclas asfálticas se relaciona con la facilidad con la que se puede manejar, transportar al lugar de depósito o al lugar de la obra, a su vez también es relacionada con el buen comportamiento de la mezcla a la hora de su colocado en el sitio de compactación.

Generalmente esta propiedad de que la mezcla sea trabajable depende en demasía de los ingredientes que estas lo componen tal como los agregados gruesos como también de los agregados finos, dependiendo de sus características físicas como químicas, como también las proporciones en la que componen la dicha mezcla.

2.1.3 DOSIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS TRADICIONALES

La dosificación de las mezclas asfálticas generalmente se lo realiza siguiendo las normas de ASTM 3515 para mezclas asfálticas en caliente (MAC) donde se procede a realizar una comprobación de la granulometría de los agregados tanto fino como grueso, para la elección de las proporciones de agregados que puedan cumplir los parámetros como también los rangos que establece la norma mencionada anteriormente.

Se considera en las dosificaciones teniendo en cuenta los materiales que le pueden agregar una mayor resistencia y durabilidad, como también la mejor trabajabilidad en la obra.

La dosificación que se propone debe encontrar en medio de los rangos especificados, este último es deseable pero en muy pocos casos se da en la realidad, debido a que en la realidad se procede a la dosificación con los agregados que están disponibles en los bancos de materiales por esa razón las normas aceptan una flexibilidad en la gradación de los agregados que se usa en la mezcla de un determinado rango.

Figura 2 : Dosificación de materiales pétreos



Fuente: Materiales de construcción (San Rafael)

2.2 MEZCLAS MODIFICADAS CON PLÁSTICO

Las mezclas modificadas con plásticos son aquellas tal cual su nombre se refiere son modificadas con adiciones de polímeros o algún aditivo ya sea al cemento asfáltico o a los agregados pétreos para mejorar su desempeño en su vida útil.

Se puede considerar las mezclas modificadas como una mezcla mejorada en sus propiedades mecánicas, en nuestro medio se puede encontrar varias mezclas modificadas con distintos tipos de aditivos ya sea por la vía húmeda como también por la vía seca.

Las modificadas con plástico generalmente se lo realiza por vía seca añadiendo fibras de distintos polímeros, como también se modifica por la vía húmeda añadiendo plástico diluido directamente al cemento asfáltico.

En la mayoría de los casos se puede observar que las mezclas están modificadas con el plástico de (PET) que es el tereftalato de polietileno que dio buenos resultados se lo trabajo de diferentes maneras de forma seca y de forma húmeda; la cual fue añadiendo plástico triturado en remplazo de material fino en un porcentaje, dando resultado de mejora de la estabilidad y la fluencia; pero también se dio algunos resultados negativos, obteniendo que la mezcla con plástico en un cierto porcentaje se endurece de manera rápida sin poderlo trabajar.

pero también las modifican con los diferentes plásticos que hay en nuestro medio como con el polipropileno (PP) generalmente conocido como el plástico número 5.

Figura 3 : Mezclas modificadas con plásticos derretido



Fuente: Empresas y management

2.3 MATERIALES QUE COMPONEN UNA MEZCLA EN CALIENTE

Las mezclas asfálticas están compuestas por diferentes materiales tales como los agregados pétreos y algún tipo de betún que sirve de ligante para poder unir los diferentes materiales.

Generalmente las mezclas son usadas en estructura de pavimento flexible en la cual va a ir puesta una carpeta de rodadura debe cumplir varias especificaciones técnicas de materiales. (Hugo & Fredy, 2015)

2.3.1 LOS AGREGADOS PÉTREOS

El término agregado se refiere a partículas minerales granulares que se usan ampliamente para bases, subbases y relleno de carreteras. Los agregados también se usan en combinación con un material cementante para formar concretos para bases, subbases, superficies de desgaste y estructuras de drenaje. Las fuentes de agregados incluyen los depósitos naturales de arena y grava, los pavimentos pulverizados de concreto y asfalto, el material pétreo resquebrajado y la escoria de altos hornos.

Figura 4 : Agregado grueso (grava o gravilla)



Fuente: Materiales pétreos

Figura 5 : Agregado fino (arena)



Fuente: Materiales pétreos

2.3.2 COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS

La composición que deben cumplir los materiales granulométricos está en un rango especificado por la normas y manuales de construcción de estructuras de pavimento flexible, para todos los tipos de agregados, la fracción retenida entre dos tamices no debe ser inferior a 4% del total.

2.3.2.1 AGREGADO GRUESO

Los agregados gruesos o más conocidos como gravas son rocas trituradas obtenidas de bancos de materiales, es un principal componente para las mezclas asfálticas, el material debe ser limpio de una gran dureza debe contener un mínimo de partículas alargadas y planas, debe cumplir con la especificación técnicas o que se encuentren en un rango aceptable que permitan las normas de cada país.

debe cumplir con la especificación o que se encuentren en un rango de que se especifica en la siguiente tabla.

Tabla 1: Gradación de agregado grueso

Graduación para agregados gruesos	Tamaño de tamices									
	3"	2 ½"	2"	1 ½"	1"	¾"	½"	2/8"	Nº4	Nº8
	Porcentaje en peso que pase los tamices (AASHTO T27)									
1, ½" Nº4	-	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5
¾" Nº4	-	-	-	-	100	95-100	-	20-55	0-10	0-5
1" Nº4	-	-	-	100	95-100	-	-	-	0-10	0-5
1 ½" Nº4	-	-	100	95-100	-	35-100	25-80	10-30	0-5	-
2" Nº4	-	100	95-100	-	35-70	-	-	-	0-5	-
2, ½" Nº4	100	95-100	-	35-70	-	10-30	10-30	-	0-5	-
1 ½" ¾"	-	-	35-70	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-
2" ½"	-	100	90-100	35-70	-	-	0-5	-	-	-
2 ½" 1 ½"	100	90-100	35-70	0-15	20-55	0-5	-	-	-	-

Fuente: Manual de especificaciones técnicas para el diseño de carreteras (ABC)

2.3.2.2 AGREGADO FINO

El agregado fino es un conjunto de fragmentos de rocas, está compuesto por material de menor diámetro que las gravas generalmente son extraídas de canteras aluviales, son partículas esféricas en su mayoría libre de granos alargados y planos.

El agregado fino debe cumplir los rangos especificados de la tabla de gradación de material fino.

Tabla 2: Gradación de material fino

Tipo de tamiz	Porcentaje que pasa en peso (AASHTO T-27) 100
3/8"	100
N°4	95-100
N°16	45-80
N°50	10-30
N°100	2-10
N°200	0-3

Fuente: Manual de especificaciones técnicas para el diseño de carreteras (ABC)

2.3.2.3 MATERIAL DE RELLENO FILLER

Cuando sea necesario utilizar material de relleno (Filler), constituido por materiales finamente divididos, inertes en relación de los demás componentes de la mezcla, no plásticos, tales como polvo calcáreo, roca dolomítica, cemento portland, etc., con las siguientes exigencias granulométricas.

El material que pasa por el tamiz No.200, o sea el polvo mineral, deberá cumplir con la siguiente. más del 50% deberá hacerlo por tamizado seco con relación a la vía húmeda.

Tabla 3: Requisitos de graduación para el material de relleno (Filler)

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa por los tamices (AASHTO T-27)
N° 30	100
N° 80	95-100
N° 200	65-100

Fuente: Manual de especificaciones técnicas para el diseño de carreteras (ABC)

2.3.2.4 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

Según la bibliografía de la Universidad Mayor de San Simón Las propiedades más importantes de los agregados que se usan para la construcción de carreteras son:

- Tamaño y graduación de las partículas.
- Dureza o resistencia al desgaste.
- Durabilidad o resistencia a la intemperie.
- Densidad relativa
- Estabilidad química.
- Forma de partícula y textura de la superficie.
- Ausencia de partículas o sustancias nocivas.

Una propiedad clave de los agregados que se usan en las bases y superficies de las carreteras es la distribución de los tamaños de partículas al mezclarlos. La graduación de los agregados, esto es, la combinación de tamaños de partículas en la mezcla, afecta la densidad, la resistencia, y la economía de la estructura del pavimento.

Se usa un análisis granulométrico para determinar las propiedades relativas de los diferentes tamaños de partículas en una mezcla de agregados minerales. Para llevarlo cabo, se pasa una muestra pesada de agregado seco a través de un juego de mallas o tamices cuyo tamaño de abertura ha sido seleccionado previamente.

En el método AASHTO T27-99 se dan los procedimientos detallados para ejecutar un análisis granulométrico de agregados gruesos y finos.

Las mallas de prueba que se usan comúnmente para los proyectos de carreteras son aquellas con aberturas de $2\frac{1}{2}$, 2, $1\frac{1}{2}$, 1, $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{8}$ de pulgada cuadrada para las fracciones grandes y con 4, 10, 40, 80, 100, y 200 mallas por pulgada para las fracciones más pequeñas. Estas últimas mallas se designan como N° 4, N° 10.

Tabla 4: Tamaños nominales de Tamiz

Tamaños nominales de aberturas	
(mm)	ASTM
75,5	3”
63	2 ½”
50	2”
37,5	1 ½”
25	1”
19	¾”
12,5	½”
9,5	3/8”
6,3	¼”
4,75	N°4
2,36	N°8
2,0	N°10
1,18	N°16
0,6	N°30
0,3	N°50
0,15	N°100
0,075	N°200

Fuente: Manual de especificaciones técnicas para el diseño de carreteras (ABC)

- **DUREZA O RESISTENCIA AL DESGASTE**

Los materiales que se usan en los pavimentos de carreteras deberán ser duros y resistir el desgaste debido al efecto de pulido del tránsito y a los efectos abrasivos internos de las cargas repetidas. La estimación más comúnmente aceptada de la dureza de los agregados es la prueba de abrasión de Los Ángeles. La máquina que se usa en la prueba de Los Ángeles consta de un cilindro de acero hueco, cerrado en ambos extremos y montado en ejes en posición horizontal.

Para ejecutar la prueba de abrasión de Los Ángeles, se coloca dentro el cilindro una muestra limpia del agregado que se ha de probar junto con un peso estándar de esferas de acero como carga abrasiva. El tambor se hace girar 500 veces a una velocidad de 30 a 33 rpm, después de lo cual se retira la muestra de agregado y se agita en una malla del

N°12(1,70 mm). El material retenido en el tamiz se lava, se seca hasta alcanzar una masa constante y se pesa. Se reporta como porcentaje de desgaste la diferencia entre la masa original y la masa fina de la muestra expresada como un porcentaje de la masa original. El método T-96 de AASHTO da un procedimiento detallado para esta prueba.

- **DURABILIDAD O RESISTENCIA AL INTERPERISMO**

Comúnmente, la durabilidad de los agregados se mide con una prueba de integridad, como se describe en el método T-104 de AASHTO. Esta prueba mide la resistencia de los agregados a la desintegración en una solución saturada de sulfato de sodio o magnesio. Simula el intemperismo de los agregados que existen en la naturaleza.

Para la prueba se sumergen fracciones conocidas del agregado que se ha de probar en una solución saturada de sulfato de sodio o magnesio. Luego se retira el agregado y se seca en un horno hasta que alcance una masa constante. Se repite este proceso para un número especificado de ciclos, normalmente cinco. Después de los ciclos alternados de mojado y desecación, se divide al agregado en fracciones haciéndolo pasar por las mallas y se determina para cada fracción el porcentaje de pérdida de peso. El porcentaje de pérdida se expresa como un promedio pesado. Para un tamaño dado de malla, el porcentaje de pérdida promedio por peso es el producto del porcentaje que pasa por esa malla y el porcentaje que pasa por esa malla en el material original. El total de estos valores es el valor de prueba de pérdida en porcentaje.

- **DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN**

La densidad relativa y la absorción de los agregados son propiedades importantes que se requieren para el diseño de concreto y de mezclas bituminosas. La densidad relativa de un sólido es la razón de su masa a la de un volumen igual de agua destilada a una temperatura específica. Debido a que los agregados pueden contener huecos permeables al agua, se usan dos medidas de la densidad relativa de los agregados: densidad relativa aparente y densidad relativa de la masa.

- **ESTABILIDAD QUIMICA DE LOS AGREGADOS**

La densidad relativa y la absorción de los agregados son propiedades importantes que se requieren para el diseño de concreto y de mezclas bituminosas. La densidad relativa de un

sólido es la razón de su masa a la de un volumen igual de agua destilada a una temperatura específica. Debido a que los agregados pueden contener huecos permeables al agua, se usan dos medidas de la densidad relativa de los agregados: densidad relativa aparente y densidad relativa de la masa.

- **FORMA Y TEXTURA Y LIMPIEZA DE LOS AGREGADOS**

Por lo general, las especificaciones para agregados que se usan en la construcción de carreteras tienen requerimientos relacionados con la forma de la partícula, la textura de la superficie y la limpieza del agregado. Normalmente, las especificaciones para agregados que se usan en las mezclas bituminosas requieren que los agregados sean resistentes, limpios, durables y libres de cantidades en exceso de piezas planas o alargadas, polvo, bolas de arcilla y otro material indeseable. De igual manera, los agregados que se usan en las mezclas de concreto con cemento portland deben estar limpios y libres de sustancias nocivas como grumos de arcilla, sílice hidratada, limos y otras impurezas orgánicas.

Figura 6 : Materiales pétreos



Fuente: Materiales pétreos

2.3.2.5 MATERIALES ASFÁLTICOS

Son materiales aglomerantes sólidos o semisólidos de color que varía de negro a pardo oscuro y que se licuan gradualmente al calentarse, cuyos constituyentes predominantes son betunes que se dan en la Naturaleza en forma sólida o semisólida o se obtienen de la destilación del petróleo; o combinaciones de éstos entre sí o con el petróleo o productos de estas combinaciones.

2.3.2.5.1 PROPIEDADES DE LOS ASFALTOS

El asfalto es un material de particular porque es un aglomerante resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero. Es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de áridos con las que se combina usualmente. Además, es altamente resistente a la mayor parte de los ácidos, álcalis y sales. Aunque es una sustancia sólida o semisólida a temperaturas atmosféricas ordinarias, puede licuarse fácilmente por aplicación de calor, por la acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificación.

Químicamente, el asfalto puede definirse como una mezcla compleja de compuestos hidrocarbonados, cuya composición elemental arroja contenidos de aproximadamente 84% carbón, 10% hidrógeno, 1% oxígeno y 5% trazas de elementos como azufre, níquel, vanadio y hierro. Para fines de estudio y cuantificación, se han utilizado métodos químicos que permiten la separación de los componentes del asfalto y su clasificación en al menos cuatro grandes fracciones (método cromatográfico de detección por ionización de flama); saturados, aromáticos nafténicos (aromáticos), aromáticos polares (resinas) y asfáltenos. Los compuestos saturados son aceites ligeramente coloreados constituidos básicamente por cadenas hidrocarbonadas saturadas de bajo peso molecular (ligeras); en consecuencia son los constituyentes menos polares del asfalto y los de mayor volatilidad en comparación con el resto de las fracciones. Los aromáticos nafténicos, aromáticos polares y asfáltenos son progresivamente de color más oscuro, más polares y de menor tendencia a la volatilización que los componentes saturados.

2.3.2.5.2 CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS ASFÁLTICOS

Los cementos asfálticos se clasifican de diferentes maneras según el país en el que realice, en Bolivia se clasifica por el ensayo de penetración. Los cementos asfálticos se obtienen según la consistencia apropiada para los trabajos de pavimentación, se pueden clasificar según su dureza designados por las letras CA posteriormente seguido por un número como: CA-40, CA-50, CA-60, CA-80, CA-100, CA-120, CA-150, CA-200, CA-300.

uso que debe darse a las distintas penetraciones se deben considerar algunos de los siguientes criterios :

- Mientras más baja sea la penetración, más estabilidad aporta el asfalto en una mezcla asfáltica.
- Para climas fríos deben usarse penetraciones más altas (85-100, 120 - 150) que para climas cálidos (60 - 70, 85 - 100), en Climas templados penetraciones intermedias (85 - 100).
- Deberá seleccionarse la penetración del asfalto de acuerdo al tipo de tránsito siendo las penetraciones más bajas para los tránsitos más pesados.

(<https://slideplayer.es/slide/16448763/>)

Figura 7 : Clasificación de cementos asfálticos



Fuente: Cementos asfálticos

2.3.2.6 CEMENTO ASFÁLTICO

El cemento asfáltico, es un material proveniente del petróleo es una masa negra y pegajosa que su comportamiento se modifica según la temperatura a la que está sometido puede ser sólido a cierta temperatura, como también puede cambiar de estado cuando se llega a una cierta temperatura, mientras más caliente este el cemento asfáltico más viscoelástico se vuelve, su principal uso se da para la construcción de pavimentos flexibles, también es muy usado como impermeabilizante en diferentes estructuras civiles.

En el proceso constructivo de mezclas asfálticas, el cemento asfáltico se manipula a temperaturas muy altas para reducir su viscosidad y hacer más trabajable su fabricación y compactación de las mismas.

Figura 8 : Cementos Asfálticos



Fuente: “BRIMA” cemento asfáltico

2.3.2.7 ASFALTO LIQUIDO

Los asfaltos líquidos son productos formados por mezclas de cementos asfálticos y solventes de hidrocarbonados de diferentes rangos de destilación, que imparten a los asfaltos diluidos sus distintos tiempos de corte o curado. Son productos líquidos a temperatura ambiente y que se aplican en frío.

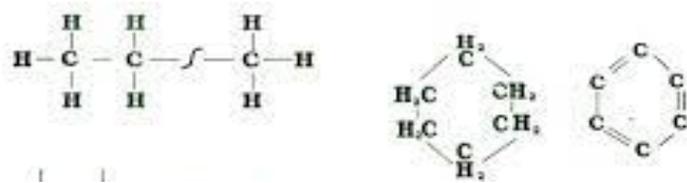
Los más utilizados son los de Curado Medio (MC) y los de Curado Rápido (RC) y emulsiones asfálticas convencionales.

Son usados mayormente en lechadas asfálticas, riesgos de liga, tratamientos superficiales, micro pavimentos y estabilización de suelos en superficies con necesidades de impermeabilización.

2.3.2.8 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL ASFALTO

Químicamente, el asfalto puede definirse como una mezcla compleja de compuestos hidrocarbonados, cuya composición elemental arroja contenidos de aproximadamente un 84% carbón, 10% hidrógeno, 1% oxígeno y 5% trazas de elementos como azufre, níquel, vanadio y hierro. Para fines de estudio y cuantificación, se han utilizado métodos químicos que permiten la separación de los componentes del asfalto y su clasificación en al menos cuatro grandes fracciones (método cromatográfico de detección por ionización de flama); saturados, aromáticos nafténicos (aromáticos), aromáticos polares (resinas) y asfáltenos. Los compuestos saturados son aceites ligeramente coloreados constituidos básicamente por cadenas hidrocarbonadas saturadas de bajo peso molecular (ligeras); en consecuencia son los constituyentes menos polares del asfalto y los de mayor volatilidad en comparación con el resto de las fracciones. Los aromáticos nafténicos aromáticos polares y asfáltenos son progresivamente de color más oscuro, más polares y de menor tendencia a la volatilización que los componentes saturados. (Mexicano, Hernández, Rangel, & SBS)

Figura 9 : Química del cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

2.3.2.9 PROPIEDADES FÍSICAS DEL ASFALTO

Las propiedades físicas del asfalto, de mayor importancia para el diseño, construcción, y mantenimiento de carreteras son: durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento.

- **DURABILIDAD**

Es la medida de que tanto el cemento asfáltico puede retener sus características originales, cuando es expuesto a la degradación y envejecimiento. Esta propiedad es juzgada a través del comportamiento del pavimento, la durabilidad del cemento asfáltico está relacionado con el comportamiento de la mezcla asfáltica.

- **ADHESIÓN Y COHESIÓN**

La adhesión y cohesión es la capacidad del cemento asfáltico de mantener firmemente, en su puesto al agregado al adherirse a las partículas que estas la componen, esta propiedad es muy importante ala realizar las diferentes mezclas asfálticas.

Figura 10 : Propiedad física de cemento asfáltico



Fuente: Asfaltos RABBI

2.4 TIPOS DE PLÁSTICO

El plástico es un material constituido por compuestos orgánicos, sintéticos que tienen la propiedad de ser maleables y por tanto pueden ser moldeados en objetos sólidos de diversas formas. Esta propiedad confiere a los plásticos una gran variedad de aplicaciones.

Los plásticos son normalmente polímeros orgánicos de alto peso molecular. Usualmente son sintetizados, comúnmente a partir de derivados químicos del petróleo (petroquímicos). Sin embargo, también existen, un número muy pequeño de plásticos hechos a partir de fuentes renovables, tales como el ácido poliláctico derivado del almidón de maíz o la celulosa derivada del algodón.

Los tipos más importantes de plásticos utilizados en el comercio europeo son el polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), policloruro de vinilo (PVC), tereftalato de polietileno (PET) y poliuretano (PU).

En su generalidad estos plásticos se pueden encontrar fácilmente en nuestro medio en diferentes tipos de enseres como embaces, usados en diferentes fábricas.

Figura 11 : Tipos de plásticos



Fuente: Comintec

2.4.1 PLÁSTICOS DE POLIPROPILENO

El polipropileno es un polímero termo plástico, parcialmente cristalino que se obtiene de la polimerización del propileno. Pertenece al grupo de las poliolefinas y es utilizado en una amplia variedad de aplicaciones que incluyen empaques para alimentos, tejidos, equipo de laboratorio, componentes automotrices y películas transparentes. Tiene gran resistencia contra diversos solventes químicos, así como contra álcalis y ácidos.

Las propiedades del polipropileno son:

- Tiene una densidad baja, así que permite fabricar productos ligeros.
- Es un material fácil de reciclar.
- Posee una buena capacidad de recuperación elástica.
- Tiene poca absorción de agua, así que no es un material húmedo.
- Es muy resistente a los agentes químicos.
- Buena estabilidad térmica.

2.4.1.1 ELABORACIÓN DEL POLIPROPILENO

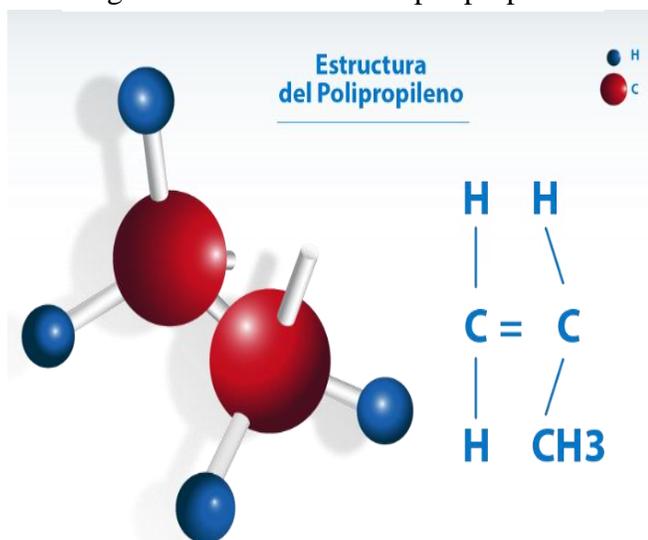
El polipropileno fabricado de manera industrial es un polímero lineal, cuya espina dorsal es una cadena de hidrocarburos saturados. Cada dos átomos de carbono de esta cadena principal, se encuentra ramificado un grupo metilo (CH_3).

En la actualidad muchas de las nuevas unidades de producción incorporan procesos híbridos, en los que se combina un reactor que opera en suspensión con otro que opera en fase gas, Los procesos en solución, prácticamente en desuso, son aquellos en los que la polimerización tiene lugar en el seno de un disolvente hidrocarbonado a una temperatura de fusión superior a la del polímero. Siendo su estructura molecular del polipropileno.

- Procesos en solución
- Procesos en suspensión
- Procesos en fase gas

Entre sus ventajas han contado con la fácil transición entre grados, gracias a la pequeña dimensión de los reactores empleados.

Figura 12 : Estructura del polipropileno



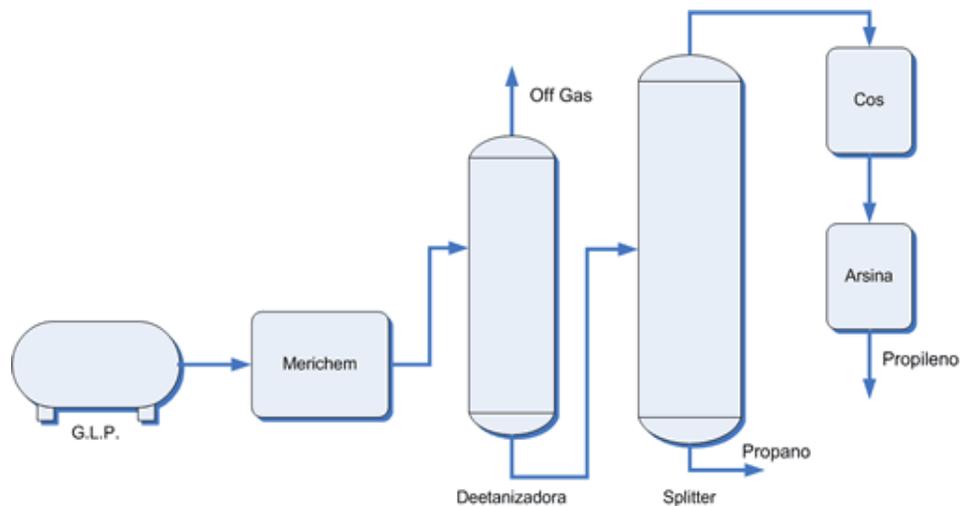
Fuente: Química de los plásticos

Los procesos en suspensión, están configurados para que la reacción tenga lugar en un hidrocarburo líquido, en el que el polipropileno es prácticamente insoluble, y a una temperatura inferior a la de fusión del polímero. Dentro de este tipo de procesos existen marcadas diferencias en la configuración de los reactores (de tipo bucle o autoclave) y en el tipo de diluyente utilizado, lo que afecta a las características de la operación y al rango de productos que se puede fabricar.

<https://www.textoscientificos.com/polimeros/polipropileno/fabricacion>

El polipropileno es obtenido por la polimerización del propileno, que es la materia prima para la polimerización del polipropileno, que se obtiene a partir de la refinación del petróleo o gas natural; El propileno es la materia prima más barata en la producción de polímeros, que es un subproducto gaseoso de la refinación del petróleo. Todo esto desarrollado en presencia de un catalizador, bajo un cuidadoso control de temperatura y presión.

Figura 13 : Destilación de propileno para polipropileno



Fuente: Procesos de fabricación de polipropileno

La polimerización del propileno para la obtención del polipropileno es una reacción de adición que emplea catalizadores de coordinación. Estos son compuestos de metales de transición que, por medio de enlaces metal-carbono, permiten la inserción de unidades de monómero.

CATALIZADORES La polimerización puede hacerse con catalizadores Ziegler-Natta y por polimerización catalizada por metallocenos. Un catalizador Ziegler-Natta puede ser definido como un compuesto de un metal de transición que mediante un enlace metal-carbono es capaz de realizar la inserción repetitiva de unidades olefínicas. Generalmente, el catalizador consiste en dos componentes, por ejemplo. Una sal de metal de transición, más frecuentemente un haluro (TiCl_4 o tetracloruro de titanio), y alquilo metálico, como activador o cocatalizador ($\text{Al}(\text{CH}_3)_3$) (Trietilaluminio), que tiene el propósito de generar el enlace metal – carbono activo.

<https://ppqujap.files.wordpress.com/2016/05/proceso-de-polipropileno.pdf>

2.4.1.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL POLIPROPILENO

Las características técnicas del polipropileno, son verificadas por diferentes normativas como ser la elasticidad, alargamiento a la rotura, densidades, fricción, resistencia a la rotura al impacto, a la tracción, y temperatura máxima y mínima de trabajo, (Plasticbages Industrial, 2018) proporciona diferentes tablas de las medidas de barras y placas de polipropileno que suministra, y los pesos de los distintos formatos a su disposición, tanto en barras como en placas, consulte las tablas referentes al polipropileno que aparecen a continuación:

Tabla 5: Características técnicas del polipropileno

Propiedad	Unid.	Norma	(P.P.)
Alargamiento a la rotura	%	DIN 53455	650
Conductividad térmica	w/km	DIN 52612	0,22
Coefficiente de dilatación térmica de 20°C a 50°C	m/m k	-----	150*10-6
Coefficiente de fricción		-----	0,4
Densidad	gr/cm2	DIN 53479	091
Dureza a la bola	N/mm2	DIN 53456	
Dureza “shore”		DIN 53505	D73
Módulo de elasticidad	N/mm2	DIN 53457	1300
Punto de fusión	°C	ASTM D789	164
Resistencia superficial		DIN 53482	5*1013
Resistencia al impacto	KJ/m2	DIN 53453	10
Resistencia a la tracción	N/mm2	DIN 53455	33
Temperatura máxima de uso	°C	NORMAL CON PUNTAS	100-140
Temperatura mínima de uso	°C	-----	-10

Fuente: Plasticbages industrial

2.4.1.3 USOS DEL POLIPROPILENO

El polipropileno es usado en muchos de los plásticos que se usa en el diario vivir de la sociedad, en diferentes tipos de industrias o como empaque como por ejemplo los plásticos hechos de este material sirven para realizar:

- Embalajes
- Juguetes
- Bolsas
- Piezas de automóviles
- Altavoces
- En la industria de alimentos y medicinas

<https://es.wikipedia.org/wiki/Polipropileno>

Figura 14 : Plásticos de Polipropileno



Fuente: Plastics technology

2.4.1.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL POLIPROPILENO

Las ventajas del polipropileno son muy amplias se mencionarán solo algunas:

- Es un excelente producto para la fabricación de contenedores para conservar productos al aire libre, ayuda a conservar productos y materiales para que se conserven en óptimas condiciones
- Impermeabilidad: al polipropileno no le afecta ninguna condición climática adversa, es usado para la protección de materiales como maderas que se encuentren a la intemperie, también tiene una buena resistencia a las temperaturas para el uso con productos en caliente.
- Material liviano: el polipropileno es un material muy ligero, lo que facilita su manejo durante toda la cadena de distribución.

[\(https://greenboxsl.com/es/greenbox/embalaje-ecologico/conoce-mas-a-fondo-el-polipropileno-el-material-de-green-box/\)](https://greenboxsl.com/es/greenbox/embalaje-ecologico/conoce-mas-a-fondo-el-polipropileno-el-material-de-green-box/)

Las ventajas del polipropileno

Los plásticos en una gran mayoría están compuestos por el plástico 5 que es el polipropileno buena parte de estos productos que muchas veces no se reciclan en una gran mayoría son quemados o desechados a la intemperie siendo un potencial agente contaminante en el medio ambiente, dañan la fauna así negando el desarrollo de las especies que lo habitan.

2.4.1.5 RECICLADO DEL POLIPROPILENO

El reciclado de plástico es el proceso de recuperación de desechos de plásticos. Las tres principales finalidades del plástico reciclado son la reutilización directa, el aprovechamiento como materia prima para la fabricación de nuevos productos y su conversión como combustible o como nuevos productos químicos.

Se pueden reciclar de diferentes maneras tanto mecánico como químico.

Reciclaje mecánico.- método que consiste en separar los plásticos por clase, lavarlos y triturarlos hasta convertirlos en pequeños trozos que se fundirán en moldes para producir nuevos productos.

Reciclaje químico.- método que consiste en la degradación del plástico mediante calor para resultar nuevamente moléculas simples.

Los plásticos que tienen polipropileno se pueden diferenciar según su nomenclatura que es PP o también lleva un símbolo del número 5 en medio de un triángulo.

Figura 15 : Reciclado de plástico de P.P.



Fuente: Reciclaje de plásticos

2.5 PRODUCCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EN PLANTA

La planta mezcladora de tambor es ubicada en la zona central del área de producción, el cual se encuentra nivelado, ordenado y limpio. Posee un acceso de ingreso y salida para las movilidades de transporte de agregados, respectivamente señalizado para evitar accidentes y congestión durante el ciclo de producción.

La planta de asfalto posee tres zonas de almacenamiento de los agregados, los cuales se encuentran apilados según su tamaño y tipo de agregado (grava, gravilla, arena), trabajo que es realizado por los volqueteros y personal de apoyo.

La planta cuenta con tres tolvas donde se deposita los materiales pétreos con ayuda de la maquinaria respectiva, de las tolvas es trasladado el material por cintas de transportación, las cuales son regulados su velocidad de acuerdo a la dosificación de agregados en la mezcla.

Figura 16 : Planta de mezclas en caliente



Fuente: Mezclas en caliente

Las cintas transportadoras llevan a un horno secador el cual alcanza una temperatura de +100°C para evaporar el agua que tiene los materiales, para pasar al cilindro mezclador para producir la mezcla y pasar a la última cinta transportadora para ser cargado en la maquinaria de transporte hacia la obra. (Ojeda, 2019)

Figura 17 : Cargado de mezcla asfáltica



Fuente: Mezclas asfálticas

Figura 18 : Colocado de mezcla en obra



Fuente: Mezclas asfálticas

CAPÍTULO III
MATERIALES Y
MÉTODOS

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

El enfoque de la investigación será del tipo cuantitativo ya que su objetivo es diseñar una mezcla asfáltica con la adición del Polipropileno fundido para medir sus propiedades mecánicas para probar la hipótesis planteada. Por medio de experimentos como de revisión bibliográficas de diferentes investigaciones que se desarrollaron referentes al tema tomando los puntos principales de base para la investigación.

3.2 CONCEPTUALIZACIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

El conjunto de variables es independiente y dependiente.

3.2.1 VARIABLES INDEPENDIENTES

Las variables independientes en la investigación se presentan de dos formas; en principio la variable del tipo experimental que sería el contenido de Polipropileno en la mezcla añadida de forma húmeda directamente mezclado con el cemento asfáltico, y segunda variable sería la definida teóricamente según las especificaciones de energía de compactación dependiendo directamente del tipo de diseño de mezcla a realizar.

3.2.2 VARIABLE DEPENDIENTE

La variable dependiente sería directamente la mezcla asfáltica diseñada, en especial su comportamiento estructural, ya que se procederá al análisis de la capacidad de resistir cargas producidas por el tránsito, como también la deformación que puede resistir al incrementar o disminuir la variable independiente en un cierto porcentaje.

Variable	Concepto	Operacionalización			
		Dimensión	Indicador	Valor	
Variable independiente	Ligante con polipropileno fundido	Es un cemento ligante que une los diferentes agregados	Ligante	Estabilidad	Método MARSHALL
Variable dependiente	Estabilidad y flujo	Se desarrolla un ensayo de laboratorio	Según resultados de laboratorio	Estabilidad y flujo	Método MARSHALL

3.3 DELIMITACIÓN MUESTRAL

Para el manejo y delimitación de la muestra se realizará mediante la estadística descriptiva tomando las medias aritméticas, de cada variable que depende de las respectivas variables independientes.

3.3.1 TAMAÑO Y MUESTRA

Variables dependientes

X₁= Estabilidad

X₂= Fluencia

X₃= Densidad

Analizar los datos por variable

Calcular los promedios muestrales para su respectiva comparación.

Media.- es la media aritmética, promedio de los valores de una variable.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

Desviación estándar.- es la raíz cuadrada de la varianza, es una medida de dispersión más usada en la ingeniería, en muestras.

$$s = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} * \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Para comprobar la hipótesis se formula el tratamiento estadístico inferencia parametrizada se trabaja con un nivel de confianza del 95%, estableciendo que la mediana está dentro de los límites establecidos por la distribución normal.

Tabla 6: Intervalos de confianza

Nivel de confianza	99,73%	99%	98%	96%	95,45%	95%	90%	80%	68,27%	50%
Nivel de significancia Zc	3,00	2,58	2,33	2,05	2,00	1,96	1,645	1,28	1,00	0,6745

Fuente: Estadística Murray R. Spiegel, Larry J. Stephens

La determinación del número de muestras y ensayos se realizará con formula estadística para muestras infinitas; para definir la población se realiza con ayuda de la Estadística descriptiva usando fórmulas:

Tabla 7 : Muestra de una población

Número de muestra de una Población	
Población finita	Población infinita
$n = \left(\frac{Z^2 * N * P * q}{e^2 * (N-1) + Z^2 * P * q} \right)$	$n = \left(\frac{Z^2 * P * q}{e^2} \right)$
Z=Nivel de significancia N=Poblacion inicial P=Probabilidad de ocurrencia q=Probabilidad de no ocurrencia e=Error	Z = Nivel de significancia P = Probabilidad de ocurrencia q = Probabilidad de no ocurrencia e = Error

Fuente: Elaboración propia

Debido que los ensayos realizados para la demostración de la hipótesis podrían ser infinita debemos obtener una muestra para poder trabajarlo.

Tomando en cuenta la fórmula antes descrita, con un nivel de confianza de 95% obtenemos un nivel de significancia de 1,96 con un error de 5%.

Tomando en cuenta que la probabilidad de ocurrencia sea de 50% y de no ocurrencia igual a 50%.

$$n = \left(\frac{1,96^2 * 50\% * 50\%}{5\%^2} \right) = 384,16 \text{ asumimos } 385 \text{ ensayos}$$

Para la obtención de los diferentes números de ensayos que se debe realizar nos ayudamos con la formula del muestreo estratificado por fijación proporcional.

$$n = \frac{\sum_{i=1}^n N_i * P_i * q_i}{(N * D) + \left(\frac{1}{N} * \sum_{i=1}^n N_i * P_i * q_i \right)} \quad ; \quad D = \frac{E^2}{Zc^2} = \frac{0,05^2}{1,96^2} = 0,000650771$$

donde:

N = Muestra

N_i = Poblacion inicial

P_i = Probabilidad de que ocurra 50%

q_i = Probabilidad de que no ocurra 50%

E = Error 5%

NC = Nivel de confianza 95%

donde

E = Error

Zc = Nivel de significancia

Para que la investigación tenga relevancia los números de ensayos de cada tipo son:

Grupo	Ensayo	Ni	Pi	qi	Ni*Pi*qi	wi	ni	n
Caracterización de agregados pétreos	Granulometría (grava)	4	50%	50%	1	0,010	1,998	1
	Granulometría (gravilla)	4	50%	50%	1	0,010	1,998	1
	Granulometría (arena)	4	50%	50%	1	0,010	1,998	1
	Peso unitario (grava)	7	50%	50%	1,75	0,018	3,496	3
	Peso unitario (gravilla)	7	50%	50%	1,75	0,018	3,496	3
	Peso unitario (arena)	7	50%	50%	1,75	0,018	3,496	3
	Peso específico (grava)	7	50%	50%	1,75	0,018	3,496	3
	Peso específico (gravilla)	7	50%	50%	1,75	0,018	3,496	3
	Peso específico (arena)	7	50%	50%	1,75	0,018	3,496	3
	Absorción de agua (arena)	7	50%	50%	1,75	0,018	3,496	3
	Absorción de agua (grava)	7	50%	50%	1,75	0,018	3,496	3
	Porcentaje de caras fracturadas	7	50%	50%	1,75	0,018	3,496	3
	Desgaste de los ángeles (grava)	7	50%	50%	1,75	0,018	3,496	3
	Desgaste de los ángeles (gravilla)	7	50%	50%	1,75	0,018	3,496	3
	Equivalente de arena	7	50%	50%	1,75	0,018	3,496	3
Caracterización de cementos asfálticos	Penetración	30	50%	50%	7,5	0,078	14,984	15
	Ductilidad	20	50%	50%	5	0,052	9,989	9
	Peso específico	20	50%	50%	5	0,052	9,989	9
	Punto de ablandamiento	10	50%	50%	2,5	0,026	4,995	4
	Punto de inflamación	10	50%	50%	2,5	0,026	4,995	4
	Película delgada	10	50%	50%	2,5	0,026	4,995	4
	Viscosidad	5	50%	50%	1,25	0,013	2,497	2
Caracterización de mezclas asfálticas tradicionales	Estabilidad	30	50%	50%	7,5	0,08	14,98	15,00
	Fluencia							
	Densidad							
	% de vacíos							
	% llenos de asfalto							
Caracterización de mezclas asfálticas con polipropileno	Estabilidad	80	50%	50%	20	0,21	39,96	40,00
	Fluencia							
	Densidad							
	% de vacíos							
	% llenos de asfalto							
Caracterización del cemento asfáltico modificado con P.P.	Penetración	30	50%	50%	7,5	0,078	14,98	15
	Ductilidad	20	50%	50%	5	0,052	9,989	9
	Peso específico	20	50%	50%	5	0,052	9,989	9
	Punto de inflamación	4	50%	50%	1	0,010	1,998	1
Total		385						175

3.4 MÉTODOS

Los métodos y pasos para la toma de datos se mencionan a continuación para el desarrollo de la investigación de mezclas asfálticas modificando el cemento asfáltico, se presentan diferentes metodologías para realizar los diferentes ensayos para mezclas asfálticas.

3.4.1 MÉTODO PARA CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

Los agregados pétreos son de procedencia de la chancadora Miraflores.

Figura 19 : Ubicación del banco de materiales



Fuente: Elaboración propia

CORDENADAS DE LA CHANCADORA

coordenada este.- 322205,00 m E

coordenada norte.- 7614913,00 m S

3.4.1.1 ENSAYO DE GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO PARA AGREGADO FINO Y GRUESO

Para realizar los diferentes ensayos de granulometría se procederá a reducir la muestra de material según lo requiera el ensayo ya sea por método del cuarteo mecánico o manual, procediendo a mezclar con una pala haciendo un montón como un cerrito dando unas tres vueltas para poder dividir en cuatro partes, elija las dos muestras de las cuatro, repita el procedimiento hasta obtener el peso necesario para el ensayo tanto para agregado grueso como para el fino.

Ensayo de tamizado para agregado grueso:

Después de haber reducido la muestra una cantidad necesaria para realizar según exige la norma ASTM E-40, se pesa una cantidad de grava de 5000 gramos, para realizar el tamizado; agite la pila de tamices por medio mecánico o manual, una vez realizado pese el material retenido en las diferentes mallas.

Figura 20 : Tamices



Fuente: Juego de tamiz normado

Cálculos: Para la grava en el tamiz ¾"

$$\text{Peso retenido acumulado} = \text{Retenido acumulado}_i + \text{Retenido acumulado}_{i-1}$$

$$\text{Peso retenido acum} = 504,9 + 0 = 504,9 \text{ grs}$$

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso acumulado}_i}{\text{Peso total de muestra}} * 100\%$$

$$\% \text{ Retenido} = \frac{504,9}{5000} * 100\% = 10,10\%$$

$$\% \text{ Que pasa} = 100\% - \% \text{ retenido}$$

$$\% \text{ Que pasa} = 100\% - 10,10\% = 89,90\%$$

Tabla 8: Granulometría de grava

Peso Total (gr.)			5000		
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total
1 1/2"	37,9	0	0,00	0,00	100,00
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,0	504,90	504,90	10,10	89,90
1/2"	12,5	2955,10	3460,00	69,20	30,80
3/8"	9,50	1098,80	4558,80	91,18	8,82
1/4"	6,35	415,90	4974,70	99,49	0,51
Nº4	4,75	20,40	4995,10	99,90	0,10
Nº8	2,36	0,00	4995,10	99,90	0,10
Nº16	1,18	0,00	4995,10	99,90	0,10
Nº30	0,60	0,00	4995,10	99,90	0,10
Nº50	0,30	0,00	4995,10	99,90	0,10
Nº100	0,15	0,00	4995,10	99,90	0,10
Nº200	0,075	0,00	4995,10	99,90	0,10
BASE	-	3,60	4998,70	99,97	0,03

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 1: Curva de granulometría "grava"

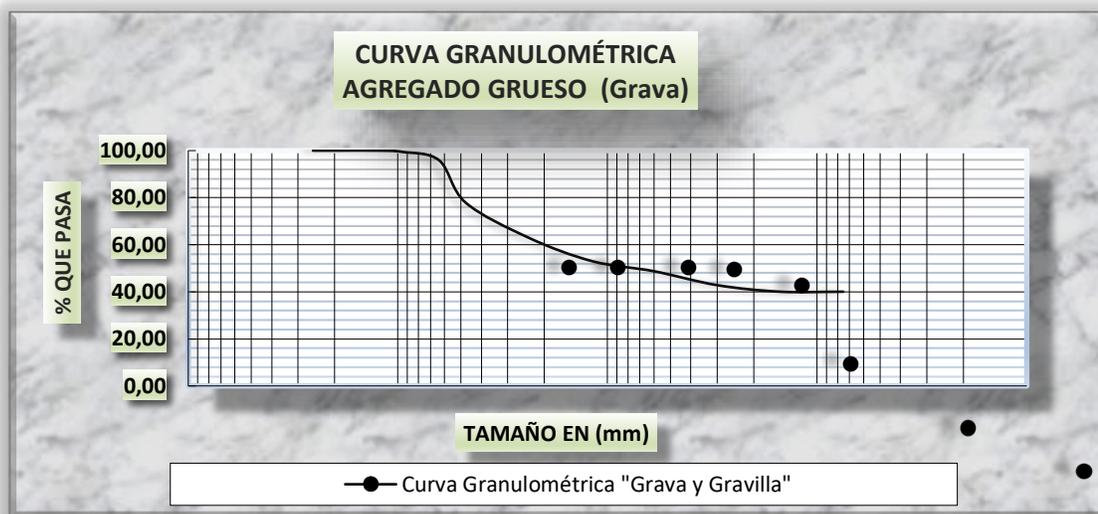


Tabla 9: Granulometría de gravilla

Peso Total (gr.)		3000	gr		
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total
1 1/2"	37,9	0	0,00	0,00	100,00
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,0	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,5	27,70	27,70	0,92	99,08
3/8"	9,50	179,40	207,10	6,90	93,10
1/4"	6,35	898,50	1105,60	36,85	63,15
Nº4	4,75	751,90	1857,50	61,92	38,08
Nº8	2,36	493,00	2350,50	78,35	21,65
Nº10	2,00	212,53	2563,03	85,43	14,57
Nº16	1,18	296,00	2646,50	88,22	11,78
Nº30	0,60	139,00	2785,50	92,85	7,15
Nº50	0,30	0,00	2785,50	92,85	7,15
Nº100	0,15	0,00	2785,50	92,85	7,15
Nº200	0,075	0,00	2785,50	92,85	7,15
BASE	-	0,00	2785,50	92,85	7,15

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 2: Curva granulométrica "gravilla"

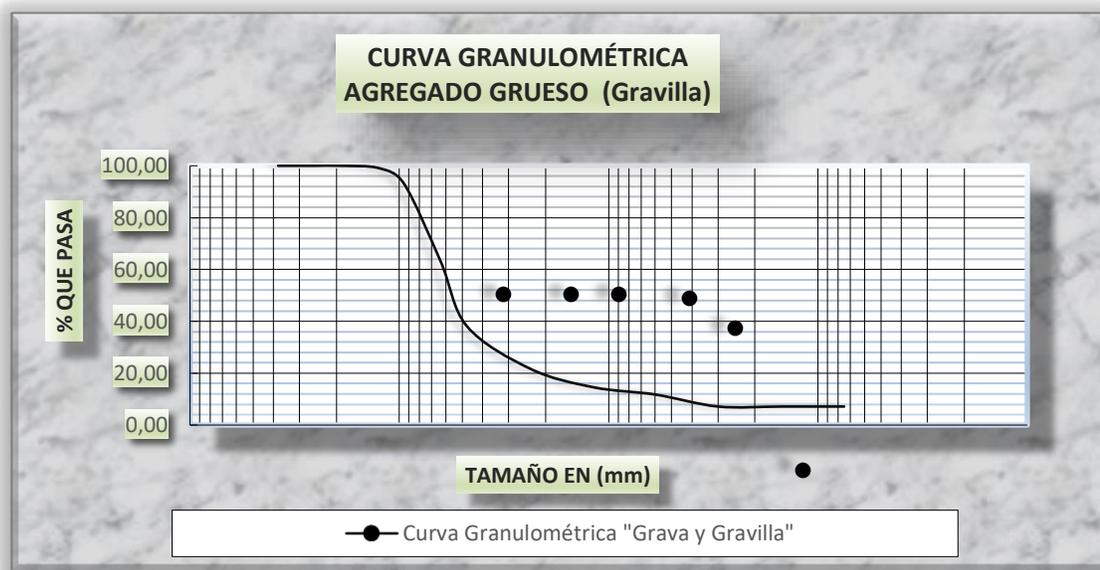
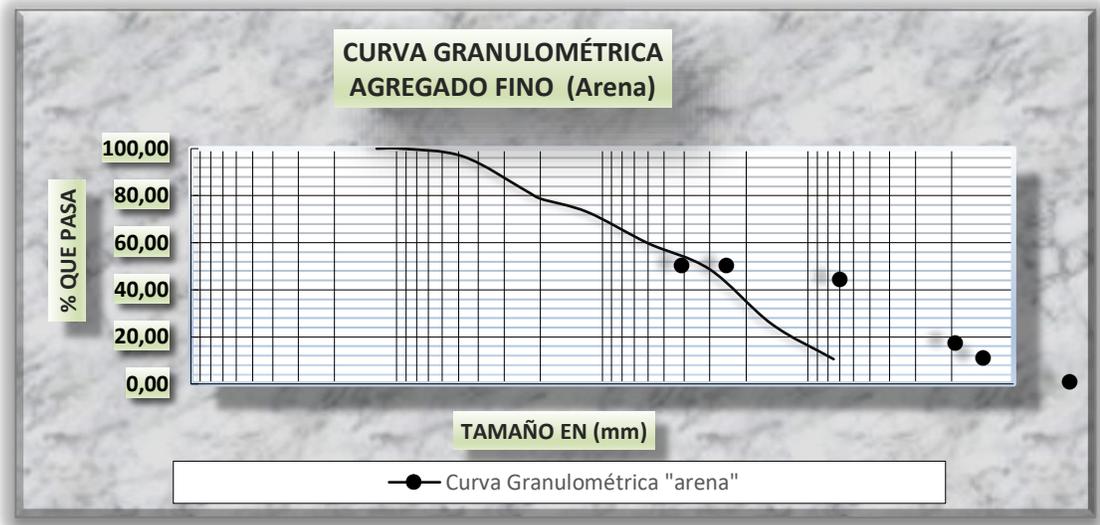


Tabla 10: Granulometría de arena

Tamices	Tamaño (mm)	Peso Total (gr.)		gr	
		Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total
1/2	12,5	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº4	4,75	33,10	33,10	3,31	96,69
Nº8	2,36	145,10	178,20	17,82	82,18
Nº10	2,00	34,40	212,60	21,26	78,74
Nº16	1,18	91,40	269,60	26,96	73,04
Nº30	0,60	132,20	401,80	40,18	59,82
Nº50	0,30	111,40	513,20	51,32	48,68
Nº100	0,15	232,40	745,60	74,56	25,44
Nº200	0,075	149,10	894,70	89,47	10,53
BASE	-	68,20	962,90	96,29	3,71

Fuente: Elaboracion propia

Cuadro 3: Curva granulométrica de "arena"



3.4.1.2 ENSAYO DE DENSIDAD REAL, LA DENSIDAD NETA Y LA ABSORCIÓN DE ARIDOS

3.4.1.2.1 PARA AGREGADO GRUESO

En ensayo se realizará siguiendo la norma ASTM E 127 que es para determinar la densidad del agregado grueso tanto para la grava como también de la gravilla; se requiere los siguientes equipos:

Balanza de precisión, canastilla, pesas de (1 y 2 kg), estanque con su balanza.

Figura 21 : Materiales para ensayo de absorción



Canastilla



Balanza hidrostática

El procedimiento para el ensayo es el siguiente:

Se procede a separar una muestra por cuarteo lo suficiente para realizar el ensayo, los áridos deben de estar secados a horno a una temperatura constante de 110 ± 5 °C, se pesa una muestra de 3000gr, se debe dejar reposando en un recipiente lleno de agua durante 24 horas; después de haber pasado ese tiempo se procede a sacar el árido de agua, seque con un trapo la superficie de los granos del árido grueso para poder pesarlos en una balanza, una vez realizado el pesado coloque el agregado en la canastilla, proceda a sumergirlo en el estanque que tiene su propia balanza incluida, registre el peso del ensayo sumergido.

Cálculos a realizar:

3.4.1.2.1.1 DENSIDAD REAL (ρ_{RS})

$$\rho_{RS} = \frac{M_s}{M_{SSS} - M_{SUM}} * 1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

donde:

M_s = Masa del agregado seco (g)

M_{SSS} = Masa del árido saturado superficialmente seco (gr)

M_{SUM} = Masa del árido sumergido (gr)

$$\rho_{RS} = \frac{3000,8}{3029,8 - 1867,5} * 1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = 2,582 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

3.4.1.2.1.2 DENSIDAD NETA (ρ_N)

$$\rho_N = \frac{M_s}{M_s - M_{SUM}} * 1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

donde:

M_s = Masa de agregado seco (gr)

M_{SUM} = Masa del árido sumergido (gr)

$$\rho_N = \frac{3000,8}{3000,8 - 1867,5} * 1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = 2,648 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

3.4.1.2.1.3 ABSORCIÓN DE AGUA (α)

$$\alpha_{\%} = \frac{M_{SSS} - M_s}{M_s} * 100\%$$

donde:

M_s = Masa del agregado seco

M_{SSS} = Masa del árido saturado superficialmente seco (gr)

$$\alpha_{\%} = \frac{3029,8 - 3000,8}{3000,8} * 100\% = 0,97\%$$

Tabla 11: Tabla resumen

Muestra N.º	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 ³)	Peso específico saturado con sup. seca (gr/cm ³)	Peso específico aparente (gr/cm ³)	% de absorción
1	3000,80	3029,80	1867,50	2,582	2,607	2,648	0,97%
2	3000,00	3028,40	1864,00	2,576	2,601	2,641	0,95%
3	3000,50	3022,40	1855,00	2,570	2,589	2,619	0,73%
Promedio				2,58	2,60	2,64	0,88%

Fuente: Elaboración propia

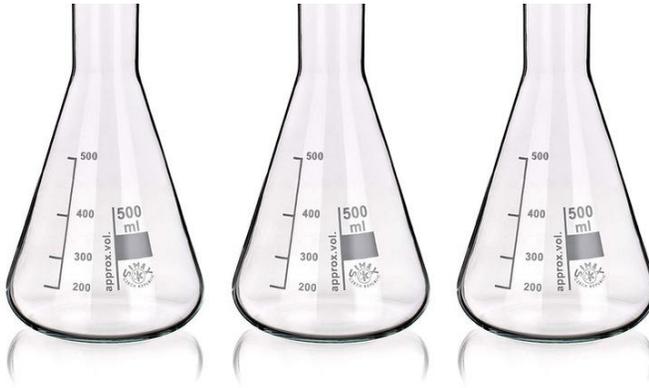
3.4.1.2.2 PARA AGREGADO FINO

El ensayo para el agregado fino es diferente al del agregado grueso debido a que sus partículas son de menor tamaño, no se puede proceder de la misma manera se requiere diferentes materiales y equipos para poder realizar la práctica.

Materiales y equipos

Para la práctica se requiere una balanza de precisión de ± 0.1 gr, recipientes, 3 matraz de volumen de 500 cm³, 2 litros de agua destilada, termómetro de $\pm 1^\circ\text{C}$ de precisión, brocha, secador de aire, pipeta, cono metálico, pisón de metal.

Figura 22 : Material para ensayo de agregado fino



Matraz de 500 ml



Termómetro



Agua destilada



Secador con aire



Pipeta graduada

Fuente: Elaboración propia

Procedimiento

Primeramente separe la muestra por método de cuarteo, reduzca la muestra de tal manera que sea suficiente para el ensayo, deje la muestra sumergida en agua por lo menos 24 horas, previamente pese los matraces sin nada contenido, luego pese los matraces con agua destilada, una vez transcurrido ese tiempo drene la muestra, tratando de no perder partículas del agregado, seque la muestra superficialmente con ayuda del secador del aire, para verificar que la arena se encuentra superficialmente seca ayúdese del cono metálico, ponga la muestra y compacte con el pisón. Quite el cono, si la muestra conserva su forma de cono la muestra aun contiene agua superficialmente, una vez verificado que la muestra este superficialmente seca proceda a pesar 500 gr, de muestra en cada matraz, complete el

matraz llenando con agua destilada hasta su límite agite golpeando el matraz para eliminar los vacíos, complete el límite del matraz con ayuda de la pipeta una vez lleno correctamente pese cada matraz, una vez tomados los datos del peso vacíe cada matraz en un recipiente identificado, seque la muestra en el horno a temperatura constante de 110 ± 5 °C, pese la muestra seca.

Cálculos a realizar

3.4.1.2.2.1 DENSIDAD REAL (ρ_{RS})

$$\rho_{RS} = \frac{M_s}{M_a + M_{SSS} - M_m} * 1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

donde:

M_s = Masa del agregado seco

M_{SSS} = Masa del arido saturado superficialmente seco (gr)

M_a = Masa de matraz con agua hasta la marca de calibracion (gr)

M_m = Masa de matraz con muestra mas agua hasta la marca de calibracion (gr)

$$\rho_{RS} = \frac{493,2}{695,38 + 500 - 974,6} * 1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = 2,26 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

3.4.1.2.2.2 DENSIDAD NETA (ρ_N)

$$\rho_N = \frac{M_s}{M_a + M_s - M_m} * \frac{1\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

donde:

M_s = Masa del agregado seco

M_a = Masa de matraz con agua hasta la marca de calibracion (gr)

M_m = Masa de matraz con muestra mas agua hasta la marca de calibracion (gr)

$$\rho_N = \frac{493,2}{695,38 + 493,2 - 974,6} * \frac{1\text{gr}}{\text{cm}^3} = 2,305 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

3.4.1.2.2.3 ABSORCIÓN DE AGUA (α)

$$\alpha_{\%} = \frac{M_{SSS} - M_s}{M_s} * 100\%$$

donde:

M_s = Masa del agregado seco

M_{SSS} = Masa del arido saturado superficialmente seco (gr)

$$\alpha_{\%} = \frac{500 - 493,2}{493,2} * 100\% = 1,38\%$$

Tabla 12: Densidad aparente, densidad real y absorción de agua

Muestra N°	Peso muestra superficialmente secada + matraz "Msss" (gr)	Peso de matras + agua "Ma" (gr)	Peso muestra + matraz + agua "Mm" (gr)	Peso de muestra secada en horno "Ms" (gr)	Densidad real " ρ_{RT} " (gr/cm ³)	Densidad neta " ρ_N " (gr/cm ³)	% de absorción
1	500,00	695,38	974,60	493,20	2,26	2,305	1,38%
2	500,00	721,29	1021,90	494,80	2,51	2,548	1,05%
3	500,00	737,08	1034,20	494,60	2,46	2,505	1,09%
Promedio					2,41	2,45	1,17%

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.3 DENSIDAD APARENTE DEL AGREGADO GRUESO Y FINO

El método para determinar la densidad aparente según la norma ASTM E-30, para determinar la densidad de los áridos gruesos compactados y de no compactados.

Los materiales y equipos a usar para este ensayo son:

Balanza, horno, varilla o pisón con un diámetro de 16 mm, cilindros metálicos para agregado grueso como fino,



Balanza de precisión $\pm 0,1$ gr



Cilindros de acero



Varilla apisonadora de \varnothing 16mm



Cucharon metálico

El ensayo, primeramente se inicia separando una muestra suficiente para el ensayo secado en horno a temperatura constante de 110 ± 5 °C; luego de 24 horas de secado se deja enfriar el material, se pesa los moldes en la balanza de precisión, posteriormente se llena el molde con el material ya sea grueso o fino, se sigue el mismo procedimiento, se introduce el material de forma homogénea y constante para luego enrasar de manera que todo el recipiente esté lleno, se procede a pesar el cilindro más el material.

Para el determinar la gravedad aparente del agregado compactado se procede de la misma manera, solo realizando un paso adicional con la varilla metálica antes mencionada se procede a compactar con 25 golpes en cada capa de $1/3$ del volumen total, tanto con el agregado grueso como con el agregado fino. Para luego pesarlo de la misma manera que para la densidad aparente suelta.

Para medir el volumen de los cilindros del ensayo se procede a llenarlos de agua a una temperatura ambiente determinando la densidad de la misma, se procede a pesar los cilindros con el agua.

Para el posterior cálculo de la densidad aparente se usa las siguientes formulas:

3.4.1.3.1 DENSIDAD APARENTE SUELTA

$$\rho_{as} = \frac{m_s}{V}$$

donde:

mc = Masa de árido compactado (gr)

V = Capacidad de volumen de la medida (cm³)

$$\rho_{as} = \frac{19995 - 5720}{9902,80} = 1,442 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Tabla 13: Densidad aparente suelta "grava"

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm ³)	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm ³)
1	5720,00	9902,80	19995,00	14275,00	1,442
2	5720,00	9902,80	19970,00	14250,00	1,439
3	5720,00	9902,80	19945,00	14225,00	1,436
Promedio					1,439

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14: Densidad aparente suelta "gravilla"

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm ³)	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm ³)
1	2611,70	3004,60	7185,00	4573,30	1,522
2	2611,70	3004,60	7285,00	4673,30	1,555
3	2611,70	3004,60	7305,00	4693,30	1,562
Promedio					1,547

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15: Densidad aparente suelta "arena"

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm ³)	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm ³)
1	2611,70	3004,60	7345,00	4733,30	1,575
2	2611,70	3004,60	7375,00	4763,30	1,585
3	2611,70	3004,60	7390,00	4778,30	1,590
Promedio					1,584

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.3.2 DENSIDAD APARENTE COMPACTADA

$$\rho_{ac} = \frac{m_c}{V}$$

donde:

mc: Masa de arido compactado (gr)

V: Capacidad de volumen de la medida (cm³)

$$\rho_{ac} = \frac{15260}{9902,8} = 1,541 \frac{\text{grs}}{\text{cm}^3}$$

Tabla 16: Densidad aparente compactada "grava"

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm ³)	Peso recip. + muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario compactado (gr/cm ³)
1	5720,00	9902,80	20980,00	15260,00	1,541
2	5720,00	9902,80	21165,00	15445,00	1,560
3	5720,00	9902,80	21190,00	15470,00	1,562
Promedio					1,554

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17: Densidad aparente compactado "gravilla"

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm ³)	Peso recip. + muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario compactado (gr/cm ³)
1	2611,70	3004,60	7480,00	4868,30	1,620
2	2611,70	3004,60	7560,00	4948,30	1,647
3	2611,70	3004,60	7595,00	4983,30	1,659
Promedio					1,642

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18: Densidad aparente compactado "arena"

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm ³)	Peso recip. + muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario compactado (gr/cm ³)
1	2611,70	3004,60	7800,00	5188,30	1,727
2	2611,70	3004,60	7815,00	5203,30	1,732
3	2611,70	3004,60	7910,00	5298,30	1,763
Promedio					1,741

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.4 EQUIVALENTE DE ARENA

Este método establece un procedimiento según la norma ASTM D-2419 rápido para determinar el porcentaje de arena propiamente tal con respecto al total de arena y de impurezas coloidales floculadas, particularmente arcillosas.

Equipos y materiales para el ensayo:

Para la práctica se necesita 3 probetas graduadas de 400 mm de alta con una capacidad de 270ml, pisón, tapones de goma, tamiz N°4, embudos, reglas, botellas para reactivos.

El reactivo debe ser una solución base de mezcla de 240gr de cloruro de calcio con 1085gr de glicerina y 25gr de formaldehído.

Procedimiento del ensayo

Primeramente se realiza el tamizado de la arena eliminando las partículas retenidas en la tamiz N°4, se mide en un recipiente de más menos 85 ml de capacidad, se introduce la muestra en la probeta, se le añade el reactivo, con unos golpes se elimina los huecos, se deja reposar por 10 minutos, pasado el tiempo coloque el tapón de goma y se agita manualmente o mecánicamente unos 30 segundos, con el tubo irrigador llene en su totalidad la probeta con la solución, deje reposar por 20 minutos después tome las alturas de arcilla y la de la arena.

Si la arena y la arcilla no se separa pasados los 30 minutos los resultados serán descartados y se procederá a rehacer el ensayo.

Cálculos a realizar

$$EA(\%) = \left(\frac{N_a}{N_t} \right) * 100\%$$

donde:

EA(%) = Equivalente de arena (%)

N_a = Nivel superior de la areana (cm)

N_t = Nivel superior de la arcilla (cm)

$$EA(\%) = \left(\frac{10,8}{13,4} \right) * 100\% = 80,60\%$$

Tabla 19: Equivalente de arena

N° de Muestra	H1	H2	Equivalente de Arena (%)
	(cm)	(cm)	
1	13,40	10,80	80,60
2	12,60	9,80	77,78
3	13,80	10,80	78,26
		Promedio	78,88

Fuente: Elaboración propia

78,88% por normativa debe de ser mayor a 50%.

3.4.1.5 ENSAYOS DE LAS CARAS FRACTURADAS

Este método establece un método para determinar el contenido porcentual de partículas chancadas y de canto rodado que son de diámetro mayor a 4,75 mm

Materiales y equipos:

Tamiz N°4, recipientes metálicos, balanza.



Balanza de $\pm 0,1$ gr



Tamiz N°4

Procedimiento

Tamice el agregado grueso de tal manera que el material pase el tamiz N°4, del material retenido pese una muestra igual a 1000 gramos según la norma, realice una inspección visual y separe en un recipiente los granos con una o más caras fracturadas y a su vez separe los de canto rodado, finalmente pese ambos recipientes con el material.

3.4.1.5.1 PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS (CH%)

$$Ch(\%) = \frac{B}{A} * 100\%$$

donde:

A = Peso tota de muestra (gr)

B = Peso cara fracturada (gr)

3.4.1.5.2 PORCENTAJE DE CANTO RODADO (R%)

$$R(\%) = \frac{C}{A} * 100\%$$

donde:

A = Peso total de muestra (gr)

C = Peso de canto rodado (gr)

Tabla 20: Porcentaje de caras fracturadas "grava"

Material de Mezcla: Grava				
Ensayo	Lecturas	Promedio	Especificación	
Ensayo N°	1			
Peso total (gr.) (a)	1000			
Peso retenido tamiz N° 8 (gr.) (b)	757,7			
Caras no fracturadas (gr.) (a-b)	243,3			
% Caras Fracturadas = (b/a)*100	75,8%	76%	>	75

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21: Porcentaje de caras fracturadas "gravilla"

Material de Mezcla: Gravilla				
Ensayo	Lecturas	Promedio	Especificación	
Ensayo N°	1			
Peso total (gr.) (a)	1000			
Peso retenido tamiz N° 8 (gr.) (b)	768,6			
Caras no fracturadas (gr.) (a-b)	231,4			
% Caras Fracturadas = (b/a)*100	76,9%	77%	>	75

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.6 ENSAYO DE LOS ÁNGELES

El método determinado según la norma ASTM E-131 determina la resistencia al desgaste de los áridos mediante la máquina de los ángeles.

Equipos y materiales:

La máquina de los ángeles consta de un tambor de acero de un diámetro interior de 51 cm, en su interior lleva una aleta de plancha de acero, con un motor que gira de 30-33 rpm.

Una balanza, tamices, esferas de carga abrasiva.

Figura 23 : Material para el desgaste de los ángeles



Máquina de los Ángeles

Esferas de carga abrasiva

Procedimiento de ensayo

Extraiga la muestra y reduzca por cuarteo manual, según el análisis de su granulometría del agregado, según la tabla siguiente clasifique a qué tipo de gradación pertenece.

Tabla 22: Gradación de las muestras de ensayo

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado (gr)			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37.5 mm (1 1/2")	25 mm (1")	1250±25	-----	-----	-----
25 mm (1")	19 mm (3/4")	1250±25	-----	-----	-----
19 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	1250±10	2500±10	-----	-----
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	1250±10	2500±10	-----	-----
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (1/4")	-----	-----	2500±10	-----
6,3 mm (1/4")	4,75 mm (N°4)	-----	-----	2500±10	-----
4,75 mm (N°4)	2,36 mm (N°8)	-----	-----	-----	5000
Total		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

Fuente: Manual de ensayo de materiales (Perú)

Una vez conocida la gradación del material se procede al tamizado según lo requiere en peso la tabla anterior, dando un peso total de la mezcla de 5000 gr \pm 10gr.

Según la muestra ensayada el tamaño nominal es de $\frac{3}{4}$ de pulgada que corresponde a la gradación "B", una vez conocido el tipo de gradación se entra a la tabla siguiente para determinar el número de esferas a usar en la máquina como carga de abrasión.

Tabla 23: Carga abrasiva

Gradación	Numero de esferas	Masa de la carga (gr.)
A	12	5000 \pm 25
B	11	4584 \pm 25
C	8	3330 \pm 20
D	6	2500 \pm 15

Fuente: Manual de ensayo de materiales (Perú)

Después de elegir el número de esferas de abrasión se procede a introducir el material junto a las esferas, después del término del ciclo sacar en su totalidad la muestra, tamizar por el tamiz N°16 lavando, pesar el material retenido como también el material lavado una vez secado en horno a temperatura constante de 110 \pm 5 °C.

Cálculos a realizar

$$P(\%) = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} * 100\%$$

donde:

P = Pérdida de masa de la muestra

m_i = Masa inicial de la muestra (gr)

m_f = Masa final de la muestra (gr)

Tabla 24: Desgaste de los ángeles "grava"

Datos de laboratorio			
Gradación B			
Pasa	tamiz	Retenido tamiz	Peso retenido
	3/4"	1/2"	2500,6
	1/2"	3/8"	2500,8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25: Resultados de desgaste de los ángeles "grava"

Gradación	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación ASTM
B	5001,4	3821,8	23,59	35% MAX

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26: Resultados de desgaste de los ángeles "gravilla"

Gradación	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación ASTM
B	5001,5	3788,6	24,25	35% MAX

Fuente: Elaboración propia

3.4.2 MÉTODO PARA CARACTERIZAR LAS PROPIEDADES DEL C.A.

El cemento asfáltico también debe clasificar las diferentes propiedades físicas ya que debe cumplir las normas que requiere, como ser:

- La penetración
- La ductilidad
- Densidad
- Punto de inflamación
- Punto de ablandamiento
- Pérdida de masa o película delgada
- Viscosidad

3.4.2.1 ENSAYO DE PENETRACIÓN

Este método describe un procedimiento para determinar la dureza del cemento asfáltico mediante la penetración con una aguja, se usa como una medida de consistencia.

Materiales y equipos

Se usa una aguja con una pesa, todo el conjunto debe pesar 50 gr, una máquina que sostenga la aguja conocida como penetrómetro, 3 taras mediana, baño maría a 25 °C.



Penetrómetro



Aguja de penetración

Procedimiento

Para el ensayo de penetración se procede a calentar una pequeña muestra del cemento asfáltico removiendo para evitar sobre calentamiento en un solo punto, vaciar en las 3 taras el cemento asfáltico, dejar reposar a temperatura contante por una hora, colocar en un baño maría a 25 °C por 30 minutos, realizar el ensayo de penetración por lo menos 3 penetraciones en cada tara a una distancia de 10 mm una de otra.

Cálculos

Según la toma de datos se procede a sacar la media de los tres datos de cada tara, de esas tres taras se calcula el promedio para luego clasificar el C.A.

Una vez reliazado ese cálculo se procede con la ayuda de la tabla siguiente se clasifica el cemento asfáltico.

Tabla 27: Especificaciones para cementos asfálticos.

Característica	Unid.	Método	Grado de penetración									
			40-50		60-70		85-100		120-150		200-300	
			min	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.
Penetración, 25°C 100gr, 5 seg	---	ASTM D-5	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de inflamación, copa abierta de Cleveland	°C	ASTM D- 92	232	---	232	---	232	---	218	---	177	---
Ductilidad, 25°C, 5cm/min	Cm	ASTM D- 2042	100	---	100	---	100	---	100	---	100 [^]	---
Solubilidad en tricloroetileno	%	ASTM D-5	99	---	99	---	99	---	99	---	99	---
Penetración retenida después de la prueba de horno sobre película delgada	%	ASTM D- 1754	55+	---	52+	---	47+	---	42+	---	37+	---
Ductilidad 25°C, 5cm/min, después de la prueba de horno sobre película delgada	cm	ASTM D- 1757	---	---	50	---	75	---	100	---	100 [^]	---

Fuente: Guía para la realización de ensayos y clasificación de asfaltos

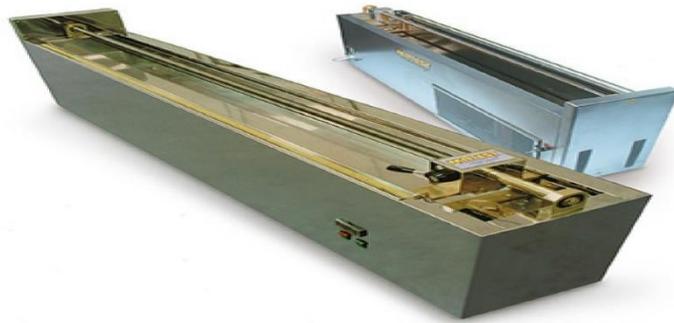
3.4.2.2 ENSAYO DE DUCTILIDAD

El ensayo de la ductilidad de un material bituminoso es la longitud, medida en cm., a la cual se alarga antes de romperse cuando dos extremos de una briqueta, confeccionada con una muestra se traccionan a la velocidad y temperatura especificadas, el ensayo se efectúa a una temperatura de $25 \pm 0,5$ °C, y a una velocidad de 5 cm/min \pm 5%.

Materiales y equipo:

Ductilímetro, termómetro, briquetas para el ensayo, taras para la preparación de desmoldante.

Figura 24 : Ductilímetro



Fuente: Elaboración propia

Procedimiento

Para el ensayo caliente, de la muestra de cemento asfáltico, realice una mezcla desmoldante de talco con glicerina, con ayuda de un pincel coloque el desmoldante en la briqueta, para luego introducir el cemento asfáltico, deje enfriar a temperatura ambiente, luego introduzca en un baño maría a 25°C, ponga en el Ductilímetro, o anote la distancia a la que ocurre la rotura.

Cálculos

En los cálculos del ensayo, de las tres briquetas saque el promedio y verifique si cumple con la ductilidad según la tabla de especificaciones para cementos asfálticos. clasificado por su grado de penetración.

3.4.2.3 DENSIDAD DEL C.A. (ρ_b)

El método establece el procedimiento para determinar la densidad de los asfaltos, mediante el uso del picnómetro a la temperatura requerida.

Materiales y equipo

Balanza de precisión, tres picnómetros, agua destilada, termómetro,



Procedimiento

Pese los picnómetros vacíos, pese los picnómetros con agua destilada a 25°C, coloque una muestra de cemento asfáltico con $\frac{3}{4}$ partes de la capacidad del recipiente, espere el tiempo necesario para que esté a temperatura ambiente, coloque en baño maría a 25°C, pese el picnómetro más la muestra para luego completar con agua destilada, pese finalmente el picnómetro con la muestra y el agua.

Cálculos

$$\rho_b = \frac{C - A}{(B - A) - (D - C)} * \rho_w$$

donde:

A = Masa de picnómetro (gr)

B = Masa de picnómetro + agua (gr)

C = Masa de picnómetro + asfalto (gr)

D = Masa de picnómetro + asfalto + agua (gr)

ρ_w = Densidad de agua destilada $\left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}\right)$

3.4.2.4 PUNTO DE INFLAMACIÓN

El método define la determinación de los Puntos de Inflamación y Combustión por medio de la copa abierta de Cleveland, para cementos asfálticos.

Materiales y equipos

Un termómetro de 360°C, copa abierta de metal, una hornilla eléctrica.

Figura 25: Ensayo de punto de inflamación



Fuente: Elaboración propia

Procedimiento.-

Se introduce la muestra de asfalto a la copa para calentarla gradualmente con ayuda de la hornilla eléctrica, se va midiendo de vez en cuando la temperatura, con la ayuda de un fósforo verifique por la parte superior, si la llama permanece por 5 segundos anote la temperatura de inflamación.

3.4.2.5 PUNTO DE ABLANDAMIENTO

El ensayo de punto de ablandamiento describe el procedimiento para determinar el punto de ablandamiento de materiales asfálticos por medio del aparato de anillo y bolas metálicas.

Materiales y equipos

Los materiales para el ensayo, es un equipo normal con un anillo de bola de bronce, baño maría, soporte de anillo, termómetro, hornilla eléctrica.

Figura 26 : Material para ensayo de punto de ablandamiento



Hornilla eléctrica



Equipo de punto de ablandamiento

Procedimiento

Se requiere introducir una muestra de cemento asfáltico en los anillos de bronce, con hielo se reduce la temperatura del baño maría de temperatura ambiente a 5°C, coloque los anillos con la muestra en el equipo, coloque las bolas metálicas en el anillo, con ayuda de una hornilla eléctrica suba la temperatura hasta que caigan las bolas metálicas al fondo, una vez caídas las esferas es la temperatura de ablandamiento.

3.4.2.6 ENSAYO DE LA PELÍCULA DELGADA

Este ensayo normado por la ASTM D-1754 describe el método para determinar la pérdida de masa a efecto del calor y el aire sobre los materiales bituminosos.

Materiales y equipos

Cilindros metálicos de fondo de 9,5 mm y de diámetro de 140 mm, horno de calor constante, balanza de precisión de 0,01 gr.



Fuente: elaboración propia

Procedimiento de ensayo

Pese los platillos vacíos, coloque la muestra de cemento asfáltico en los recipientes cilíndricos, pese los platillos más las muestras antes de meter al horno, una vez pesado coloque en el horno a 163°C por 5 horas, pasado el tiempo sacar las muestras y pesar los platillos.

3.4.2.7 VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL

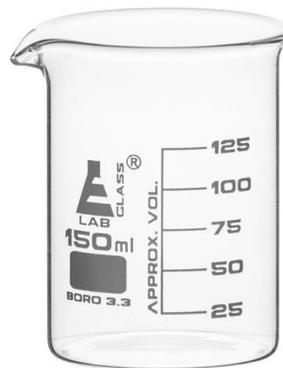
El ensayo de la viscosidad según la norma ASTM E 102, describe los procedimientos para determinar la viscosidad Saybolt Universal o Saybolt Furol de productos del petróleo.

Materiales y equipos

Viscosímetro Saybolt, vaso de precipitación de 60ml de capacidad, corchos de goma para el viscosímetro.



Viscosímetro sybolt furol



Vaso de precipitado

Procedimiento

Se calienta la muestra de cemento asfalto removiendo de vez en cuando de tal manera que no sufra de sobrecalentamiento, al mismo tiempo vaya calentando el aceite que usa el viscosímetro, cuando haya llegado a la temperatura adecuada de ensayo coloque los corchos de goma en los respectivos hoyos del viscosímetro, use un embudo para introducir una muestra de 60 ml de cemento asfáltico. Destape los corchos para que el material sea recogido por los vasos de precipitación al mismo tiempo inicie el conteo del tiempo hasta que se vacíe todo el material del equipo.

Tabla 28: Caracterización de cemento asfáltico

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio	Especificaciones	
						Mínimo	Máximo
Peso Picnómetro	gr	34,9	36,2	36,8			
Peso Picnómetro + Agua (25°C)	gr	85,1	88,6	89,6			
Peso Picnómetro + Muestra	gr	72,5	73,4	78,4			
Peso Picnómetro + Agua + Muestra	gr	87,1	88,5	89			
Peso Específico	gr./cm3	1,053	0,994	0,983	1,010	1	1,05
Punto de Inflamación AASHTO T-48	°C	>284	>286	>282	284	>232	-
Ensayo de la mancha					No se realizo	Negativo	
Solvente gasolina estándar					No se realizo	Negativo	
Solvente gasolina-xilol, % xilol					No se realizo	Negativo	
Solvente heptano-xilol, % xilol					No se realizo	Negativo	
Ensayo de película delgada en horno, 32 mm, 163°C, 5 hrs.	Peso a T° ambiente	gr	129,2	139,1	121,2		
	Peso después del horno	gr	128,7	137,5	120,7		
	Pérdida de masa	gr	0,5	1,6	0,5		
	Pérdida de masa	%	0,39%	1,15%	0,41%	0,65%	<
Punto de ablandamiento	°C	37,0	35,0	36,5	36	41	53
Destilación, Residuo	%				No se realizo		
Ductilidad a 25°C AASHTO T-51	cm.	103	110	112	108	>100	
Penetración a 25°C, 100s. 5seg. (0.1mm) AASHTO T-49	Lectura N°1		89	82	81		
	Lectura N°2		97	83	83		
	Lectura N°3		87	81	84		
	Promedio	mm	91	82	83	85	85
Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C	s	440	444	442	442	85	-

Fuente: Elaboración propia

3.4.3 MÉTODO PARA DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DEL AGREGADO PARA LAS MEZCLAS

Para la metodología Marshall se utiliza una gráfica semilogarítmica para definir la granulometría permitida, en la ordenada se encuentran el porcentaje de material que pasa cierta malla, y en la abscisa las aberturas de las mallas en mm, graficadas en forma logarítmica.

La selección de una curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica densa, está en función de dos parámetros, el tamaño máximo nominal del agregado y de las curvas tanto superior como inferior, son unas curvas de control por las cuales la dosificación debe pasar obligatoriamente por su rango de acuerdo a la norma ASTM D-3515, según especifica la tabla siguiente: (Paul Garnica Anguas, 2004)

Tabla 29: Gradaciones propuestas para mezclas según ASTM-3515

Abertura de malla		Mezclas cerradas								
		Tamaño máximo nominal del agregado								
		2in	1 ½ in	1 in	¾ in	½ in	3/8 in	Nº4	Nº8	Nº16
		50mm	37,5mm	25mm	19mm	12,5mm	9,5mm	4,75mm	2,36mm	1,18mm
2 ½	63	100	---	---	---	---	---	---	---	---
2	50	90-100	100	---	---	---	---	---	---	---
1 ½	37,5	---	90-100	100	---	---	---	---	---	---
1	25	60-80	---	90-100	100	---	---	---	---	---
¾	19	---	56-80	---	90-100	100	---	---	---	---
½	12,5	35-65	---	56-80	---	90-100	100	---	---	---
3/8	9,5	---	---	---	56-80	---	90-100	100	---	---
Nº4	4,75	17-47	23-53	29-59	35-65	44-74	55-85	80-100	---	100
Nº8	2,36	10-36	15-41	19-45	23-49	28-58	32-67	65-100	---	95-100
Nº16	1,18	---	---	---	---	---	---	40-80	---	85-100
Nº30	0,6	---	---	---	---	---	---	35-65	---	70-95
Nº50	0,3	3-15	4-16	5-17	5-19	5-21	7-23	7-40	---	45-75
Nº100	0,15	---	---	---	---	---	---	3-20	---	20-40
Nº200	0,075	0-5	0-6	1-7	2-8	2-10	2-10	2-10	---	9-20
%C.A		2-7	3-7	4-7	4-7	4-11	5-12	6-12	7-12	8-12

Fuente: Aspectos de diseño volumétrico de mezclas asfálticas

Según el tamaño nominal del agregado para el diseño para la mezcla es de ¾ de pulgada que corresponde a 19mm; con los puntos de máximos y mínimos dibujamos las curvas semilogarítmicas, realizamos una mezcla de áridos grueso como fino, por tanteo tratando de ajustar la curva al medio del rango de curvas máxima como mínima.

Sumando en un porcentaje que pasa por cada tamiz de agregado fino como del agregado grueso(grava, gravilla). Así modificando el porcentaje de cada uno se obtiene una curva que mejor se acomode a la especificación.

Tabla 30: Dosificación de mezcla de agregados

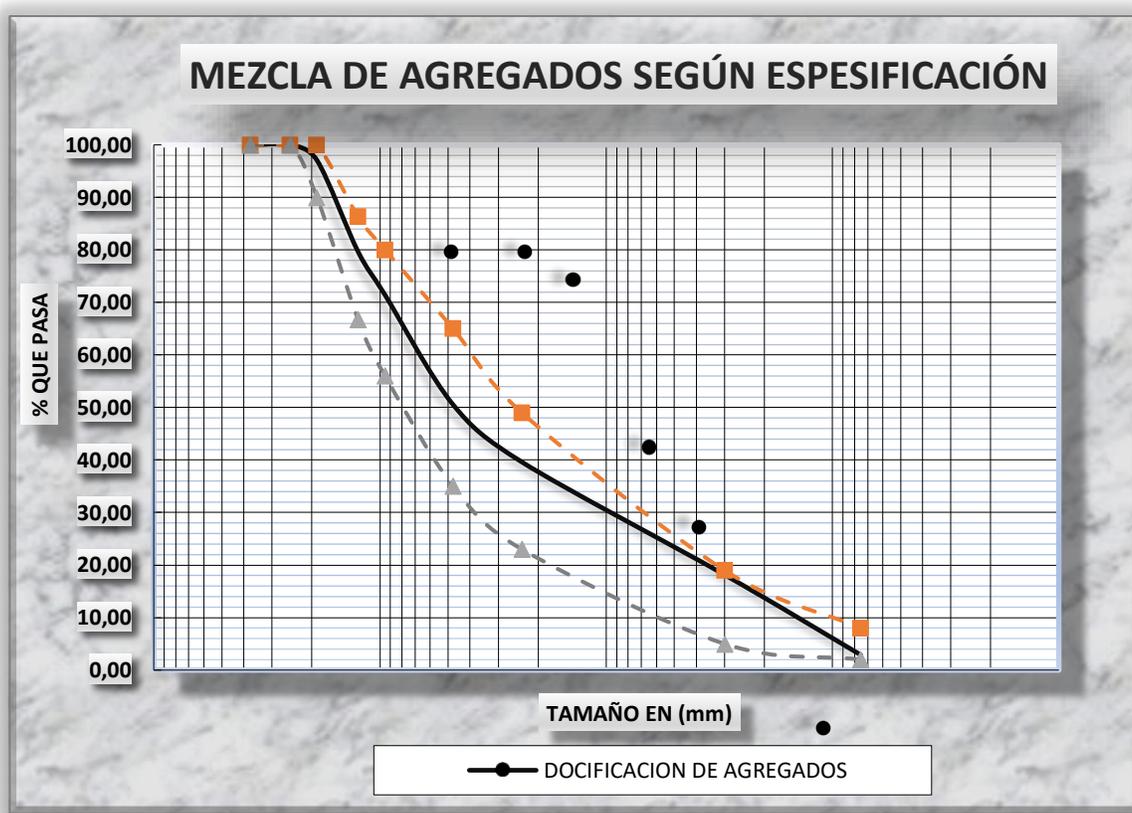
Tamaño de tamiz		Peso Ret.	Peso Ret.	Peso Ret.	Peso Ret. A.	Peso Ret. A.	Peso Ret.A.	Peso Ret. Ac.	Peso Ret. Ac.	Peso Ret. Ac.	Peso pasa						
Tamices	Tamaño	Grava (gr)	Gravilla	Arena	Grava	Gravilla	Arena	Grava	Gravilla	Arena	Grava	Gravilla	Arena	grava	Gravilla	Arena	Mezcla
	(mm)	5000	3000	1000	(gr)	(gr)	(gr)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	29%	31%	40%
1 1/2"	37,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%	100,0%	29,0%	31,0%	40,0%	100,0%
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%	100,0%	29,0%	31,0%	40,0%	100,0%
3/4"	19,0	504,90	0,00	0,00	504,90	0,00	0,00	10,1%	0,0%	0,0%	89,9%	100,0%	100,0%	26,1%	31,0%	40,0%	97,1%
1/2"	12,5	2955,10	27,70	0,00	3460,00	27,70	0,00	69,2%	0,9%	0,0%	30,8%	99,1%	100,0%	8,9%	30,7%	40,0%	79,6%
3/8"	9,50	1098,80	179,40	0,00	4558,80	207,10	0,00	91,2%	6,9%	0,0%	8,8%	93,1%	100,0%	2,6%	28,9%	40,0%	71,4%
1/4"	6,35	415,90	898,50	0,00	4974,70	1105,60	0,00	99,5%	36,9%	0,0%	0,5%	63,1%	100,0%	0,1%	19,6%	40,0%	59,7%
N°4	4,75	20,40	751,90	33,10	4995,10	1857,50	33,10	99,9%	61,9%	3,3%	0,1%	38,1%	96,7%	0,0%	11,8%	38,7%	50,5%
N°8	2,36	0,00	493,00	145,10	4995,10	2350,50	178,20	99,9%	78,4%	17,8%	0,1%	21,7%	82,2%	0,0%	6,7%	32,9%	39,6%
N°10	2,00	0,00	212,53	34,40	4995,10	2563,03	212,60	99,9%	85,4%	21,3%	0,1%	14,6%	78,7%	0,0%	4,5%	31,5%	36,0%
N°16	1,18	0,00	296,00	91,40	4995,10	2859,03	304,00	99,9%	95,3%	30,4%	0,1%	4,7%	69,6%	0,0%	1,5%	27,8%	29,3%
N°30	0,60	0,00	139,00	132,20	4995,10	2998,03	436,20	99,9%	99,9%	43,6%	0,1%	0,1%	56,4%	0,0%	0,0%	22,6%	22,6%
N°50	0,30	0,00	0,00	111,40	4995,10	2998,03	547,60	99,9%	99,9%	54,8%	0,1%	0,1%	45,2%	0,0%	0,0%	18,1%	18,1%
N°100	0,15	0,00	0,00	232,40	4995,10	2998,03	780,00	99,9%	99,9%	78,0%	0,1%	0,1%	22,0%	0,0%	0,0%	8,8%	8,8%
N°200	0,075	0,00	0,00	149,10	4995,10	2998,03	929,10	99,9%	99,9%	92,9%	0,1%	0,1%	7,1%	0,0%	0,0%	2,8%	2,9%
BASE	-	3,60	0,00	68,20													

Tabla 31: Análisis de límites de especificaciones

Tamaño de tamiz		%Pasa de mezcla	Especificaciones técnicas	
"Pulgadas"	"mm"		Mínimo	Máximo
1 1/2"	37,5	100,00	100	100
1"	25	100,00	100	100
3/4"	19	97,07	90	100
1/2"	12,5	79,65	67	86
3/8"	9,5	71,42	56	80
N°4	4,75	50,51	35	65
N°8	2,36	39,61	23	49
N°40	0,3	18,14	5	19
N°200	0,075	2,88	2	8

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4: Mezcla de agregados según especificación



3.4.4 MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DEL CEMENTO ASFÁLTICO

Esta metodología describe el método para la determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico, realizando primeramente unas probetas con distintos porcentajes de cemento asfáltico dentro del rango que especifica la norma ASTM D-3515.

El cálculo aproximado del cemento asfáltico óptimo

$$\%C. A. = 0,02 * a + 0,035 * b + k * c + F$$

donde:

%C. A. = Porcentaje de cemento asfáltico

a = Porcentaje retenido en el tamiz N°8

b = Porcentaje que pasa el tamiz N°8 – retenido en el tamiz 200

c = Porcentaje que pasa el tamiz 200

F = Absorción de los agregados

$$F = \%Grava * \%Absor + \%Gravilla * \% Absor + \%Arena * \%Absor$$

$$F = 0,29 * 0,88 + 0,31 * 0,84 + 0,4 * 1,17$$

$$F = 2,0856$$

k = 0,15 si el porcentaje que retiene el tamiz 3/4" esta entre (11 – 15)%

k = 0,18 si el porcentaje que retiene el tamiz 3/4" esta entre (6 – 10)%

k = 0,20 si el porcentaje que retiene el tamiz 3/4" esta entre (< 5)%

$$\%C. A. = 0,02 * 60,39 + 0,035 * 33,73 + 0,2 * 2,88 + 2,0856$$

$$\%C. A. = 5,05\% \approx 5\%$$

De acuerdo a su tamaño máximo nominal del agregado que para este caso sería el de ¾ de pulgada que corresponde a un rango de porcentaje de cemento asfáltico entre (4%-7%), como el cálculo aproximado de C.A. dio 5% en esta metodología se incrementara el porcentaje de cemento asfáltico en ±0,5%.

Iniciando con el contenido óptimo aproximado 4,5% 5% 5,5% 6%, 6,5%.

Tabla 32: Grupo de briquetas para encontrar el óptimo de C.A

% Contenido de C.A.	Número de briquetas
4,5%	3
5%	3
5,5%	3
6%	3
6,5%	3
Total	15

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33: Diseño de mezcla asfáltica

Porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla					
	4,5%	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%
Porcentaje de agregado (%)	95,50%	94,50%	93,50%	92,50%	91,50%
Peso del cemento asfáltico (gr) *	54,00	66,00	78,00	90,00	102,00
Peso de grava (gr) *	332,34	328,86	325,38	321,90	318,42
Peso de gravilla (gr) *	355,26	351,54	347,82	344,10	340,38
Peso de arena (gr) *	458,40	453,60	448,80	444,00	439,20
Peso total de la briketa (gr) *	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Fuente: Elaboración propia

La tabla anterior representa en peso de agregados y cemento asfáltico para realizar cada briketa de diferentes porcentajes de cemento asfáltico, para obtener los diferentes puntos de las gráficas, y así hallar el porcentaje óptimo de C.A

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS Y
RESULTADOS

CAPITULO IV

ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1 DISEÑO DE MEZCLAS MARSHALL

4.1.1 ELABORACIÓN DE LA BRIQUETAS

Para el desarrollo de las diferentes briquetas, anteriormente se calienta el molde más la base de compactación a una temperatura de entre 100 a 160°C, por otro lado se pesa los diferentes agregados pétreos en fuentes separadas, como también se procede a calentar el cemento asfáltico para que agarre una consistencia líquida para su pesaje, en sus pesos correspondientes en la tabla ya antes calculada.

Mezclar los materiales en un recipiente sobre una hornilla, a una temperatura de entre 100 a 160°C, posteriormente agregar el cemento asfáltico para poder mezclarlo con el agregado, remover con una espátula hasta que el cemento asfáltico recubra cada partícula del agregado pétreo.

Se toma la temperatura de la mezcla con ayuda de un termómetro una vez que la mezcla haya llegado a una temperatura de 140°C, se llena el molde previamente aceitado.

se usa un martillo de 10 lb para compactar con 75 golpes por cada cara, para su desmolde después de 20 minutos mínimo con ayuda de un gato hidráulico, se realizan 15 briquetas.

Figura 27 : Realización de la mezcla



Fuente: Elaboración propia

Figura 28 : Compactación de la briqueta



Fuente: Elaboración propia

Figura 29 : Rotura de briqueta en el aparato Marshall



Fuente : Elaboración propia

4.1.2 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LA MEZCLA

La densidad real es la que considera el volumen macizo de la probeta, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles, Para el cálculo de la densidad real de la mezcla se usa el método con superficie saturada seca, ya que este método se emplea para muestras con porcentajes de absorción menores a 2%.

La briqueta se deja secar a temperatura ambiente, pesarla denominando como "A". sumerja la briqueta en baño maría a 25 ± 1 °C por unos 5 minutos, pasado ese tiempo seque la muestra superficialmente y pese la briqueta y denomínelo como "B". posteriormente sumergir la briqueta en un estanque, su peso nómbrelo como "C".

Cálculos

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

$$\% \text{ de absorcion} = \frac{1185 - 1180,6}{1185 - 656} * 100\% = 0,8\%$$

Densidad de la briqueta

$$\text{densidad} = \frac{A}{B - C} \quad \left(\frac{\text{grs}}{\text{cm}^3} \right)$$

$$\text{densidad} = \frac{1180,6}{1185 - 656} = 2,232 \text{ grs/cm}^3$$

Tabla 34: Densidad promedio para diferente % de C.A.

% de C.A.	Muestra	Masa al aire (gr)	Masa sup. seca (gr)	Masa sumergida(gr)	% de absorción de agua	Densidad (gr/cm ³)	Densidad (gr/cm ³)
4,50%	1	1180,6	1185	656	0,8%	2,232	2,156
	2	1182,9	1187,3	648	0,8%	2,193	
	3	1168,7	1182,4	610	2,4%	2,042	
5,00%	4	1171,1	1173,8	650	0,5%	2,236	2,210
	5	1184,3	1185,5	662	0,2%	2,262	
	6	1175,1	1181	630	1,1%	2,133	
5,50%	7	1178,3	1183	651	0,9%	2,215	2,209
	8	1187,9	1189,5	650	0,3%	2,202	
	9	1175,5	1179,1	647	0,7%	2,209	
6,00%	10	1179,3	1183,3	641	0,7%	2,175	2,163
	11	1208,1	1213	647	0,9%	2,134	
	12	1179,7	1184,9	644	1,0%	2,181	
6,50%	13	1173,2	1174,9	629	0,3%	2,149	2,141
	14	1195,8	1196,3	641	0,1%	2,153	
	15	1191,3	1192,5	631	0,21%	2,122	

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUENCIA

Después de haber realizado el ensayo de la densidad, se procede a la medición con un vernier las alturas de la briqueta en 4 puntos, para sacar el promedio y sacar un factor de corrección.

Antes de realizar el ensayo se coloca la briqueta en un baño maría de 60°C de temperatura durante 20 a 30 minutos como mínimo, para proceder a colocar en las mordazas y aplicar la carga a una velocidad de 50,8 mm por minuto hasta que se produzca la rotura este valor se anota como el valor de carga máxima, como a la vez se mide con otro dial la deformación que sufre la briqueta anotando como la fluencia.

Cálculos y resultados

Se realizan los cálculos del porcentaje de vacíos total de la mezcla y la relación betumen vacíos (R.B.V.). De las cuales se obtendrá el valor de contenido de cemento asfáltico a 5% de vacíos y 75% de R.B.V.

$$\text{Promedio de altura} = \frac{\text{Altura 1} + \text{Altura 2} + \text{Altura 3} + \text{Altura 4}}{4}$$

$$\text{Promedio de altura} = \frac{65,7 + 64,2 + 65,4 + 65,5}{4}$$

$$\text{Promedio de altura} = 65,2 \text{ mm}$$

Tabla 35: Mediciones de altura de las briquetas

Contenido de cemento asfáltico (%)	muestra	altura 1	altura 2	altura 3	altura 4	promedio
4,5%	1	65,7	64,2	65,4	65,5	65,2
	2	65,7	65,3	65,3	65,4	65,4
	3	59,4	60,2	59,9	59,7	59,8
5,0%	4	64,1	64,1	64,1	64,2	64,1
	5	65,0	65,1	64,7	64,7	64,9
	6	64,1	63,8	64,4	63,7	64,0
5,5%	7	64,1	64,0	64,1	64,2	64,1
	8	65,1	65,4	65,6	65,4	65,4
	9	63,9	63,8	64,0	63,9	63,9
6,0%	10	63,4	63,3	63,5	63,4	63,4
	11	63,4	63,2	63,8	63,6	63,5
	12	63,3	63,1	63,2	63,8	63,4
6,5%	13	64,2	63,1	62,5	62,6	63,1
	14	63,7	64,1	64,5	63,9	64,1
	15	64,8	64,4	63,1	63,3	63,9

Fuente: Elaboración propia

Con la altura promedio se obtiene un factor de corrección de estabilidad, se interpola de la tabla: 64, 65 y 66 de los anexos

La carga de obtiene de la fórmula de deformación del anillo de equipo proporcionada por el fabricante.

Estabilidad

$$\text{Estabilidad sin corregir} = (0,012 * \text{lec} - 0,0812) * 102 * 2,20 \dots (\text{lb})$$

$$\text{Estabilidad sin corregir} = (0,012 * 1347 - 0,0812) * 102 * 2,20 \dots (\text{lb})$$

$$\text{Estabilidad sin corregir} = 3608,98 \text{ lb}$$

$$\text{Estabilidad corregida} = (3608,98 * 0,958) = 3457,76 \text{ lb}$$

Flujo

$$\text{Flujo promedio} = \frac{\text{Flujo1} + \text{Flujo2} + \text{Flujo3}}{3}$$

$$\text{Flujo promedio} = \frac{8 + 9 + 8}{3} = 8,33$$

Tabla 36: Estabilidad y fluencia para diferentes % de C.A.

Contenido de cemento asfáltico (%)	Muestra	Lectura del dial "mm"	Estabilidad sin corregir "lb"	Factor de corec. De altura	Estabilidad corregida "lb"	Estabilidad promedio "lb"	Lectura del dial de flujo "0,01 pulg"	Flujo promedio "pulg"
4,5%	1	1347	3608,98	0,958	3457,76	3410,480	8	8,33
	2	1245	3334,31	0,954	3180,69		9	
	3	1210	3240,07	1,109	3592,99		8	
5,0%	4	1494	4004,82	0,984	3942,50	4421,508	7	8,67
	5	1840	4936,53	0,966	4767,45		8	
	6	1720	4613,39	0,987	4554,57		11	
5,5%	7	1320	3536,27	0,985	3481,46	4191,241	8	9,00
	8	1622	4349,50	0,955	4152,40		10	
	9	1860	4990,39	0,990	4939,86		9	
6,0%	10	1081	2892,70	1,002	2898,77	3372,189	10	9,67
	11	1330	3563,20	1,000	3561,42		8	
	12	1360	3643,99	1,003	3656,38		11	
6,5%	13	1174	3143,13	1,011	3178,01	3119,231	12	10,33
	14	1095	2930,39	0,986	2889,37		9	
	15	1241	3323,54	0,990	3290,31		10	

Fuente: Elaboración propia

4.1.3.1 DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA

$$\text{Densidad max. teorica} = \frac{100}{\frac{\%C. A.}{\rho_b} + \frac{100 - \%Ag}{P. E. agregado}}$$

$$\text{Densidad max. teorica} = \frac{100}{\frac{4,5}{1,01} + \frac{100 - 95,5}{2,56}} = 2,393 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

4.1.3.2 PORCENTAJE DE VACÍOS

$$\% \text{ Vacios} = \frac{\text{Densidad max. teorica} - \text{Densidad prom.}}{\text{Densidad max. teorica}} * 100\%$$

$$\% \text{ Vacios} = \frac{2,393 - 2,156}{2,393} * 100\% = 9,91\%$$

4.1.3.3 PORCENTAJE AGREGADO MINERAL

$$V. A. M. = \% \text{ Vacios} + \frac{\text{Densidad prom.} * \%C. A.}{\rho_b}$$

$$V. A. M. = 9,91\% + \frac{2,156 * 4,5}{1,01}$$

$$V. A. M. = 12,68\%$$

4.1.3.4 RELACIÓN BITUMEN VACÍOS (R.B.V.)

$$R. B. V. = \frac{V. M. A. - \% \text{ Vacios}}{V. M. A.}$$

$$R. B. V. = \frac{12,68 - 9,81}{12,68}$$

$$R. B. V. = 46,93\%$$

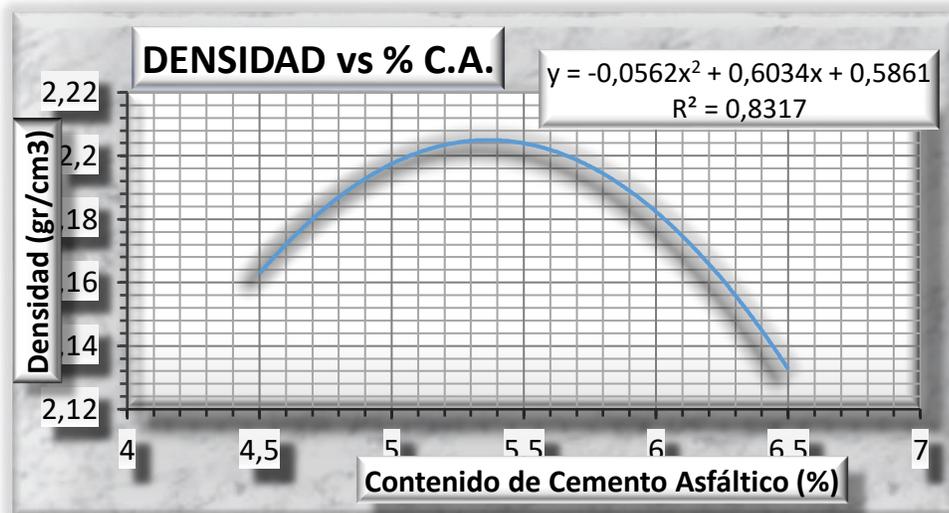
Tabla 37: Promedio para diferentes % de C.A.

Contenido de cemento asfáltico (%)	Muestra	Densidad promedio "gr/cm ³ "	Densidad máxima teórica "gr/cm ³ "	Porcentaje de vacíos mezcla total "%"	V.A.M. vacíos agregado mineral "%"	R.B.V. relación bitumen vacíos "%"
4,5%	1	2,156	2,393	9,91%	15,66%	38,41%
	2					
	3					
5,0%	4	2,210	2,376	6,97%	13,48%	49,70%
	5					
	6					
5,5%	7	2,209	2,359	6,37%	13,50%	52,80%
	8					
	9					
6,0%	10	2,163	2,342	7,65%	15,22%	49,94%
	11					
	12					
6,5%	13	2,141	2,326	7,94%	16,03%	50,54%
	14					
	15					

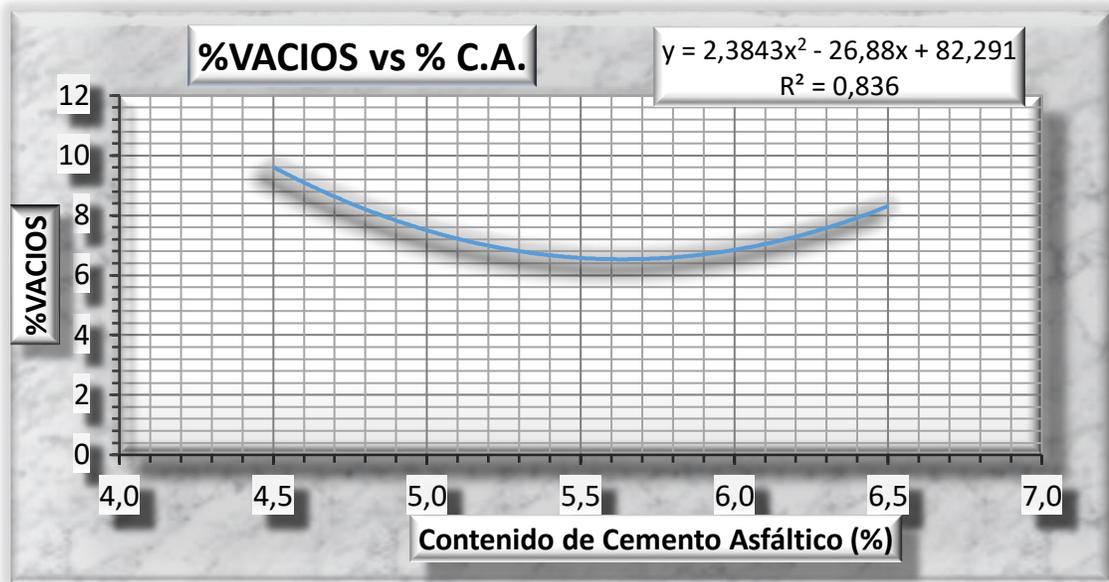
Fuente: Elaboración propia

Cuadro de curvas de diseño de mezclas para encontrar el cemento optimo

Cuadro 5: %Cemento asfáltico vs densidad

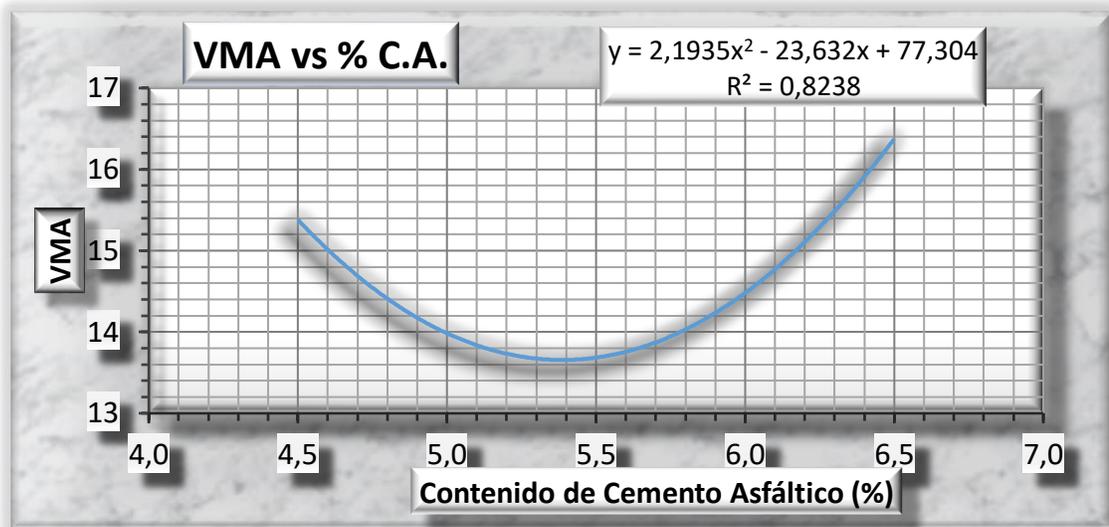


Cuadro 6: Porcentaje de cemento asfáltico vs vacíos en la mezcla



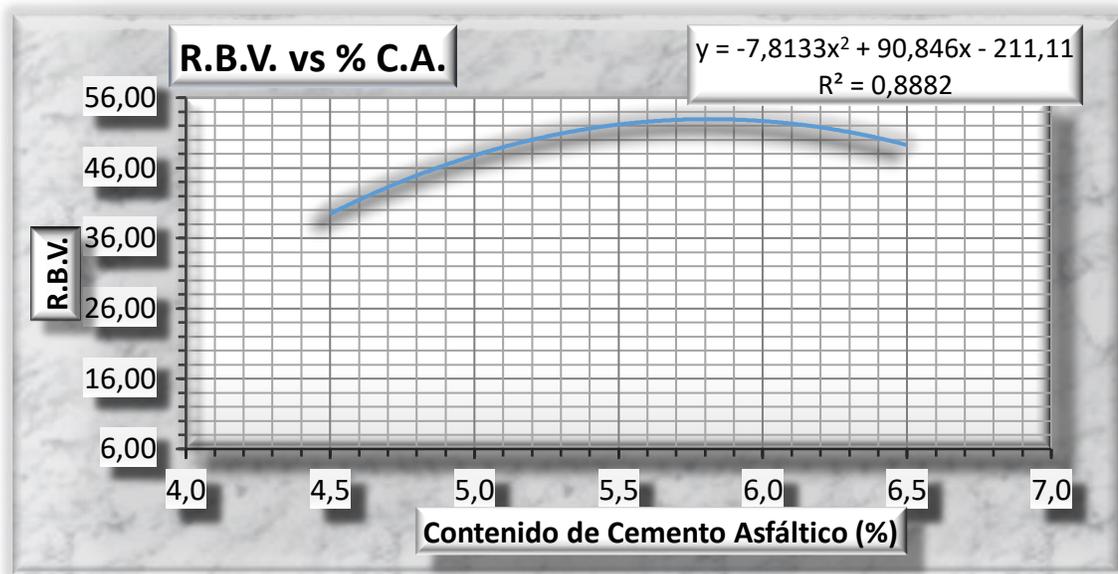
El cuadro de porcentaje de cemento asfáltico vs cemento asfáltico describe una tendencia para encontrar el porcentaje de vacíos que nos sugiere la norma.

Cuadro 7: Porcentaje de cemento asfáltico vs vacíos agregado mineral



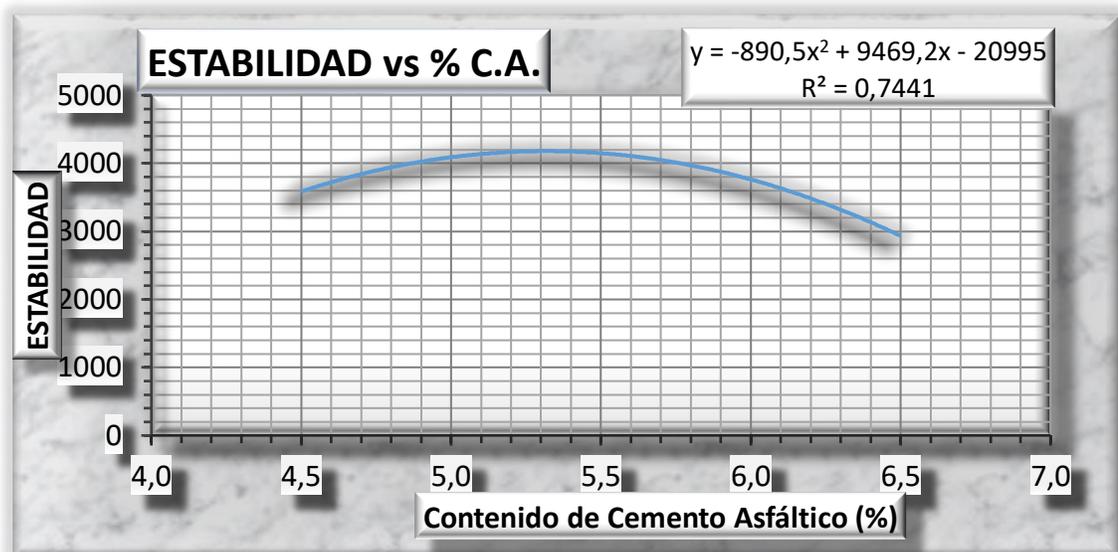
El cuadro N° 7 se muestra que para un % de 5,39 de cemento asfáltico el V.M.A es de 13,65%

Cuadro 8: Porcentaje de cemento asfáltico vs R.B.V.



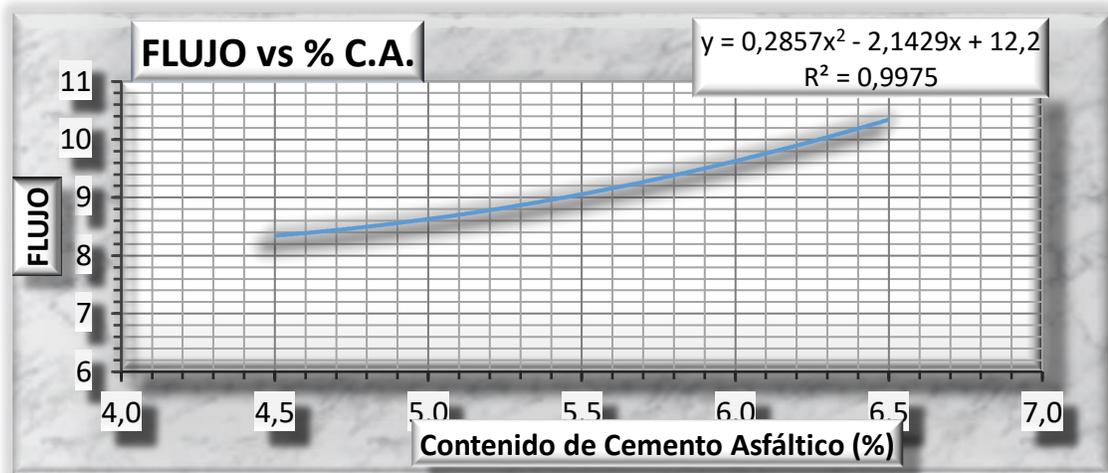
El cuadro N° 8 de % de cemento asfáltico vs R.B.V. según la curva su porcentaje para un 5,47% nos da un resultado de 67,06%

Cuadro 9: Porcentaje de cemento asfáltico vs estabilidad



La curva que describe el gráfico No 9 el porcentaje óptimo de cemento asfáltico para obtener la máxima estabilidad es de 5,32% para obtener una estabilidad de 4177,87 lb.

Cuadro 10: Porcentaje de cemento asfáltico vs flujo de la mezcla



$$C. O. de C. A. = \frac{C. O._{dens.max.} + C. O._{estabilidad max.} + C. O._{vacios 5\%} + C. O._{R.B.V.75\%}}{4}$$

$$C. O. de C. A. = \frac{5,37\% + 5,32 + 5,64 + 5,47}{4}$$

$$C. O. de C. A. = 5,47\%$$

donde

C. O. de C. A. = Contenido optimo de cemento asfáltico

C. O._{dens.max.} = Contenido optimo para densidad maxima

C. O._{estabilidad max.} = Contenido optimo para estabilidad maxima

C. O._{vacios 5%} = Contenido optimo para vacios 5%

C. O._{R.B.V.} = Contenido optimo para R. B. V. 75%

Tabla 38: Resultados de cemento optimo

Resumen de ensayos y porcentajes óptimos		
Ensayo realizado	Valor de diseño	% de C.A.
Estabilidad corregida:	4177,87	5,32
Flujo (mm)	9,20	5,64
Peso específico máximo ASTM D-2041 (gr/cm ³)	2,206	5,37
% de Vacíos	5,00	5,64
Relación bitumen vacíos	67,06	5,47
VMA	13,65	5,39
Porcentaje de cemento asfáltico optimo		5,47

Fuente: Elaboración propia

4.2 ENSAYO DE ESTABILIDAD, FLUENCIA DE LA MEZCLA CON P.P.

Los equipos como los ensayos son los mismos que se realizaron para encontrar el cemento asfáltico óptimo de la mezcla asfáltica.

En cuanto a los materiales se le añade a la mezcla asfáltica, plástico de polipropileno vía húmeda, en un porcentaje de 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, siendo la recomendación de las diferentes normativas tanto la normativa alemana según (Ordoñez, 2015) que nos propone un rango de 0,3% a 2% con respecto a la mezcla, siendo su máximo de polipropileno que podemos añadirlo a la mezcla asfáltica 40% con respecto al cemento asfáltico, como también se tomó en cuenta la normativa estadounidense (procesos constructivos de mezclas SMA.) que nos da un rango de 0,3% a 1,5% con respecto a la mezcla, así analizando diferentes porcentajes de polipropileno, con respecto al peso óptimo del cemento asfáltico de 5,47% con respecto al peso de 1200 gr.

Se reduce un porcentaje del cemento asfáltico para remplazarlo con polipropileno derretido, para añadirlo a la mezcla.

El mejor método para añadirlo el polipropileno de a la mezcla, es derretir el plástico en una hornilla calentando a 140°C hasta que el plástico este derretido completamente agitando con una varilla para homogenizar, al mismo tiempo calentar el cemento asfáltico hasta que tenga una consistencia líquida, añadirlo ¼ de peso del cemento asfáltico y mezclarlo con la varilla hasta homogenizarlo, añada poco a poco el cemento asfáltico, para asegurarse de una mezcla completamente usar una batidora eléctrica.

Cálculos para remplazar el cemento asfáltico con polipropileno:

$$\text{Peso de C. A.} = \text{Peso de C. O. de C. A.} * (100\% - \%P. P.)$$

$$\text{Peso de C. A.} = 65,64 * (100\% - 5\%)$$

$$\text{Peso de C. A.} = 62,36 \text{ gr}$$

$$\text{Peso de P. P.} = \text{Peso de C. O. de C. A.} * \%P. P.$$

$$\text{Peso de P. P.} = 65,64 * 5\%$$

$$\text{Peso de P. P.} = 3,28 \text{ gr}$$

donde:

Peso de C. A. = Peso de cemento asfáltico (gr)

Peso de C. O. de C. A. = Peso de cemento asfáltico óptimo (gr)

Peso de P. P. = Peso de plástico de polipropileno (gr)

% P. P. = Porcentaje de polipropileno

Tabla 39: Briquetas a realizar con diferentes porcentajes de polipropileno

% Contenido de P.P.	N° de briquetas
0%	5
5%	5
10%	5
15%	5
20%	5
25%	5
30%	5
35%	5
40%	5
Total	45

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40: Peso de cemento asfalto y Polipropileno

Porcentaje de polipropileno en la mezcla									
Porcentaje de Polipropileno. (%)	0,0%	5,0%	10,0%	15,0%	20,0%	25,0%	30,0%	35,0%	40,0%
Porcentaje óptimo de cemento A. (%)	5,47%								
Porcentaje de agregado (%)	94,53%	94,53%	94,53%	94,53%	94,53%	94,53%	94,53%	94,53%	94,53%
Peso del cemento asfáltico (gr)	65,64	62,36	59,08	55,79	52,51	49,23	45,95	42,67	39,38
Peso del polipropileno (gr)	0,00	3,28	6,56	9,85	13,13	16,41	19,69	22,97	26,26
Peso de grava (gr)	328,96	328,96	328,96	328,96	328,96	328,96	328,96	328,96	328,96
Peso de gravilla (gr)	351,65	351,65	351,65	351,65	351,65	351,65	351,65	351,65	351,65
Peso de arena (gr)	453,74	453,74	453,74	453,74	453,74	453,74	453,74	453,74	453,74
Peso total de la briqueta (gr)	1200,00								

Fuente: Elaboración propia

Los cálculos como también el procedimiento para encontrar la densidad y estabilidad de la mezcla son los mismos descritos en los subtítulos 4.1.2 y 4.1.3, la diferencia es que en las diferentes tablas se trabaja con el porcentaje de contenido de polipropileno en la mezcla.

La misma dosificación de agregados pétreos que anteriormente se usaran para esta mezcla, elaborando 5 briquetas para cada porcentaje de plástico de polipropileno, se

realizaran un primer grupo con un porcentaje de 0% de P.P. luego los demás se realizaran con un porcentaje de polipropileno de 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, respectivamente.

Tabla 41: Alturas de briquetas con polipropileno

Contenido de polipropileno (%)	Muestra	Altura 1	Altura 2	Altura 3	Altura 4	Promedio
0,0%	1	59,4	64,1	65,0	64,1	63,2
	2	65,7	65,5	65,0	64,8	65,2
	3	64,1	65,1	63,9	63,4	64,1
	4	63,9	64,2	64,5	65,0	64,4
	5	65,0	64,0	63,9	63,5	64,1
5,0%	6	64,4	64,3	63,4	63,5	63,9
	7	64,2	66,7	65,0	63,2	64,8
	8	64,7	64,8	63,8	64,3	64,4
	9	64,2	66,0	66,3	63,5	65,0
	10	63,5	64,6	65,0	64,0	64,3
10,0%	11	64,0	65,1	65,8	65,2	65,0
	12	65,5	64,0	63,8	65,0	64,6
	13	64,8	64,3	64,3	65,0	64,6
	14	64,9	65,7	65,5	63,8	65,0
	15	59,3	59,6	59,1	59,0	59,3
15,0%	16	63,3	64,1	64,7	63,3	63,9
	17	63,5	63,1	65,4	64,6	64,2
	18	66,3	66,3	66,9	67,0	66,6
	19	64,2	64,9	65,0	64,0	64,5
	20	64,3	65,4	65,5	65,4	65,2
20,0%	21	65,9	65,8	62,5	63,5	64,4
	22	66,2	66,1	66,5	67,7	66,6
	23	66,0	65,9	64,9	64,6	65,3
	24	68,0	66,1	66,2	68,0	67,1
	25	66,0	66,0	65,3	64,7	65,5
25,0%	26	67,0	66,8	66,0	66,3	66,5
	27	64,5	64,6	65,5	65,3	65,0
	28	65,5	66,4	66,2	65,3	65,8
	29	66,0	65,1	64,8	64,8	65,2
	30	67,0	66,8	67,3	67,3	67,1
30,0%	31	66,0	67,3	65,1	66,4	66,2
	32	66,3	65,6	65,1	65,4	65,6
	33	65,0	65,0	64,7	64,6	64,8
	34	65,1	64,5	65,5	66,0	65,3
	35	65,4	64,7	64,2	66,0	65,1
35,0%	36	67,0	67,5	67,5	67,6	67,4
	37	64,3	66,0	66,2	64,4	65,2
	38	66,1	66,3	66,7	66,8	66,5
	39	66,6	67,7	66,7	66,4	66,8
	40	65,4	65,3	64,7	64,8	65,1
40,0%	41	65,6	66,1	66,2	66,7	66,1
	42	59,6	59,4	59,8	59,4	59,6
	43	66,1	66,3	65,8	65,3	65,9
	44	66,0	65,5	65,3	65,7	65,7
	45	68,8	66,5	65,3	65,7	66,6

Tabla 42: Densidad para diferentes % de polipropileno

Contenido de polipropileno (%)	Muestra	Masa de la briqueta seca "A"(gr)	Masa de la briq. Saturada superf. Seca "B"(gr)	Masa de la briq. Sumergida "C" (gr)	Porcentaje de absorción (%)	Densidad real de la mezcla (g/cm ³)
0,0%	1	1180,6	1187,3	656,0	0,56%	2,222
	2	1171,1	1182,4	656,0	0,96%	2,225
	3	1184,3	1191,0	656,0	0,56%	2,214
	4	1175,1	1183,0	651,0	0,67%	2,209
	5	1178,3	1189,5	657,0	0,94%	2,213
5,0%	6	1173,3	1185,2	664,0	1,00%	2,251
	7	1177,9	1189,1	667,0	0,94%	2,256
	8	1186,6	1194,3	668,0	0,64%	2,255
	9	1180,3	1193,9	670,0	1,14%	2,253
10,0%	10	1182,6	1198,7	679,0	1,34%	2,276
	11	1176,9	1187,1	670,0	0,86%	2,276
	12	1172,2	1183,7	665,0	0,97%	2,260
	13	1182,7	1189,5	673,0	0,57%	2,290
	14	1194,4	1203,1	676,0	0,72%	2,266
15,0%	15	1180,9	1187,6	662,0	0,56%	2,247
	16	1162,1	1168,8	660,0	0,57%	2,284
	17	1155,3	1162,4	656,0	0,61%	2,281
	18	1202,4	1211,7	682,0	0,77%	2,270
	19	1172,3	1180,0	663,0	0,65%	2,268
	20	1184,6	1196,0	672,0	0,95%	2,261
20,0%	21	1184,7	1195,1	670,0	0,87%	2,256
	22	1181,4	1193,8	675,0	1,04%	2,277
	23	1173,0	1181,7	664,0	0,74%	2,266
	24	1194,7	1207,9	679,0	1,09%	2,259
	25	1155,8	1170,2	658,0	1,23%	2,257
25,0%	26	1198,0	1204,6	674,0	0,55%	2,258
	27	1176,1	1187,3	670,0	0,94%	2,274
	28	1185,4	1191,4	671,0	0,50%	2,278
	29	1159,4	1166,5	651,0	0,61%	2,249
	30	1200,1	1206,4	679,0	0,52%	2,276
30,0%	31	1182,7	1190,1	667,0	0,62%	2,261
	32	1188,3	1199,2	675,0	0,91%	2,267
	33	1174,5	1182,6	664,0	0,68%	2,265
	34	1163,3	1176,8	661,0	1,15%	2,255
	35	1160,5	1167,9	656,0	0,63%	2,267
35,0%	36	1172,4	1185,5	651,0	1,11%	2,193
	37	1170,3	1176,6	657,0	0,54%	2,252
	38	1189,7	1199,2	663,0	0,79%	2,219
	39	1186,6	1195,6	665,0	0,75%	2,236
	40	1162,1	1169,3	656,0	0,62%	2,264
40,0%	41	1180,6	1188,4	668,0	0,66%	2,269
	42	1173,2	1176,9	608,0	0,31%	2,062
	43	1174,9	1183,7	663,0	0,74%	2,256
	44	1184,9	1191,7	671,0	0,57%	2,276
	45	1185,1	1191,0	668,0	0,50%	2,266

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43: Estabilidad y fluencia para diferente % de polipropileno

Contenido de polipropileno (%)	Muestra	Lectura del dial "mm"	Estabilidad sin corregir "lb"	Factor de corec. De altura	Estabilidad corregida "lb"	Lectura del dial de flujo "0,01 pulg"
0,0%	1	1520,0	4074,83	0,99	4034,09	9
	2	1456,0	3902,50	0,99	3847,86	9
	3	1386,0	3714,00	0,96	3565,44	8,5
	4	1456,0	3902,50	0,97	3785,42	10
	5	1506,0	4037,14	0,99	3976,58	9
5,0%	6	1280,0	3428,56	0,99	3392,99	10
	7	1230,0	3293,92	0,97	3188,93	9
	8	1410,0	3778,63	0,98	3692,19	8
	9	1930,0	5178,88	0,96	4980,79	10
	10	1680,0	4505,68	0,98	4416,70	11
10,0%	11	1210,0	3240,07	0,96	3116,54	12
	12	1912,0	5130,41	0,97	4991,25	11
	13	2150,0	5771,30	0,97	5612,59	11
	14	2070,0	5555,87	0,96	5348,57	9
	15	1770,0	4748,03	1,13	5343,44	9
15,0%	16	2153,0	5779,38	0,99	5724,47	9
	17	2250,0	6040,58	0,98	5939,40	14
	18	2150,0	5771,30	0,93	5378,00	12
	19	2200,0	5905,94	0,97	5753,12	9
	20	3000,0	8060,18	0,96	7727,82	14
20,0%	21	2252,0	6045,96	0,98	5906,15	12
	22	2341,0	6285,62	0,93	5854,59	9
	23	2342,0	6288,32	0,96	6008,14	8
	24	3010,0	8087,11	0,92	7447,21	9
	25	2221,0	5962,49	0,95	5679,27	8
25,0%	26	3180,0	8544,88	0,93	7975,15	12
	27	3268,0	8781,85	0,96	8452,53	9
	28	3260,0	8760,31	0,95	8287,64	8
	29	2780,0	7467,76	0,96	7159,12	9
	30	3410,0	9164,23	0,92	8433,38	10
30,0%	31	2860,0	7683,19	0,94	7216,89	5
	32	3398,0	9131,91	0,95	8683,35	9
	33	3260,0	8760,31	0,97	8466,84	6
	34	2870,0	7710,11	0,96	7377,00	6
	35	2980,0	8006,32	0,96	7689,07	6
35,0%	36	2630,0	7063,84	0,91	6446,64	7
	37	2910,0	7817,83	0,96	7486,74	8
	38	2715,0	7292,73	0,93	6815,84	7
	39	2860,0	7683,19	0,93	7119,43	6
	40	2930,0	7871,68	0,96	7562,72	5
40,0%	41	2995,0	8046,71	0,94	7567,49	4
	42	2552,0	6853,80	1,12	7652,27	8
	43	2644,0	7101,54	0,95	6712,98	7
	44	2610,0	7009,99	0,95	6657,73	8
	45	2825,0	7588,94	0,93	7075,02	6

Fuente: Elaboración propia

4.2.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESULTADOS DE BRIQUETAS

Media geométrica

$$\text{Media geométrica} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n x_i}$$

$$\text{Media geométrica} = 2.295 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Media armónica

$$\text{Media armónica} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i}}$$

$$\text{Media armónica} = 2,294 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Media ponderada

$$\text{Media ponderada} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i * w_i)}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$\text{Media ponderada} = 2,295 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Media aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

donde:

x_i = Datos i

n = Número de datos

$$\bar{x} = \frac{2,29 + 2,29 + 2,30}{3} = 2,295 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Tabla 44: Análisis estadístico para mezcla con 5% de polipropileno

Análisis estadístico para mezcla con 5% de polipropileno								
Contenido de ligante optimo en la mezcla	Muestra	Densidad "gr/cm³"	Estabilidad "lb"	Fluencia	Resistencia "kg/cm²"	Porcentaje de vacíos mezcla total "%"	V.A.M. vacíos agregado mineral "%"	R.B.V. relación bitumen vacíos "%"
5,47%	1	2,251	3392,99	10,0	19,60	4,14%	11,84%	65,02%
	2	2,256	3188,93	9,0	18,42	3,93%	11,65%	66,25%
	3	2,255	3692,19	8,0	21,33	3,99%	11,70%	65,88%
	4	2,253	4980,79	10,0	28,77	4,07%	11,77%	65,45%
	5	2,276	4416,70	11,0	25,51	3,10%	10,88%	71,50%
Media geométrica		2,258	3879,551	9,544	22,408	3,83%	11,56%	66,78%
Media armónica		2,258	3827,496	9,487	22,107	3,80%	11,56%	66,74%
Media ponderada		2,258	4047,938	9,708	23,380	0,039	0,116	0,669
Media aritmética		2,258	3918,328	9,580	22,632	3,84%	11,57%	66,81%
Desviación estándar		0,010	747,505	1,140	4,318	0,42%	0,39%	2,65%
Varianza		0,004	0,191	0,119	0,191	11,04%	3,37%	3,97%

Tabla 45: Análisis estadístico para mezcla con 10% de Polipropileno

Análisis estadístico para mezcla con 10% de polipropileno								
Contenido de ligante optimo en la mezcla	Muestra	Densidad "gr/cm³"	Estabilidad "lb"	Fluencia	Resistencia "kg/cm²"	Porcentaje de vacíos mezcla total "%"	V.A.M. vacíos agregado mineral "%"	R.B.V. relación bitumen vacíos "%"
5,47%	1	2,276	3116,54	12,0	18,00	2,50%	10,87%	77,02%
	2	2,260	4991,25	11,0	28,83	3,19%	11,50%	72,29%
	3	2,290	5612,59	11,0	32,42	1,90%	10,32%	81,57%
	4	2,266	5348,57	9,0	30,89	2,92%	11,26%	74,02%
	5	2,247	5343,44	9,0	30,86	3,75%	12,01%	68,80%
Media geométrica		2,268	4779,921	10,330	27,608	2,78%	11,18%	74,62%
Media armónica		2,268	4657,655	10,259	26,902	2,70%	11,16%	74,49%
Media ponderada		2,268	5050,145	10,538	29,169	0,030	0,112	0,750
Media aritmética		2,268	4829,240	10,376	27,893	2,82%	11,19%	74,70%
Desviación estándar		0,016	1011,578	1,342	5,843	0,70%	0,64%	4,84%
Varianza		0,007	0,209	0,129	0,209	24,70%	5,70%	6,48%

Tabla 46: Análisis estadístico para mezcla con 15% de Polipropileno

Análisis estadístico para mezcla con 15% de polipropileno								
Contenido de ligante optimo en la mezcla	Muestra	Densidad "gr/cm3"	Estabilidad "lb"	Fluencia	Resistencia "kg/cm2"	Porcentaje de vacíos mezcla total "%"	V.A.M. vacíos agregado mineral "%"	R.B.V. relación bitumen vacíos "%"
5,47%	1	2,284	5724,47	9,0	33,06	2,08%	10,55%	80,25%
	2	2,281	5939,40	14,0	34,31	2,20%	10,65%	79,40%
	3	2,270	5378,00	12,0	31,06	2,69%	11,10%	75,81%
	4	2,268	5753,12	9,0	33,23	2,79%	11,20%	75,08%
	5	2,261	7727,82	14,0	44,64	3,08%	11,46%	73,11%
Media geométrica		2,273	6053,574	11,376	34,965	2,54%	10,99%	76,68%
Media armónica		2,273	6008,028	11,150	34,702	2,51%	10,98%	76,64%
Media ponderada		2,273	6217,858	12,034	35,914	0,026	0,110	0,768
Media aritmética		2,273	6093,153	11,520	35,193	2,56%	10,99%	76,71%
Desviación estándar		0,010	929,799	2,510	5,370	0,42%	0,38%	3,01%
Varianza		0,004	0,153	0,218	0,153	16,38%	3,48%	3,92%

Tabla 47: Análisis estadístico para mezcla con 20% de Polipropileno

Análisis estadístico para mezcla con 20% de polipropileno								
Contenido de ligante optimo en la mezcla	Muestra	Densidad "gr/cm3"	Estabilidad "lb"	Fluencia	Resistencia "kg/cm2"	Porcentaje de vacíos mezcla total "%"	V.A.M. vacíos agregado mineral "%"	R.B.V. relación bitumen vacíos "%"
5,47%	1	2,256	5906,15	12,0	34,11	3,05%	11,64%	73,80%
	2	2,277	5854,59	9,0	33,82	2,15%	10,82%	80,16%
	3	2,266	6008,14	8,0	34,70	2,64%	11,27%	76,61%
	4	2,259	7447,21	9,0	43,01	2,93%	11,54%	74,57%
	5	2,257	5679,27	8,0	32,80	3,03%	11,63%	73,92%
Media geométrica		2,263	6148,447	9,094	35,513	2,74%	11,37%	75,77%
Media armónica		2,263	6120,554	9,000	35,352	2,71%	11,37%	75,74%
Media ponderada		2,263	6245,975	9,435	36,076	0,028	0,114	0,759
Media aritmética		2,263	6171,659	9,176	35,647	2,75%	11,38%	75,80%
Desviación estándar		0,009	718,850	1,643	4,152	0,38%	0,35%	2,68%
Varianza		0,004	0,116	0,179	0,116	13,86%	3,05%	3,54%

Tabla 48: Análisis estadístico para mezcla con 25% de Polipropileno

Análisis estadístico para mezcla con 25% de polipropileno								
Contenido de ligante optimo en la mezcla	Muestra	Densidad "gr/cm3"	Estabilidad "lb"	Fluencia	Resistencia "kg/cm2"	Porcentaje de vacíos mezcla total "%"	V.A.M. vacíos agregado mineral "%"	R.B.V. relación bitumen vacíos "%"
5,47%	1	2,256	7975,15	12,0	46,06	2,90%	11,58%	74,99%
	2	2,277	8452,53	9,0	48,82	2,22%	10,96%	79,75%
	3	2,266	8287,64	8,0	47,87	2,03%	10,79%	81,16%
	4	2,259	7159,12	9,0	41,35	3,27%	11,92%	72,55%
	5	2,257	8433,38	10,0	48,71	2,14%	10,88%	80,39%
Media geométrica		2,263	8046,437	9,509	46,475	2,47%	11,22%	77,69%
Media armónica		2,263	8030,617	9,424	46,384	2,43%	11,21%	77,62%
Media ponderada		2,263	8090,445	9,792	46,730	0,026	0,112	0,779
Media aritmética		2,263	8055,833	9,575	46,530	2,50%	11,22%	77,74%
Desviación estándar		0,009	539,464	1,517	3,116	0,54%	0,49%	3,78%
Varianza		0,004	0,067	0,158	0,067	21,74%	4,41%	4,86%

Tabla 49: Análisis estadístico para mezcla con 30% de Polipropileno

Análisis estadístico para mezcla con 30% de polipropileno								
Contenido de ligante optimo en la mezcla	Muestra	Densidad "gr/cm3"	Estabilidad "lb"	Fluencia	Resistencia "kg/cm2"	Porcentaje de vacíos mezcla total "%"	V.A.M. vacíos agregado mineral "%"	R.B.V. relación bitumen vacíos "%"
5,47%	1	2,261	7216,89	5,0	41,68	2,69%	11,45%	76,51%
	2	2,267	8683,35	9,0	50,15	2,43%	11,22%	78,30%
	3	2,265	8466,84	6,0	48,90	2,53%	11,31%	77,65%
	4	2,255	7377,00	6,0	42,61	2,93%	11,67%	74,89%
	5	2,267	7689,07	6,0	44,41	2,43%	11,22%	78,35%
Media geométrica		2,263	7865,069	6,274	45,428	2,60%	11,37%	77,13%
Media armónica		2,263	7843,806	6,164	45,305	2,59%	11,37%	77,12%
Media ponderada		2,263	7930,216	6,688	45,804	0,026	0,114	0,772
Media aritméticas		2,263	7879,697	6,375	45,512	2,60%	11,37%	77,14%
Desviación estándar		0,005	655,497	1,517	3,786	0,21%	0,19%	1,46%
Varianza		0,002	0,083	0,238	0,083	8,17%	1,70%	1,90%

Tabla 50: Análisis estadístico para mezcla con 35% de Polipropileno

Análisis estadístico para mezcla con 35% de polipropileno								
Contenido de ligante optimo en la mezcla	Muestra	Densidad "gr/cm3"	Estabilidad "lb"	Fluencia	Resistencia "kg/cm2"	Porcentaje de vacíos mezcla total "%"	V.A.M. vacíos agregado mineral "%"	R.B.V. relación bitumen vacíos "%"
5,47%	1	2,193	6446,64	7,0	37,24	4,60%	14,10%	67,38%
	2	2,252	7486,74	8,0	43,24	2,04%	11,79%	82,71%
	3	2,219	6815,84	7,0	39,37	3,50%	13,11%	73,31%
	4	2,236	7119,43	6,0	41,12	2,73%	12,42%	77,99%
	5	2,264	7562,72	5,0	43,68	1,53%	11,34%	86,49%
Media geométrica		2,233	7073,817	6,518	40,858	2,68%	12,51%	77,28%
Media armónica		2,233	7061,207	6,432	40,785	2,48%	12,48%	76,97%
Media ponderada		2,233	7110,850	6,758	41,072	0,033	0,126	0,782
Media aritmética		2,233	7081,958	6,569	40,905	2,82%	12,54%	77,47%
Desviación estándar		0,028	466,567	1,140	2,695	1,21%	1,09%	7,55%
Varianza		0,012	0,066	0,174	0,066	43,06%	8,71%	9,75%

Tabla 51: Análisis estadístico para mezcla con 40% de Polipropileno

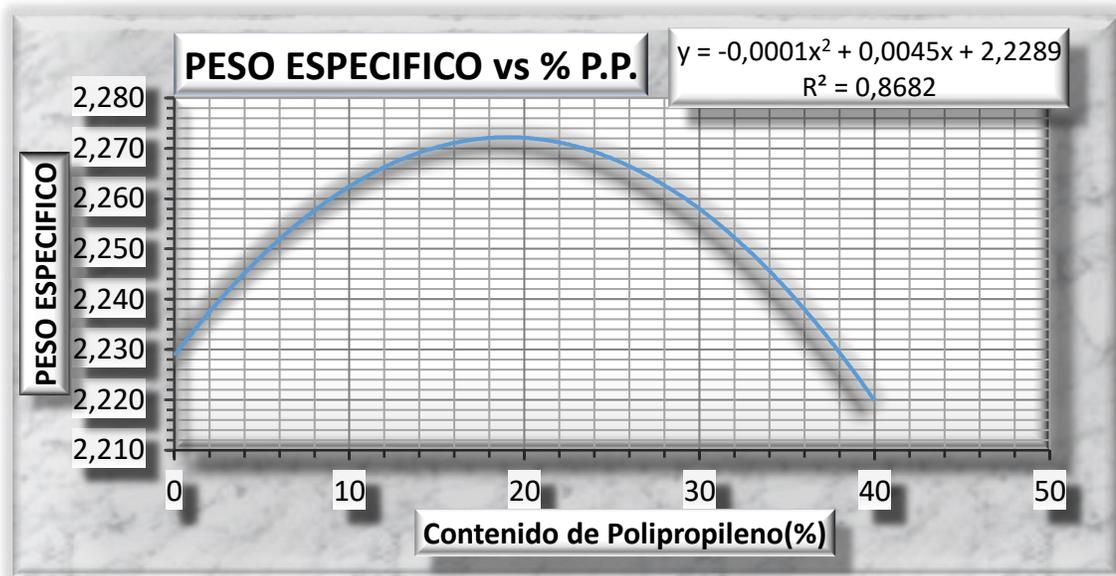
Análisis estadístico para mezcla con 40% de polipropileno								
Contenido de ligante optimo en la mezcla	Muestra	Densidad "gr/cm3"	Estabilidad "lb"	Fluencia	Resistencia "kg/cm2"	Porcentaje de vacíos mezcla total "%"	V.A.M. vacíos agregado mineral "%"	R.B.V. relación bitumen vacíos "%"
5,47%	1	2,269	7567,49	4,0	43,71	0,88%	11,15%	92,14%
	2	2,062	7652,27	8,0	44,20	9,90%	19,24%	48,56%
	3	2,256	6712,98	7,0	38,77	1,41%	11,63%	87,86%
	4	2,276	6657,73	8,0	38,45	0,57%	10,88%	94,73%
	5	2,266	7075,02	6,0	40,86	0,99%	11,26%	91,17%
Media geométrica		2,224	7121,022	6,402	41,130	1,48%	12,50%	80,57%
Media armónica		2,223	7109,007	6,176	41,061	1,06%	12,25%	77,70%
Media ponderada		2,229	7157,327	6,939	41,340	0,074	0,136	0,865
Media aritmética		2,225	7129,119	6,506	41,177	3,32%	12,80%	81,59%
Desviación estándar		0,092	464,780	1,673	2,685	4,01%	3,59%	19,35%
Varianza		0,041	0,065	0,257	0,065	120,69%	28,06%	23,72%

Tabla 52: Promedio de la mezcla con diferente % de polipropileno

Contenido de polipropileno (%)	Muestra	Densidad promedio "gr/cm ³ "	Densidad máxima teórica "gr/cm ³ "	Porcentaje de vacíos mezcla total "%"	V.A.M. vacíos agregado mineral "%"	R.B.V. relación bitumen vacíos "%"
0,0%	1	2,22	2,326	6,56%	12,81%	60,51%
	2					
	3					
	4					
	5					
5,0%	6	2,258	2,348	3,85%	11,57%	66,82%
	7					
	8					
	9					
	10					
10,0%	11	2,268	2,334	2,85%	11,19%	74,74%
	12					
	13					
	14					
	15					
15,0%	16	2,273	2,333	2,57%	10,99%	76,73%
	17					
	18					
	19					
	20					
20,0%	21	2,263	2,327	2,76%	11,38%	75,81%
	22					
	23					
	24					
	25					
25,0%	26	2,267	2,325	2,51%	11,23%	77,77%
	27					
	28					
	29					
	30					
30,0%	31	2,263	2,323	2,60%	11,37%	77,14%
	32					
	33					
	34					
	35					
35,0%	36	2,233	2,299	2,88%	12,55%	77,57%
	37					
	38					
	39					
	40					
40,0%	41	2,226	2,289	2,75%	12,83%	82,89%
	42					
	43					
	44					
	45					

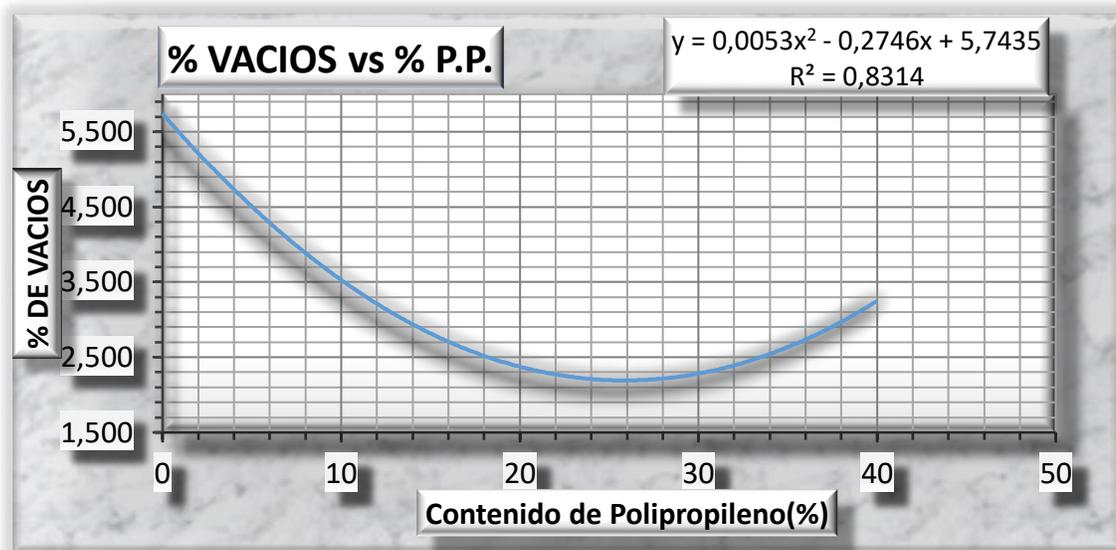
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 11: Peso específico vs % de polipropileno



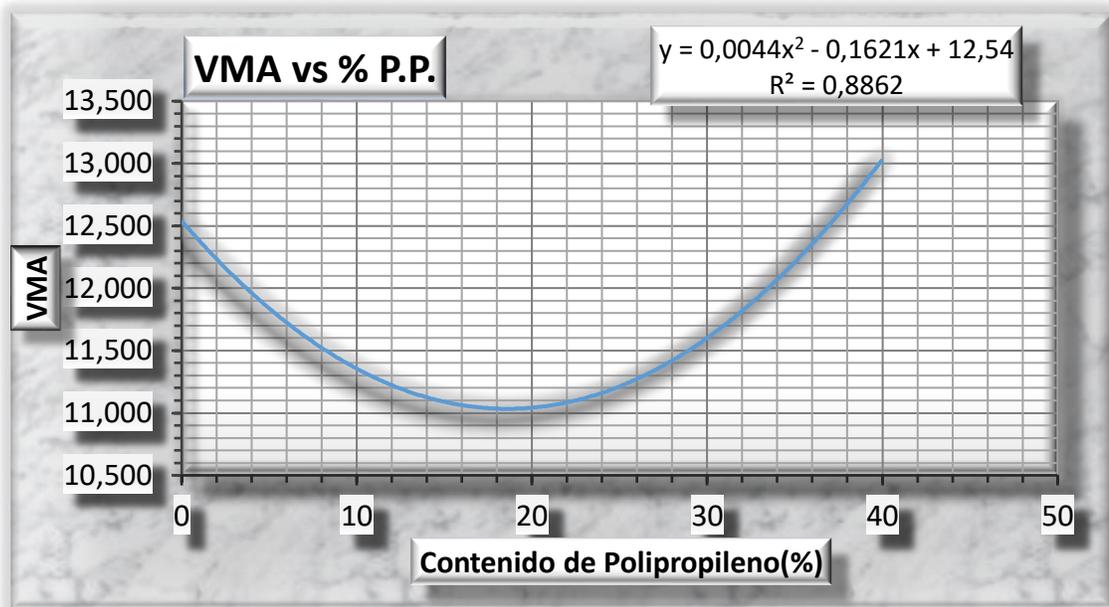
El cuadro N° 11 describe una curva de peso específico dando como el porcentaje óptimo de polipropileno de 22,50 dando un peso específico máximo de 2,28 gr/cm³

Cuadro 12: Porcentaje de vacíos vs % de polipropileno



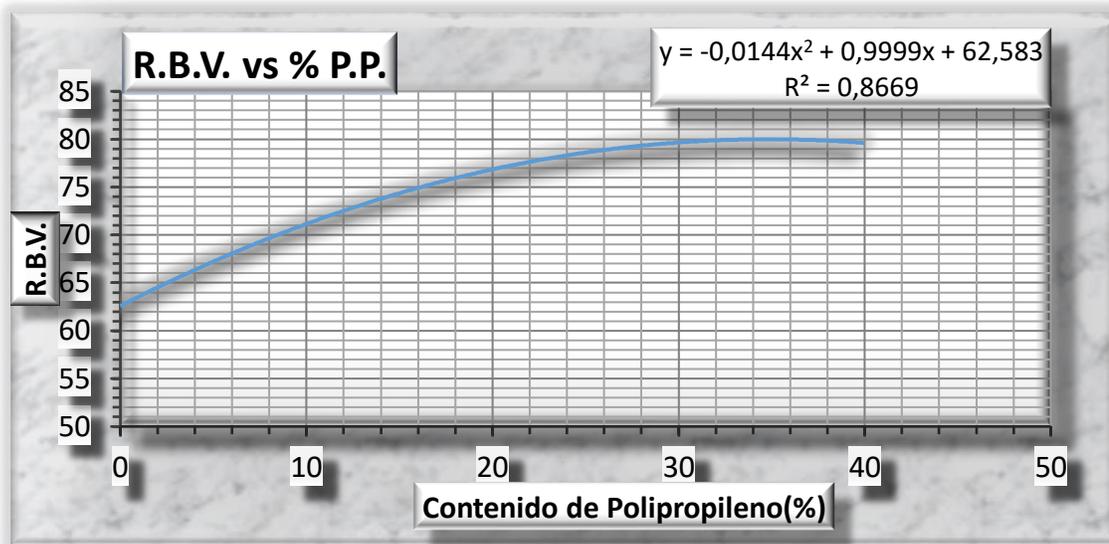
El cuadro N° 12 describe el comportamiento de los vacíos de la mezcla asfáltica con polipropileno siendo su porcentaje óptimo de 13,52% para un vacío de 3%.

Cuadro 13: Vacíos agregado mineral vs % de polipropileno



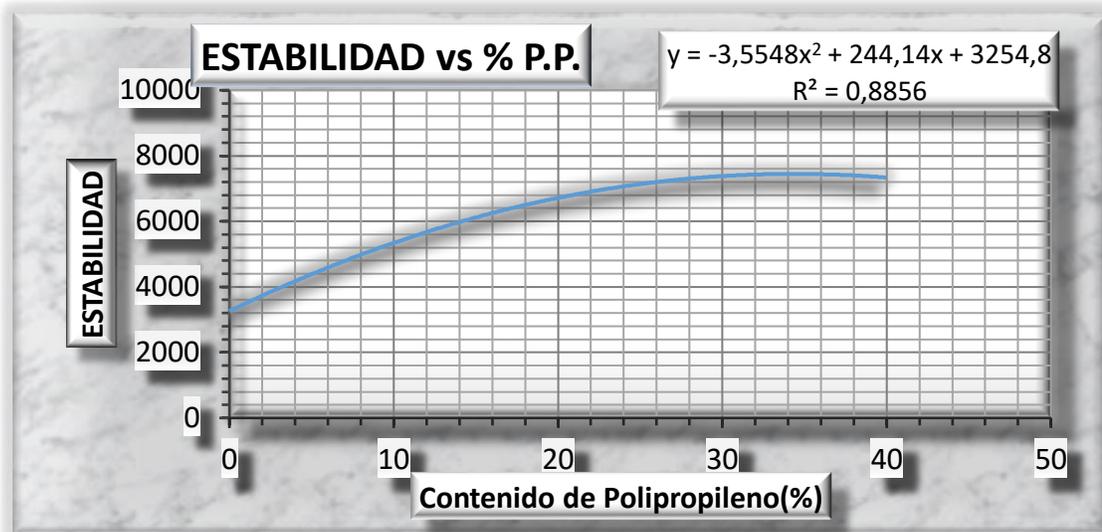
El cuadro N° 13. se muestra el V.M.A. con diferentes porcentajes de polipropileno en la mezcla, dando su porcentaje óptimo de 33,15% para un V.M.A. de 12 según norma.

Cuadro 14: Relación bitumen vacíos vs % de polipropileno



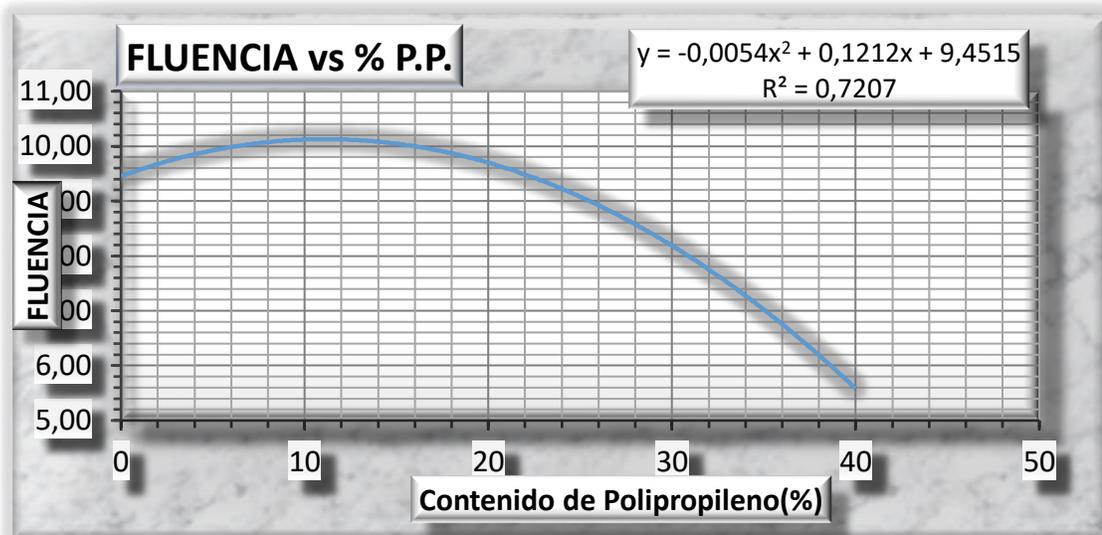
El comportamiento de la mezcla con diferentes porcentajes de polipropileno se describe en la siguiente grafica teniendo como optimo de 16,19%.

Cuadro 15: Estabilidad de la mezcla vs % de polipropileno



El cuadro N° 15 de estabilidad vs % de polipropileno describe cómo se comporta la estabilidad según aumenta el P.P. dando un máximo con el óptimo de 7442,62 lb.

Cuadro 16: Fluencia de la mezcla vs % de polipropileno



Realizado el ensayo de fluencia en la mezcla con polipropileno, se puede apreciar que la fluencia aumenta en una cantidad, para luego disminuir mientras se va aumentando el polipropileno.

Tabla 53: Porcentaje de polipropileno óptimo de la mezcla

Resumen de ensayos y porcentajes óptimos		
Ensayo realizado	Valor de diseño	% DE P.P.
Estabilidad Corregida:	7442,62	35,40
Flujo (mm)	8,66	11,38
Peso Específico Máximo ASTM D-2041 (gr/cm ³)	2,28	22,50
% de Vacíos	3,00	13,52
VMA	12,00	33,15
% llenos de ligante	75,00	16,19
Porcentaje de cemento asfáltico óptimo		22,02

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del porcentaje óptimo de polipropileno de la mezcla, se halla de las curvas de la graficas anteriores, de las cuales se halla el % de vacíos mínimo que permite la norma según el tipo de tránsito de diseño, que es de 3% y una relación de R.B.V. de 75% máximo. Para hallar la máxima estabilidad adquirida.

$$\% \text{ de P. P. O.} = \frac{35,4 + 1,38 + 22,5 + 13,52 + 33,15 + 16,19}{6}$$

$$\% \text{ de P. P. O.} = 22,02\%$$

donde:

% de P. P. O. = Porcentaje óptimo de polipropileno

Tabla 54: Resultados teórico con el polipropileno óptimo

Resumen de ensayos y porcentajes óptimos		
Ensayo realizado	Valor de diseño	% DE P.P.
Estabilidad Corregida:	6907,37	22,02
Flujo (mm)	9,30	22,02
Peso Específico Máximo ASTM D-2041 (gr/cm ³)	2,28	22,02
% de Vacíos	2,27	22,02
VMA	11,10	22,02
% llenos de ligante	77,62	22,02
Porcentaje de cemento asfáltico óptimo		22,02

Fuente: Elaboración propia

4.3 CORROBORACIÓN DE DATOS EN LABORATORIO CON P.P. ÓPTIMO

Se realiza 10 briquetas para la corroboración de los datos obtenidos teóricamente con el porcentaje óptimo de Polipropileno.

Tabla 55: Pesos de agregados para mezcla con polipropileno óptimo

Porcentaje de polipropileno en la mezcla	
Porcentaje de Polipropileno. (%)	22,02%
Porcentaje óptimo de cemento A. (%)	5,47%
Porcentaje de Agregado (%)	94,53%
Peso del Cemento Asfáltico (gr)	51,186
Peso del Polipropileno (gr)	14,454
Peso de Grava (gr)	328,964
Peso de Gravilla (gr)	351,652
Peso de Arena (gr)	453,744
Peso total de la briketa (gr)	1200,00

Fuente: Elaboración propia

4.3.1 RESULTADOS DE LAS BRIQUETAS CON POLIPROPILENO OPTIMO

Tabla 56: Análisis de altura de las briquetas

C.A. OP con 22,02% de P.P.	Muestra	Altura 1	Altura 2	Altura 3	Altura 4	Promedio
5,47%	1	64,9	63,4	63,0	65,1	64,1
	2	64,9	64,3	65,6	66,0	65,2
	3	64,4	65,4	65,0	64,3	64,8
	4	71,4	70,8	71,2	71,3	71,2
	5	64,5	64,8	64,6	64,6	64,6
	6	65,0	65,2	64,5	64,2	64,7
	7	66,9	66,1	65,4	66,1	66,1
	8	66,6	66,5	66,4	67,3	66,7
	9	64,8	64,0	64,3	65,8	64,7
	10	67,0	66,5	67,3	66,9	66,9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 57: Densidad de muestras con Polipropileno optimo

C.A. OP con 22,02% de P.P.	Muestra	Masa de la briqueta seca "A"(g)	Masa de la briq. Saturada superf. Seca "B"(g)	Masa de la briq. Sumergida "C" (g)	Porcentaje de absorción (%)	Densidad real de la mezcla (g/cm ³)
5,47%	1	1182,3	1188	681	0,48%	2,332
	2	1177,5	1184,1	673	0,56%	2,304
	3	1186,9	1193,6	682	0,56%	2,320
	4	1292,2	1299,2	741	0,54%	2,315
	5	1177,1	1182,7	675	0,47%	2,318
	6	1171,9	1177	669	0,43%	2,307
	7	1204,5	1211,4	689	0,57%	2,306
	8	1169,3	1173,5	645	0,36%	2,212
	9	1192,6	1197,6	669	0,42%	2,256
	10	1174,8	1178,9	663	0,35%	2,277

Fuente: Elaboración propia

Tabla 58: Resultados de % de vacíos, V.M.A. y R.B.V.

C.A. OP con 22,02% de P.P.	Muestra	Densidad "gr/cm ³ "	Porcentaje de vacíos mezcla total "%"	V.A.M. vacíos agregado mineral "%"	R.B.V. relación bitumen vacíos "%"
5,47%	1	2,332	0,84%	8,67%	90,31%
	2	2,304	2,04%	9,77%	79,18%
	3	2,320	1,35%	9,14%	85,24%
	4	2,315	1,56%	9,34%	83,26%
	5	2,318	1,41%	9,20%	84,65%
	6	2,307	1,91%	9,66%	80,26%
	7	2,306	1,96%	9,70%	79,83%
	8	2,212	5,92%	13,35%	55,66%
	9	2,256	4,06%	11,64%	65,10%
	10	2,277	3,17%	10,82%	70,71%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 59: Estabilidad y flujo con polipropileno óptimo

Contenido de cemento asfáltico (%)	Muestra	Lectura del dial "mm"	Estabilidad sin corregir "lb"	Factor de corec. De altura	Estabilidad corregida "lb"
5,47%	1	2441	6554,90	0,985	6454,12
	2	2582	6934,59	0,958	6642,78
	3	2443	6560,29	0,968	6352,00
	4	2425	6511,82	0,836	5444,40
	5	2770	7440,83	0,972	7231,56
	6	2671	7174,25	0,969	6952,74
	7	2632	7069,23	0,941	6650,24
	8	2525	6781,10	0,930	6309,64
	9	2840	7629,33	0,969	7393,78
	10	2821	7578,17	0,924	7004,12
Estadística robusta		Media geométrica			6621,40
		Media armónica			6598,15
		Media ponderada			6685,75
		Media aritmética			6635,10

Fuente: Elaboración propia

Tabla 60: Análisis estadístico de resultados con P.P. óptimo

Contenido de cemento asfáltico (%)	Muestra	Densidad "gr/cm ³ "	Estabilidad "lb"	Fluencia	Resistencia "kg/cm ² "	Porcentaje de vacíos mezcla total "%"	V.A.M. vacíos agregados o mineral "%"	R.B.V. relación bitumen vacíos "%"
5,47%	1	2,332	6454,12	9,0	28,8	0,84%	8,67%	90,31%
	2	2,304	6642,78	10,0	29,2	2,04%	9,77%	79,18%
	3	2,320	6352,00	10,0	28,1	1,35%	9,14%	85,24%
	4	2,315	5444,40	12,0	21,9	1,56%	9,34%	83,26%
	5	2,318	7231,56	9,0	32,1	1,41%	9,20%	84,65%
	6	2,307	6952,74	11,0	30,8	1,91%	9,66%	80,26%
	7	2,306	6650,24	9,0	28,8	1,96%	9,70%	79,83%
	8	2,212	6309,64	9,0	27,1	5,92%	13,35%	55,66%
	9	2,256	7393,78	11,0	32,7	4,06%	11,64%	65,10%
	10	2,277	7004,12	9,0	30,0	3,17%	10,82%	70,71%
Media geométrica		2,295	6621,399	9,847	28,795	2,07%	10,05%	76,71%
Media armónica		2,294	6598,152	9,797	28,625	1,81%	9,97%	75,92%
Media ponderada		2,295	6685,754	10,010	29,233	3,31%	10,31%	78,71%
Media aritmética		2,295	6635,102	9,885	28,884	2,40%	10,11%	77,11%
Desviación estándar		0,036	558,230	1,101	3,018	1,55%	1,42%	10,55%
Varianza		0,016	0,084	0,111	0,104	64,55%	14,09%	13,68%

Fuente: Elaboración propia

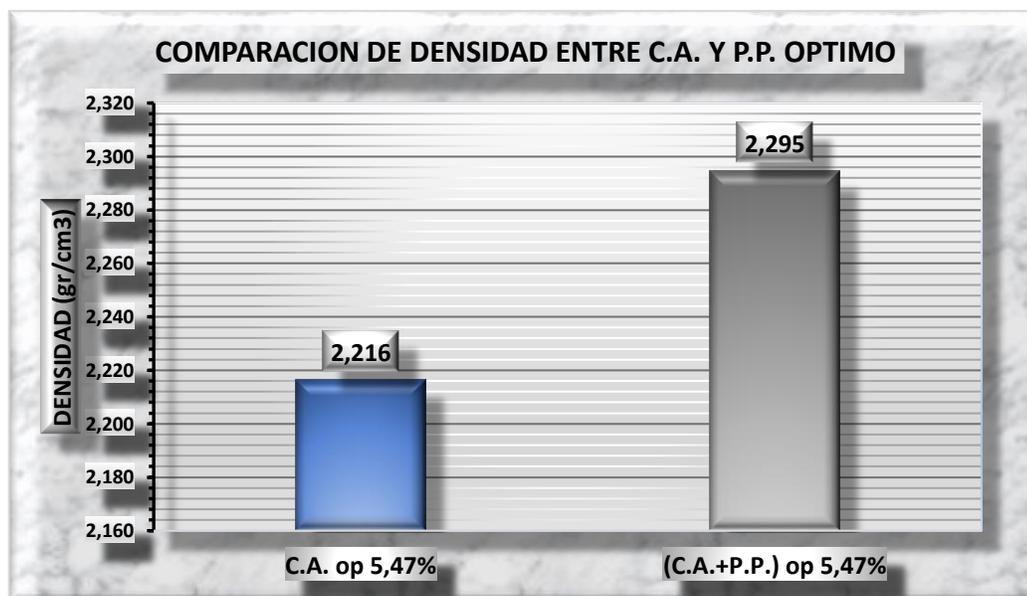
4.4 COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE MEZCLA ASFÁLTICAS

Tabla 61: Comparación entre mezcla con polipropileno y mezcla tradicional

Ligante	% óptimo	Densidad "gr/cm ³ "	Porcentaje de vacíos mezcla total "%"	V.A.M. vacíos agregado mineral "%"	R.B.V. relación bitumen vacíos "%"	Estabilidad "lb"	Fluencia
C.A. óp. 5,47%	5,47	2,216	5,068	13,668	67,037	4156,963	9,027
(C.A.+P.P.) óp. 5,47%	22,02	2,295	2,396	10,111	77,112	6635,102	9,885

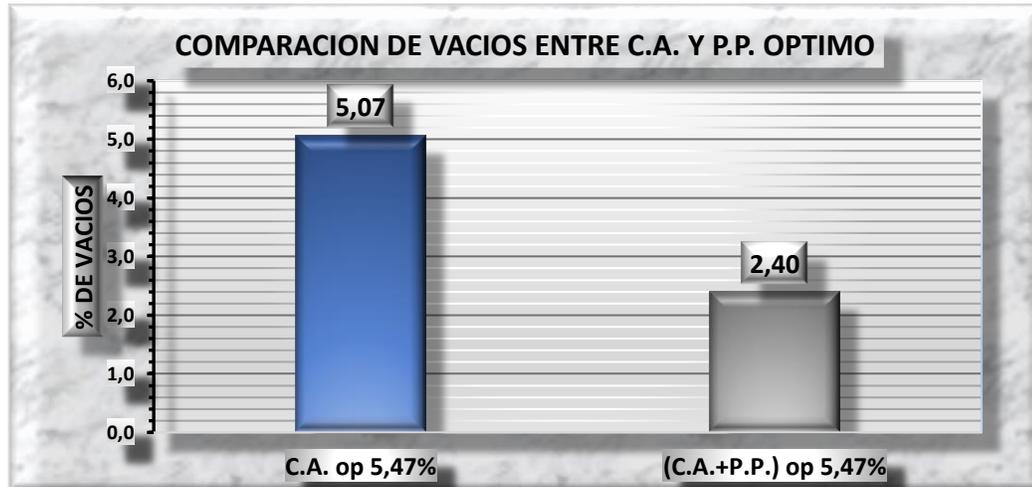
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 17: Comparación de densidad entre mezclas



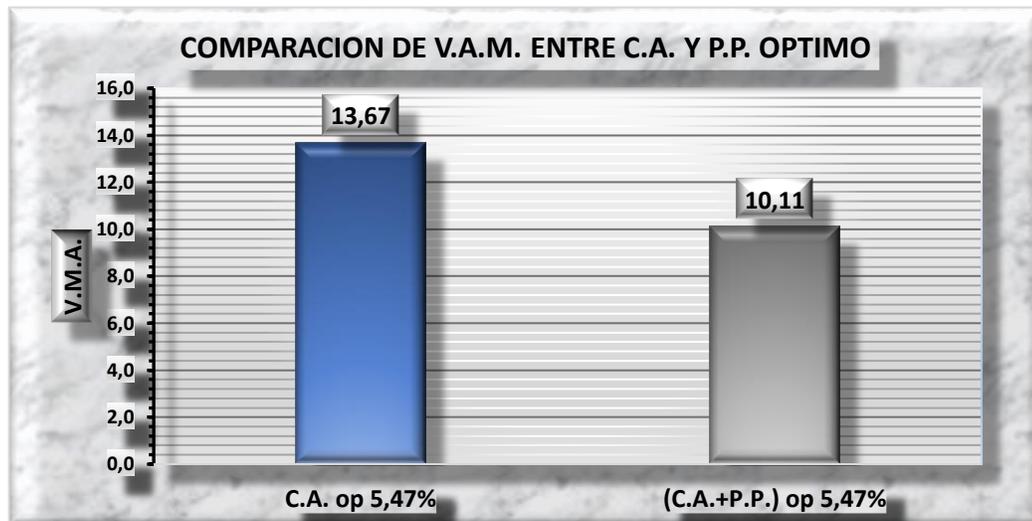
En el cuadro N°17 se realiza un análisis y comparación de la densidad que alcanza la mezcla con polipropileno fundido en comparación con la mezcla asfáltica tradicional alcanzado una densidad mayor con un valor de 2,295 gr/cm³.

Cuadro 18: Comparación de vacíos entre mezclas



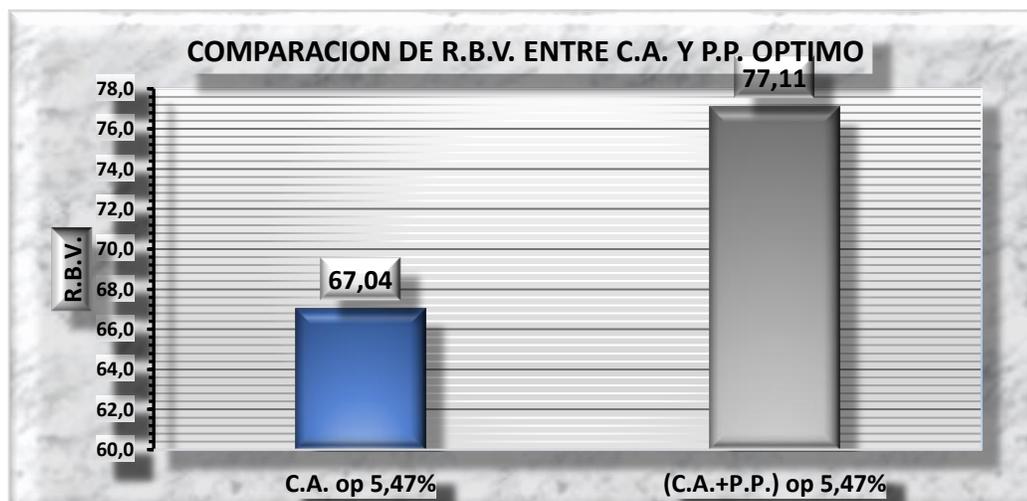
En una comparación entre el porcentaje de vacíos de la nueva mezcla se puede apreciar una reducción del porcentaje de un 5,07% que pertenece a la mezcla tradicional, aun 2,40% que se obtuvo con el polipropileno óptimo.

Cuadro 19: Comparación de V.M.A. entre mezclas



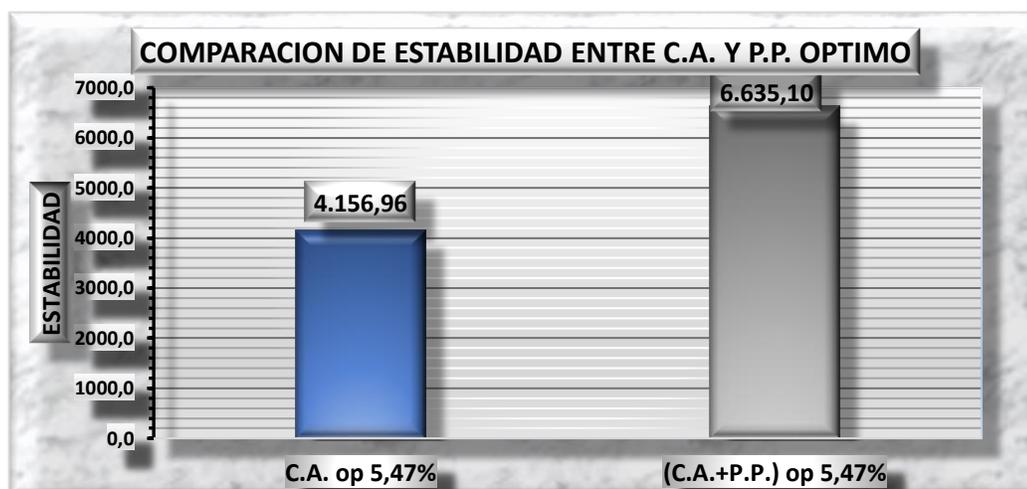
En el cuadro mostrado se realizó el análisis y una comparación del V.M.A. de una mezcla asfáltica tradicional con la nueva mezcla con polipropileno disminuyendo hasta 10,11%

Cuadro 20: Comparación de R.B.V. entre mezclas



En el cuadro N° 20 es una comparación del comportamiento de la relación bitumen vacíos que se puede apreciar un aumento del 67,04% de una mezcla tradicional a un 77,11% con la mezcla con polipropileno fundido.

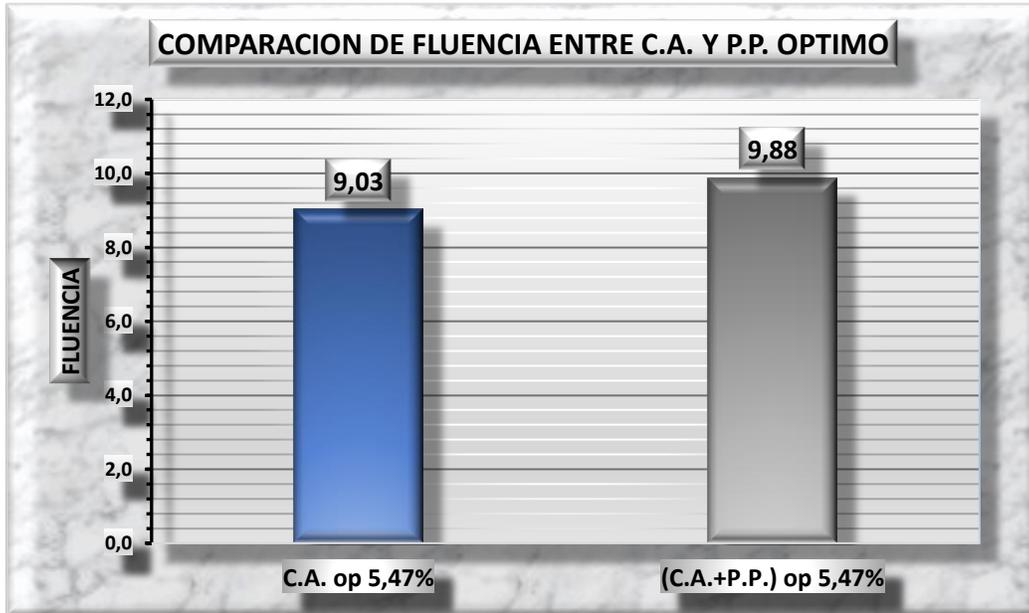
Cuadro 21: Comparación de estabilidad entre mezclas



En el análisis y la comparación de los resultados obtenidos de los ensayos de la mezcla tradicional y la mezcla con polipropileno fundido, se puede apreciar que la estabilidad sufrió un incremento bastante positivo llegando a tener una estabilidad con el porcentaje óptimo de polipropileno, de 6635,1 lb.

Teniendo en cuenta al analizar la mezcla haciendo variar el porcentaje en la mezcla se puede llegar a una conclusión de que a mayor porcentaje de polipropileno mejora la estabilidad pero, se va saliendo del rango de las normas para un pavimento flexible.

Cuadro 22: Comparación de fluencia entre mezcla con P.P. y mezcla tradicional



La comparación de la fluencia entre la mezcla tradicional y la mezcla con polipropileno fundido se puede apreciar en el grafico N°20. Llegando a constatar que al aumentar el porcentaje de polipropileno en la mezcla mejora la fluencia llegando 9,88.

Tabla 62: Comparación porcentual entre mezclas

Ligante	% óptimo	Densidad "gr/cm ³ "	Porcentaje de vacíos mezcla total "%"	V.A.M. vacíos agregado mineral "%"	R.B.V. relación bitumen vacíos "%"	Estabilidad "lb"	Fluencia
C.A. óp. 5,47%	5,47	2,216	5,068	13,668	67,037	4156,963	9,027
(C.A.+P.P.) óp. 5,47%	22,02	2,295	2,396	10,111	77,112	6635,102	9,885
C.A. óp. 5,47%		100%	100%	100%	100%	100%	100%
(C.A.+P.P.) óp. 5,47%		103,53%	47,28%	73,97%	115,03%	159,61%	109,51%
Aumento		3,53%	----	----	15,03%	59,61%	9,51%
Reducción		----	52,72%	26,03%	----	----	----

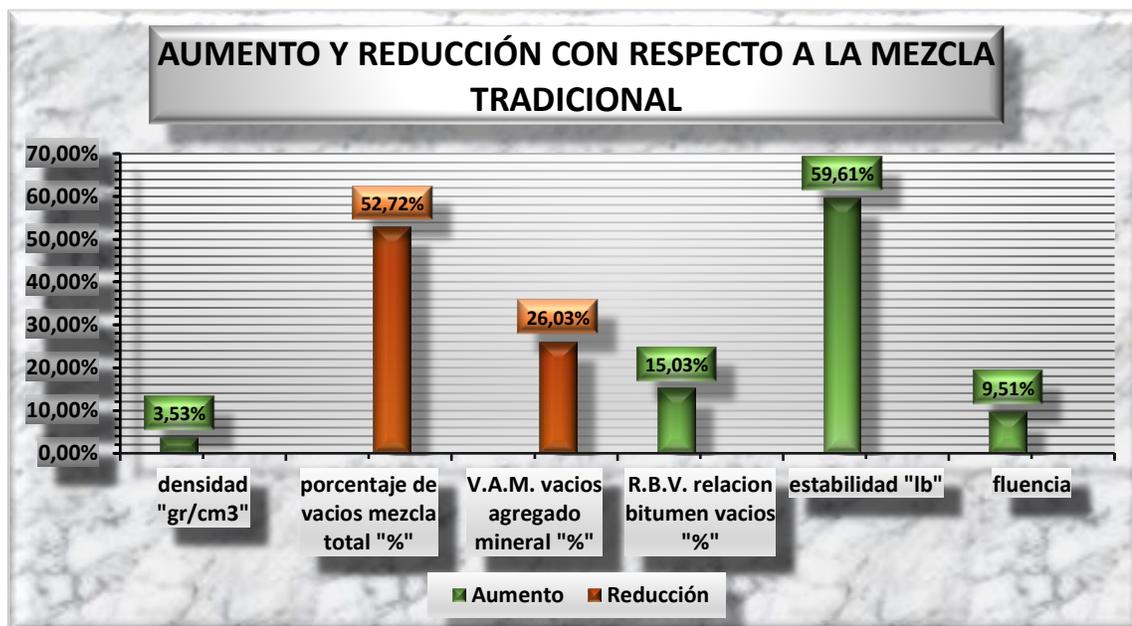
Fuente: Elaboración propia

Realizado el análisis y comparación por separado del comportamiento de los parámetros de la mezcla tradicional como de la mezcla con polipropileno fundido, se realiza una comparación porcentual de los parámetros como muestra en la tabla 62 y en el cuadro N°23 tomando en cuenta que los resultados que obtenidos de la mezcla tradicional es el 100% que puede alcanzar según el contenido óptimo de cemento asfáltico.

Cuadro 23: Comparación porcentual



Cuadro 24: Aumento y reducción con respecto a la mezcla tradicional



Una vez realizado el análisis y la comparación de los resultados óptimos de una mezcla tradicional, como a su vez el porcentaje óptimo de polipropileno de la nueva mezcla, se realiza un análisis del aumento y reducción que muestra en el cuadro N°24.

En la comparación de la mezcla asfáltica que contienen polipropileno fundido con respecto a la mezcla tradicional se puede observar un notorio aumento en la estabilidad que llega a un 59,61% más de la estabilidad de la mezcla que solo contiene cemento asfáltico.

Como también la fluencia aumento en 9,51%, pero su densidad de la mezcla no se incrementó en una gran cantidad llegando solo a aumentar un 3,53% .

Pero se pudo apreciar del análisis que se reducen los vacíos de una manera casi similar al aumento de la estabilidad, reduciendo el porcentaje de vacíos 52,72% en comparación de la mezcla tradicional.

4.5 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE PRECIOS UNITARIOS DE MEZCLAS

Los precios de polipropileno de se realizó un análisis en base a los precios del mercado de los plásticos reciclados, que en nuestro medio el costo es de 1,20 Bs./kg, partiendo de esa base se adiciono los diferentes tratamientos que se debería de hacer al plástico de polipropileno para poder adicionarlos a la mezcla asfáltica como seria el limpiado y el triturado de este llegando a costar 1,70 Bs./kg de plástico de polipropileno listo para derretirse y adicionarse a la mezcla.

Se determina el análisis de los precios unitarios para una mezcla asfáltica tradicional y para la mezcla con Polipropileno fundido, para un metro cubico.

Para la ejecución de y transporte de la mezcla, que comprende los materiales, mano obra, maquinaria y equipos, como también los gastos generales e impuestos.

Según los resultados obtenidos se realiza una comparación de costos para su ejecución de la mezcla.

Según se describe en la tabla 70, se realiza el análisis de los diferentes parámetros que son necesarios para realizar la mezcla.

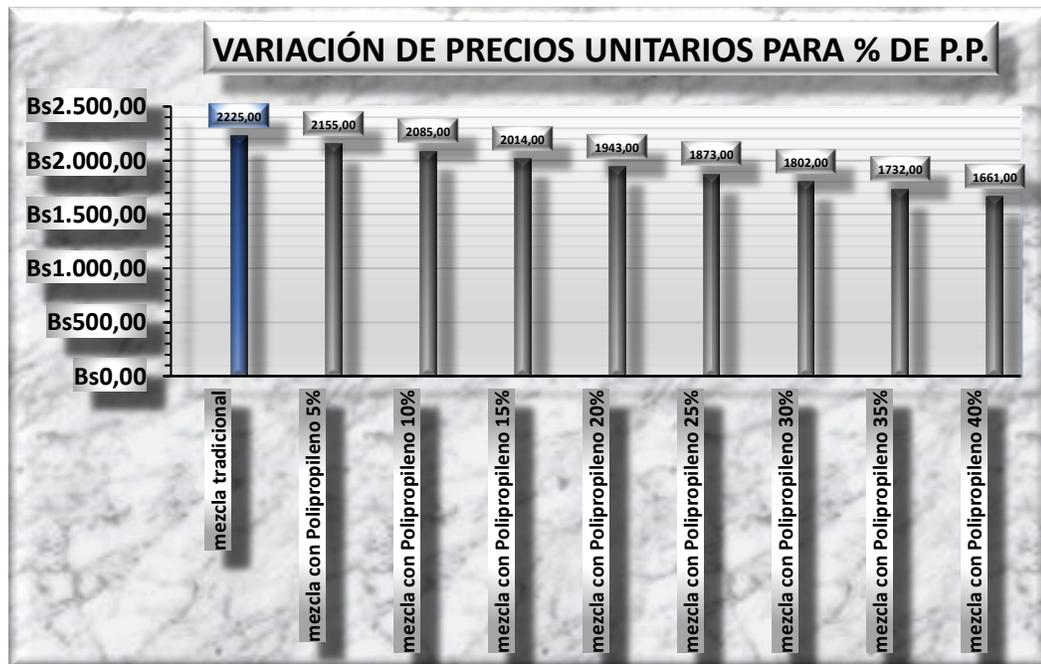
En la tabla 71, se describe el costo de producción de una unidad cubica de mezcla con polipropileno fundido, para su posterior análisis y comparación.

Tabla 63 : Comparación de precios unitarios

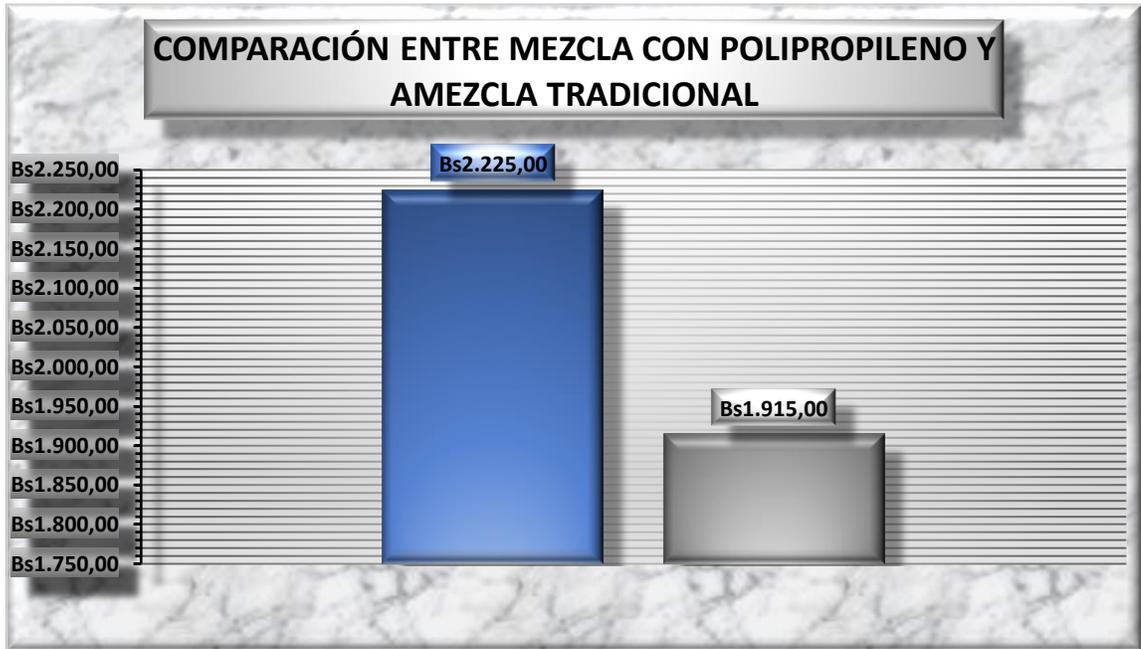
Mezclas	Precios unitarios	Relación de precios unitarios	Reducción de precios U.
Mezcla tradicional	Bs2.225,00	100%	0,0%
Mezcla con polipropileno 5%	Bs2.155,00	97%	3,1%
Mezcla con polipropileno 10%	Bs2.085,00	94%	6,3%
Mezcla con polipropileno 15%	Bs2.014,00	91%	9,5%
Mezcla con polipropileno 20%	Bs1.943,00	87%	12,7%
Mezcla con polipropileno 25%	Bs1.873,00	84%	15,8%
Mezcla con polipropileno 30%	Bs1.802,00	81%	19,0%
Mezcla con polipropileno 35%	Bs1.732,00	78%	22,2%
Mezcla con polipropileno 40%	Bs1.661,00	75%	25,3%
Mezcla con polipropileno óptimo 22,02%	Bs1.915,00	86%	13,9%

Realizando el análisis de los precios unitarios de las diferentes mezclas con polipropileno(anexo D tablas) se observa que mientras mayor sea el polipropileno en la mezcla mejor económicamente como se observa en el cuadro siguiente.

Cuadro 25: Variación de precios unitarios



Cuadro 26. Comparación de precios unitarios entre mezclas



Realizado los precios unitarios de la mezcla tradicional, como de la mezcla que contiene polipropileno fundido se puede apreciar que la mezcla que contiene un porcentaje óptimo de polipropileno fundido su costo unitario es de 1.915,00Bs. Reduciendo un 13,9% con respecto al costo de una mezcla tradicional que solo contiene cemento asfáltico como ligante. Que su costo es de 2.225,00 Bs.

4.6 PRODUCCIÓN A GRAN ESCALA

Una vez realizado el análisis y comparación de la mezcla asfáltica con polipropileno fundido con la mezcla tradicional, se realiza el análisis de una metodología de adicionar el polipropileno fundido a la planta de producción de mezclas asfálticas, debido a que para los ensayos al adicionar el polipropileno fundido en la mezcla en laboratorio, se realizó el derretido y triturado del plástico de forma manual, en la planta se realiza siguiendo la misma metodología ya que solo se debe incorporar una máquina de rotomoldeo al flama abierta que es especialmente para derretir plásticos, como su diseño cuenta con un eje de rotación, la mejor metodología es derretir el plástico y luego agregar el cemento asfáltico, así mientras la maquina gira sobre su eje va mezclando de una manera homogénea el plástico derretido con el cemento asfáltico de una manera homogénea para aplicarlo a los agregados.

Figura 30 : Máquina de rotomoldeo a flama abierta



Fuente: Máquinas de rotomoldeo

Estas máquinas son fabricadas en acero A36 o acero inoxidable (SS) según los requerimientos y especificaciones con capacidades desde 250 litros hasta 6000 litros. Son máquinas que pueden ser máquinas manuales tanto máquinas totalmente automatizadas.

Sus revoluciones son ajustables según el tipo de uso de la maquinaria.

Siendo la mejor metodología, Añadiendo la máquina de rotomoldeo a la planta de producción de mezcla asfáltica se puede realizar la mezcla con polipropileno fundido de la misma manera que la tradicional. así siendo posible la producción en masa. (Mariano, 2011)

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La investigación se realizó firmemente en base a la norma ASTM del manual de ensayos de materiales y asfaltos de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC).
- Se realizó los ensayos de caracterización de los agregados pétreos gruesos como agregado fino, y también se realizó los ensayos de caracterización de cemento asfáltico concluyendo que cumplen la normativa ASTM como también se encuentran en los rangos que especifica los manuales de ensayos de materiales y asfaltos de la administradora boliviana de carreteras para las mezclas asfálticas en caliente.
- Una vez realizados los diferentes ensayos de materiales se realizó la dosificación de agregados para encontrar el porcentaje óptimo del cemento asfáltico para el tipo de agregado de la zona concluyendo que el porcentaje óptimo de cemento es de 5,47% con respecto al peso de la briqueta, para que pueda alcanzar su máximo en las propiedades físicas a analizadas con lo cual ha alcanzado una estabilidad máxima de 4156,962 lb, con una fluencia de 9,02. Estableciendo las propiedades físicas como el porcentaje de vacíos de 5% , teniendo un contenido de vacíos en el agregado mineral de 13% que se encuentra en el rango que especifica la normativa para mezclas asfálticas en caliente, se puede apreciar qué densidad máxima con el contenido óptimo de ligante nos da un resultado de 2,216 gr/cm³.
- A luz de los datos y los resultados obtenidos con los ensayos para encontrar el porcentaje óptimo de ligantes se reemplazó en cierto porcentaje el cemento asfáltico con polipropileno fundido con respecto al cemento asfáltico óptimo de la mezcla. Se realizó el ensayo Marshall con 40 briquetas con diferentes porcentajes de polipropileno fundido en la mezcla, comenzado con el 0% , 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, hasta llegar a un 40% con respecto al cemento asfáltico óptimo. Teniendo en cuenta lo que especifica la norma alemana como la estadounidense que nos indica un rango de 0,3% a 2% con respecto a la mezcla.

- Realizada la incorporación exitosa del polipropileno fundido a la mezcla asfáltica se puede apreciar un comportamiento diferente en comparación a la mezcla tradicional por sus características rígidas, dado que al aumentar el porcentaje de Polipropileno fundido en la mezcla se obtiene mayor estabilidad llegando este a 7133,099 lb con un porcentaje de 40% de polipropileno.

Pero al aumentar el porcentaje de polipropileno se puede apreciar un descenso drástico en la fluencia de la mezcla llevándola afuera del rango permitido por la normativa para mezclas en caliente, como también se vuelve difícil de trabajar la mezcla mientras mayor sea su contenido de polipropileno ya que se endurece de manera rápida llevándola a un grumo que no se puede manejar.

Realizado el análisis de la mezcla con diferentes porcentajes de polipropileno fundido se llegó a la conclusión que existe un punto donde el porcentaje de polipropileno es óptimo para la mezcla que este le otorgue las mejoras a las propiedades físicas teniendo en cuenta las especificaciones y rangos de la normativa para mezclas en caliente, dando como resultado el porcentaje óptimo de polipropileno fundido de 22,02%, mejorando así las propiedades de la mezcla, llegando a tener una estabilidad de 6635,102 lb. aumentando un 59,61% con respecto a su estabilidad alcanzada de la mezcla tradicional como también se vio mejorada su resistencia aumentando un 67,93% desde 17,2 kg/cm² a un resultado de 28,884 kg/cm².

- También se pudo observar que la fluencia con el porcentaje óptimo de plástico derretido mejora en un 9,51% con respecto al flujo encontrado en la mezcla tradicional, elevándose desde un 9,03 hasta llegar a 9,885, que se encuentra dentro de la norma para mezclas tradicionales.

Como también se beneficiaron otros parámetros físicos como la densidad aumentando un 3,53% elevando desde 2,216 gr/cm³ hasta un 2,295 gr/cm³. como también el V.M.A. dando un resultado de 2.4% reduciendo un 52,72% con respecto a la mezcla tradicional que es de 5,06% , a su vez el V.M.A. reduce un 26,03%.

Como también se observa que relación bitumen vacíos aumento a un 15,03% llegando a 77,112%.

Tomando en cuentas las diferentes características físicas analizadas y comparadas con una mezcla tradicional y la mezcla con polipropileno fundido, las cuales se encuentran en el rango establecido por las normas, se llega a la conclusión de que la nueva mezcla asfáltica es técnicamente factible.

- Una vez concluido el análisis técnico de la mezcla asfáltica se realizó el análisis de los precios económicos tanto de la mezcla asfáltica tradicional, como la de la mezcla con polipropileno fundido, cómo es su comportamiento con respecto a la mezcla tradicional.

Al realizar el análisis de la parte económica se pudo observar que mientras el contenido de polipropileno aumenta en la mezcla el comportamiento del costo monetario reduce de una manera lineal en un 3,15% con respecto al anterior, teniendo como resultado que al ir reemplazando con polipropileno los costos va reduciendo teniendo un costo para un contenido óptimo de polipropileno en la mezcla de 1915,00 Bs. Con respecto a la mezcla tradicional que tiene un costo de 2225,00 Bs. Por cada metro cubico, reduciendo así los costos en un 13,9% y haciendo que la mezcla con polipropileno fundido sea factible económicamente.

- Una vez realizado el análisis de la factibilidad técnica como económica de la mezcla con polipropileno fundido, se realizó el análisis de la producción a gran escala, encontrando la mejor manera de derretir el plástico en la planta de fabricación de la mezcla adicionando a la planta de mezclado una máquina de rotomoldeo a flama abierta, ya que facilitaría el derretido del plástico como también su mezclado con el cemento asfaltico, llegando así, a ser factible la producción en masa de la mezcla con polipropileno fundido.

5.2 RECOMENDACIONES

- Para realizar los ensayos tanto para agregados pétreos como para el cemento asfáltico, se recomienda seguir los procedimientos que la normas exigen como también realizarlos con mucho cuidado para poder obtener datos creíbles y que tengan certeza para obtener buenos resultados.
- Tener cuidado a realizar la compactación de las briquetas, que se compacte con el martillo mecánico o el martillo manual, en especial este último teniendo en cuenta que caiga de una altura que se especifica en la norma.
- En el uso de plástico de polipropileno fundido en la mezcla, se busca la manera de añadir el plástico; la mejor manera de adicionarlo es derretir el plástico en un recipiente metálico en general este plástico adquiere una consistencia líquida a 160°C, pero es recomendable ponerse una mascarera de gases para no inhalar los gases tóxicos que desprende al ser derretido; con un agitador se introduce el cemento asfáltico en pequeñas cantidades mientras se va agitando y se va añadiendo en su totalidad el cemento asfáltico, con ayuda de un agitador eléctrico, como un batidor de huevos de baja revoluciones para no producir salpicaduras ya que se encuentra a altas temperaturas.
- Se recomienda interés en el proyecto, a los futuros investigadores para la optimización de metodologías o implementación de nuevos materiales modernos y compararlos con la mezcla con 22,02% de polipropileno con respecto al cemento asfáltico.