

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La gran mayoría de las vías en nuestro medio se construyen con pavimento flexible, para la elaboración de estas mezclas asfálticas necesitamos utilizar materiales granulares, siendo necesaria la explotación de canteras en nuestro medio, este proyecto incursiona en la búsqueda de nuevas alternativas de llenante mineral como es el cemento, cal y arcilla como reemplazo del material natural.

Es de gran importancia la comparación de las mezclas asfálticas ya que con el pasar el tiempo y al no realizar un buen análisis de cargas que actuaran sobre el mismo, está expuesto al deterioro y a la destrucción en las mezclas asfálticas convencionales, es entonces que nace la necesidad de comparar la mezcla como tal con adición de distintos tipos de filler para mejorar las propiedades de la mezcla asfáltica.

En los últimos años las mezclas asfálticas con adición de filler han tomado una gran relevancia enfocados en el aspecto de la construcción de pavimentos, uno de los principales procesos de degradación está asociado a la pérdida de adhesión y cohesión entre el ligante y los agregados que componen la mezcla asfáltica llevando la desegregación del revestimiento y reduciendo el índice de utilidad de la vía.

El presente trabajo de investigación pretende comparar la influencia del tipo de filler en desgaste de resistencia a tracción en mezclas en caliente, por el método cántabro, realizaremos el presente análisis con distintos tipos de filler, a partir del encuadramiento de la mezcla y el análisis de los materiales a utilizar.

El trabajo realizado nos dará una visión del comportamiento de las mezclas en caliente ante a adición de distintos tipos y porcentajes de filler, compara el comportamiento al desgaste tanto para mezclas asfálticas convencionales como para las modificadas con filler.

1.2. JUSTIFICACIÓN

En carreteras de nuestro medio presenta una serie de deficiencias como el ahuellamiento, exudación y desgaste. El aumento de tráfico y la cantidad camiones con carga pesada son dañinos para las carreteras siendo uno de los motivos por lo que se producen deterioros prematuros, debido a la fricción y tracción que existe entre neumático y pavimento.

Es necesario que nuestras carreteras cumplan con especificaciones ya normadas para nuestro medio, propiedades mecánicas y de durabilidad, para zonas que sufren diferentes temperaturas, siendo beneficiarios las personas del medio que hacen uso de la misma.

El constante avance tecnológico hace que se vuelva a estudiar el comportamiento de las mezclas con otros materiales que lleven a la mejor eficiencia y calidad de la misma haciendo que sean más eficientes y duren mucho más.

El mástico es el componente formado por la mezcla de asfalto y filler contenidos en una mezcla asfáltica. El mástico es el responsable de muchas de sus propiedades, siendo este el principal aglomerante y participando de manera importante en el desempeño, con características como cohesión, estabilidad, impermeabilidad, resistencia a la deformación permanente y a la fatiga entre otras. Debido a diferentes características del filler, como naturaleza mineralógica, morfológica, distribución de tamaños de partícula, área específica etc.

El filler empleado en mezclas asfálticas es un material finamente molido o pulverizado, cuyo tamaño de partículas que pasan por el tamiz N° 200 (0.075 mm).

El término filler proviene del inglés y significa rellenedor o llenante, debido a que inicialmente se consideraba a este material únicamente como un material de relleno de vacíos. Este concepto ha evolucionado y actualmente se considera al filler no simplemente como un material inerte rellenedor si no como un material que al mezclarse íntimamente con el asfalto desempeña cierta actividad que modifica algunas de las propiedades del sistema.

El uso del filler y las propiedades en la mezcla asfáltica, la calidad de las mezclas asfálticas para pavimentación se puede resumir en tres propiedades principales que son: Resistencia ante la deformación, flexibilidad y durabilidad, en las cuales el filler tiene una influencia importante.

Mejorar el cerrado de la mezcla sin empleo exagerado de asfalto. Esto debido a que el filler actúa como rellenedor de vacíos, lo cual permite disminuir espacios libres existentes entre agregados mayores.

Incrementar la resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica. Esto debido a que el filler aumenta de manera importante la viscosidad del asfalto.

Incrementar la durabilidad de la mezcla. Esto debido a que el filler actúa como rellenedor de vacíos, lo cual permite disminuir la porosidad dificultando la entrada de agentes agresivos como el agua.

Los tipos de filler que existen pueden ser: mineralógicos o industriales, los que provienen del mineral pueden ser piedra caliza, arcilla pura. Los que sufren un proceso industrial como la cal hidratada y cemento.

Dicho todo lo citado en los anteriores párrafos, el mástico formara parte del papel fundamental a la hora de obtener una mezcla con las características que nos brinde seguridad, confort y la resistencia que se requiere.

Conociendo variables por las cuales realizaremos la comparación de la influencia del tipo de filler en desgaste de resistencia a tracción en mezclas en caliente se podrá aumentar sus propiedades mecánicas y ver como varia el desgaste de acuerdo a la adición de diferentes porcentajes de filler.

1.3. DISEÑO TEÓRICO

1.3.1. Planteamiento del problema

1.3.1.1. Situación problemática

El desgaste de resistencia a tracción, en mezclas en caliente es una alternativa el uso de distintos tipos de filler a utilizar en la comparación con respecto a la mezcla convencional, se podrá determinar qué tipo de mezcla con adición de filler sufre menos desgaste utilizando el método Cántabro.

En el momento de comparar el desgaste de resistencia a tracción en mezclas en caliente, con la utilización de distintos tipos de filler, puede surgir la incertidumbre de haber hecho una asignación correcta de porcentajes de filler, utilizado para mejorar sus propiedades de la mezcla asfáltica con respecto a la convencional y de tal forma mejorar su resistencia al desgaste.

Si el porcentaje de filler no es adecuado, es decir se pudo cometer errores, entonces, el efecto será en las propiedades de la mezcla asfáltica y en la resistencia al desgaste, está asociado a la pérdida de adhesión y cohesión (o adhesividad) entre el ligante y los agregados que componen la mezcla asfáltica llevando la segregación del revestimiento y consecuentemente reduciendo el índice de utilidad de la vía.

Es necesario analizar a detalle, por tal motivo damos paso a la posibilidad de la comparación de la influencia del tipo de filler en desgaste de resistencia, con el adicionamiento de distintos tipos de filler en la mezcla asfáltica para el estudio del desgaste del pavimento por el método de cántabro, con lo mismo esperamos tener mejores resultados de resistencia al desgaste, también se podrá analizar la mezcla convencional, su costo y como varia la mezcla modificada con filler en relación a la convencional.

1.3.1.2. Determinación del problema

¿Cómo, influye el tipo de filler en el desgaste de resistencia a tracción de las mezclas asfálticas en caliente?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Comparar la influencia del tipo de fíller en desgaste de resistencia a tracción en mezclas en caliente, utilizando distintos tipos de fíller, a partir del encuadramiento de la mezcla y la determinación del contenido óptimo de ligante para mejorar las propiedades de la mezcla asfáltica.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar los componentes, sus características y procedimientos de elaboración de mezclas asfálticas en caliente.
- Establecer si las propiedades del fíller utilizado son aptos para mezcla asfáltica..
- Analizar la ubicación y su caracterización de los materiales a estudiar para el presente trabajo.
- Determinar el efecto que tendrá la adición de filler que se colocara como material adicional a la mezcla asfáltica.
- Establecer los resultados obtenidos del presente trabajo para luego analizar los indicadores importantes estudiados.

1.5. HIPÓTESIS

“Si a distintos tipos de filler se combinan con una mezcla asfáltica en caliente, entonces no siempre mejoran sus propiedades mecánicas y de resistencia al desgaste.”

1.6. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES

1.6.1. Variable independiente

- Porcentaje de filler arcilla
- Porcentaje de filler cal
- Porcentaje de filler cemento

1.6.2. Variable dependiente

- Propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica
- Resistencia al desgaste por el método Cántabro

1.6.3. Conceptualización y operacionalización

Tabla 1.6.1. Conceptualización y operación de las variables independientes

Variable	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
% de filler arcilla.	Filler natural del banco de la cerámica San Luis, material puro libre de grumos.	Polvo de arcilla pura	Muestra que pase el tamiz N°200.	3,5,7%
% de filler cal.	Filler de origen industrial, cal apagada procedente del municipio del Puente.	Polvo de proceso industrial	Muestra que pase el tamiz N°200.	3,5,7%
% de filler cemento IP-30	Filler de origen industrial, perteneciente a la fábrica de cemento el puente.	Polvo de proceso industrial	Muestra que pase el tamiz N°200	3,5,7%

Fuente: Elaboración propia

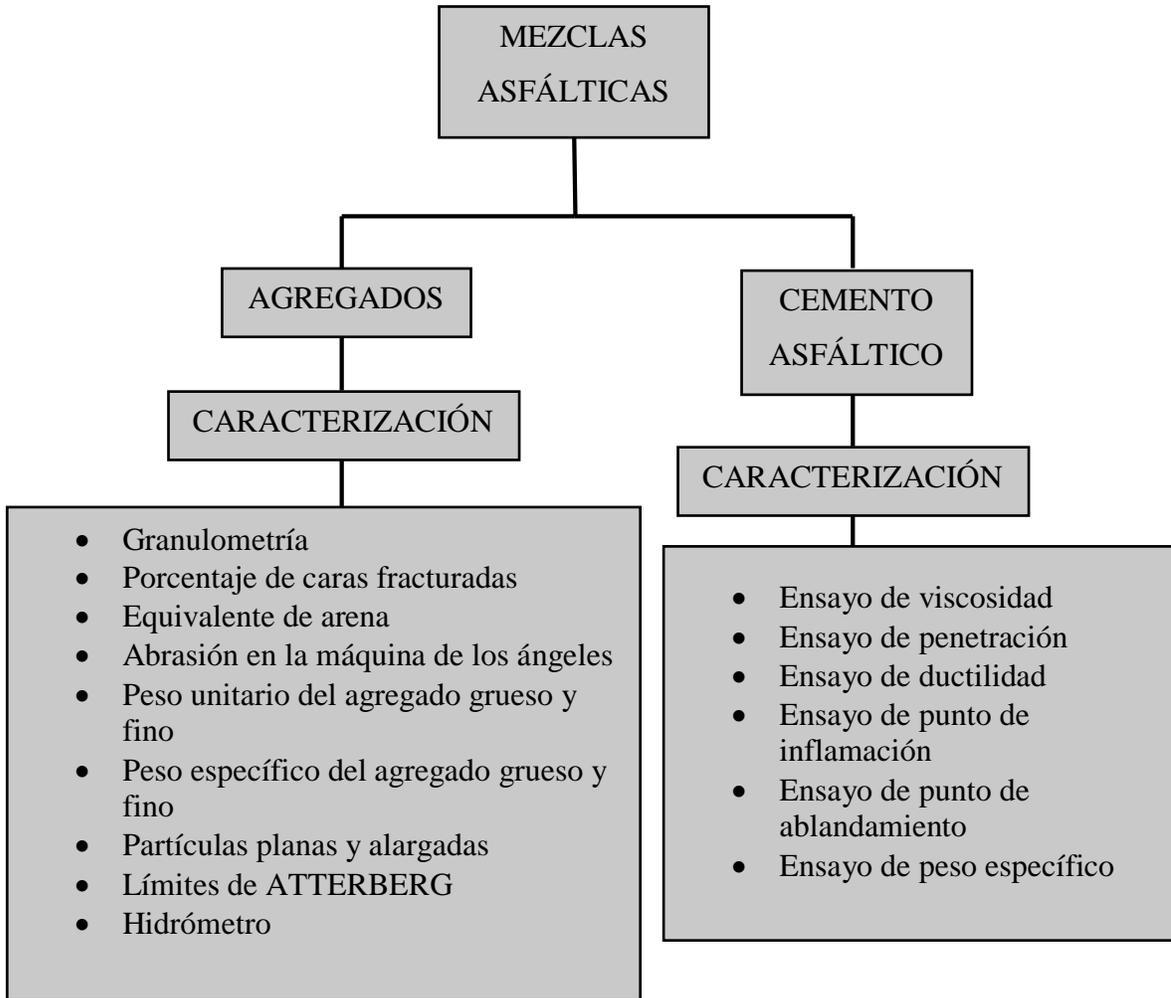
Tabla 1.6.2. Conceptualización y operación de las variables dependientes

Variable	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor / Acción
Propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas	Se refiere a aquellas propiedades que se manifiestan cuando aplicamos una carga de servicio.	Método Marshall	1. Estabilidad	Mínima de 1500 (Lb) a 75 golpes.
			2. Fluencia	8mm-16mm. (0,01pulgadas) a 75golpes
			3. % de vacíos de aire	3 - 5
			4. % de Vacíos de Agregado Mineral V.A.M	14
			5. Densidad	---
Resistencia al desgaste por el método Cántabro	Se refiere al método utilizado para estimar el desgaste sin carga abrasiva, simular el desgaste a través del tiempo, que sufrirá el pavimento flexible.	Método Cántabro	Cántabro vía seca (25 °C)<25%	Desgaste en la máquina de los Ángeles
			Cántabro vía húmeda (24 hrs, 60 °C)<35%	

Fuente: Elaboración propia

Resumen de ensayos a realizar

Gráfico 1.6.1. Resumen de ensayos a realizar del agregado y cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

1.7. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El alcance de esta investigación es el “Diseño Experimental”; del tipo explicativo o causal.

De manera general se describe de que trata la investigación, donde se presenta un resumen teórico y se detalla el estado de conocimiento, conceptos fundamentales, es decir, toda la información necesaria y relevante para llevar a cabo el proyecto.

Se describe los medios y criterios para llevar a cabo la investigación previa recolección y caracterización de los materiales que conforman las mezclas asfálticas en caliente, incluyendo los tipos de filler a utilizar. La caracterización de los materiales obedece a la normativa, según el “Manual de ensayos para el diseño de carreteras ” presentado por la administradora Boliviana de Carreteras (ABC).

Se lleva a cabo el diseño de la mezcla asfáltica a partir del encuadramiento de la mezcla, se analiza mediante el método Marshal, para realizar un análisis del comportamiento de la mezcla al adicionar distintos tipos de filler, se elaboraran briquetas con 4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5% de cemento asfáltico, elaborando tres briquetas por cada porcentaje de cemento asfáltico para posteriormente establecer el contenido óptimo de cemento asfáltico.

Luego de hallar el óptimo para cada diseño, posteriormente se elabora tres briquetas por cada porcentaje de filler para realizar las pruebas de desgaste por el método de cántabro, en la máquina de los ángeles sin carga abrasiva los mismos resultados nos darán la suficiente información para procesar y sacar resultados coherentes.

Finalmente se comparan los resultados obtenidos del método Marshall y del desgaste de resistencia a tracción tomando como referencia nuestra mezcla convencional, con la incorporación de diferentes tipos de filler a diferentes porcentajes.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS Y SUS PRINCIPALES PROPIEDADES

2.1. DEFINICIÓN

Las mezclas asfálticas, también reciben el nombre de aglomerados o mezclas bituminosas, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua. Se fabrican en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan.

Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros. Sin olvidar que se utilizan en las capas inferiores de los firmes para tráfico pesados intensos.

Las mezclas asfálticas asumen un papel muy importante y fundamental en los pavimentos flexibles porque constituyen la parte más costosa de toda la estructura; deben ser realizadas en proporciones exactas.

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (fíller) y otro 5% de ligante asfáltico. Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto. El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total.

2.2. COMPONENTES DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA

Como se ha visto anteriormente, se constituyen de dos elementos importantes: los agregados pétreos y el ligante.

2.2.1. Agregados pétreos para la mezcla asfáltica

Definición

Los materiales pétreos o áridos se definen como un conjunto de partículas minerales de distintos tamaños y formas y que proceden de la fragmentación natural o artificial de las rocas. Este tipo de materiales constituyen un elevado porcentaje en la constitución de las distintas capas de un firme, normalmente superior al 90% en peso. Puede decirse, por tanto, que forman el esqueleto resistente del firme. Por ello, es importante tener en cuenta la procedencia de estos áridos a la hora de hacer una carretera, pues si los áridos no se encuentran relativamente cerca, esto implica un aumento en los costes de fabricación, debido al transporte de un gran volumen de los mismos.

Los agregados utilizados que componen una mezcla asfáltica para la pavimentación se clasifican según su tamaño en: agregado grueso, agregado fino y llenante mineral o Filler.

Agregado grueso

Se considera agregado grueso a todo material que sea retenido por el tamiz N° 4 (4.75 mm). Este agregado deberá ser limpio, resistente y durable, sin exceso de partículas planas, alargadas o des integrables a demás estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias que puedan impedir la adhesión completa del asfalto.

Agregado fino

Se considera material fino a todo aquel que logre pasar el tamiz N° 4 (4.75 mm). Y es retenido en el tamiz N° 200 (0.074 mm). En este rango se encuentran las arenas gruesas y finas las cuales son separadas por el tamiz N° 10 (2 mm). Está constituido por arena de trituración o una mezcla con arena natural, los granos del agregado fino deberá estar libre de cualquier sustancia que impida la adhesión del asfalto.

Llenante mineral o Filler

Su principal característica es que pasa el tamiz N° 200 (0.074 mm). Siendo el polvo de roca más utilizado en las mezclas asfálticas realizadas en nuestra región, teniendo su

origen durante el proceso de trituración del material granular de mayor tamaño. Aporta un incremento a la magnitud de la resistencia a la deformación de la mezcla, incrementa la durabilidad de la capa de rodadura evitando la acción del desplazamiento que ejerce el agua al asfalto, debido a que reduce los poros superficiales evitando el acceso del agua al interior.

2.2.2. Procedencia de los agregados

Agregados de canto rodado

Los agregados naturales son aquellos que son usados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento. Ellos están constituidos por partículas producidas mediante procesos naturales de erosión y degradación, tales como la acción del viento, el agua, y los químicos. La forma de las partículas individuales es un producto, a la larga, de los agentes que actúan sobre ellas. Así mismo, las corrientes de agua producen partículas lisas y redondeadas. Los principales tipos de agregado natural usados en la construcción de pavimento son la grava y la arena. La grava se define, usualmente, como partículas de un tamaño igual o mayor que tamiz N° 4. La arena se define como partículas de un tamaño menor que tamiz N° 4 pero mayor que el tamiz N° 200. Las partículas de tamaño menor que 0.075 mm (tamiz N° 200) son conocidas como relleno mineral filler, el cual consiste principalmente de limo y arcilla.

Agregados chancados

Los agregados procesados son aquellos que han sido triturados y tamizados antes de ser usados. Existen dos fuentes principales de agregados procesados: gravas naturales que son trituradas para volverlas más apropiadas para pavimento de mezcla asfáltica, y fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes que son extraídas de canteras y que deben ser reducidas en tamaño en las plantas trituradoras, antes de ser usados en la pavimentación; de la calidad de las rocas que se explotan en las canteras dependerá la calidad de los agregados procesados y dispuestos para ser utilizados en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente. La roca es triturada por tres razones:

Para cambiar la textura superficial de las partículas de lisa a rugosa, para cambiar la forma de la partícula de redonda a angular y para reducir y mejorar la distribución y el rango (graduación) de los tamaños de las partículas.

El tamizado de los materiales, después de triturarlos, resulta en una granulometría con cierto rango de tamaño de partículas. Un factor importante en la construcción de pavimentos de buena calidad consiste en mantener graduaciones específicas de agregados. Un control adecuado de las operaciones de triturado determina si la graduación resultante del agregado cumple, o no, con las especificaciones establecidas de granulometría. Sin embargo, es esencial garantizar que la operación de triturado sea continuamente supervisada para poder producir un agregado que cumpla con las especificaciones.

2.3. FILLER MINERAL

De acuerdo con ASTM (American Society of Testing and Materials), standard D-242, 70 % o más de las partículas del filler mineral pasan la malla N° 200 (0.075 mm).

El filler empleado en mezclas asfálticas es un material finamente molido o pulverizado, cuyo tamaño de partículas pasan por el tamiz número 200 (0.075 mm).

El término filler proviene del inglés y significa rellenedor o llenante, debido a que inicialmente se consideraba a este material únicamente como un material de relleno de vacíos. Este concepto ha evolucionado y actualmente se considera al filler no simplemente como un material inerte rellenedor sino como un material que al mezclarse íntimamente con el asfalto desempeña cierta actividad que modifica algunas de las propiedades del sistema.

Comúnmente el filler es considerado como parte del sistema de agregados. Sin embargo, al observar cualquier mezcla asfáltica, es claro que el filler realmente está embebido en el ligante asfáltico, de tal forma que el mástico (Sistema filler-asfalto) está fijando o aglomerando los agregados gruesos relativamente más grandes. Además la naturaleza y cantidad de filler en la mezcla asfáltica es especialmente importante en ciertos tipos de mezclas asfálticas como las SMA (Stone Mastic Asphalt), en las cuales el filler mineral

contribuye significativamente a la compactibilidad, impermeabilidad, durabilidad y desempeño en campo.

2.3.1. Importancia y efecto del relleno o polvo mineral

El relleno mineral y el polvo mineral están presentes en los agregados naturales y procesados, como subproducto, en la trituración de muchos tipos de roca. Ellos son esenciales para la producción de una mezcla densa, cohesiva, durable, y resistente a la penetración del agua; sin embargo, un pequeño porcentaje de más, ó de menos, de relleno o polvo mineral, puede causar que la mezcla parezca excesivamente seca o excesivamente rica (o sea, la mezcla de pavimentación parecerá como si tuviera muy poco asfalto o demasiado asfalto). Dichos cambios en la mezcla pueden ocurrir con pequeños cambios en la cantidad o en el tipo de relleno o polvo mineral utilizado. Por consiguiente, el tipo y la cantidad de relleno y polvo mineral usados en cualquier mezcla asfáltica de pavimentación deberán ser cuidadosamente controlados. Las especificaciones para relleno mineral son contenidas en la designación AASHTO M 17:

Filler mineral para mezclas bituminosas para pavimentación.

2.3.2. Propiedades

El fíller, como componente de las mezclas bituminosas, juega un papel importante en la determinación de las propiedades y el comportamiento de las mismas. Generalmente, se ha demostrado que el papel del fíller en la mezcla es complejo. Por una parte, el fíller sirve de material inerte para rellenar los huecos presentes en la mezcla, mientras que por otro lado, dada su finura y las características superficiales que presenta, el fíller también sirve como material activo, actividad que se expresa en las propiedades físico - químicas en el contacto entre el fíller y el ligante bituminoso (Craus, Ishai y Sides, 1978).

Un buen conocimiento de las características y propiedades del relleno mineral, así como de las características que éste confiere a las mezclas bituminosas, es fundamental para llevar a cabo una óptima utilización del fíller en la composición de las mezclas.

En este sentido, diversos autores (Dorfman y Rivara, 1985; Craus, Ishai y Sides, 1978; Añón y Mazza, 1955) coinciden en señalar que existen tres características fundamentales que el fíller otorga a las mezclas bituminosas, en base a las propias características físico-químicas del mismo. Así, el fíller en la mezcla proporciona una función rellenadora en la mezcla, una modificación del comportamiento reológico y cohesivo del sistema fíller-betún, y una acción estabilizante frente al agua, particularmente si se emplean áridos de naturaleza hidrófila.

El fíller y su función rellenadora en la mezcla bituminosa

El fíller, al ocupar parcialmente los espacios libres dejados por la estructura granular compactada y conformada por las partículas mayores, reduce el volumen de huecos de la mezcla evitando un aumento considerable en la demanda de ligante bituminoso.

El fíller consigue cumplir con su función rellenadora dependiendo del volumen de huecos existentes una vez se ha compactado la estructura granular y en función también de la granulometría y forma de las partículas de mayor tamaño.

2.3.3. El fíller y su comportamiento reológico y cohesivo como componente del sistema fíller/betún

Es evidente que las características del ligante tienen una gran influencia en las propiedades mecánicas de las mezclas bituminosas, pero no es menor el efecto que tienen las propiedades del mástico que forman el fíller y el ligante.

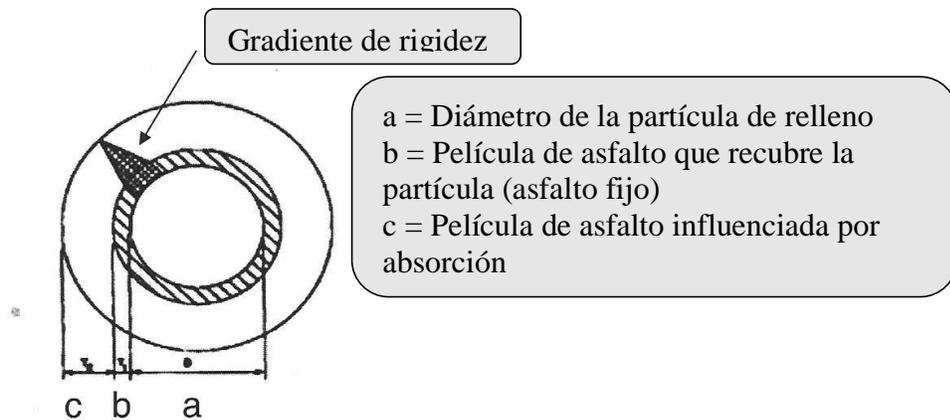
Cuando el fíller se dispersa en un betún se forma un mástico que tiene una mayor consistencia y unas propiedades diferentes a las del ligante original, aumentando notablemente su viscosidad y tenacidad y disminuyendo su susceptibilidad térmica (Miró, 1994).

Este cambio de las propiedades del betún tiene unos efectos muy favorables sobre las propiedades de la mezcla, mejorando su estabilidad, su resistencia a la tracción, su resistencia al desgaste y pudiendo tener también un efecto beneficioso sobre la adhesividad árido-ligante (Pérez Jiménez, 1986).

Iteración filler/asfalto

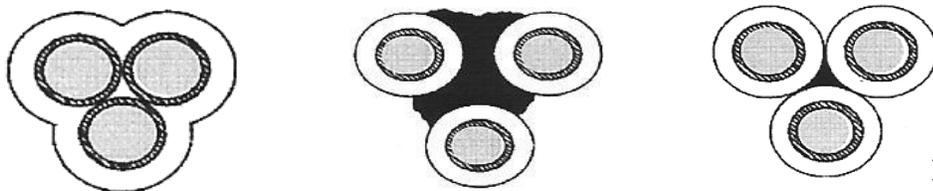
Las partículas de filler influyen la matriz del asfalto mediante dos mecanismos. En el primero la partícula absorbe una película de asfalto, requerida para cubrir la partícula. El volumen de asfalto absorbido por este mecanismo puede considerarse como volumen de asfalto influenciado. Esto significa que este volumen de asfalto es consumido en cubrir la partícula y que no contribuye a lubricar el flujo de la mezcla. El segundo mecanismo explica que el filler influye sobre un volumen adicional de asfalto que no es absorbido. La influencia del filler se refleja en aumento de la resistencia de la segunda capa no absorbida a través de un gradiente con el aumento de resistencia máximo cercano a la capa absorbida, y la resistencia decrece gradualmente a través del espesor de esta capa hasta casi desaparecer.

Figura 2.3.1. Esquema de interacción Asfalto - Filler



Fuente: VII Congreso mexicano del asfalto

Figura 2.3.2. A mayor relación filler/asfalto menor la cantidad de asfalto libre y mayor la resistencia del sistema



Fuente: VII Congreso mexicano del asfalto

Además, cuando se incorpora fíller a la mezcla, el espesor de película adherida a los áridos por fuerzas de cohesión será mayor que la que correspondería a sus características superficiales ya que se suman los efectos producidos por las partículas embebidas en el ligante, formando una película más consistente y aumentando más aún las fuerzas de cohesión entre los áridos. La cantidad de fíller que puede incorporarse al ligante en forma activa depende del espesor de la película y de la granulometría del fíller (Muñoz, 1976; Soriano, 1991).

Por tanto, una cierta proporción del fíller, principalmente las partículas más pequeñas que el espesor de la película de ligante, quedan embebidas en la masa de ligante, no pudiendo contribuir al relleno del esqueleto mineral más que de una forma aislada, sino que forman un mortero de características diferentes a las del ligante sólo, en forma de película sobre la superficie mineral, que modificará las características reológicas de la mezcla (Miró, 1994).

Por otra parte, diversos estudios han demostrado el hecho de que aumentando la proporción de fíller en una mezcla bituminosa se aumenta su estabilidad y resistencia mecánica pero hasta un cierto límite, ya que conforme aumenta el contenido de fíller, y dependiendo de sus características geométricas y composición mineralógica, la mezcla se va haciendo cada vez más seca y frágil, tendiendo a disgregarse durante su servicio.

Las características geométricas de las partículas del fíller (forma, angulosidad y textura) actúan como núcleos potenciales para intensificar la superficie activa del fíller en la interfase fíller-betún. Cuantas más irregularidades geométricas posea el fíller, con idéntica composición mineralógica y relación fíller-betún, los másticos alcanzan, para una temperatura determinada, mayor consistencia (Ishai y Craus, 1978). Este aumento de consistencia se debe a la mayor capacidad de absorción, lo que implica un descenso en el contenido de betún libre del mástico.

Es decir, es bien conocido que partículas de diferentes tipos de fíller con una misma distribución de tamaños pueden tener distintas superficies específicas. Estas variaciones de la superficie específica son debidas a los cambios en la irregularidad geométrica de las partículas de fíller. A medida que la irregularidad geométrica aumenta, la superficie

específica también aumenta. El efecto de la superficie específica en el comportamiento del mástico se puede ilustrar como sigue: para una relación fíller/betún determinada, másticos que contengan fílleres con diferentes superficies específicas tendrán un comportamiento reológico distinto. Si se considera únicamente esta propiedad, entonces, a medida que la superficie específica aumenta, el mástico tenderá a tener, a una determinada temperatura, una viscosidad mayor, una penetración menor y menos ductilidad (Ishai y Craus, 1978). Por tanto, para obtener másticos con un comportamiento reológico similar, la relación fíller/betún debe disminuir a medida que la superficie específica de las partículas de fíller aumenta.

2.4. INFLUENCIA DEL FILLER EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

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

Mejorar el cerrado de la mezcla sin el empleo exagerado de asfalto. Esto debido a que el filler actúa como relleno de vacíos, lo cual permite disminuir espacios libres existentes entre agregados mayores. Esta actividad además depende de los vacíos de la mezcla, ya que cuando el agregado está bien graduado y la forma de sus partículas, permiten una ajustada distribución, entonces la necesidad de agregar filler es menor, incluso puede llegar a ser inconveniente por disminuir exageradamente espacios libres que deben ser ocupados parcialmente por asfalto y en consecuencia se obtendrían mezclas pobres en ligante de menor durabilidad.

Incrementar la resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica. Esto debido a que el filler aumenta de manera importante la viscosidad del asfalto, mejor dicho la combinación filler-asfalto o mástico es un sistema de alta viscosidad el cual participa de manera importante en la resistencia ante la deformación.

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

2.4.1. Influencia de la cal hidratada en una mezcla asfáltica en caliente

La cal en las mezclas asfálticas se utiliza como mejorador de adherencia entre agregados pétreos y cemento asfáltico.

La cal es un excelente modificador del asfalto reduciendo o eliminando los daños por humedad, además tiene otras propiedades que aún no se han descubierto, por lo que se denomina modificador multifuncional.

Si usamos cal como sustituyente del fino, dado su naturaleza químicamente activa, elimina componentes indeseables y hace a la mezcla sea más resistente a altas temperaturas, lo que implica más resistencia al ahuellamiento.

La cal también logra reducir el índice de envejecimiento, retardando la oxidación del ligante, ya que la cal reacciona con las moléculas altamente polares (extremo con carga positiva y otro con carga negativa) del cemento asfáltico y la resistencia a la fatiga.

2.4.2. Influencia del cemento portland en mezclas asfálticas en caliente

El cemento Portland es empleado como filler de aporte en las mezclas asfálticas en caliente. En general, las condiciones de calidad de tales mezclas pueden resumirse en tres: estabilidad, flexibilidad y durabilidad, en las cuales el cemento gravita significativamente, cumpliendo tres funciones principales: actuando como material de relleno de vacíos, como espesante de asfalto o mejorando la adherencia del par agregado –asfalto.

2.5. REQUISITOS QUE DEBEN CUMPLIR LOS AGREGADOS

2.5.1. Agregado grueso

Este material debe consistir en piedra o grava de buena calidad triturada (Retenidos en la malla de 4.75 mm) y mezclada de manera que el producto obtenido corresponda a uno de los tipos de granulometría estipulados y llene además los requisitos siguientes:

Abrasión de los Ángeles, AASHTO T 96 40% máximo.

Caras fracturadas, ASTM D 5821 75% mínimo.

No deben usarse agregados con caras pulidas o agregados que contengan carbonato soluble.

2.5.2. Agregado fino

Este material está formado por arenas naturales, arena de piedra quebrada cernida, o su combinación y deberá tener una granulometría que (material que pasa la malla 4.75 mm), al combinarse con otras fracciones en la proporción adecuada, la mezcla resultante puede satisfacer la granulometría requerida según AASHTO M 29 incluyendo la pérdida en sulfato, y que llene además los requisitos siguientes:

(2) Equivalente de arena, AASHTO T 176 50% mínimo.

2.5.3. Filler

En el momento de aplicación el filler deberá estar seco y exento de grumos.

El material que pasa por el tamiz N° 200, o sea el polvo mineral, deberá cumplir con la siguiente regla: más del 50% deberá hacerlo por tamizado seco con relación a la vía húmeda.

El polvo mineral será no plástico al ser ensayado por el método AASHTO T-91.

Tabla 2.5.1.Requisito 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: Especificaciones técnicas de la A.B.C.

2.5.4. Granulometría de agregados combinados (finos y gruesos)

Consiste en la combinación de diferentes tamaños de agregado, que debe llenar los requisitos siguientes:

Granulometría.

Grumos de arcilla y partículas friables, AASHTO T 112 1% máximo.

Libre de materiales vegetales, basura, terrones de arcilla y sustancias agresivas.

Tabla 2.5.2.Límites de valores nominales de graduación para pavimentos de hormigón asfáltico en caliente

Designación del tamiz	Designación de graduación					
	A	B	C	D	E(Lámina asfáltica)	F (Capa de fricción de granulometría abierta)
2" (50 mm)	100	----	----	----	----	----
1 ½" (37.5 mm)	97-100	100	----	----	----	----
1" (25 mm)	---	97-100	100	----	----	----
¾" (19 mm)	66-80 (5)	----	97-100	100	----	----
½" (13 mm)	----	----	76-88 (5)	97-100	----	----
3/8" (9.5 mm)	48-60 (6)	53-70 (6)	----	----	100	100
N° 4 (4.75 mm)	33-45 (5)	40-52 (6)	49-59 (7)	57-69 (6)	97-100	33-47 (6)
N° 8 (2.36 mm)	25-33 (4)	25-39 (4)	36-45 (5)	41-49 (6)	62-81 (5)	7-13 (4)
N°40 (0.425mm)	9-17 (3)	10-19 (3)	14-22 (3)	14-22 (3)	22-37 (3)	----
N°200 (0.075 mm)	3-8 (2)	3-8 (2)	3-7 (2)	3-8 (2)	7-16 (2)	2-4 (2)

Fuente: Norma AASHTO T27 Y T11

2.6. DEFINICIÓN DE ASFALTOS

Los asfaltos son una mezcla compleja de hidrocarburos de peso molecular elevado, que se presentan en forma de cuerpo viscoso más o menos elástico, no cristalino y de color negro. Son productos de la destilación natural o artificial del petróleo. Es el residuo sólido que queda una vez que se hayan extraído los componentes más ligeros y volátiles del petróleo.

Aunque el asfalto puede considerarse como un desecho, también puede verse como un producto de gran calidad, sobre el que se fundamenta gran parte de la construcción de los pavimentos flexibles, denominados también pavimentos asfálticos o pavimentos bituminosos, en virtud de este dúctil, flexible y tenaz material que los constituye y caracteriza.

Casi todo el asfalto usado es producido por refinerías modernas de petróleo y es llamado asfalto de petróleo. El grado de control permitido por los equipos modernos de refinería permite la producción de asfaltos con características distintas, que se prestan para usos específicos. Como resultado, se producen asfaltos para pavimentación, techado y otros usos especiales.

El asfalto cambia cuando es calentado a temperatura muy elevada y/o es envejecido. Tiende a volverse duro y frágil y también a perder parte de su capacidad de adherirse a las partículas de agregado. Estos cambios pueden ser minimizados si se comprenden las propiedades del asfalto, y si se toman medidas, durante la construcción, para garantizar que el pavimento terminado sea construido de tal manera que pueda retardarse el proceso de envejecimiento.

Tabla 2.6.1. Requisitos específicos para cemento asfáltico clasificado por penetración
(norma AASHTO M20)

Pruebas	Grado de penetración			
	60-70		85-100	
	Mín	Máx	Mín	Máx
Penetración a 25 °C 100g, 5seg.	60	70	85	100
Punto de inflamación, ensayo Claveland °C	232	-	232	-
Ductilidad a 25 °C, 5cm/min,cm	100	-	100	-
Punto de ablandamiento °C	43	-	43	53
Peso específico gr/cm ³	1	-	0.99	1.05-
Viscosida Saybolt Furol 135 °C Seg.	85	-	85	-

Fuente: Norma AASHTO M20

2.6.1. Mezclas asfálticas en caliente

El concreto asfáltico mezclado en planta y compactado en caliente, se compone de una mezcla de agregados graduados y asfalto, fabricado a una temperatura aproximada de 150°C colocada y compactada en caliente a una temperatura de 140 °C. Las plantas para la producción de mezclas en caliente se construyen de tal manera que, después de secar y calentar los agregados, los separa en diferentes grupos de tamaños, los recombina en las proporciones adecuadas, los mezcla con la cantidad debida de asfalto caliente y finalmente los entrega a los vehículos transportadores, que a su vez la colocan en la máquina pavimentadora para que esta la deposite sobre la vía con un espesor uniforme, después se compacta mediante rodillos mientras la temperatura se conserva dentro de los rangos de especificación.

2.7. CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA POR EL MÉTODO MARSHALL.

La mezcla asfáltica en caliente preparada en laboratorio debe ser analizada para determinar el desempeño posible en la estructura del pavimento. Determinando así, características principales y la influencia que estas tienen en el comportamiento de la mezcla. Las cuales se detallan a continuación:

2.7.1. Densidad

Está definida como su peso unitario, es decir, el peso de un volumen específico de mezcla compactada. La densidad es una característica importante para obtener un rendimiento duradero. Si la densidad es baja la cantidad de vacíos son mayores, por lo tanto, la mezcla compactada será vulnerable al agua. Si la densidad es alta la cantidad de vacíos es menor, el agua no entrara en su interior obteniéndose de esta manera una carpeta de rodadura más durable. La densidad de la muestra compactada se expresa en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3) o libras por pie cúbico (lb/pe^3), se calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua ($1,000 \text{ kg/m}^3$ o 62.416 lb/pe^3). La densidad patrón obtenida en laboratorio se utiliza como referencia para determinar si la densidad del pavimento compactado en la obra es adecuada o no. Difícilmente en la compactación in-situ se obtiene la densidad patrón, por lo tanto las especificaciones permiten un porcentaje aceptable.

2.7.2. Vacíos de aire

Están presente entre los agregados revestidos de asfalto en la mezcla compactada y son pequeños espacios de aire, o bolsas de aire. Es de mucha importancia que las mezclas densamente graduadas contengan determinado porcentaje de vacíos, ya que estos permiten que el asfalto fluya durante la compactación adicional debido al tráfico. El porcentaje, en muestras elaboradas en laboratorio, para capas de base y capas superficiales debe estar entre 3% y 5%. La permeabilidad de una mezcla asfáltica tiene relación con la durabilidad de un pavimento asfáltico. A mayor permeabilidad, mayor contenido de vacíos; permitiendo pasajes a través de la mezcla del agua y el aire causando un deterioro irreversible a la carpeta asfáltica. Por otra parte un contenido muy bajo de permeabilidad,

es decir bajo contenido de vacíos, tiende a producir exudación de asfalto. La exudación consiste en que el exceso de asfalto es exprimido, o expulsado fuera de la mezcla hacia la superficie. La relación de la densidad y el contenido de vacíos demuestra que a mayor densidad, menor porcentaje de vacíos y a menor densidad, mayor porcentaje de vacíos en la mezcla. En campo las especificaciones para la densidad requieren acomodar el menor número posible de vacíos inferior al 8%.

2.7.3. Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)

Son los espacios de aire que existen de entre las partículas de agregado y los espacios que están llenos de asfalto en una mezcla asfáltica compactada de pavimentación. Es decir el VMA es el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto y el volumen de vacíos necesarios en la mezcla. El volumen efectivo de asfalto es todo el asfalto menos la porción que se pierde, por absorción, en el agregado. Si el VMA es mayor, existirá más espacio para la película de asfalto. Hay que tener en cuenta que entre más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado se obtiene mayor durabilidad de una mezcla. Por lo anteriormente descrito existen valores mínimos de VMA recomendados y especificados en función del tamaño del agregado. Puede resultar que para economizar el contenido de asfalto en un diseño de mezcla disminuyamos los valores de VMA, siendo esto completamente perjudicial y dañino para la calidad de la carpeta asfáltica, obteniéndose películas delgadas de asfalto en el agregado y una mezcla de baja durabilidad y apariencia seca.

2.7.4. Contenido de asfalto

El contenido de asfalto de una mezcla en particular es establecido usando los criterios descritos por el método de diseño seleccionado. El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende en gran medida de su granulometría y la capacidad de absorción del agregado. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto. Si en una granulometría el porcentaje de finos es considerablemente alto, el área superficial total será mayor, requiriendo así mayor cantidad de asfalto para cubrir todas las partículas. Las mezclas gruesas exigen menos asfalto debido a que el área superficial total es menor. Si a la mezcla se le agrega pequeños incrementos de filler

fracciones muy finas de agregado que pasan a través del tamiz de 0.075 mm (N° 200) existe una tendencia a absorber la mayor parte del contenido de asfalto, resultando una mezcla inestable y seca. Caso contrario al efectuar pequeñas disminuciones de filler nos da como resultado una mezcla muy rica (húmeda).

Es así que los incrementos o disminuciones de filler causan cambios en las propiedades de la mezcla, llegando a variar de seca a húmeda. La capacidad de absorción del agregado en una mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto. Técnicamente se habla de dos tipos de asfalto al referirse al asfalto absorbido y el no-absorbido: contenido total de asfalto y contenido efectivo de asfalto. El contenido total de asfalto: cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto: volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre las superficies de los agregados. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto. La capacidad de absorción de un agregado es, obviamente, una característica importante en la definición del contenido de asfalto de una mezcla.

2.7.5. Vacíos Llenos de Asfalto (VFA)

Son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado (VMA) que se encuentran llenos de asfalto. El (VMA) abarca asfalto y aire, y por lo tanto, el (VFA) se calcula al restar los vacíos de aire del (VMA), y luego dividiendo por el (VMA), y expresando su valor como un porcentaje.

2.8. PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Para obtener una mezcla de calidad, esta debe poseer las propiedades siguientes: Estabilidad, Durabilidad, Flexibilidad, Resistencia a la Fatiga, Resistencia al Deslizamiento, Impermeabilidad y Trabajabilidad.

2.8.1. Estabilidad

La estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamientos 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 (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla.

Los requisitos de estabilidad solo pueden establecerse después de un análisis completo del tránsito, debido a que las especificaciones de estabilidad para un pavimento dependen del tránsito esperado. Las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficiente altas para acomodar adecuadamente el tránsito esperado, pero no más altas de lo que exijan las condiciones de tránsito. Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado.

Tabla 2.8.1. Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento

Causas	Efectos
Exceso de asfalto en una mezcla	Ondulaciones, ahuellamientos y afloramiento o exudación.
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente, durante un cierto tiempo; dificultad para la compactación.
Agregado redondeado sin, o con pocas, superficies trituradas	Ahullamiento y canalización.

Fuente: Instituto Chileno del Asfalto

2.8.2. Durabilidad

La durabilidad de un pavimento es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades de asfalto (polimerización y oxidación), y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito, o una combinación de ambos.

Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada en tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado

resistente a la separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.

La mayor cantidad posible de asfalto aumenta la durabilidad porque las películas gruesas de asfalto no se envejecen o endurecen tan rápido como lo hacen las películas delgadas. En consecuencia, el asfalto retiene, por más tiempo, sus características originales. Además el máximo contenido posible de asfalto sella eficazmente un gran porcentaje de vacíos interconectados en el pavimento, haciendo difícil la penetración del aire y del agua. Por supuesto, se debe dejar un cierto porcentaje de vacíos en el pavimento para permitir la expansión del asfalto en los tiempos cálidos.

Una graduación densa de agregado firme, duro, a la separación, contribuye, de tres maneras, a la durabilidad del pavimento. Una graduación densa proporciona un contacto más cercano entre las partículas del agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla. Un agregado firme y duro resiste la desintegración bajo las cargas del tránsito. Un agregado resistente a la separación resiste la acción del agua y el tránsito, las cuales tienden a separar la película de asfalto de las partículas de agregado, conduciendo a la desintegración del pavimento.

La resistencia de una mezcla a la separación puede ser mejorada, bajo ciertas condiciones, mediante el uso de compuestos adhesivos, o rellenos como la cal hidratada. La intrusión del aire y agua en el pavimento puede minimizarse si se diseña y compacta la mezcla para darla al pavimento la máxima impermeabilidad posible. Existen muchas causas y efectos con una poca durabilidad del pavimento.

Tabla 2.8.2. Causas y efectos de una poca durabilidad

Causas	Efectos
Bajo contenido de asfaltos	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado.
Alto contenido de vacíos debido al diseño o la falta de compactación.	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración.
Agregados susceptible al agua (Hidrofilitos)	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado

Fuente: Instituto Chileno del Asfalto

2.8.3. Impermeabilidad

La impermeabilidad de un pavimento es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relaciona con impermeabilidad. Aunque el contenido de vacíos es una indicación del paso potencial de aire y agua a través de un pavimento, la naturaleza de estos vacíos es muy importante que su cantidad. El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos, sin importar si están o no conectados, y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento. Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad. Esto es aceptable, siempre y cuando la permeabilidad esté dentro de los límites especificados.

Tabla 2.8.3. Causas y efectos de la permeabilidad

Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto	Las películas delgadas de asfalto causaran tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla.
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación y desintegración de la mezcla.
Comparación inadecuada	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a la infiltración de agua y baja estabilidad.

Fuente: Instituto Chileno del Asfalto

2.8.4. Trabajabilidad

La trabajabilidad está descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. La trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros de la mezcla, el tipo de agregado, y/o la granulometría.

Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso) tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar. A través de mezclas de prueba en el laboratorio puede ser posible adicionar agregado fino, y tal vez asfalto, a una mezcla gruesa, para volverla más trabajable. En tal caso se debe tener cierto cuidado para garantizar que la mezcla modificada cumpla con los otros criterios de diseño, tales como contenido de vacíos y estabilidad.

La trabajabilidad es especialmente importante en sitios donde se requiere colocar y rastrillar a mano cantidades considerables de mezcla, como por ejemplo alrededor de tapas de alcantarillados, curvas pronunciadas y otros obstáculos similares. Es muy importante usar mezclas trabajables en dichos sitios.

Las mezclas que son fácilmente trabajables o deformables se conocen como mezclas tiernas. Las mezclas tiernas son demasiado inestables para ser colocadas y compactadas apropiadamente. Usualmente es producto de una falta de relleno mineral, demasiada arena de tamaño mediano, partículas lisas y redondeadas de agregado, y/o demasiada humedad en la mezcla.

Aunque el asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad, si tienen algún efecto sobre esta propiedad. Debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad del asfalto, una temperatura demasiado baja hace que la mezcla sea poco trabajable, mientras que una temperatura demasiado alta puede hacer que la mezcla se vuelva tierna. El grado y el porcentaje de asfalto también pueden afectar la trabajabilidad de la mezcla.

Tabla 2.8.4. Causas y efectos de problema en la trabajabilidad

Causas	Efectos
Tamaño máximo de partícula: grande	Superficie áspera, difícil de colocar.
Demasiado agregado grueso	Puede ser difícil de compactar.
Temperatura muy baja de mezcla	Agregado sin revestir, mezcla poco durable superficie áspera, difícil de compactar.
Demasiada arena de tamaño medio	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda.
Bajo contenido de relleno mineral	Mezcla tierna, altamente permeable
Alto contenido de relleno mineral	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar, poco durable.

Fuente: Instituto Chileno del Asfalto

2.8.5. Flexibilidad

Flexibilidad es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante. La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las subrasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden (por expansión del suelo).

Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada de bajo contenido de asfalto. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de los mismos.

2.8.6. Resistencia a la fatiga

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se ha demostrado, por medio de la investigación, que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga.

A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento. (El periodo de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga) disminuye. Así mismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga.

Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la subrasante, tienen mucho que ver con la vida del pavimento y con la prevención del agrietamiento asociado con cargas de tránsito. Los pavimentos de gran espesor sobre subrasantes resistentes no se flexionan tanto, bajo las cargas, como los pavimentos delgados o aquellos que se encuentran sobre subrasantes débiles.

Tabla 2.8.5. Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga

Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga.
Vacíos altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Falta de comparación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga.

Fuente: Instituto Chileno del Asfalto

2.8.7. Resistencia al deslizamiento

Resistencia al deslizamiento es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie este mojada.

Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento (hidroplaneo). La resistencia al deslizamiento se mide en terreno con una rueda normalizada bajo condiciones controladas de humedad en la superficie del pavimento, y a una velocidad de 65 km/hr.

Una superficie áspera y rugosa de pavimento tiene mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa. La mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un agregado de textura áspera, en una mezcla de gradación abierta y con tamaño máximo de 9.5 mm (3/8 pulgadas) a 12.5 mm (1/2 pulgada). Además de tener una superficie áspera, los agregados debe resistir el pulimiento (alisamiento) bajo el tránsito.

Los agregados calcáreos son más susceptibles al pulimiento que los agregados silíceos. Las mezclas inestables que tienden a deformarse o a exudar (flujo de asfalto a la superficie) presentan problemas graves de resistencia al deslizamiento.

Tabla 2.8.6. Causas y efectos de poca resistencia al deslizamiento

Causas	Efectos
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento
Agregado mal graduado o con mala textura	Pavimento liso, posibilidad de hidroplaneo
Agregado pulido en mezcla	Poca resistencia al deslizamiento

Fuente: Instituto Chileno del Asfalto

2.9. MÉTODO DE DISEÑO MARSHALL

2.9.1. Metodología

El concepto del método Marshall para diseño de mezclas asfálticas fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi. El cuerpo de ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró y adicionó ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall y desarrollo un criterio de diseño de mezclas.

2.9.2. Propósito

El propósito del Método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la elaboración de la mezcla.

El método original de Marshall, sólo es aplicable a mezclas asfálticas en caliente que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1 pulg) o menor. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas en caliente.

2.9.3. Descripción general

El método Marshall usa muestras de ensayo (probetas) de 64 mm (2.5 pulg) de espesor por 102 mm (4 pulg) de diámetro. Una serie de muestras de ensayo, cada una con la misma combinación de agregados pero con diferentes contenidos de asfalto, es preparada usando

un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar la mezcla asfáltica. Los dos aspectos principales del método de diseño son: análisis de densidad-vacíos y el ensayo de estabilidad y flujo de los especímenes compactados.

2.9.4. Especificaciones de la metodología

La selección del contenido óptimo de asfalto depende de muchos criterios que se discutirán en este capítulo. Un punto inicial para el diseño es escoger el porcentaje de asfalto para el promedio de los límites de vacíos de aire, el cual es 4%. El rango de vacíos de aire es de 3% al 5%. Todas las propiedades medidas y calculadas bajo este contenido de asfalto deberán ser evaluadas comparándolas con los criterios para el diseño de mezclas (Tabla 4.). Si todos los criterios se cumplen, entonces se tendrá el diseño preliminar de la mezcla asfáltica, en caso de que un criterio no se cumpla, se necesitará hacer ajustes, o rediseñar la mezcla.

Tabla 2.9.1. Criterios del instituto del asfalto para diseño Marshall

Método Marshall	Tráfico ligero		Tráfico medio		Tráfico pesado	
	Carpeta y base		Carpeta y base		Carpeta y base	
Criterio de mezcla	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Compactación, número de golpes en cada uno de los especímenes	35		50		75	
Estabilidad, (N) y (lb)	3336		5338		6672	
	750	-	1200	-	1500	-
Flujo, (0,25 mm) (0,01 in)	8	18	8	16	8	16
Porcentaje de vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto	70	80	65	78	75	82

Fuente: Principios de construcción de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente

Tabla 2.9.2..Porcentaje Mínimo de VMA

Máximo tamaño de partícula nominal		Porcentaje mínimo VMA		
		Porcentaje de diseño vacíos de aire		
mm	in	3	4	5
1.18	N° 16	21.5	22.5	23.5
2.36	N° 8	19	20	21
4.75	N° 6	16	17	18
9.5	3/8"	14	15	16
12.5	1/2"	13	14	15
19	3/4"	12	13	14
25	1,0"	11	12	13
37.5	1,5"	10	11	12
50	2	9.5	10.5	11.5
63	2.5	9	10	11

Fuente: Principios de construcción de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente

2.9.5. Ensayos realizados a la mezcla asfáltica compactada

En el método Marshall se llevan a cabo tres tipos de pruebas para conocer tanto sus características volumétricas como mecánicas.

Determinación de la gravedad específica bulk

El ensayo de gravedad específica bulk de mezclas asfálticas compactadas utilizando especímenes saturados superficialmente secos puede desarrollarse tan pronto como el espécimen se haya enfriado. Este ensayo se desarrolla de acuerdo con la norma AASHTO T 166-05, para la gravedad específica bulk de mezclas asfálticas compactadas usando especímenes cubiertos con parafina la norma AASHTO T 275 es aplicada. Para determinar cuál norma se debe utilizar, se realizarán pruebas de absorción a la mezcla asfáltica compactada; si la absorción es mayor al 2%, se utiliza la norma AASHTO T 166-05, en caso contrario, se recurre a la norma AASHTO T 275.

Ensayo de estabilidad y flujo

El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla. La fluencia mide la deformación, bajo carga, que ocurre en la mezcla. Sumergir el

espécimen en un baño María a $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($140\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 1.8\text{ }^{\circ}\text{F}$) de 30 a 40 minutos antes de la prueba. Remueva el espécimen de ensayo del baño María y cuidadosamente se secará la superficie. Colocándolo y centrándolo en la mordaza inferior, se procederá a colocar la mordaza superior y se centrará completamente en el aparato de carga. Posteriormente se aplica la carga de prueba al espécimen a una velocidad constante de 50.8 mm/min (2 pulg/min), hasta que ocurra la falla. El punto de falla está definido por la lectura de carga máxima obtenida. El número total de Newtons (lb) requeridos para que se produzca la falla del espécimen deberá registrarse como el valor de estabilidad Marshall.

Mientras que el ensayo de estabilidad está en proceso, si no se utiliza un equipo de registro automático se deberá mantener el medidor de flujo sobre la barra guía y cuando la carga empiece a disminuir habrá que tomar la lectura y registrarla como el valor de flujo final. La diferencia entre el valor de flujo final e inicial expresado en unidades de 0.25 mm (1/100'') será el valor del flujo Marshall.

Análisis de densidad y vacíos

Después de completar las pruebas de estabilidad y flujo, se realiza el análisis de densidad y vacíos para cada serie de especímenes de prueba. Resulta conveniente determinar la gravedad específica teórica máxima (AASHTO T 209) para al menos dos contenidos de asfalto, preferentemente aquellos que estén cerca del contenido óptimo de asfalto. Un valor promedio de la gravedad específica efectiva del total del agregado se calculará de estos valores. Utilizando la gravedad específica y la gravedad específica efectiva del total del agregado; el promedio de las gravedades específicas de las mezclas compactadas; la gravedad específica del asfalto y la gravedad específica teórica máxima de la mezcla asfáltica, se calcula el porcentaje de asfalto absorbido en peso del agregado seco, porcentaje de vacíos (Va); porcentaje de vacíos llenados con asfalto (VFA) y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA).

2.9.6. Método de diseño Cántabro

Las consideraciones enumeradas anteriormente condujeron a que en 1979, Félix Pérez Jiménez y Carlos Kraemer, comenzaran a realizar trabajos para establecer una metodología de dosificación en laboratorio para estas mezclas, llegando a desarrollar el

ensayo de cántabro, ensayo de pérdida por desgaste en la máquina Los Ángeles, para la caracterización mecánica.

El ensayo Cántabro puede realizarse tanto en estado Seco como en Húmedo, simulando en laboratorio la acción abrasiva del tránsito y la influencia del agua, lo que permite el estudio y dosificación de estas mezclas.

Cuanto mayor es la calidad y porcentaje de los componentes que proporcionan la cohesión a la mezcla, menores son las pérdidas. Como resultado del ensayo, se obtiene la pérdida en peso de la probeta, en tanto por ciento, referido a su peso inicial.

Cántabro Seco: La norma NLT-352/86 describe el procedimiento que debe seguirse, empleando la máquina de Los Ángeles. El procedimiento puede emplearse tanto en el proyecto de mezclas en laboratorio como para el control en obra. Se aplica a las mezclas bituminosas fabricadas en caliente y de granulometría abierta, cuyo tamaño es inferior a 25 mm. El ensayo es realizado a una temperatura de 25 °C, lo cual permite valorar indirectamente la cohesión y trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tránsito.

Cántabro Húmedo: La norma que se refiere a esta metodología es la NLT - 362/92. El ensayo Cántabro Húmedo nos permite valorar la pérdida de cohesión que se produce por la acción del agua en la mezcla y el efecto que produce el empleo de ligantes modificados en la mejora de esa propiedad.

El procedimiento consiste en determinar la pérdida al cántabro húmedo de mezclas que han permanecido sumergidas en agua durante 4 días a 49 °C ó 24 horas a 60 °C. Pérdidas altas o un índice de aumento de las pérdidas respecto al ensayo de “Cántabro Seco” también alto, sería indicativo de una falta de resistencia de la mezcla a la acción del agua.

Las recomendaciones más usuales para mezclas porosas para capas de rodadura establecen los siguientes valores máximos y mínimos de exigencias.

% Huecos > 20 %

Pérdida al Cántabro seco (25 °C) < 25 %

Pérdida al Cántabro tras Inmersión (24 hrs, 60 °C) < 35 %

Figura 2.9.1. Máquina de los ángeles



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.1. CRITERIOS DEL DISEÑO METODOLÓGICO

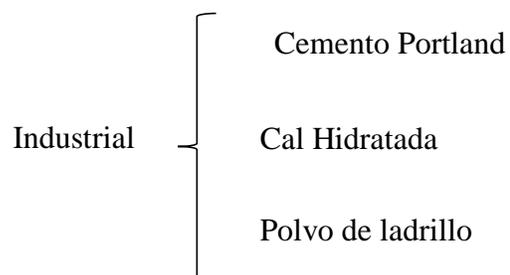
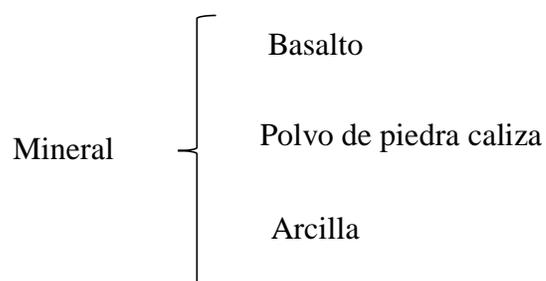
3.1.1. Unidad de estudio, población y muestra

3.1.1.1. Unidad de estudio

Filler cemento, arcilla y cal combinado con mezclas asfálticas en caliente.

3.1.1.2. Población

Tipos de filler



3.1.1.3. Muestra

Tres tipos de filler, dos de origen industrial y uno de origen mineral.

3.1.1.4. Tamaño de muestra

Se realizara la comparación de las propiedades mecánicas mediante el ensayo Marshall, posteriormente realizaremos la comparación del desgaste por el método Cántabro, Observando los cambios debido a la adición de distintos tipos de filler todo esto con referencia al comportamiento de la mezcla convencional.

3.1.2. Métodos y técnicas empleadas

3.1.2.1. Métodos

El método de estudio a emplear a será el método inductivo, donde se realizara la evaluación de los datos.

Este método seleccionado es experimental consiste en obtener conclusiones generales a partir de premisas particulares.

Se trata del método científico más usual, en el que pueden distinguirse cuatro pasos esenciales:

La observación de los hechos para su registro.

La clasificación y el estudio de estos hechos.

La derivación inductiva que parte de los hechos y permiten llegar a una generalización.

La contrastación.

3.1.2.2. Técnicas

Se utilizara la técnica del muestreo estratificado donde:

Tabla 3.1.1. Datos de nivel de confianza 95%

Z (valor de nivel de confianza)	1.96
P (probabilidad de que ocurra el suceso)	0.5
q (no probabilidad de que ocurra el suceso)	0.5
e (error probable)	0.5

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de N: Población

$$N = \frac{z^2 * p * q}{e^2} = 2285$$

Cálculo de n para la muestra estratificada:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^n N_i * p_i * q_i}{N * \frac{e^2}{z^2} + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n N_i * p_i * q_i} = 329$$

Número de muestras para un nivel de confianza de 95% y un error del 5%

Tabla 3.1.2. Planilla de muestreo

N°	Etapa	Ensayo	Ni	p	q	Ni*p*q	fi	ni	Asumido
1	Caracterización del material pétreo	Granulometría de áridos	21	0.5	0.5	5.25	0.0092	3.0236	4
2		Porcentaje de caras fracturadas	6	0.5	0.5	1.5	0.0026	0.8639	1
3		Equivalente de arena	60	0.5	0.5	15	0.0263	8.6389	9
4		Desgaste de los ángeles	6	0.5	0.5	1.5	0.0026	0.8639	1
5		Peso unitario grava y arena	15	0.5	0.5	3.75	0.0066	2.1597	3
6		Peso específico del agregado	66	0.5	0.5	16.5	0.0289	9.5028	10
7		Partículas planas y alargadas	6	0.5	0.5	1.5	0.0026	0.8639	1
8	Caracterización del cemento asfáltico	Viscosidad	6	0.5	0.5	1.5	0.0026	0.8639	1
9		Ensayo de penetración	6	0.5	0.5	1.5	0.0026	0.8639	1
10		Ensayo de ductilidad	6	0.5	0.5	1.5	0.0026	0.8639	1
11		Ensayo de punto de inflamación	6	0.5	0.5	1.5	0.0026	0.8639	1
12		Ensayo de punto de ablandamiento	6	0.5	0.5	1.5	0.0026	0.8639	1
13		Ensayo de peso específico	6	0.5	0.5	1.5	0.0026	0.8639	1
14	Cántabro	Desgaste por cántabro	240	0.5	0.5	60	0.1050	34.5558	35
15	Caracterización del filler	Granulometría	6	0.5	0.5	1.5	0.0026	0.8639	1
16		Hidrómetro	2	0.5	0.5	0.5	0.0009	0.2880	1
17		Límites de Atterberg	21	0.5	0.5	5.25	0.0092	3.0236	4
18	Propiedades mecánicas	Densidad (g/cm3)	600	0.5	0.5	150	0.2626	86.3895	87
19		Estabilidad (lb)	600	0.5	0.5	150	0.2626	86.3895	87
20		Vacíos Totales (%)	600	0.5	0.5	150	0.2626	86.3895	87
Sumatorias =			2285			571.25			337

Fuente: Elaboración propia

3.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN, USO Y APLICACIÓN DE MATERIALES A UTILIZAR

3.2.1. Criterios de selección de agregados

En nuestro departamento contamos con diversas plantas procesadoras de material chancado las mismas realizan la extracción en diferentes canteras. Se tomó como criterio la planta que pertenece a SEDECA, teniendo la seguridad de que los materiales cumplen con sus especificaciones técnicas, también utilizamos material de canto rodado procedente del Rio Guadalquivir.

3.2.2. Criterios de selección de filler a utilizar

En nuestra selección de filler como es el cemento proveniente del proceso industrial, se tomó en cuenta el criterio de un estudio previo titulado, “Análisis del comportamiento mecánico y dinámico de mezclas asfálticas con agregado procedente de chicamocha modificada con cemento portland”, que realiza un estudio al uso de cemento portland como reemplazo del filler para poder determinar de qué manera influye.

Selección de filler como es la arcilla proveniente de un proceso mineralógico, se tomó en cuenta el criterio de un estudio previo titulado, “Estudio del efecto del tipo filler en las propiedades reológicas del mástico”, que realiza un estudio al uso de arcilla como reemplazo del filler para poder para poder determinar de manera influye.

Selección de filler como es la cal proveniente del proceso industrial, se tomó en cuenta el criterio de un estudio previo titulado, “Evaluación del efecto de la cal hidratada y el polvo de ladrillo utilizado como relleno mineral en las propiedades de una mezcla asfáltica”, realiza un estudio al uso de cal como reemplazo del filler para poder determinar de qué manera influye.

3.2.3. Criterios de la variación de los porcentajes de filler

Para el cemento como reemplazo del filler en la mezcla asfáltica según el estudio previo titulado, “Análisis del comportamiento mecánico y dinámico de mezclas asfálticas con agregado procedente de chicamocha modificada con cemento portland”, recomienda aplicar porcentajes que oscilen entre 0 – 100% de inclusión de filler para ver su comportamiento, sus propiedades y su trabajabilidad dentro de la mezcla asfáltica.

Para la arcilla como reemplazo del filler en la mezcla asfáltica según el estudio previo titulado, “Estudio del efecto del tipo filler en las propiedades reológicas del mástico”, recomienda aplicar porcentajes que oscilen entre 0 – 100% de inclusión de filler para ver su comportamiento, sus propiedades y su trabajabilidad dentro de la mezcla asfáltica.

Para la arcilla como reemplazo del filler en la mezcla asfáltica según el estudio previo titulado, “Evaluación del efecto de la cal hidratada y el polvo de ladrillo utilizado como relleno mineral en las propiedades de una mezcla asfáltica”, recomienda aplicar porcentajes que oscilen entre 0 – 100% de inclusión de filler para ver su comportamiento, sus propiedades y su trabajabilidad dentro de la mezcla asfáltica.

La primera etapa de la investigación elaboramos la mezcla asfáltica convencional, para ello fue necesario realizar la caracterización previa de nuestros materiales que compone la mezcla asfáltica grava, gravilla, arena, filler y cemento asfáltico, todos los ensayos nos permitió contener el contenido óptimo de asfalto. Estos ensayos fueron realizados con material chancado procedente de la planta perteneciente a SEDECA y de canto rodado procedente del Rio Guadalquivir.

La segunda etapa, se elaboraran briquetas con cemento cal y arcilla como reemplazo de filler, siendo procedente de origen industrial el cemento, cal y de origen mineral la arcilla.

La elaboración de las briquetas y el proceso de rotura se realizaron en el laboratorio de asfaltos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho perteneciente a la facultad de Ingeniería Civil.

La tercera etapa, una vez obtenido el contenido óptimo de asfalto para nuestros diseños, se elaboró las briquetas para el Cántabro y así poder comparar el desgaste que sufrirá cada una de ellas, los porcentajes de filler que se utilizó para cada diseño fueron 3%,5% y 7% se tomó los extremos de acuerdo a nuestra faja granulométrica dada por la AASTHO T27 Y T11 que nos da como límites 3 y 7 material pasante el tamiz N° 200.

3.2.4. Criterios de selección de asfalto

Los asfaltos utilizados en nuestra investigación son los siguientes: Stratura procedente de Brasil 85/100, Petroperú procedente del Perú 60/70, ya que estos materiales son utilizados en nuestra región por SEDECA.

3.3. CRITERIOS DEL NÚMERO DE ENSAYOS

3.3.1. Número de ensayos para el agregado pétreo

Para nuestra investigación, ejecutamos cierto número de ensayos por cada a realizar para obtener datos confiables.

Granulometría.- Se realizarán tres granulometrías de los agregados, de la cual se tomara la más confiable y adecuada para poder utilizar en la dosificación de las briquetas.

Porcentaje de caras fracturadas.- Se realizarán un ensayo de porcentaje de caras fracturadas, para el agregado de 3/8" y 3/4", no aplica para canto rodado.

Porcentaje de partículas planas y alargadas.- Se realizará un ensayo del porcentaje de partículas chatas y alargadas tomando una muestra representativa para el agregado de 3/8" y de 3/4".

Equivalente de la arena y agregado fino.- Se realizarán tres ensayos de equivalente de la arena, de los cuales podremos verificar cuanto de material fino tiene nuestro agregado y poder analizar si es factible para dosificar..

Abrasión del agregado grueso máquina de los ángeles.- Se realizará un ensayo de los agregados de 3/8" y 3/4".

Peso específico del agregado fino.- Se realizarán tres ensayos del agregado fino y posteriormente se sacará su promedio para utilizarlo en los cálculos del Marshall.

Peso específico y absorción del agregado grueso.- Se realizará tres ensayos de peso específico y absorción del agregado grueso de los agregados de 3/8" y 3/4" para posteriormente utilizarlo en los cálculos siguientes.

Peso unitario.- Agregado 3/8", 3/4" y arena.

Tabla 3.3.1. Número de ensayos en agregados pétreos

Ensayo	Cantidad de ensayos a realizar
Granulometría	3
Porcentaje de caras fracturadas	1
Equivalente de arena	3
Abrasión en la máquina de los Ángeles	1
Peso unitario del agregado grueso y fino	3
Peso específico y absorción de agua en agregados gruesos	3
Peso específico y absorción de agua en agregados finos	3
Partículas planas y alargadas	1
Límites de ATTERBERG	3
Hidrómetro	3

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Número de ensayos para el cemento asfáltico

Ensayo de ductilidad.- Se realizarán tres ensayos de ductilidad del cemento asfáltico 85-100 y 60-70 luego se obtendrá su promedio.

Ensayo de punto de inflamación.- Se realizarán tres ensayos del punto de inflamación del cemento asfáltico 85-100 y 60-70, del cual se obtendrá su promedio.

Ensayo de peso específico.- Se realizarán tres ensayos de peso específico del cemento asfáltico 85-100 y 60-70, del cual se obtendrá su promedio.

Ensayo de punto de ablandamiento.- Se realizaran tres ensayos de punto de ablandamiento del cemento 85-100 y 60-70, del cual se obtendrá su promedio.

Ensayo de penetración.- se realizaran 3 ensayos de penetración del cemento 85-100 y 60-70, del cual se obtendrá y su promedio.

Ensayo de viscosidad Saybolt Furol se realizaran 3 ensayos del cemento 85-100 y 60-70. para luego promediar.

Tabla 3.3.2. Número de ensayos de cemento asfáltico

Ensayo	Cantidad de ensayos a realizar
Ensayo de viscosidad	3
Ensayo de penetración	3
Ensayo de ductilidad	1
Ensayo de punto de inflamación	3
Ensayo de punto de ablandamiento	3
Ensayo de peso específico	3

Fuente: Elaboración propia

3.4. EL CEMENTO PORTLAND TIPO IP-30 COMO FILLER

3.4.1. Reemplazo del filler en la elaboración de mezclas asfálticas

Es un filler de origen industrial, perteneciente a la fábrica de cemento el Puente su aplicación dentro de la elaboración de mezclas asfálticas en caliente podría ser una alternativa al verificar su comportamiento dentro de las propiedades mecánicas en la mezcla asfáltica y como es su comportamiento a la resistencia al desgaste.

Tomamos en cuenta la utilización del cemento como filler dentro de la mezcla asfáltica, donde el material procedente de la planta el Puente tendría que ser trasladado a la planta donde se procesara la mezcla asfáltica.

Motivo por el cual realizamos una comparación con respecto al desgaste, consecuentemente realizaremos un análisis de costos comparando con la mezcla convencional.

3.4.2. Otros usos del material

El material ocupa un lugar muy importante en la construcción, sus usos en morteros, hormigones lo hace un material indispensable, es muy resistente a ambientes agresivos que en estado fresco presenta muy buena trabajabilidad, plasticidad, bombeabilidad y terminaciones a partir de los finos aportados.

3.4.3. Obtención del material

Para la investigación, se decide adicionar el cemento como filler dentro de la mezcla asfáltica, con el fin de darle utilidad a nuestra producción de cemento en nuestro departamento.

3.5. LA ARCILLA COMO FILLER

3.5.1. Reemplazo del filler en la elaboración de mezclas asfálticas

Es un filler de origen mineral, perteneciente a los bancos de material de la Cerámica San Luis su aplicación dentro de la elaboración de mezclas asfálticas en caliente podría ser una alternativa al verificar su comportamiento dentro de las propiedades mecánicas en la mezcla asfáltica y como es su comportamiento a la resistencia al desgaste.

Tomamos en cuenta la utilización de la arcilla como filler dentro de la mezcla asfáltica, donde el material procedente de la Cerámica San Luis tendría que ser triturado y seleccionado lo cual significa un procedimiento más, luego trasladado a la planta donde se procesara la mezcla asfáltica.

Motivo por el cual realizamos una comparación con respecto al desgaste, consecuentemente realizaremos un análisis de costos comparando con la mezcla convencional.

3.5.2. Otros usos del material

La arcilla ocupa un papel muy importante dentro de la construcción ya que con la misma se realiza la fabricación de ladrillos y también se la usa en artesanía, en la utilización de nuestros bancos de material pétreo podemos evidenciar la presencia de la misma.

3.5.3. Obtención del material

Para la investigación, se decide adicionar arcilla como filler a la mezcla asfáltica, con el fin de darle utilidad a nuestros bancos de material en la región, es un material que se encuentra actualmente en los agregados utilizados en nuestro medio.

3.6. LA CAL COMO FILLER

Es un filler de origen industrial, perteneciente a los bancos de material El Puente, su aplicación dentro de la elaboración de mezclas asfálticas en caliente podría ser una alternativa al verificar su comportamiento dentro de las propiedades mecánicas en la mezcla asfáltica y como es su comportamiento a la resistencia al desgaste

Tomamos en cuenta la utilización de la cal como filler dentro de la mezcla asfáltica, donde el material procedente del municipio El Puente tendría que ser trasladado a la planta donde se procesara la mezcla asfáltica.

Motivo por el cual realizamos una comparación con respecto al desgaste, consecuentemente realizaremos un análisis de costos comparando con la mezcla convencional.

3.6.1. Otros usos del material

El material es muy importante en la construcción, ya que es utilizado para revoques externos actuando de manera excelente a la humedad, resistencia a la intemperie y resistentes a agentes químicos agresivos, dentro del campo vial es utilizada para estabilizar el suelo.

3.6.2. Obtención de material

Para la investigación, se decide adicionar cal como filler dentro de la mezcla asfáltica, con el fin de darle utilidad a nuestra producción de cal que tenemos en nuestro departamento.

3.7. LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.7.1. Ubicación del material a utilizar

Los materiales que se utilizará para el proyecto son agregados chancados (grava, gravilla y arena), agregado de canto rodado, filler (cemento, arcilla y cal), cemento asfáltico 85/100 y 60/70.

Agregado pétreo chancado.- Para la investigación nuestro material pétreo proviene de la planta procesadora de asfaltos SEDECA. Se llevará a cabo la caracterización para verificar que esté dentro de los parámetros establecidos.

Agregados pétreos:

Grava 3/4".

Gravilla 3/8".

Arena.

Coordenadas:

Tabla 3.7.1. Coordenadas de la ubicación del agregado chancado

Coordenadas	
Geográficas	Latitud: 21°46'54.83" S Longitud: 64°46'14.01" W
U.T.M	Este: 316942.99 Norte: 7590264.36

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7.1. Ubicación del banco de material



Fuente: Elaboración propia

Agregado de canto rodado.- El agregado de canto rodado se recolecta del río Guadalquivir de la zona de Tomatitas, que se encuentra ubicada dentro del departamento de Tarija en el municipio de la provincia Méndez. Es importante resaltar que para este material se lo recolecta de manera natural.

Coordenadas

Tabla 3.7.2. Coordenadas de ubicación del agregado de canto rodado

Coordenadas	
Geográficas	Latitud: 21°29'38.71" S Longitud: 64°45'30.67" W
U.T.M	Este: 317826.17 Norte: 7622144.46

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7.2. Ubicación del agregado de canto rodado



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7.3. Extracción del material de canto rodado



Fuente: Elaboración propia

Cemento asfáltico.- Se utilizaron dos tipos de cemento asfáltico:

Cemento asfáltico BETUPEN PLUS ESTRATURA 85/100 procedente de Probisa Brasil, fue obtenido de la planta asfaltadora SEDECA.

Coordenadas:

Tabla 3.7.3. Coordenadas de ubicación de cemento asfáltico 85/100

Coordenadas	
Geográficas	Latitud: 21°46'54.83" S Longitud: 64°46'14.01" W
U.T.M	Este: 316942.99 Norte: 7590264.36

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7.4. Recolección del cemento asfáltico 85/100



Fuente: Elaboración propia

Cemento asfáltico PETROPERÚ 60/70 PEN procedente de refinería Conchán Perú, fue obtenido de la planta asfaltadora SEDECA.

Coordenadas:

Tabla 3.7.4. Coordenadas de ubicación del cemento asfáltico 60/70

Coordenadas	
Geográficas	Latitud: 21°46'54.83" S
	Longitud: 64°46'14.01" W
U.T.M	Este: 316942.99
	Norte: 7590264.36

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7.5. Recolección del cemento asfáltico 60/70



Fuente: Elaboración propia

Filler.- Se utilizaron tres tipos de filler (cemento, arcilla y cal).

Cemento

Es un filler de origen industrial que fue obtenido por medio de compra, es un cemento comercial que se fabrica dentro del departamento de Tarija en el municipio del Puente. Se adquirió el cemento Portland Tipo IP-30 que pertenece a la fábrica de cemento el Puente.

Figura 3.7.6. Cemento Portland IP-30



Fuente: Elaboración propia

Arcilla

Es un fíller de origen natural que fue adquirido del banco de almacenamiento de la cerámica San Luis que se encuentra ubicada en el departamento de Tarija municipio de Cercado, la arcilla procede de los bancos ubicados en San Mateo.

Figura 3.7.7. Recolección del filler (arcilla)



Fuente: Elaboración propia

Cal

Es un filler de origen industrial que igualmente fue obtenido por medio de compra ya que es cal apagada (hidróxido de calcio) se comercializa en nuestra ciudad y procede del municipio del Puente.

Figura 3.7.8. Obtención del filler (cal)



Fuente: Elaboración propia

3.7.2. Caracterización de los agregados y filler

Una vez concluida su recolección del material a utilizar se realiza la caracterización de cada uno de ellos. Los laboratorios se realizaron de acuerdo a las normas establecidas por el “Manual de ensayos y materiales asfálticos” elaborado por la Administración Boliviana de Carreteras (ABC).

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de Hormigones y Resistencia de materiales de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Se detalla en las siguientes normas a continuación:

Tabla 3.7.5. Caracterización del agregado grueso

Agregado grueso (Grava y Gravilla)
Método para determinar la granulometría (ASTM E 40; AASHTO T27 – 99; A0506)
Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos (ASTM E 127; AASHTO T85-91; A0519)
Método para determinar caras fracturadas (ASTM D 5821; NTL 358), solo aplica a material procesado o chancado.

Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM 131; AASTHO T96 – T99; A0511)
Método para determinar el índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados para carreteras (INV E – 230 – 13; NTL 354)
Método para determinar el peso unitario (ASTM E 30; AASHTO T 19M-00; A0518)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.7.6. Caracterización del agregado fino

Agregado fino
Método para determinar la granulometría (ASTM E 40; AASHTO T27 – 99; A0506)
Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos finos (ASTM E 128; AASHTO T84-00; A0520)
Método para determinar el equivalente de arena (ASTM D 2419; AASHTO T176-00)
Método para determinar el peso unitario (ASTM E 30; AASHTO T 19M-00; A0518)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.7.7. Caracterización para el material de relleno filler

Filler (cemento, cal y arcilla)
Método para determinar la granulometría y sus límites líquidos del filler.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.7.8. Requisitos de graduación para el material de relleno (filler)

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa por los tamices (AASHTO T-27)
Nº. 30	100
Nº. 80	95 – 100
Nº. 200	65 – 100

Fuente: Manual de especificaciones técnicas generales de construcción (VII)

3.7.2.1. Granulometría (ASTM E 40; AASHTO T27 – 99; A0506)

Una de las propiedades más importantes que influye en la vida útil de una carretera es la distribución de los tamaños de partículas. Es por eso que analizamos cuidadosamente el proceso de graduación del material a utilizar en la mezcla asfáltica.

Agregado chancado y canto rodado

Para la granulometría del agregado grueso, grava de 3/4 y gravilla de 3/8 se tomó una muestra representativa de 5000 gramos, se realizaron tres ensayos en diferente toma de muestra para poder determinar su homogeneidad del tamaño de las partículas. En la arena se realizó tres ensayos con una muestra representativa de 3000 gramos para diferente toma de muestra.

Este procedimiento se puede observar en **A.1.2.1.** y **A.13.1.**

Resumen de la granulometría realizada en agregados chancados y de canto rodado

Tabla 3.7.9. Resumen de granulometría de agregados pétreos utilizada en los diseños

Peso (gr) Grava		5000				
Peso (gr) Arena		3000				
N° De Tamices	Tamaño (mm)	% Que pasa del total				
		Material chancado			Material de canto rodado	
		Grava	Gravilla	Arena	Grava	Arena
1"	25.40	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
3/4"	19.00	98.47	100.00	100.00	95.58	100.00
1/2"	12.50	42.72	99.06	100.00	67.93	100.00
3/8"	9.50	13.93	96.91	100.00	45.47	100.00
N° 4	4.75	0.37	24.23	98.49	5.93	98.49
N° 8	2.36	0.35	1.50	83.09	1.47	83.09
N° 40	0.43	0.29	0.80	30.38	0.03	30.38
N° 200	0.08	0.23	0.70	6.77	0.03	6.77
Base		0.07	0.04	0.12	0.01	0.12

Fuente: Elaboración propia

3.7.2.2. Peso específico y absorción de los agregados

Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos (ASTM E 127; AASHTO T85-91; A0519)

El peso específico y la absorción de los agregados son propiedades importantes que se requieren para el diseño de las mezclas asfálticas en caliente.

La gravedad específica aparente incide en la densidad relativa del material sólido formando las partículas constituyentes no incluyendo el espacio del poro dentro de las partículas que son accesible para el agua.

Procedimiento:

- Cuarteamos nuestro material más o menos lavado y retenido en la malla N° 4, se secan a peso constante.
- Luego sumergimos la muestra por 24 horas.
- Sacamos el agregado del agua.
- Se obtiene su peso superficialmente seca.
- La muestra superficialmente seca la colocamos en una cesta de alambre y determinamos.
- Luego secamos la muestra en el horno hasta obtener peso constante.

Este procedimiento se puede observar en **A.1.2.2.**

Cálculo:

A: Peso en el aire del agregado seco al horno, (gr).

B: Peso en el aire del agregado saturado superficialmente seco, (gr).

C: Peso del agregado saturado superficialmente seco sumergido en el agua, (gr).

$$\text{Peso específico del agregado seco} = \frac{b}{a - c}$$

$$\text{P.E.A. Saturado de superficie seca} = \frac{a}{a - c}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{b}{b - c}$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{b - a}{b} * 100\%$$

Resumen del específico para el diseño, agregado grueso chancado y de canto rodado

Tabla 3.7.10. Resumen del peso específico en el agregado grueso

Peso específico en los agregados	P.e. Aparente (gr/cm ³)
Agregado grueso chancado	2.65
Agregado grueso de canto rodado	2.64

Fuente: Elaboración propia

Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos finos (ASTM E 128; AASHTO T84-00; A0520)

Este ensayo tiene como objetivo la determinación del peso específico aparente, lo mismo que la cantidad de agua que se absorbe en el agregado fino cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas, expresada como un porcentaje en peso.

El peso específico aparente es la relación entre el peso del agua correspondiente a su volumen aparente, este ensayo establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los áridos finos.

Este procedimiento se puede observar en **A.1.2.3.** y **A.1.3.2.**

Resumen del peso específico para el diseño, agregado fino con y sin filler

Para la obtención de la gravedad específica del agregado fino se realizaron tres ensayos del mismo material buscando en ambos la cantidad de humedad óptima del agregado fino.

Tabla 3.7.11. Resumen del peso específico en los agregados finos con y sin filler

Peso específico en los agregados	P.e. Aparente (gr/cm³)
Agregado fino chancado	2.66
Agregado fino de canto rodado	2.68
Agregado fino con adición de filler cemento 3% (Charaja)	2.70
Agregado fino con adición de filler cemento 5% (Charaja)	2.71
Agregado fino con adición de filler cemento 7% (Charaja)	2.72
Agregado fino con adición de filler arcilla 3% (Charaja)	2.64
Agregado fino con adición de filler arcilla 5% (Charaja)	2.66
Agregado fino con adición de filler arcilla 7% (Charaja)	2.68
Agregado fino con adición de filler cal 3% (Charaja)	2.63
Agregado fino con adición de filler cal 5% (Charaja)	2.61
Agregado fino con adición de filler cal 7% (Charaja)	2.59
Agregado fino con adición de filler cemento 3% (Guadalquivir)	2.67
Agregado fino con adición de filler cemento 5% (Guadalquivir)	2.69
Agregado fino con adición de filler cemento 7% (Guadalquivir)	2.71
Agregado fino con adición de filler arcilla 3% (Guadalquivir)	2.62
Agregado fino con adición de filler arcilla 5% (Guadalquivir)	2.65
Agregado fino con adición de filler arcilla 7% (Guadalquivir)	2.66
Agregado fino con adición de filler cal 3% (Guadalquivir)	2.62
Agregado fino con adición de filler cal 5% (Guadalquivir)	2.60
Agregado fino con adición de filler cal 7% (Guadalquivir)	2.58

Fuente: Elaboración propia

3.7.2.3. Método para determinar caras fracturadas (ASTM D 5821; NTL 358), solo aplica a material procesado o chancado.

Primero se cuarteo una muestra representativa previamente lavada y secada al horno para poder apreciar de mejor manera cada partícula, se tomó una muestra representativa de 1000 gramos retenida en el tamiz N° 4, posteriormente se procede a separar con el borde de una espátula las partículas que tengan una o más caras fracturadas, se considera una partícula fracturada cuando un 25% o más del área de la superficie aparece fracturada

Este procedimiento se puede observar en **A.1.2.5.**

$$P\% = \frac{A}{B} * 100$$

Tabla 3.7.12. Resultado del porcentaje de caras fracturadas

Determinaciones	Muestra (%)
% material triturado	a = 91.30 %
% material natural	b = 8.80 %
Especificaciones	> 75

Fuente: Elaboración propia

3.7.2.4. Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM E 131; AASTHO T96 – T99; A0511).

Los agregados deben ser capaces de resistir el desgaste irreversible y de degradación durante la producción, colocación y compactación de las obras de pavimentación, y sobre todo durante la vida de servicio del pavimento.

Debido a las condiciones de esfuerzo - deformación, la carga de la rueda es transmitida a la superficie del pavimento a través de la llanta como una presión vertical aproximadamente uniforme y alta. La estructura del pavimento distribuye los esfuerzos de la carga, de una máxima intensidad en la superficie hasta una mínima en la subrasante.

Por otro lado, los agregados transmiten los esfuerzos a través de los puntos de contacto

donde actúan presiones altas. El ensayo de Desgaste de Los Ángeles, ASTM C-131 ó AASTHO T-96, mide básicamente la resistencia de los puntos de contacto de un agregado al desgaste y/o a la abrasión.

Los aparatos y procedimiento para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASTHO T-96 y ASTM C-131, también podemos observar en el **A.1.2.4**.

Tabla 3.7.13. Grados de ensayo (Definidos por sus rangos de tamaño, en mm)

Gradación		A	B	C	D
Diámetro		Cantidad de material a emplear (gramos)			
Pasa	Retenido				
1 ½"	1"	1250±25			
1"	¾"	1250±25			
¾"	½"	1250±10	1250±10		
½"	3/8"	1250±10	1250±10		
3/8"	¼"			1250±10	
¼"	Nº4			1250±10	
Nº4	Nº8				5000±10
Peso total		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10
Número de esferas		12	11	8	6
Número de revoluciones		500	500	500	500
Tiempo de rotación		15	15	15	15

Fuente: Manual de ensayos de suelos y asfaltos

Resultados del ensayo del desgaste por medio de la máquina de los Ángeles del agregado grueso chancado y de canto rodado

Tabla 3.7.14. Desgaste de los ángeles agregado grueso procesado

Gradación		Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación ASTM
Chancado	B	5000	3925	21.50	35% MAX
Rodado	B	5000	3762	24.76	35% MAX

Fuente: Elaboración propia

3.7.2.5. Método para determinar el índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados para carreteras (INV E – 230 – 13; NTL 354)

Las Partículas Planas o alargadas de agregados, para uso en alguna construcción, pueden interferir en la consolidación y resultar en grandes dificultades para colocar materiales.

Este método de ensayo provee una manera para verificar el cumplimiento de las especificaciones que limitan tales partículas o para determinar la forma relativa característica del agregado grueso.

Este procedimiento podemos observar en **A.1.2.8.** y **A.1.3.7.**

Partículas chatas y alargadas en agregado grueso procesado y canto rodado

Tabla 3.7.15. Índice de alargamiento y aplanamiento agregado procesado

Material	Peso retenido (gr)	Peso retenido partículas chatas y largadas (gr)	% Retenido partículas chatas y alargadas
3/4"	1000	42.2	4.22
(%) Total de Partículas Chatas Alargadas (Máximo 10%)			4.22
3/8"	1000	22.0	2.20
(%) Total de Partículas Chatas Alargadas (Máximo 10%)			2.20

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.7.16. Índice de alargamiento y aplanamiento agregado grueso natural

Materia	Peso retenido (gr)	Peso retenido partículas chatas y alargadas (gr)	% Retenido partículas chatas y alargadas
3/4"	1000	28.0	2.80
(%) Total de partículas chatas y alargadas (Máximo 10%)			2.80
3/8"	1000	26.5	2.65
(%) Total de partículas chatas alargadas (Máximo 10%)			2.65

Fuente: Elaboración propia

3.7.2.6. Método para determinar el peso unitario (ASTM E 30; AASHTO T19M-00; A0518)

Este método describe cómo podemos calcular el peso unitario de los materiales en su estado natural y a temperatura ambiente, se realizó tres ensayos por cada tipo de material grueso y fino, se utiliza el molde adecuado se toma un primer peso de material suelto luego se llena hasta su tercera parte de su capacidad y se procede a apisonar 25 veces, no se debe golpear el fondo del molde.

Este procedimiento podemos observar en **A.1.2.7. y A.1.3.6.**

Tabla 3.7.17. Peso unitario suelto grava chancada y de canto rodado

Peso unitario de los agregados	P.U. suelto (gr/cm³)
Grava chancada suelta	1.35
Grava chancada compactada	1.52
Gravilla chancada suelta	1.41
Gravilla chancada compactada	1.61
Arena procesada suelta	1.54
Arena procesada compactada	1.73
Grava de canto rodado suelta	1.33
Grava de canto rodado compactada	1.51
Arena de canto rodado suelta	1.52
Arena de canto rodado compactada	1.69

Fuente: Elaboración propia

3.7.2.7. Método para determinar el equivalente de arena (ASTM D 2419; AASHTO T176-00)

El ensayo de Equivalente de arena y agregados finos asigna un valor empírico a la cantidad relativa, figura y características del material fino que está presente en una muestra de ensayo granular que pasa el tamiz N° 4 (4.75mm). El equivalente de arena es una relación de la altura de arena con arena respecto a la altura de arcilla, expresada en porcentaje. Primeramente, se debe de tener una muestra del material y tamizarlo por el tamiz N°4 para poder tener la muestra que se utiliza para este ensayo colocarlo en un recipiente.

Se realizaron tres ensayos para la arena procesada, arena natural y con adición de distintos tipos de filler el procedimiento podemos observar en **A.1.2.6.** y **A.1.3.5.**

Tabla 3.7.18. Resumen del equivalente de arena en agregados finos con y sin filler

Agregado fino chancado y de canto rodado convencional		
Chancado	Equivalente de arena (%)	56.53>50
Canto rodado	Equivalente de arena (%)	55.58>50
Agregado fino chancado con adición de filler		
Cemento al 3%	Equivalente de arena (%)	70.29>50
Cemento al 5%	Equivalente de arena (%)	65.62>50
Cemento al 7%	Equivalente de arena (%)	58.00>50
Arcilla al 3%	Equivalente de arena (%)	54.08>50
Arcilla al 5%	Equivalente de arena (%)	45.52>50
Arcilla al 7%	Equivalente de arena (%)	37.40>50
Cal al 3%	Equivalente de arena (%)	60.63>50
Cal al 5%	Equivalente de arena (%)	53.81>50
Cal al 7%	Equivalente de arena (%)	40.51>50
Agregado fino de canto rodado con adición de filler		
Cemento al 3%	Equivalente de arena (%)	64.24>50
Cemento al 5%	Equivalente de arena (%)	65.08>50
Cemento al 7%	Equivalente de arena (%)	59.54>50
Arcilla al 3%	Equivalente de arena (%)	56.93>50
Arcilla al 5%	Equivalente de arena (%)	51.42>50
Arcilla al 7%	Equivalente de arena (%)	43.18>50
Cal al 3%	Equivalente de arena (%)	63.77>50
Cal al 5%	Equivalente de arena (%)	54.05>50
Cal al 7%	Equivalente de arena (%)	42.56>50

Fuente: Elaboración propia

3.7.3. Caracterización del cemento asfáltico

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho de la ciudad de Tarija, fueron realizados de acuerdo al Manual de ensayos y materiales asfálticos elaborado por la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC).

Este procedimiento podemos observar en **A.1.4.**

Normas de referencia se describen a continuación:

Tabla 3.7.19. Caracterización del cemento asfáltico

Normas bajo las cuales se realizó las prácticas de cemento asfáltico
Método para determinar la penetración (ASTM D; AASHTO T49-97; A0103)
Método para determinar la ductilidad (ASTM D 113; AASHTO T51-00; A0105)
Método para determinar el peso específico (ASTM D71-94; AASHTO T229-97; A0102)
Método para determinar la viscosidad cinemática (ASTM D 2170; AASHTO T201-01; A0108)
Método para determinar el punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola (ASTM D36; AASHTO T53-96; A0110)
Método para determinar los puntos de inflamación y combustión mediante la copa abierta de Cleveland (ASTM D 1310-01; AASHTO T79-96;A0106)

Fuente: Elaboración propia

Cemento asfáltico 85/100

Tabla 3.7.20. Caracterización del cemento asfáltico Estrutura Brasil Betupen Plus 85/100
(PROBISA).

Ensayo	Unid.	1	2	3	Prom	Especificaciones	
						Mínimo	Máximo
Peso picnómetro	gr.	34.82	34.80	34.83			
Peso picnómetro + agua (25°C)	gr.	67.88	67.90	67.89			
Peso picnómetro + muestra	gr.	55.61	54.40	55.60			
Peso picnómetro + agua + muestra	gr.	68.01	68.00	68.02			
Peso específico	gr/cm ³	1.003	1.004	1.003	1.004	0.99	1.05
Punto de inflamación AASHTO T-48	°C	256	262	261	260	>232	
Ductilidad a 25 °C AASHTO T-51	Cm	115	117	116	116	>100	
Penetración a 25°C, 100s,5s. (0.1mm) AASHTO T - 49	Lectura 1		96	96	96		
	Lectura 2		94	95	96		
	Lectura 3		94	97	94		
	Promedio	mm	94.70	96.00	95.30	95.30	85
Viscosidad Saybolt Furol 135°C AASHTO T-72	Seg	137	132	135	134.5	100	
Punto de ablandamiento	°c	50	51	52	51	43	53

Fuente: Elaboración propia

Cemento asfáltico 60/70

Tabla 3.7.21. Caracterización del cemento asfáltico Petroperú Asfalto Sólido 60/70 Pen Refinería (CONCHÁN)

Ensayo	Unid.	1	2	3	Prom	Especificaciones	
						Mínimo	Máximo
Peso picnómetro	gr.	34.82	34.80	34.81			
Peso picnómetro + agua	gr.	67.88	67.90	67.77			
Peso picnómetro + muestra	gr.	56.65	58.70	58.75			
Peso picnómetro + agua + muestra	gr.	68.13	68.10	68.00			
Peso específico	gr/cm ³	1.009	1.006	1.007	1.007		1.05
Punto de inflamación AASHTO T-48	°C	245	241	242	243	>232	
Ductilidad a 25 °C AASHTO T-51	Cm	105	108	110	107	100	
Penetración a 25°C, 100s,5s. (0.1mm) AASHTO T - 49	Lectura 1	65	68	67			
	Lectura 2	66	66	66			
	Lectura 3	66	65	65			
	Promedio	mm	65.7	66.3	66	66	60
Viscosidad Saybolt Furol 135°C AASHTO T-72	Seg	124	127	125	125.5	100	
Punto de ablandamiento	°C	47	48	48	48	43	53

Fuente: Elaboración propia

3.7.4. Caracterización del filler a utilizar

Granulometría que debe cumplir de acuerdo al manual de especificaciones técnicas generales de construcción

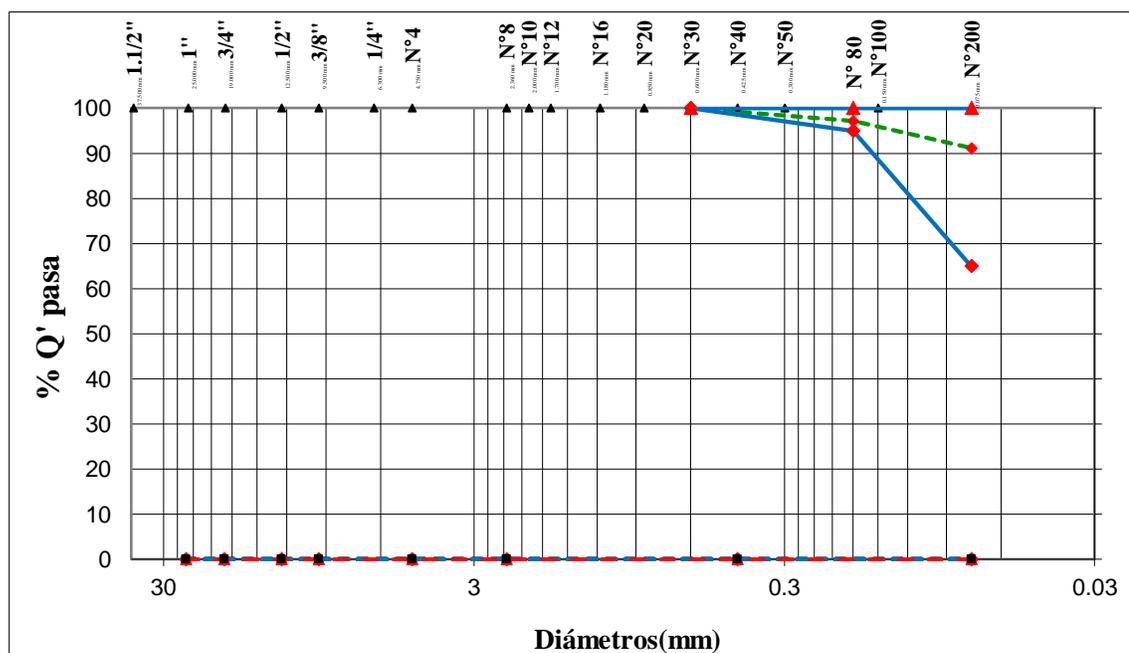
Este procedimiento se puede observar en **A.1.5**.

Tabla 3.7.22. Granulometría filler arcilla

Peso Total Seco	300.0 gr		Abertura
Tamiz	Arcilla cerámica San Luis - Filler		Tamiz
N°	Peso Ret.	% Que Pasa	mm.
1"	0.0	100.00	25.40
3/4"	0.0	100.00	19.10
1/2"	0.0	100.00	12.70
3/8"	0.0	100.00	9.50
N° 4	0.0	100.00	4.75
N° 30	0.0	100.00	0.60
N° 80	1.5	99.50	0.18
N° 200	22.5	92.50	0.075

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.7.1. Granulometría del filler arcilla



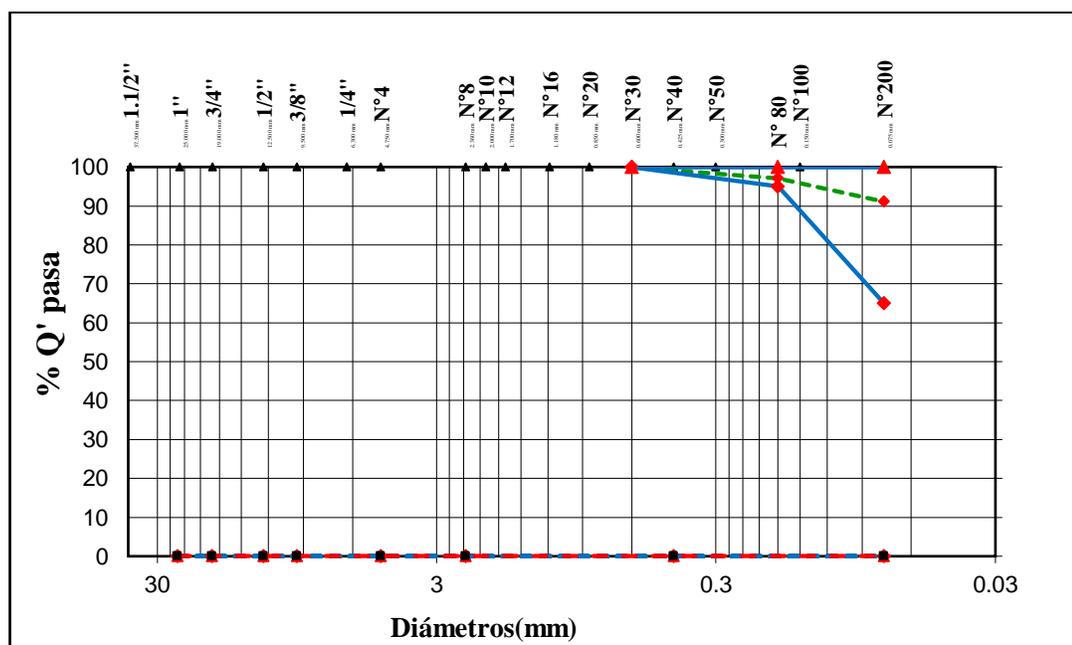
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.7.23. Granulometría filler cemento

Peso Total Seco	202.2 gr		Abertura
Tamiz	Cemento - Filler 0		Tamiz
N°	Peso Ret.	% Que Pasa	mm.
1"	0.00	100.00	25.40
3/4"	0.00	100.00	19.10
1/2"	0.00	100.00	12.70
3/8"	0.00	100.00	9.50
N° 4	0.00	100.00	4.75
N° 30	0.00	100.00	0.60
N° 80	0.00	100.00	0.18
N° 200	7.60	96.20	0.075

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.7.2. Granulometría filler cemento



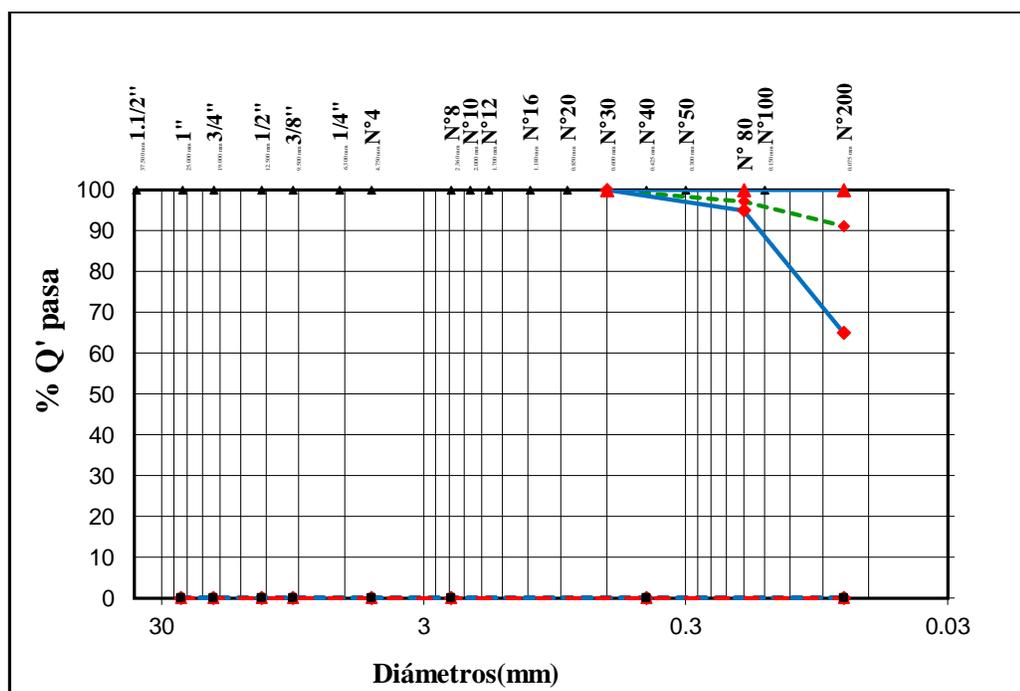
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.7.24. Granulometría filler cal

Peso Total Seco	300.0 gr		Abertura
Tamiz	Cal - Filler		Tamiz
N°	Peso Ret.	% Que Pasa	mm.
1"	0.0	100.0	25.40
3/4"	0.0	100.0	19.10
1/2"	0.0	100.0	12.70
3/8"	0.0	100.0	9.50
N° 4	0.0	100.0	4.75
N° 30	0.0	100.0	0.60
N° 80	8.50	97.20	0.18
N° 200	26.50	91.20	0.075

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.7.3. Granulometría filler cal



Fuente: Elaboración propia

Límite de **ATTERBERG** (Líquido) AASHTO T-89 y T-90 (ASTM D – 4318).de acuerdo al manual de especificaciones técnicas generales de construcción

El procedimiento podemos observar en **A.1.5.3**.

Tabla 3.7.25. Resultados del límite líquido Charaja - Guadalquivir

Resultado de límite líquido Charaja - convencional					
Convencional	16.80	Límite plástico	N.P.	Índice de plasticidad	0.00
Con filler cemento 3%	12.70	Límite plástico	N.P.	Índice de plasticidad	0.00
Con filler cemento 5%	14.10	Límite plástico	N.P.	Índice de plasticidad	0.00
Con filler cemento 7%	14.90	Límite plástico	N.P.	Índice de plasticidad	0.00
Con filler arcilla 3%	13.30	Límite plástico	N.P.	Índice de plasticidad	0.00
Con filler arcilla 5%	16.80	Límite plástico	N.P.	Índice de plasticidad	0.00
Con filler arcilla 7%	19.20	Límite plástico	N.P.	Índice de plasticidad	0.00
Con filler cal 3%	13.10	Límite plástico	N.P.	Índice de plasticidad	0.00
Con filler cal 5%	15.30	Límite plástico	N.P.	Índice de plasticidad	0.00
Con filler cal 7%	17.2	Límite plástico	N.P.	Índice de plasticidad	0.00
Resultado de límite líquido canto rodado del Río Guadalquivir					
Convencional	15.60	Límite plástico	N.P.	Índice de plasticidad	0.00
Con filler cemento 3%	12.20	Límite plástico	N.P.	Índice de plasticidad	0.00
Con filler cemento 5%	13.80	Límite plástico	N.P.	Índice de plasticidad	0.00
Con filler cemento 7%	14.50	Límite plástico	N.P.	Índice de plasticidad	0.00
Con filler arcilla 3%	13.20	Límite plástico	N.P.	Índice de plasticidad	0.00
Con filler arcilla 5%	16.10	Límite plástico	N.P.	Índice de plasticidad	0.00
Con filler arcilla 7%	18.30	Límite plástico	N.P.	Índice de plasticidad	0.00
Con filler cal 3%	12.90	Límite plástico	N.P.	Índice de plasticidad	0.00
Con filler cal 5%	15.00	Límite plástico	N.P.	Índice de plasticidad	0.00
Con filler cal 7%	16.80	Límite plástico	N.P.	Índice de plasticidad	0.00

Fuente: Elaboración propia

Se define como límite líquido, a la humedad, expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados líquido y plástico. Dentro de la investigación se procede a diseñar la mezcla asfáltica con diferentes porcentajes de filler para posteriormente pasar el material por el tamiz N°40 (0,43mm), de acuerdo a las especificaciones técnicas de la ABC.

Se define como límite plástico, a la humedad, expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados plástico y semi-sólido. Para esta prueba se considera a la muestra como no plástica, motivo por el cual no se realizó el ensayo.

Análisis granulométrico por medio del Hidrómetro ASTM-D-422

El análisis hidrométrico se basa en la ley de Stokes, la cual relaciona la velocidad de una esfera, cayendo libremente de un fluido, con el diámetro de la esfera. Se requiere el peso en su estado seco, pudiendo haber variantes de acuerdo a las características del suelo.

El procedimiento podemos observar en **A.1.5.4**.

Limos y arcillas (que pasa el Tamiz N° 200) muestra de 50 a 60 gr.

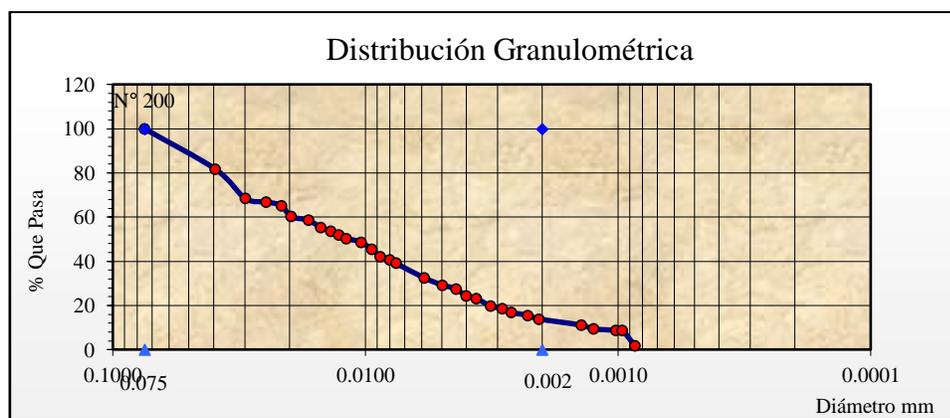
Tabla 3.7.26. Resultados de la granulometría por el método Hidrómetro

Hora de Lectura	Tiempo		Lectura	Lectura	Prof.	Constante	L/t	Ct	Lectura	Diam.	%
	Transc.	Temp.	Real	Correg	Efec.	K			Correg	Partícula	Mas
	min.	°c.	R'	R.	L	Tabla			Rc.	mm	Fino
09:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.075	100
09:01	1	18	49	50	8.1	0.0138	8.100	-0.500	49.500	0.0393	81.68
09:02	2	18	41	42	9.4	0.0138	4.700	-0.500	41.500	0.0299	68.48
09:03	3	18	40	41	9.6	0.0138	3.200	-0.500	40.500	0.0247	66.83
09:04	4	18	39	40	9.7	0.0138	2.425	-0.500	39.500	0.0215	65.18
09:05	5	18	36	37	10.2	0.0138	2.040	-0.500	36.500	0.0197	60.23
09:07	7	18	35	36	10.4	0.0138	1.486	-0.500	35.500	0.0168	58.58
09:09	9	18	33	34	10.7	0.0138	1.189	-0.500	33.500	0.0150	55.28
09:11	11	18	32	33	10.9	0.0138	0.991	-0.500	32.500	0.0137	53.63
09:13	13	18	31	32	11.1	0.0138	0.854	-0.500	31.500	0.0128	51.98
09:15	15	18	30	31	11.2	0.0138	0.747	-0.500	30.500	0.0119	50.33
09:20	20	18	29	30	11.4	0.0138	0.570	-0.500	29.500	0.0104	48.68
09:25	25	18	27	28	11.7	0.0138	0.468	-0.500	27.500	0.0094	45.38
09:30	30	18	25	26	12	0.0138	0.400	-0.500	25.500	0.0087	42.08

09:35	35	19	24	25	12.2	0.0136	0.349	-0.300	24.700	0.0080	40.76
09:40	40	19	23	24	12.4	0.0136	0.310	-0.300	23.700	0.0076	39.11
10:10	70	19	19	20	13	0.0136	0.186	-0.300	19.700	0.0059	32.51
10:40	100	19	17	18	13.3	0.0136	0.133	-0.300	17.700	0.0050	29.21
11:10	130	19	16	17	13.5	0.0136	0.104	-0.300	16.700	0.0044	27.56
11:40	160	19	14	15	13.8	0.0136	0.086	-0.300	14.700	0.0040	24.26
12:10	190	20	13	14	14	0.0134	0.074	0.000	14.000	0.0036	23.10
13:10	250	20	11	12	14.3	0.0134	0.057	0.000	12.000	0.0032	19.80
14:10	310	21	10	11	14.5	0.0133	0.047	0.200	11.200	0.0029	18.48
15:10	370	21	9	10	14.7	0.0133	0.040	0.200	10.200	0.0027	16.83
17:10	490	22	8	9	14.8	0.0131	0.030	0.400	9.400	0.0023	15.51
19:10	610	22	7	8	15	0.0131	0.025	0.400	8.400	0.0021	13.86
09:00	1440	19	6	7	15.2	0.0136	0.011	-0.300	6.700	0.0014	11.06
15:00	1800	19	5	6	15.3	0.0136	0.009	-0.300	5.700	0.0013	9.41
09:00	2880	17	5	6	15.3	0.0140	0.005	-0.700	5.300	0.0010	8.75
15:00	3240	17	5	6	15.3	0.0140	0.005	-0.700	5.300	0.0010	8.75
09:00	4320	16	1	2	16	0.0141	0.004	-0.900	1.100	0.0009	1.82

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.7.4. Curva granulométrica obtenida por el método Hidrómetro



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.7.27. Porcentaje de limo y arcilla en la práctica mediante el Hidrómetro

% Pasa 200	=	100.00
% Limo Parcial	=	46.91
% Arcilla Parcial	=	53.09

Fuente: Elaboración propia

3.8. DISEÑO MARSHALL

El diseño de las mezclas asfálticas en caliente se realizó en el laboratorio, para evaluar el comportamiento de la mezcla frente al desgaste utilizando diferentes tipos de filler como cemento, cal y arcilla pura, utilizando el filler en las siguientes proporciones para cada uno 3%, 5% y 7%, para hallar nuestro contenido óptimo se trabajó con contenidos de asfalto de 4.5, 5, 5.5, 6 y 6.5 tomando como referencia la mezcla asfáltica convencional para analizar resultados, luego de determinar nuestro contenido óptimo de cemento asfáltico se procedió a fabricar las briquetas para realizar el ensayo de Cántabro en la máquina de los Ángeles sin carga abrasiva.

Para determinar el contenido óptimo de asfalto, se realizó el ensayo Marshall con cinco series de tres probetas para cada tipo de filler y diferente porcentaje, variando los contenidos de cada serie entre 4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5%.

3.8.1. Combinación de agregados

Tabla 3.8.1. Dosificación de materiales

Tamices N°	% retenido	% que pasa	Especificaciones	
			Mínimo	Máximo
1"	0.00	100.00	100	100
3/4"	0.46	99.54	97	100
1/2"	17.37	82.63	76	88
3/8"	26.44	73.56	-	-
4	45.80	54.20	49	59
8	58.05	41.95	36	45
40	84.56	15.44	14	22
200	96.41	3.59	3	7
Filler	100.00	0.00	-	-

Fuente: Elaboración propia

3.8.2. Criterio del número de briquetas

Determinación del contenido teórico del asfalto, con la granulometría se tiene una dosificación tentativa, con la cual se procede a elaborar 3 briquetas para cierto porcentaje de cemento asfáltico podemos observar en la tabla **3.8.2.**

Tabla 3.8.2. Variaciones del porcentaje de cemento asfáltico para encontrar el óptimo

Porcentaje de cemento asfáltico	Cantidad de ensayos a realizar
4,50%	3
5,00%	3
5,50%	3
6,00%	3
6,50%	3
Total briquetas elaboradas	15

Fuente: Elaboración propia

Se realizó 15 briquetas para diferente porcentaje de asfalto variando de 0.5%, con respecto al porcentaje teórico calculado de cemento asfáltico.

Detalle de la investigación

Mezclas convencionales.- Se trabajó con dos tipos de agregados, material chancado y canto rodado, dos tipos de cemento asfáltico 85/100 y 60/70, motivo por el cual se elaboró 15 briquetas por cada tipo de material, en total 60 briquetas.

Mezcla modificada.- Se trabajó con los porcentajes de filler cemento, arcilla y cal al 3%, 5% y 7% de acuerdo a nuestra faja granulométrica elaborando 15 briquetas para cada tipo de material y porcentaje de filler.

Tabla 3.8.3. Elaboración de briquetas para la investigación

Descripción		Cantidad
Briquetas de mezclas convencionales para determinar porcentaje		60
Briquetas modificadas con filler.	3%	120
	5%	120
	7%	120
Total		360

Fuente: Elaboración propia

Determinación del contenido teórico de cemento asfáltico

Para la determinación del contenido teórico de asfalto según el estudio previo titulado “Evaluación del efecto de la cal hidratada y el polvo de ladrillo utilizado como relleno mineral en las propiedades de una mezcla asfáltica”.

$$A = 0,035 * a + 0,045 * b + K * c + F$$

Donde:

A = % de asfalto en la mezcla.

a = % Retenido tamiz N°8.

b = % Pasante tamiz N°8.

c = % de agregado que pasa la malla N°200.

K = 0,15, si él % que retiene el tamiz N°3/4" está entre 11% y 15%.

0,18, si él % que retiene está entre 6% y 10%.

0,20, si él % que retiene es el 5% o menos.

F= de 0 a 2% que varía según la absorción del material (se puede asumir 0,7).

Cálculo:

a = 58.1%

b = 41.9%

c = 3.6%

K = 0,20 debido a que el porcentaje retenido en el tamiz N°3/4" es 0,83% lo cual es menor al 5%.

F = 0,7

$$A = 0,035 (58.1) + 0,045 (41.9) + 0.2 (3.6) + 0.7$$

$$\mathbf{A = 5.00\%}$$

Contenido aproximado de asfalto 5.00%, por tal motivo trabajamos con porcentajes aproximados incrementando el asfalto en 0.5%.

3.8.3. Elaboración de las briquetas

Equipo:

Martillo de compactación.

Moldes para probetas.

Dispositivo para desmoldar las probetas.

Papel filtro.

Balanza A ± 0.1 gr.

Bandejas metálicas.

Termómetro.

Espátula.

Asfalto 85-100 y 60/70

Equipo Marshall.

Procedimiento:

Se procede a calentar los moldes más el martillo de compactación a una temperatura aproximada de 100 y 150 °C sobre una plancha metálica para evitar la llama directa al material, luego realizamos el pesaje de los agregados para cada diseño, se coloca la bandeja en la balanza y colocamos en cero, luego de acuerdo a cada diseño introducimos nuestro material acumulativo de cada corte ya establecido y previamente calentado a una temperatura de 175°C a 190°C, por otra parte el cemento asfáltico se debe calentar a una temperatura de 120°C a 140°C de acuerdo al ensayo de viscosidad, al momento de introducir el asfalto se debe crear un orificio en el centro del agregado para evitar pérdidas, luego se tiene que mezclar de forma continua controlando su temperatura y cuidando de no sobrecalentar el material.

Para el diseño se aplicaron 75 golpes por cara de las briquetas elaboradas para la investigación, luego dejamos enfriar aproximadamente por media hora luego se procede a desmoldar.

Estabilidad y fluencia

Se procede previamente a medir sus alturas en cuatro puntos con la ayuda de un vernier, determinamos su altura y luego se corrige mediante un factor de corrección.

Luego se tiene que obtener su peso en seco, saturado superficialmente seco y sumergido, luego de tomar todos los datos necesario se procede a colocar en baño maría a $60^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ($140 \pm 1,8^{\circ}\text{F}$) durante un tiempo no inferior a 30 minutos ni mayor a 40 minutos, luego se prepara el aparato Marshall se limpian las mordazas y se realiza el ensayo de estabilidad y fluencia a una velocidad de deformación constante de 50,8mm por minuto hasta que se produce la rotura. El punto de rotura se define por la carga máxima obtenida. El número total de libras necesarias para producir la rotura de la muestra a 60°C (150°F) se anota como valor de estabilidad Marshall.

La estabilidad es medida en (Lb) y la fluencia en (Pulg), de acuerdo al equipo y a la ecuación de calibración del anillo.

Densidad real de la briqueta

$$\text{Densidad real } \left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right] = \frac{\text{Peso de la briqueta en el aire}}{\text{Volumen de la muestra}}$$

Densidad máxima teórica

$$\text{Densidad máx. } \left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right] = \frac{100}{\frac{\% \text{ de asfalto}}{\text{peso específico asfalto}} + \frac{100 - \% \text{ de asfalto}}{\text{peso específico agregado grueso}}}$$

Porcentaje de vacíos (Vv)

$$V_v(\%) = \frac{\text{Densidad máx} - \text{Densidad real promedio}}{\text{Densidad máx}} * 100\%$$

Porcentaje de vacíos en los agregados minerales (V.A.M)

$$V.A.M (\%) = \frac{\% \text{ de asfalto} * \text{Densidad real promedio}}{\text{Peso específico de asfalto}} + \% \text{ de vacíos (Vv)}$$

Porcentaje de vacíos en el Bitumen (RBV)

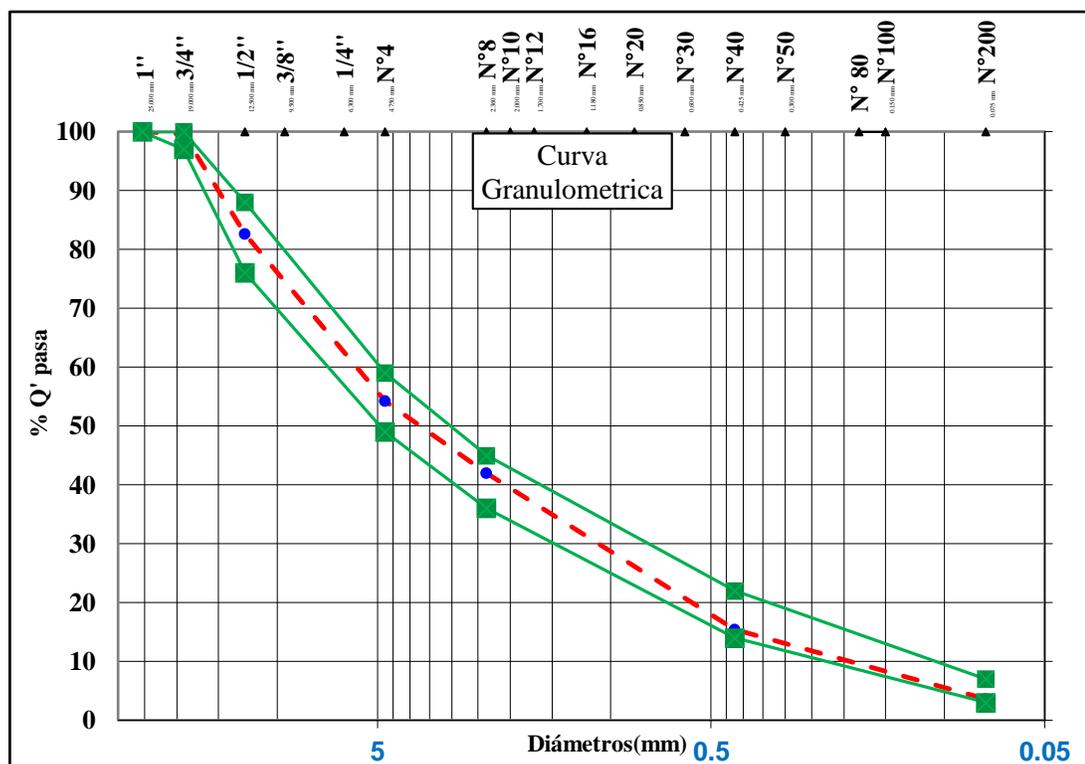
$$RBV (\%) = \frac{V.A.M - V_v}{V.A.M * 100}$$

Tabla 3.8.4. Granulometría mezcla convencional material chancado

Agregado		Grava		Gravilla		Arena triturada		% Que pasa	Faja	
% Usado		30%		20%		50%			Especificación . grad. media	
Tamices		% Total	% Enc.	% Total	% Enc.	% Total	% Enc.		Inf.	Sup.
Pulg	mm.									
1"	25.40	100.0	30.0	100.0	20.0	100.0	50.0	100.00	100	100
3/4"	19.10	98.5	29.5	100.0	20.0	100.0	50.0	99.50	97	100
1/2"	12.50	42.7	12.8	99.1	19.8	100.0	50.0	82.60	76	88
3/8"	9.50	13.9	4.2	96.9	19.4	100.0	50.0	73.60		
N° 4	4.75	0.4	0.1	24.2	4.8	98.5	49.2	54.20	49	59
N° 8	2.360	0.3	0.1	1.5	0.3	83.1	41.5	41.90	36	45
N° 40	0.425	0.3	0.1	0.8	0.2	30.4	15.2	15.40	14	22
N° 200	0.075	0.2	0.1	0.7	0.1	6.8	3.4	3.60	3	7

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.8.1. Curva granulométrica - mezcla convencional



Fuente: Elaboración propia

3.9. RESULTADOS DEL MARSHALL

3.9.1. Resumen de resultados de los diseños

Tabla 3.9.1. Resultados de la mezcla convencional

Mezcla asfáltica convencional					Especificaciones técnicas	
Características	Material procesado		Canto rodado			
	C.A. 85/100	C.A. 60/70	C.A. 85/100	C.A. 60/70		
% Óptimo de C.A.	5.63	5.59	5.47	5.49	-	
Densidad (gr/cm ³)	2.34	2.34	2.34	2.34	-	-
% Vacíos (%)	3.55	3.58	4.30	4.20	3	5
% RBV (%)	78.65	78.60	74.72	74.98	75	82
% VAM (%)	16.62	16.62	16.85	16.94	-	-
Estabilidad (Lb)	2590.00	2638.00	1950.00	2096.00	>1500 lb (75 golpes)	
Flujo (1/100 plg)	13.00	12.60	12.65	13.10	8	16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.9.2. Mezcla con adición de cemento utilizando material chancado y C.A. 85/100, tomando como patrón la mezcla convencional

Mezcla asfáltica con material chancado					Especificaciones técnicas	
Características	Convencional	Con cemento PORTLAND IP-30				
	C.A. 85/100	3%	5%	7%		
% Óptimo de C.A.	5.63	5.45	5.56	5.49	-	
Densidad (gr/cm ³)	2.34	2.34	2.36	2.37	-	-
% Vacíos (%)	3.55	4.45	3.92	3.45	3	5
% RBV (%)	78.65	74.00	76.80	79.20	75	82
% VAM (%)	16.62	17.20	16.95	16.85	-	-
Estabilidad (Lb)	2590.00	2632.00	2884.00	3098.00	>1500 lb (75 golpes)	
Flujo (1/100 plg)	13.00	11.50.	12.40	13.30	8	16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.9.3. Mezcla con adición de arcilla utilizando material chancado y C.A. 85/100, tomando como patrón la mezcla convencional

Mezcla asfáltica con material chancado					Especificaciones técnicas	
Características	Convencional	Con arcilla				
	C.A. 85/100	3%	5%	7%		
% Óptimo de C.A.	5.63	5.53	5.61	5.77	-	
Densidad (gr/cm ³)	2.34	2.32	2.33	2.35	-	-
% Vacíos (%)	3.55	4.45	4.05	3.66	3	5
% RBV (%)	78.65	74.00	76.48	78.50	75	82
% VAM (%)	16.62	17.20	17.05	17.15	-	-
Estabilidad (Lb)	2590.00	2018.00	2392.00	2215.00	>1500 lb (75 golpes)	
Flujo (1/100 plg)	13.00	12.40	14.00	17.40	8	16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.9.4. Mezcla con adición de cal hidratada utilizando material chancado y C.A. 85/100, tomando como patrón la mezcla convencional

Mezcla asfáltica con material chancado					Especificaciones técnicas	
Características	Convencional	Con cal hidratada				
	C.A. 85/100	3%	5%	7%		
% Óptimo de C.A.	5.63	5.60	5.85	6.08	-	
Densidad (gr/cm ³)	2.34	2.33	2.32	2.30	-	-
% Vacíos (%)	3.55	3.75	3.64	3.60	3	5
% RBV (%)	78.65	77.50	78.76	79.26	75	82
% VAM (%)	16.62	16.75	17.00	17.40	-	-
Estabilidad (Lb)	2590.00	2325.00	2089.00	1855.00	>1500 lb (75 golpes)	
Flujo (1/100 plg)	13.00	14.50	17.00	18.40	8	16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.9.5. Mezcla con adición de cemento utilizando material chancado y C.A. 60/70, tomando como patrón la mezcla convencional

Mezcla asfáltica con material chancado					Especificaciones técnicas	
Características	Convencional	Con cemento PORTLAND IP-30				
	C.A. 60/70	3%	5%	7%		
% Óptimo de C.A.	5.59	5.47	5.58	5.71	-	
Densidad (gr/cm ³)	2.34	2.34	2.36	2.37	-	-
% Vacíos (%)	3.58	4.40	3.86	3.37	3	5
% RBV (%)	78.60	74.16	76.88	79.86	75	82
% VAM (%)	16.62	17.12	16.92	16.76	-	-
Estabilidad (Lb)	2638.00	2694.00	2932.00	3156.00	>1500 lb (75 golpes)	
Flujo (1/100 plg)	12.60	11.70	12.50	12.90	8	16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.9.6. Mezcla con adición de arcilla utilizando material chancado y C.A. 60/70, tomando como patrón la mezcla convencional

Mezcla asfáltica con material chancado					Especificaciones técnicas	
Características	Convencional	Con arcilla				
	C.A. 60/70	3%	5%	7%		
% Óptimo de C.A.	5.59	5.51	5.63	5.80	-	
Densidad (gr/cm ³)	2.34	2.32	2.33	2.35	-	-
% Vacíos (%)	3.58	4.44	4.08	3.60	3	5
% RBV (%)	78.60	73.97	76.32	78.64	75	82
% VAM (%)	16.62	17.12	17.10	17.08	-	-
Estabilidad (Lb)	2638.00	2084.00	2522.00	2342.00	>1500 lb (75 golpes)	
Flujo (1/100 plg)	12.60	12.75	13.20	17.90	8	16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.9.7. Mezcla con adición de arcilla utilizando material chancado y C.A. 60/70, tomando como patrón la mezcla convencional

Mezcla asfáltica con material chancado					Especificaciones técnicas	
Características	Convencional	Con cal				
	C.A. 60/70	3%	5%	7%		
% Óptimo de C.A.	5.59	5.62	5.88	6.06	-	
Densidad (gr/cm ³)	2.34	2.33	2.32	2.31	-	-
% Vacíos (%)	3.58	3.72	3.54	3.57	3	5
% RBV (%)	78.60	77.86	79.20	79.32	75	82
% VAM (%)	16.62	16.70	16.90	17.32	-	-
Estabilidad (Lb)	2638.00	2440.00	2180.00	1952.00	>1500 lb (75 golpes)	
Flujo (1/100 plg)	12.60	14.20	17.40	18.00	8	16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.9.8. Mezcla con adición de cemento utilizando material de canto rodado y C.A. 85/100, tomando como patrón la mezcla convencional

Mezcla asfáltica con material de canto rodado					Especificaciones técnicas	
Características	Convencional	Con cemento PORTLAND IP-30				
	C.A. 85/100	3%	5%	7%		
% Óptimo de C.A.	5.47	5.45	5.53	5.60	-	
Densidad (gr/cm ³)	2.34	2.33	2.35	2.36	-	-
% Vacíos (%)	4.30	4.92	3.76	3.70	3	5
% RBV (%)	74.72	72.00	77.00	78.20	75	82
% VAM (%)	16.85	17.50	16.78	16.86	-	-
Estabilidad (Lb)	1950.00	2090.00	2275.00	2435.00	>1500 lb (75 golpes)	
Flujo (1/100 plg)	12.65	11.50	12.70	13.80	8	16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.9.9. Mezcla con adición de arcilla utilizando material de canto rodado y C.A. 85/100, tomando como patrón la mezcla convencional

Mezcla asfáltica con material de canto rodado					Especificaciones técnicas	
Características	Convencional	Con arcilla				
	C.A. 85/100	3%	5%	7%		
% Óptimo de C.A.	5.47	5.49	5.58	5.72	-	
Densidad (gr/cm ³)	2.34	2.32	2.33	2.34	-	-
% Vacíos (%)	4.30	4.12	3.87	3.32	3	5
% RBV (%)	74.72	75.43	76.86	79.92	75	82
% VAM (%)	16.85	16.76	16.82	16.66	-	-
Estabilidad (Lb)	1950.00	1928.00	2072.00	2208.00	>1500 lb (75 golpes)	
Flujo (1/100 plg)	12.65	12.00	13.16	16.20	8	16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.9.10. Mezcla con adición de cal utilizando material de canto rodado y C.A. 85/100, tomando como patrón la mezcla convencional

Mezcla asfáltica con material de canto rodado					Especificaciones técnicas	
Características	Convencional	Con cal hidratada				
	C.A. 85/100	3%	5%	7%		
% Óptimo de C.A.	5.47	5.55	5.77	6.01	-	
Densidad (gr/cm ³)	2.34	2.32	2.31	2.30	-	-
% Vacíos (%)	4.30	3.92	3.74	3.42	3	5
% RBV (%)	74.72	76.40	77.82	79.96	75	82
% VAM (%)	16.85	16.72	16.94	17.18	-	-
Estabilidad (Lb)	1950.00	1882.00	1765.00	1685.00	>1500 lb (75 golpes)	
Flujo (1/100 plg)	12.65	13.40	16.30	18.26	8	16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.9.11. Mezcla con adición de cemento utilizando material de canto rodado y C.A. 60/70, tomando como patrón la mezcla convencional

Mezcla asfáltica con material de canto rodado					Especificaciones técnicas	
Características	Convencional	Con cemento PORTLAND IP-30				
	C.A. 60/70	3%	5%	7%		
% Óptimo de C.A.	5.49	5.42	5.53	5.62	-	
Densidad (gr/cm ³)	2.34	2.33	2.35	2.36	-	-
% Vacíos (%)	4.20	4.88	3.72	3.68	3	5
% RBV (%)	74.98	71.90	77.18	78.00	75	82
% VAM (%)	16.94	17.38	16.65	16.88	-	-
Estabilidad (Lb)	2096.00	2250.00	2333.00	2562.00	>1500 lb (75 golpes)	
Flujo (1/100 plg)	13.10	11.20	12.80	14.20	8	16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.9.12. Mezcla con adición de arcilla utilizando material de canto rodado y C.A. 60/70, tomando como patrón la mezcla convencional

Mezcla asfáltica con material de canto rodado					Especificaciones técnicas	
Características	Convencional	Con arcilla				
	C.A. 60/70	3%	5%	7%		
% Óptimo de C.A.	5.49	5.51	5.56	5.70	-	
Densidad (gr/cm ³)	2.34	2.32	2.33	2.35	-	-
% Vacíos (%)	4.20	4.00	3.85	3.40	3	5
% RBV (%)	74.98	75.80	77.00	79.60	75	82
% VAM (%)	16.94	16.63	16.75	16.62	-	-
Estabilidad (Lb)	2096.00	2065.00	2174.00	2310.00	>1500 lb (75 golpes)	
Flujo (1/100 plg)	13.10	12.40	13.36	16.30	8	16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.9.13. Mezcla con adición de cal utilizando material de canto rodado y C.A. 60/70, tomando como patrón la mezcla convencional

Mezcla asfáltica con material de canto rodado					Especificaciones técnicas	
Características	Convencional	Con cal				
	C.A. 60/70	3%	5%	7%		
% Óptimo de C.A.	5.49	5.57	5.74	6.01	-	
Densidad (gr/cm ³)	2.34	2.32	2.31	2.30	-	-
% Vacíos	4.20	3.87	3.70	3.40	3	5
% RBV	74.98	76.52	77.80	79.80	75	82
% VAM	16.94	16.68	16.84	17.02	-	-
Estabilidad (Lb)	2096.00	1915.00	1772.00	1720.00	>1500 lb (75 golpes)	
Flujo (1/100 plg)	13.10	13.00	16.50	19.00	8	16

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

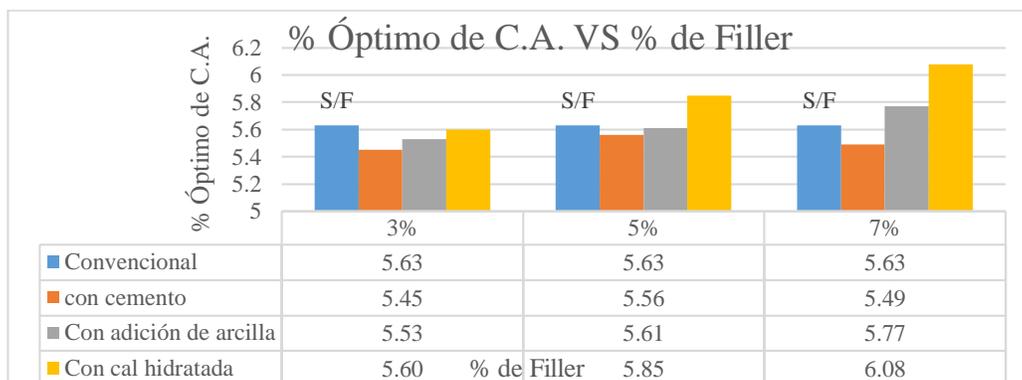
ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DEL DESGASTE MEDIANTE EL MÉTODO CÁNTABRO

4.1. ANÁLISIS Y RESULTADO DEL MARSHALL

4.1.1. Comparación del contenido óptimo de asfalto para los diferentes diseños con material chancado y C.A. 85/100

Se realizó el análisis del contenido óptimo para cada diseño como se muestra en la **gráfica 4.1.1**, podemos observar que el contenido de asfalto aumenta al introducir como filler arcilla y cal al 5% y 7% con relación al convencional, en especial la cal debido a sus propiedades que tiene la capacidad de reducir la sensibilidad hacia la humedad, rápidamente absorbe al cemento asfáltico cambiando su textura y haciendo más ligero.

Gráfico 4.1.1. Comparación del contenido óptimo de cemento asfáltico

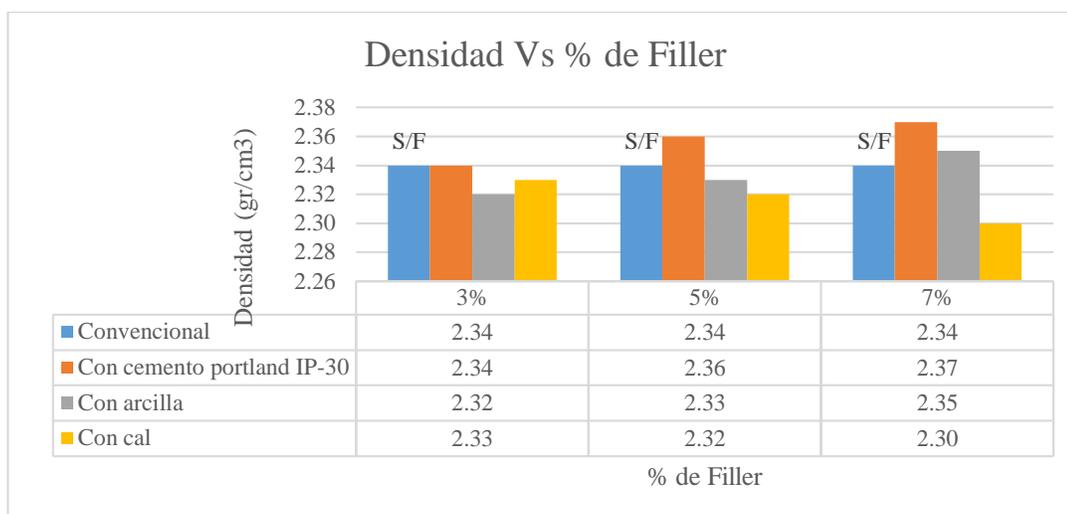


Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Comparación de la densidad utilizando material chancado y C.A. 85/100

Se puede apreciar en el **gráfico 4.1.2**, que la densidad baja considerablemente con respecto a la mezcla convencional cuando se adiciona cal como filler al 7%, si la densidad disminuye los vacíos son mayores por lo tanto será vulnerable al agua, pasa lo contrario al utilizar cemento al 7% como filler ya que se obtiene muy buena densidad.

Gráfico 4.1.2.Comparación de la densidad

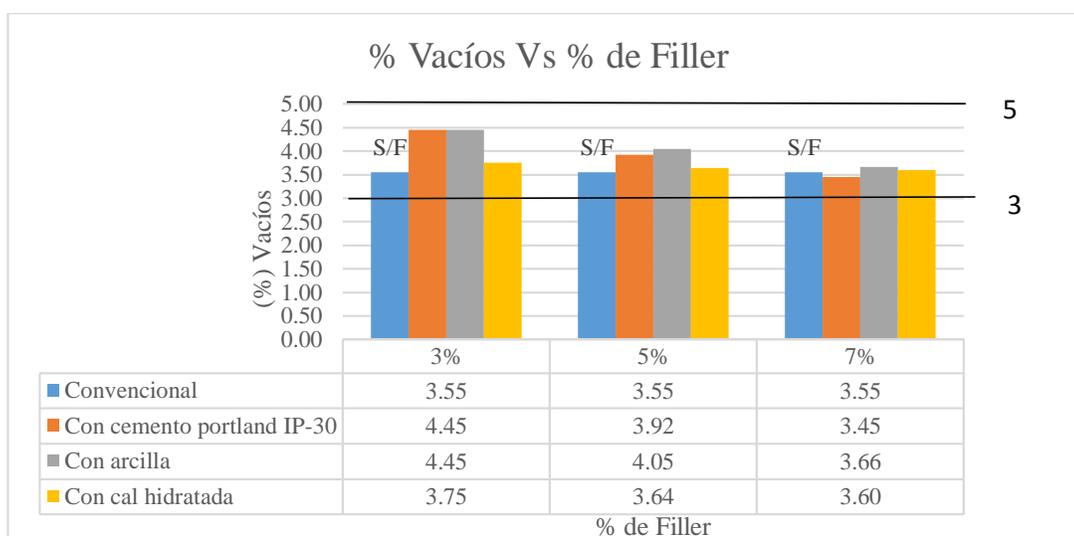


Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Comparación del % de vacíos totales de la mezcla utilizando material chancado con C.A. 85/100

Podemos observar en el **gráfico 4.1.3**, que al incrementar el porcentaje de filler al 7% los vacíos en la mezcla son menores, esto debido a que se incrementa los finos haciendo que la mezcla sea más homogénea y permitiéndola cerrar todos los poros.

Gráfico 4.1.3. Comparación del % de vacíos

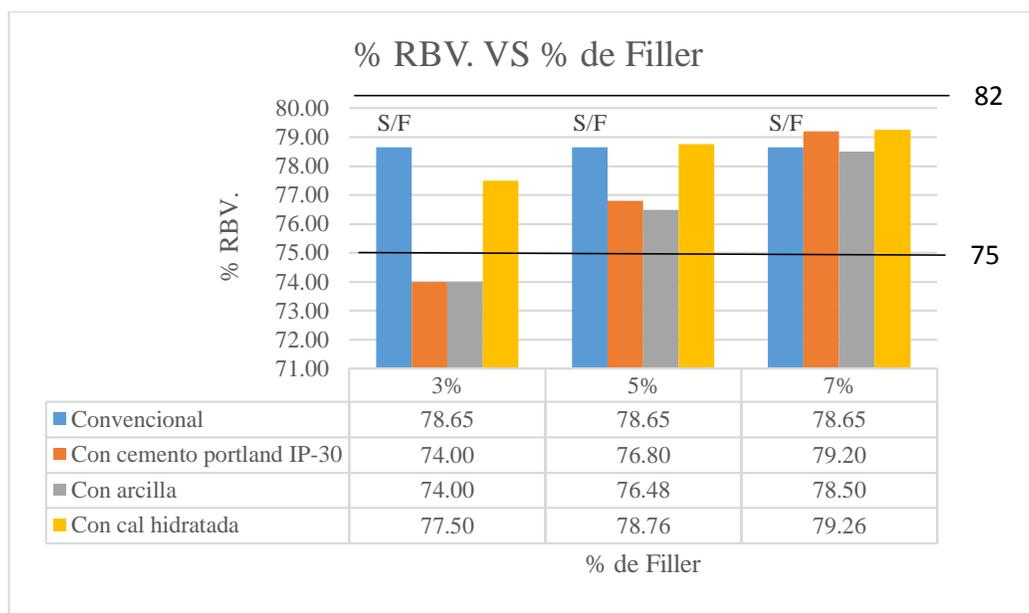


Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Comparación de porcentaje de vacíos en el betún (% RBV) utilizando agregado chancado y C.A. 85/100

Podemos observar en el **gráfico 4.1.4**, que agregando la arcilla y el cemento como filler al 3% no cumple con las especificaciones técnicas, esto debido a que el asfalto no logra cubrir en su totalidad las partículas, a diferencia de la cal que si nos cumple, también podemos observar que al incrementar el filler en 5% y 7% si nos cumple.

Gráfico 4.1.4. Comparación del % de RBV

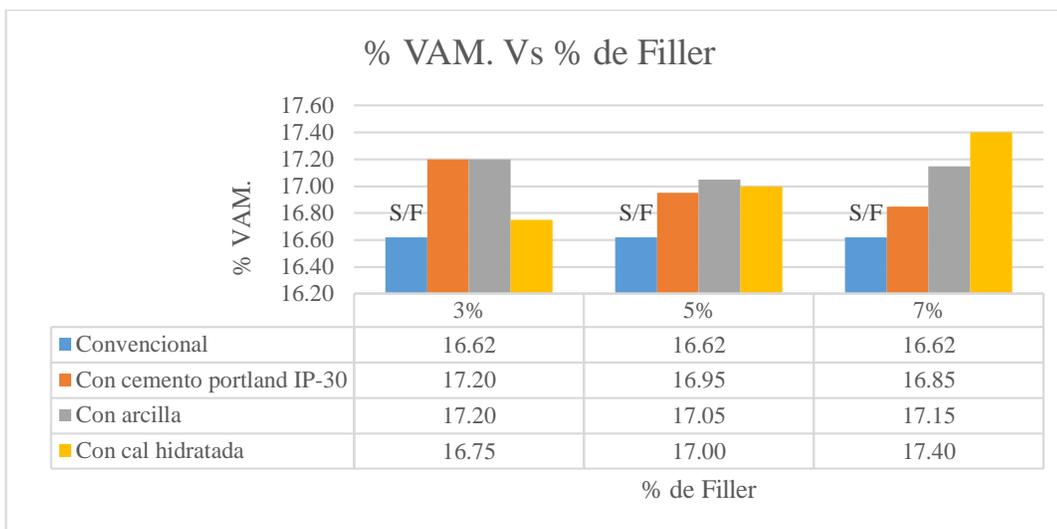


Fuente: Elaboración propia

4.1.5. Comparación del porcentaje de vacíos en el agregado mineral (% VAM) utilizando agregado chancado y C.A. 85/100

Podemos observar en el **gráfico 4.1.5**, que a mayor porcentaje de arcilla y cal como filler al 7% los vacíos en el agregado mineral crecen esto debido a que existe más espacio para la película de asfalto cubriendo de mejor manera el agregado, a diferencia del cemento que mientras se agrega más filler el VAM tiende a decrecer.

Gráfico 4.1.5.Comparación del % de VAM

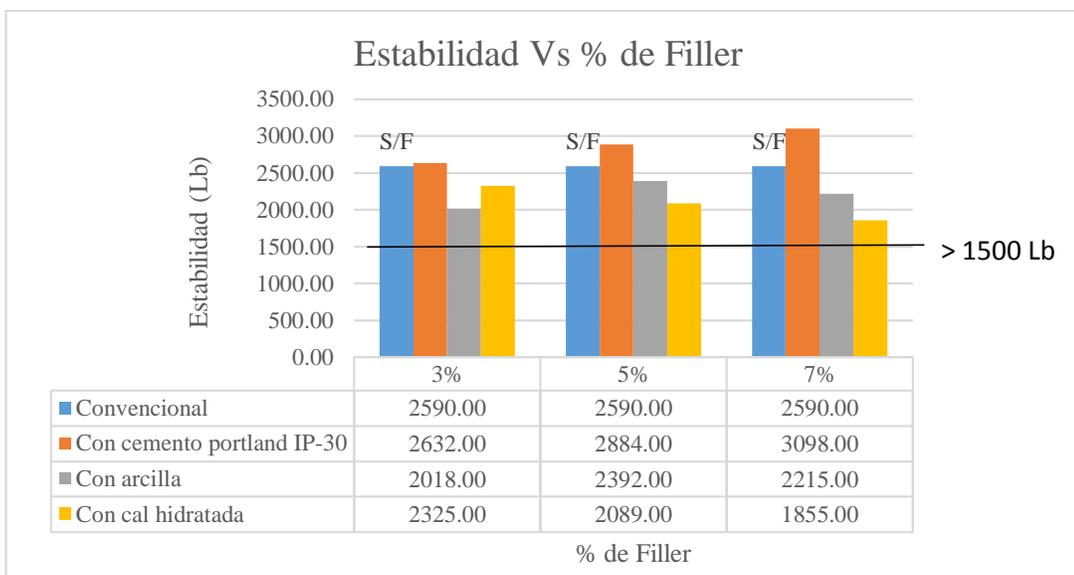


Fuente: Elaboración propia

4.1.6.Comparación de la estabilidad utilizando material chancado y C.A. 85/100

Se puede observar en el **gráfico 4.1.6**, que se obtiene mejor estabilidad con el cemento como filler al 7%, a diferencia de la cal y la arcilla pasa todo lo contrario agregando filler al 7% la estabilidad decrece.

Gráfico 4.1.6.Comparación de la estabilidad

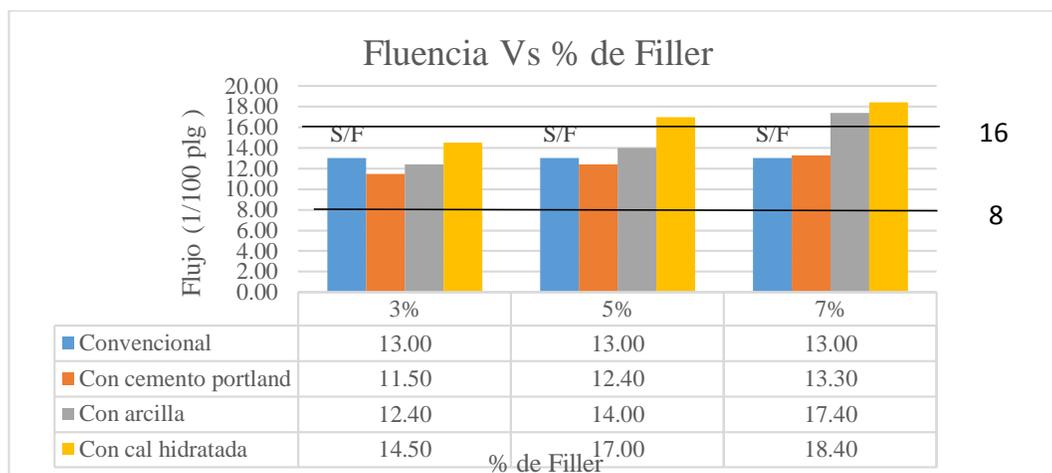


Fuente: Elaboración propia

4.1.7. Comparación la fluencia utilizando material chancado y C.A. 85/100

Podemos observar en el gráfico **4.1.7**, que a medida que se incrementa el 7% de filler la fluencia mejora considerablemente, tanto que se sale de las especificaciones técnicas.

Gráfico 4.1.7. Comparación de la fluencia

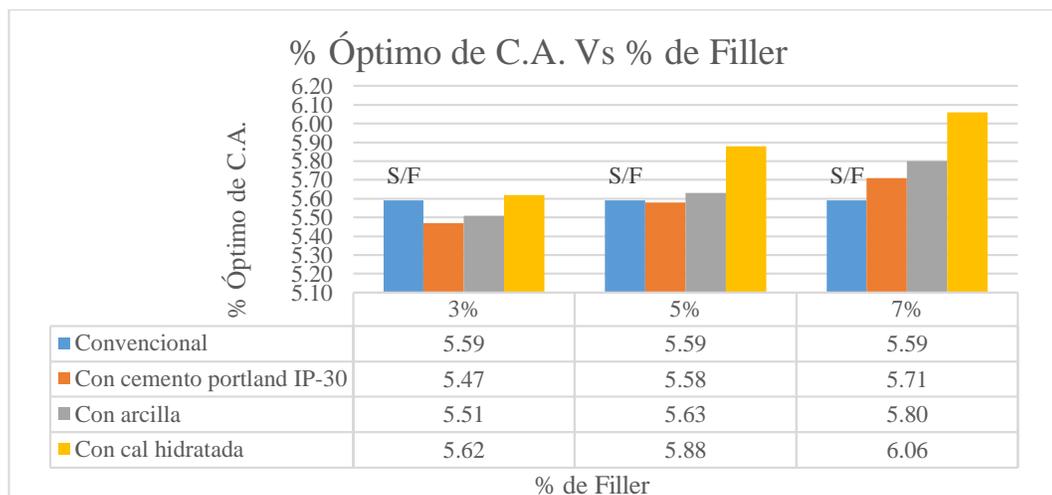


Fuente: Elaboración propia

4.1.8. Comparación de contenido óptimo de asfalto para los diferentes diseños con material chancado y C.A. 60/70

Se puede observar en el **gráfico 4.1.8**, que al incrementar el porcentaje de filler también incrementa el contenido de cemento asfáltico.

Gráfico 4.1.8. Comparación del contenido óptimo de cemento asfáltico

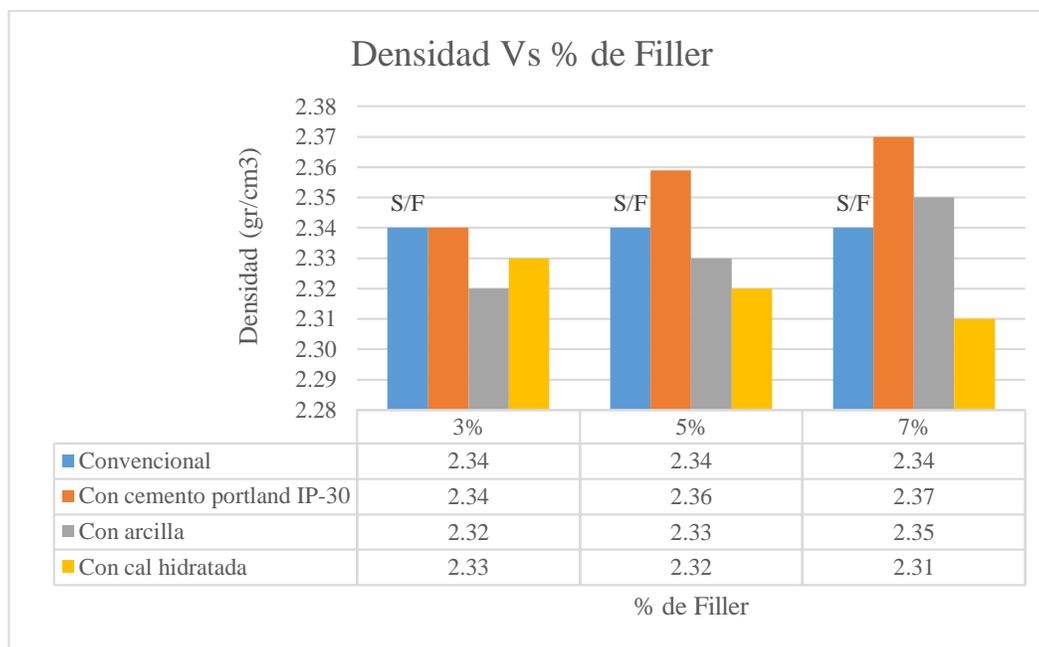


Fuente: Elaboración

4.1.9. Comparación de la densidad utilizando material chancado y C.A. 60/70

Podemos observar en el **gráfico 4.1.9**, que el cemento y la arcilla incrementan su densidad a medida que se adiciona más filler, a diferencia de la cal que decrece cuando se agrega filler al 7%.

Gráfico 4.1.9. Comparación de la densidad

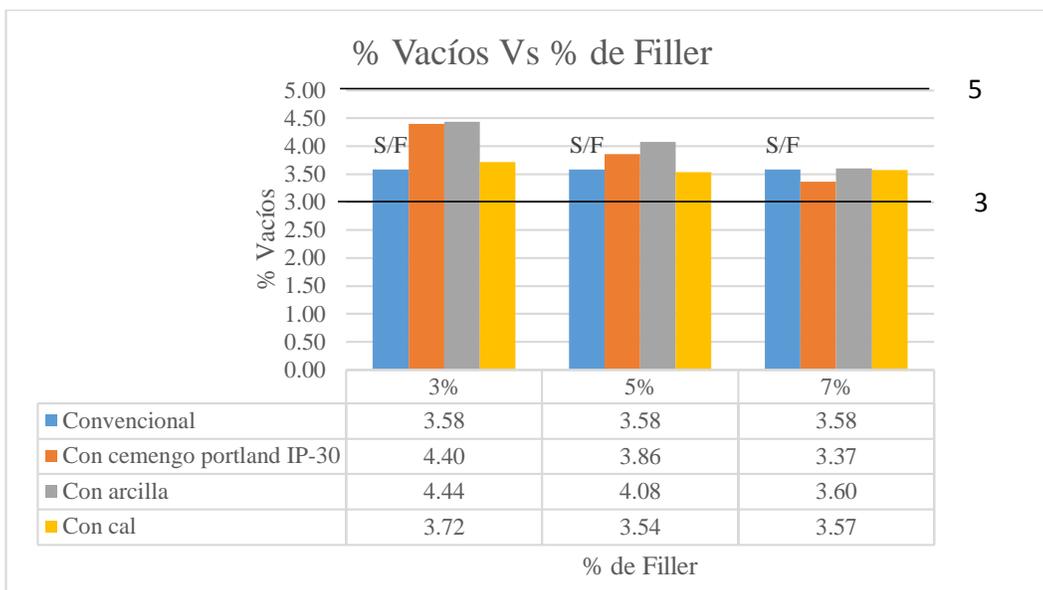


Fuente: Elaboración propia

4.1.10. Comparación del % de vacíos totales de la mezcla utilizando material chancado y C.A. 60/70

Podemos observar en el **gráfico 4.1.10**, que al incrementar el porcentaje de filler en 7% los vacíos en la mezcla son menores, debido a que se incrementa los finos haciendo que la mezcla sea más homogénea permitiéndola cerrar los poros, el cemento al 7% presenta menos vacíos debido a que se rigidiza, la arcilla tiende a tener el mismo comportamiento, mientras que la cal tiende a mantener su porcentaje de vacíos en 3%, 5% y 7% de incremento de filler.

Gráfico 4.1.10.Comparación del % de vacíos

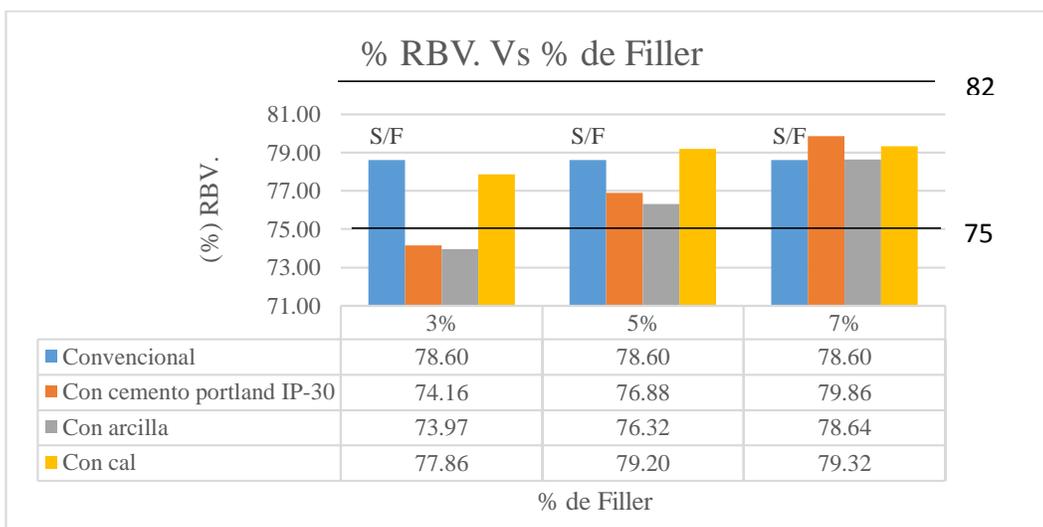


Fuente: Elaboración propia

4.1.11. Comparación del porcentaje de vacíos en el betún (% RBV) utilizando agregado chancado y C.A. 60/70

Podemos observar en el **gráfico 4.1.11**, que el cemento y la arcilla como filler al 3% no llegan a cumplir las especificaciones técnicas, esto sucede porque no se cubre en su totalidad las partículas

Gráfico 4.1.11.Comparación del % de RBV

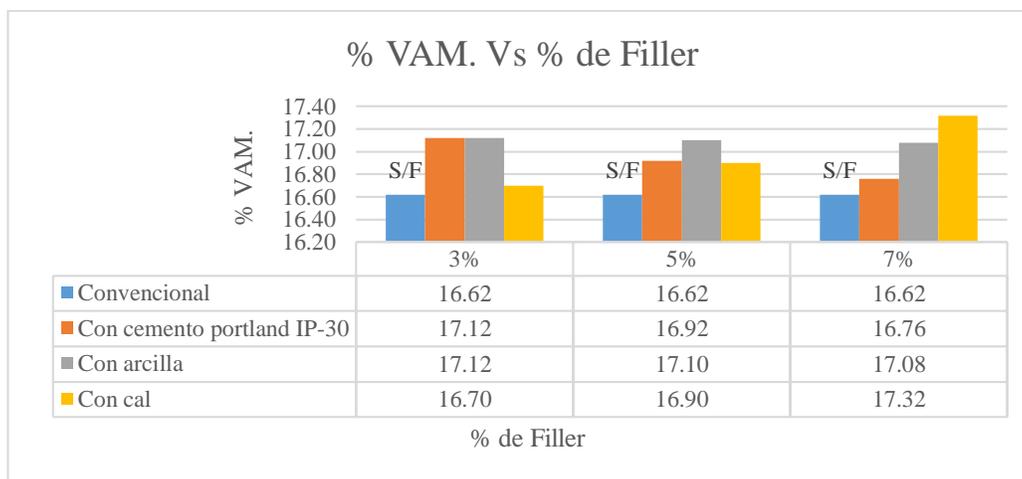


Fuente: Elaboración propia

4.1.12. Comparación del porcentaje de vacíos en el agregado mineral (% VAM) utilizando agregado chancado y C.A. 60/70

Podemos observar en el **gráfico 4.1.12**, que a mayor porcentaje de cal en 7% los vacíos en el agregado mineral crecen, a diferencia del cemento pasa lo contrario.

Gráfico 4.1.12.Comparación del % de VAM

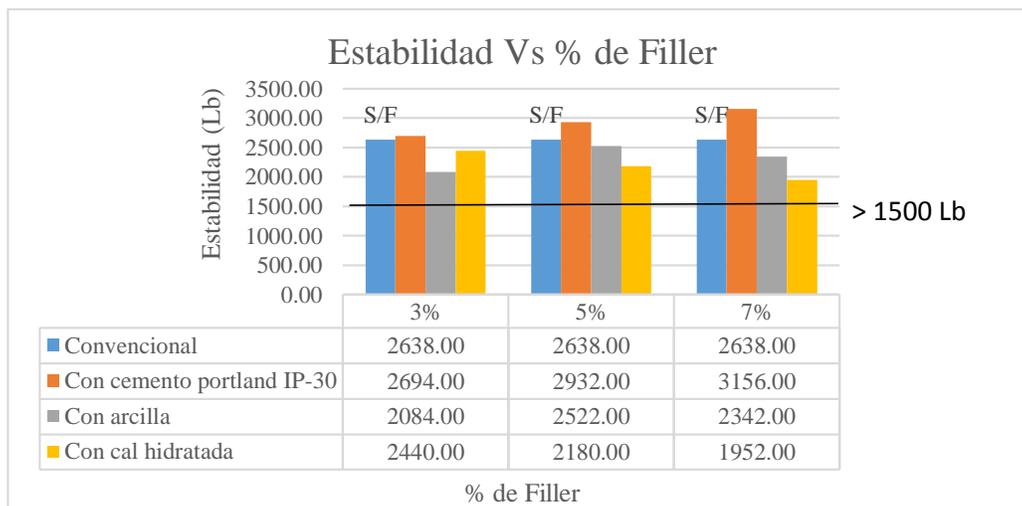


Fuente: Elaboración propia

4.1.13. Comparación de la estabilidad utilizando material chancado y C.A. 60/70

Podemos observar en el **gráfico 4.1.13**, que la estabilidad mejora con el cemento al 7%, pasa lo contrario con la cal y la arcilla que muestra su mejor comportamiento al 5%.

Gráfico 4.1.13.Comparación de la estabilidad

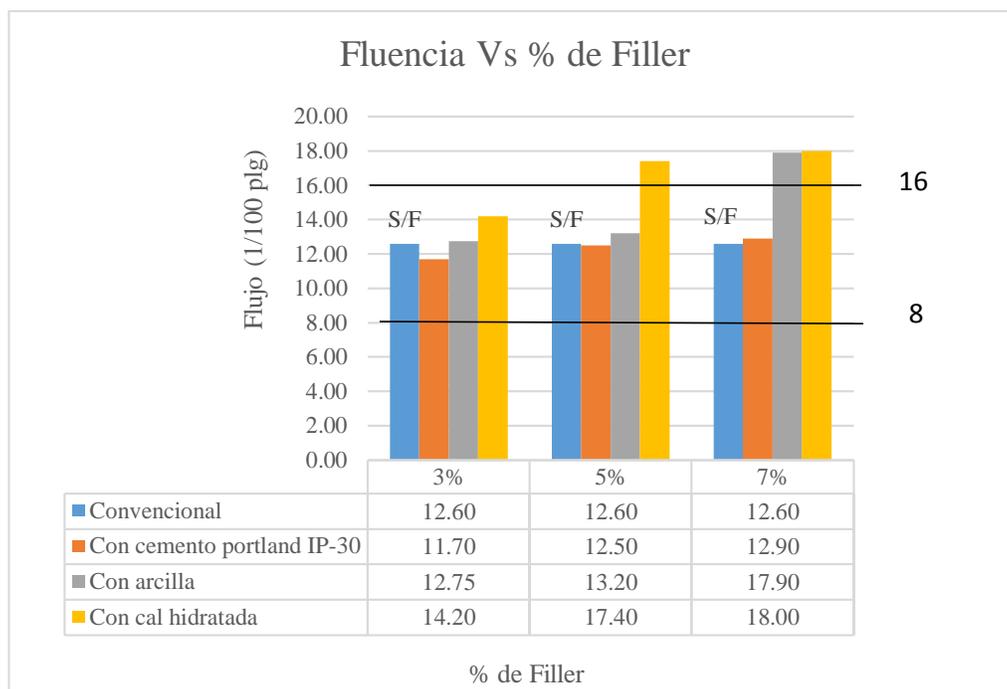


Fuente: Elaboración propia

4.1.14. Comparación de la fluencia utilizando material chancado y C.A. 60/70

Podemos observar en el **gráfico 4.1.14**, que sube demasiado la fluencia agregando como filler cal y arcilla al 5% y 7%, saliendo de las especificaciones establecidas, esto debido al exceso de filler, a diferencia del cemento que mantiene un valor de fluencia casi constante agregando 3%, 5% y 7% de filler a la mezcla.

Gráfico 4.1.14. Comparación de la fluencia

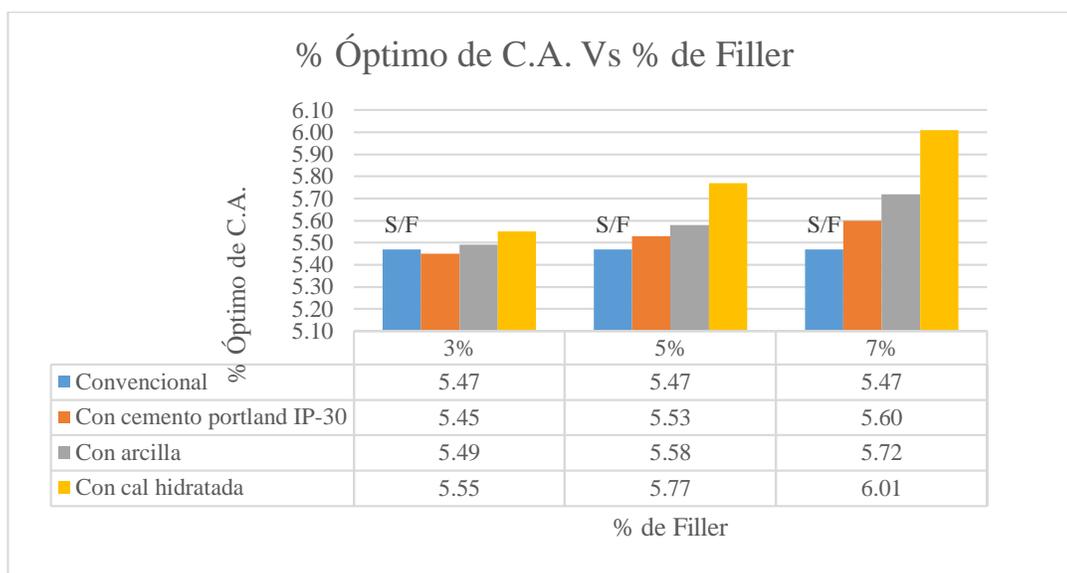


Fuente: Elaboración propia

4.1.15. Comparación del contenido óptimo de asfalto para diferentes diseños con material de canto rodado y C.A. 85/100

Podemos observar en el **gráfico 4.1.15**, que la cal incrementa considerablemente el contenido de asfalto cuando se agrega un 7% de filler, debido a sus propiedades rápidamente absorbe al asfalto cambiando su textura y haciéndolo más ligero, a medida que se incrementa el filler el contenido de asfalto crece para todos los tipos de filler.

Gráfico 4.1.15. Comparación del contenido óptimo del cemento asfáltico

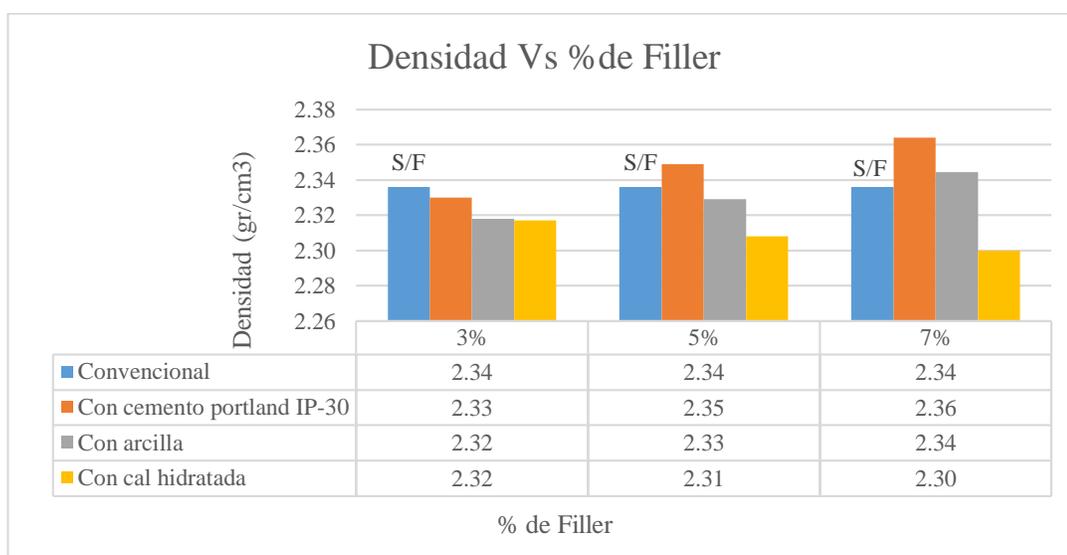


Fuente: Elaboración propia

4.1.16. Comparación de la densidad utilizando material de canto rodado y C.A. 85/100

Podemos observar en el gráfico **4.1.16**, que la densidad más baja es la de la cal al 7% con respecto a la mezcla convencional, a diferencia del cemento que al introducir el 7% se obtiene una buena densidad.

Gráfico 4.1.16. Comparación de la densidad

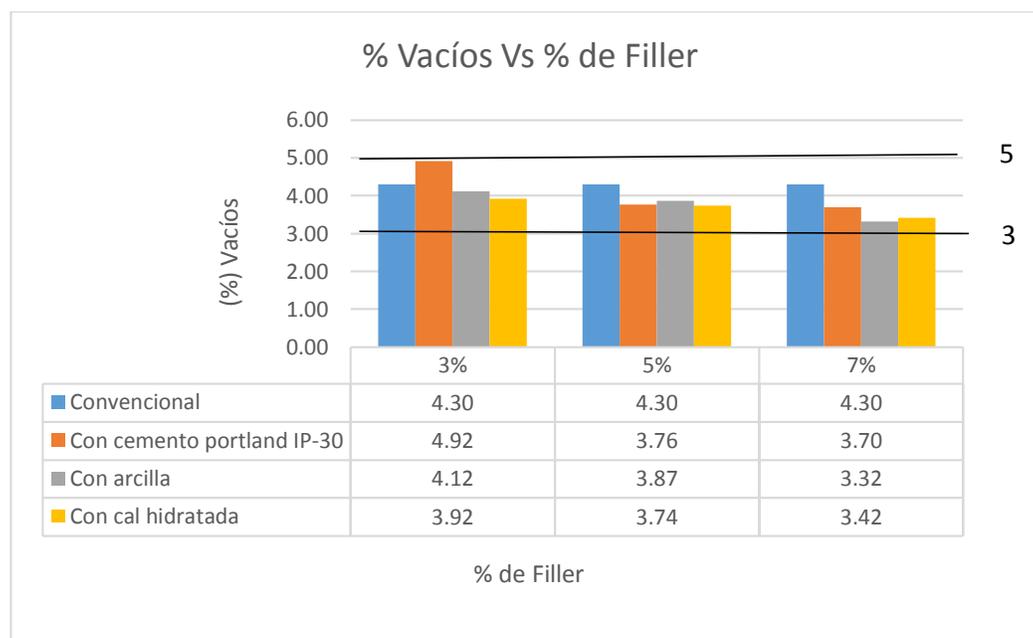


Fuente: Elaboración propia

4.1.17. Comparación del % de vacíos totales de la mezcla utilizando material de canto rodado y C.A. 85/100

Podemos observar en el **gráfico 4.1.17**, que al adicionar cemento como filler al 3% obtiene un valor elevado de vacíos debido a la falta de material llenante, su comportamiento cambia al agregar el 7% en cemento, cal y arcilla decrece bastante debido al incremento de fino en la mezcla.

Gráfico 4.1.17. Comparación del % de vacíos

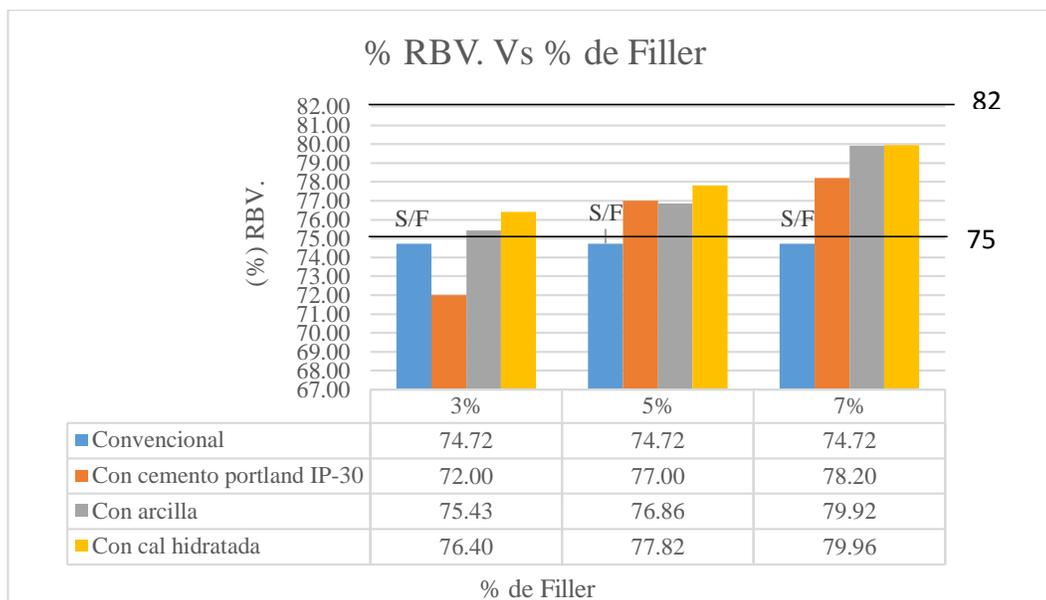


Fuente: Elaboración propia

4.1.18. Comparación del porcentaje de vacíos en el betún (% RBV) utilizando material de canto rodado y C.A. 85/100

Podemos observar en el **gráfico 4.1.18**, que la cal, cemento y arcilla cumplen con más exactitud al 5%, mientras que el convencional no cumple con las especificaciones técnicas debido a que el asfalto no logra cubrir en su totalidad el agregado por falta de finos, dicho comportamiento es porque es un material de canto rodado.

Gráfico 4.1.18. Comparación del % de RBV

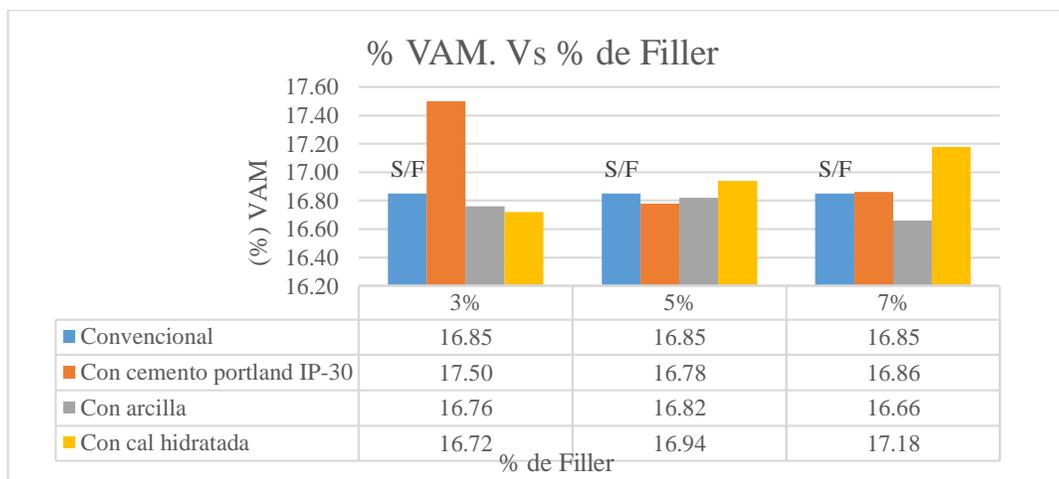


Fuente: Elaboración

4.1.19. Comparación del porcentaje de vacíos en el agregado mineral (% VAM) con material de canto rodado y C.A. 85/100

Podemos observar en el **gráfico 4.1.19**, que al 3% de cemento tenemos mayor cantidad de vacíos en el agregado mineral.

Gráfico 4.1.19. Comparación del % de VAM

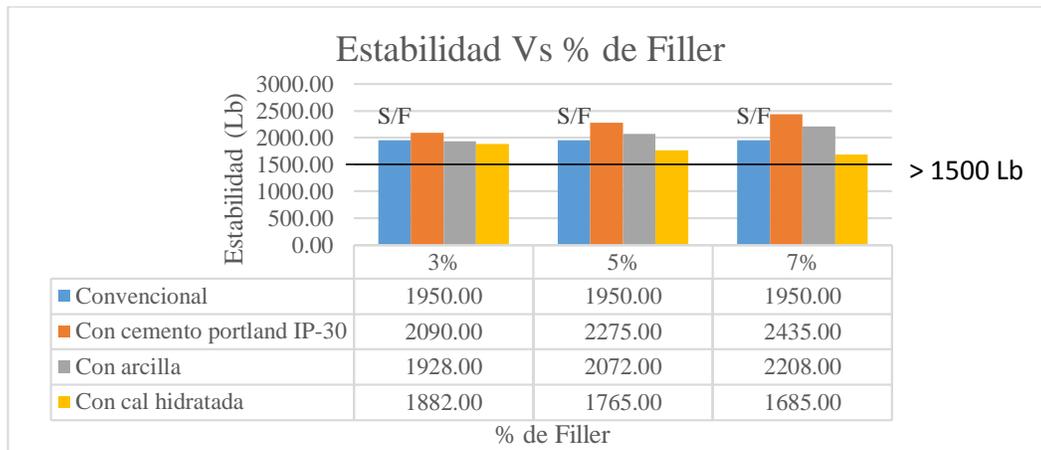


Fuente: Elaboración propia

4.1.20. Comparación de la estabilidad con material de canto rodado y C.A. 85/100

Podemos observar en el **gráfico 4.1.20**, que el material que mejor estabilidad con el 7% es el cemento debido a la rigidez que alcanza.

Gráfico 4.1.20.Comparación de la estabilidad

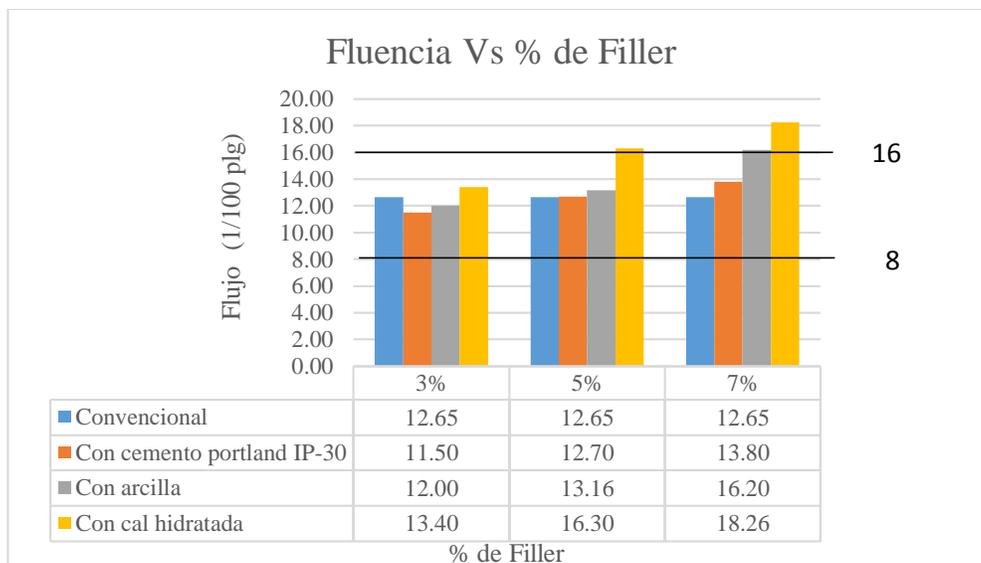


Fuente: Elaboración propia

4.1.21. Comparación de la fluencia utilizando material de canto rodado y C.A. 85/100

Podemos observar en el **gráfico 4.1.21** que la arcilla y la cal sube sus valores de fluencia

Gráfico 4.1.21.Comparación de la fluencia

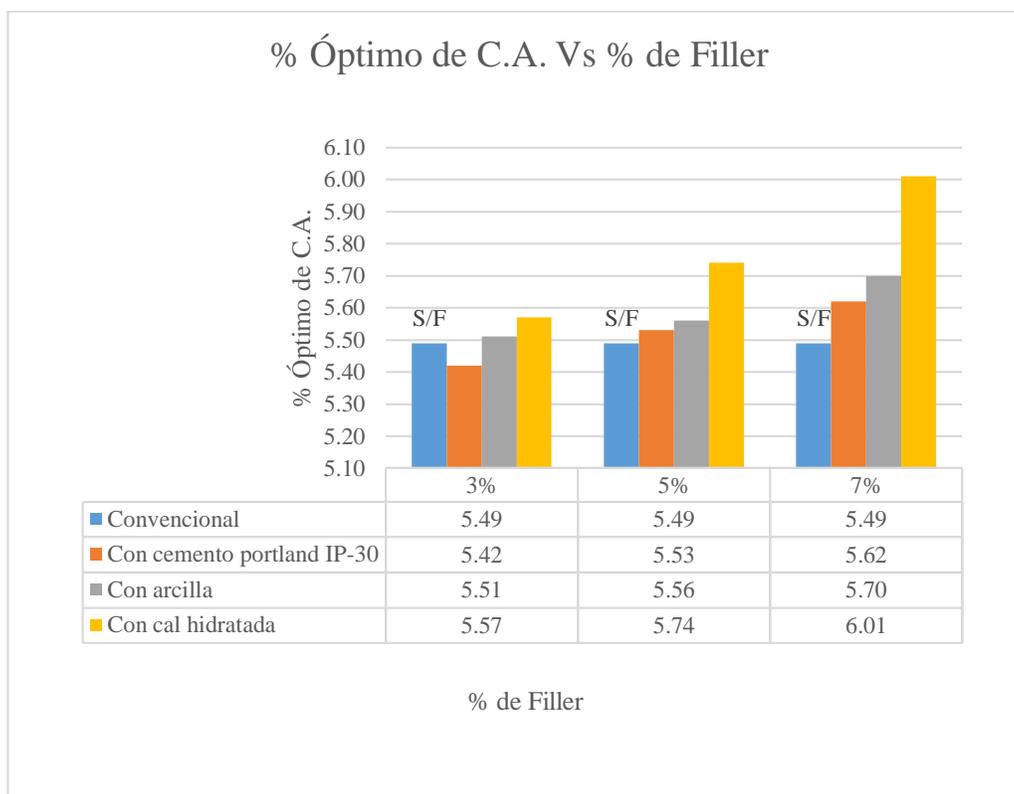


Fuente: Elaboración propia

4.1.22. Comparación del contenido óptimo de asfalto para los diferentes diseños con material de canto rodado y C.A. 60/70

Podemos observar en el gráfico **4.1.22**, que al incrementar el porcentaje de filler también aumenta el contenido óptimo del asfalto, la cal al 7% utiliza bastante asfalto debido a las propiedades de la cal.

Gráfico 4.1.22.Comparación del contenido óptimo del asfalto

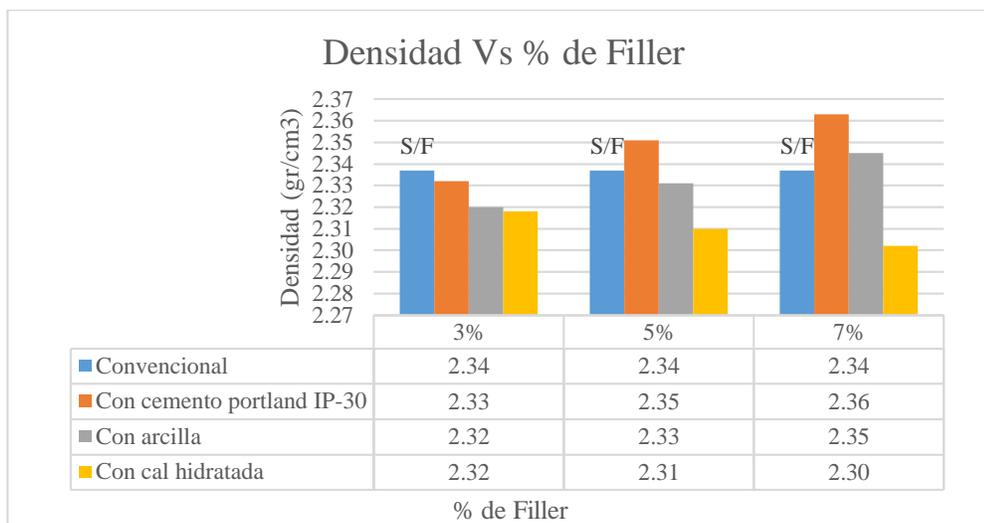


Fuente: Elaboración propia

4.1.23. Comparación de la densidad utilizando material de canto rodado y C.A. 60/70

Podemos observar en el gráfico **4.1.23**, que la densidad se incrementa al introducir cemento y arcilla al 7%, a diferencia de la cal que pasa todo lo contrario.

Gráfico 4.1.23.Comparación de la densidad

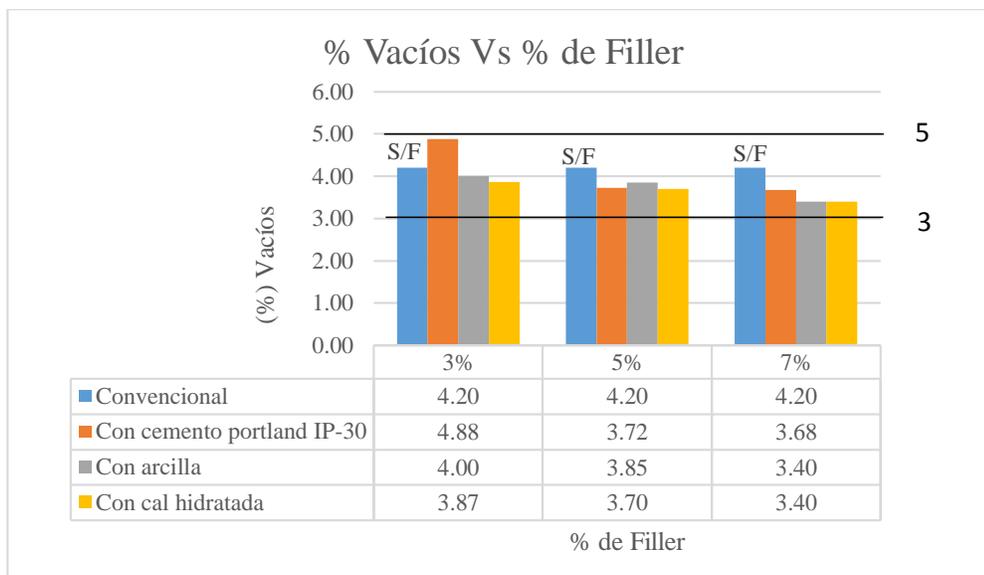


Fuente: Elaboración propia

4.1.24. Comparación del % de vacíos totales en mezcla utilizando material de canto rodado y C.A. 60/70

Podemos observar en el **gráfico 4.1.24**, que al incrementar el porcentaje de filler reducen los vacíos debido al contenido de fino en la mezcla.

Gráfico 4.1.24.Comparación del % de vacíos

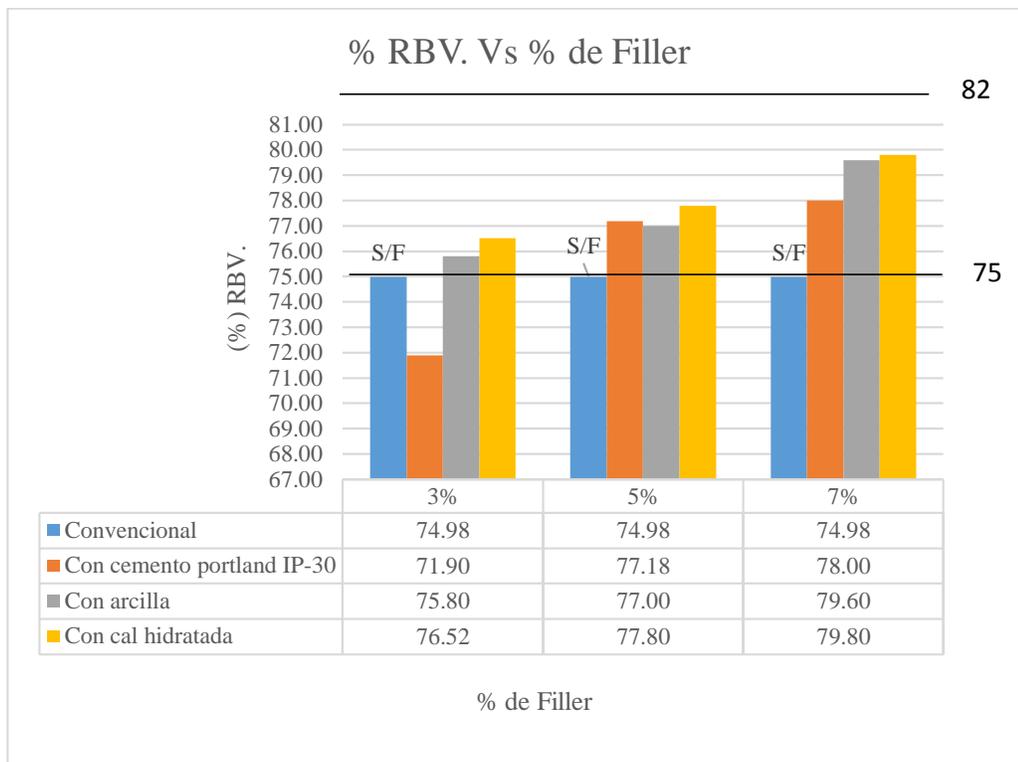


Fuente: Elaboración propia

4.1.25. Comparación del porcentaje de vacíos en el betún (% RBV) Utilizando material de canto rodado y C.A. 60/70

Podemos observar en el gráfico **4.1.25**, que al agregar el 3% de cemento como filler no cumple con las especificaciones técnicas, debido a la falta de material fino es asfalto no logra cubrir los agregados en su totalidad.

Gráfico 4.1.25.Comparación del % de RBV

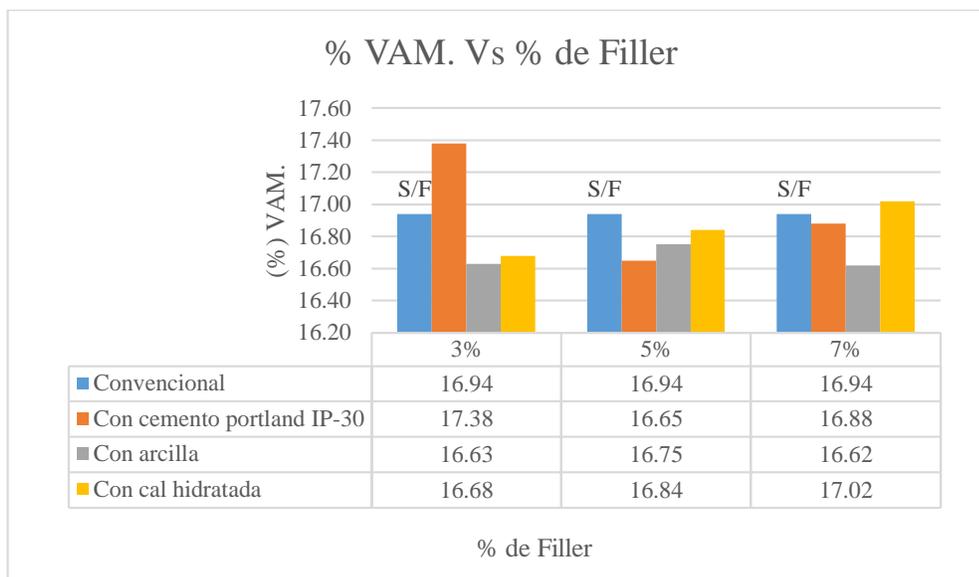


Fuente: Elaboración propia

4.1.26. Comparación del porcentaje de vacíos en el agregado mineral (% VAM) utilizando material de canto rodado y C.A. 60/70

Podemos observar en el gráfico **4.1.26**, que agregando cemento como filler al 3% los vacíos en el agregado mineral incrementan, a diferencia de la arcilla que al agregar el 7% decrece, la cal al contrario al agregar el 7% se incrementa.

Gráfico 4.1.26.Comparación del % de VAM

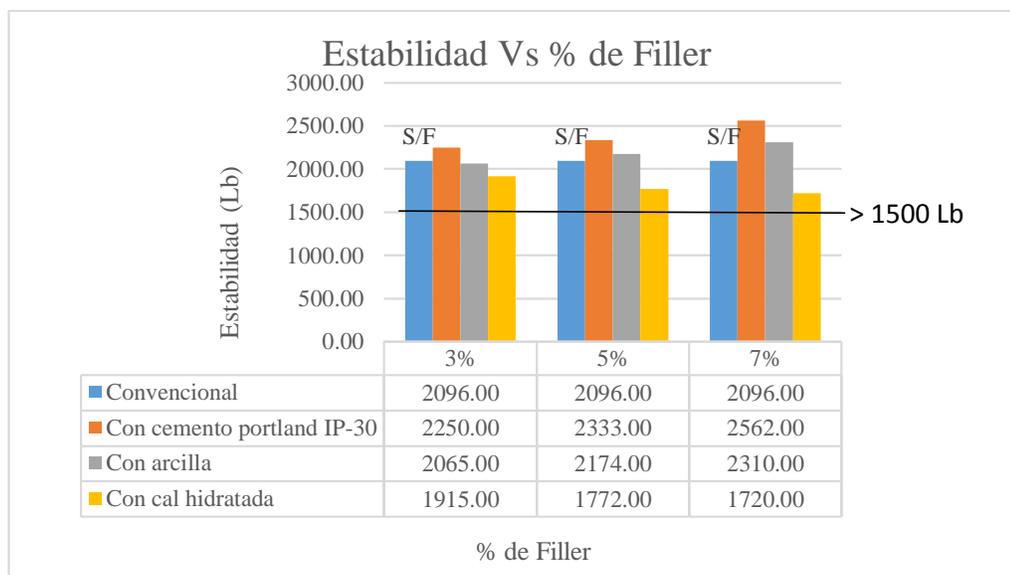


Fuente: Elaboración propia

4.1.27. Comparación de la estabilidad utilizando material de canto rodado y C.A.60/70

Podemos observar en el gráfico **4.1.27**, que el cemento y la arcilla a medida que incrementa el contenido de filler mejora la estabilidad, pasa lo contrario con la cal.

Gráfico 4.1.27.Comparación de la estabilidad

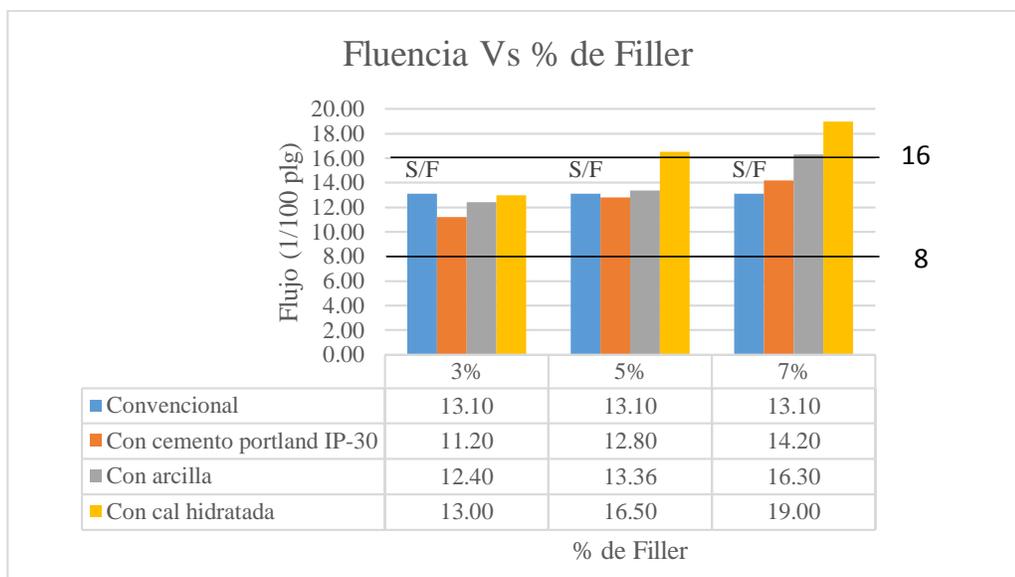


Fuente: Elaboración propia

4.1.28. Comparación de la fluencia utilizando material de canto rodado y C.A. 60/70

Podemos observar en el gráfico **4.1.28**, que el comportamiento de la cal y la arcilla son desproporcionales tanto al 5% y al 7%, haciendo que la mezcla pierda propiedades como la estabilidad.

Gráfico 4.1.28.Comparación de la fluencia

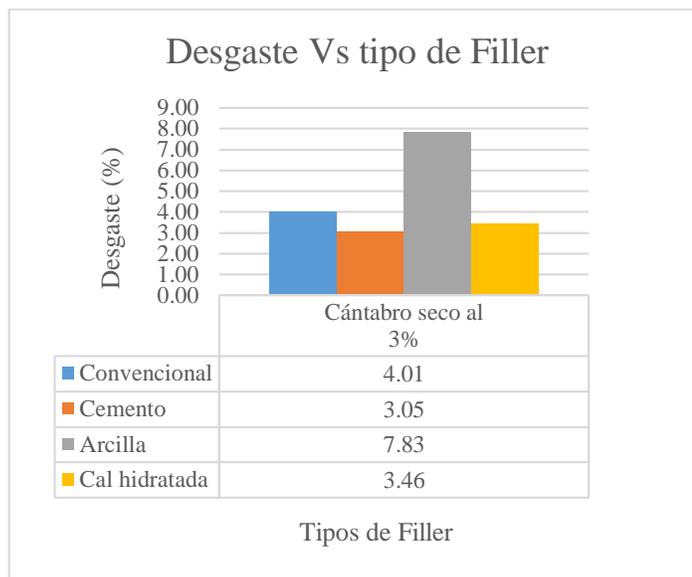


Fuente: Elaboración propia

4.2. ANÁLISIS Y RESULTADOS DEL CÁNTABRO

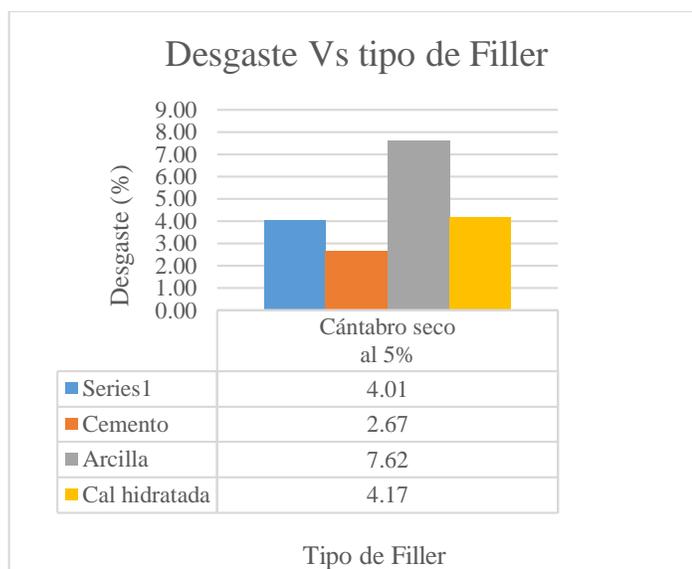
4.2.1. Ensayo de cántabro por vía seca con material chancado y C.A. 85/100

Gráfico 4.2.1. Cántabro vía seca al 3% con material chancado y C.A. 85/100



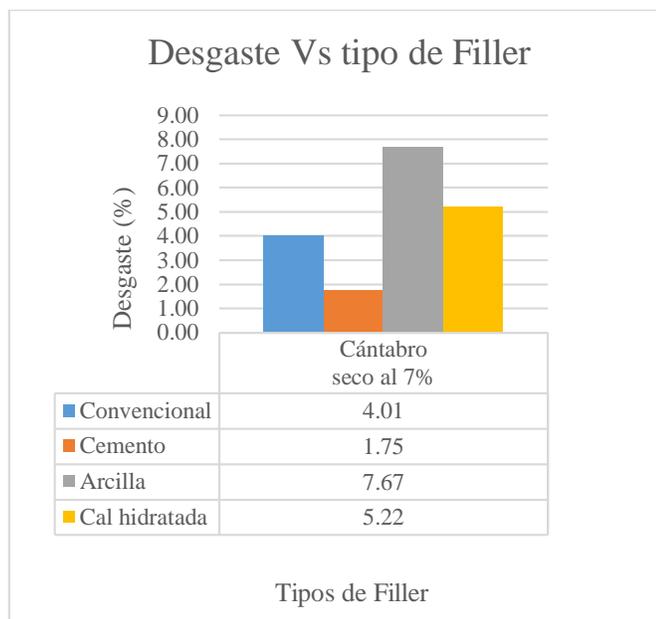
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.2.2. Cántabro al 5% vía seca con material chancado y C.A. 85/100



Fuente: Elaboración propia

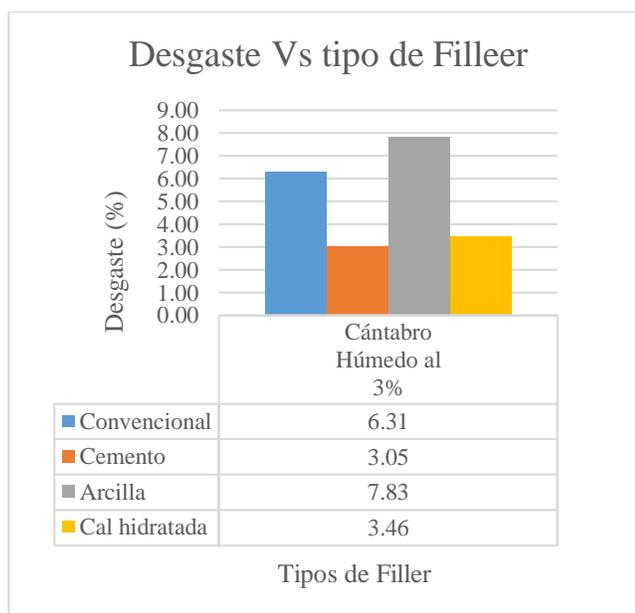
Gráfico 4.2.3. Cántabro al 7% seca con material chancado y C.A. 85/100



Fuente: Elaboración propia

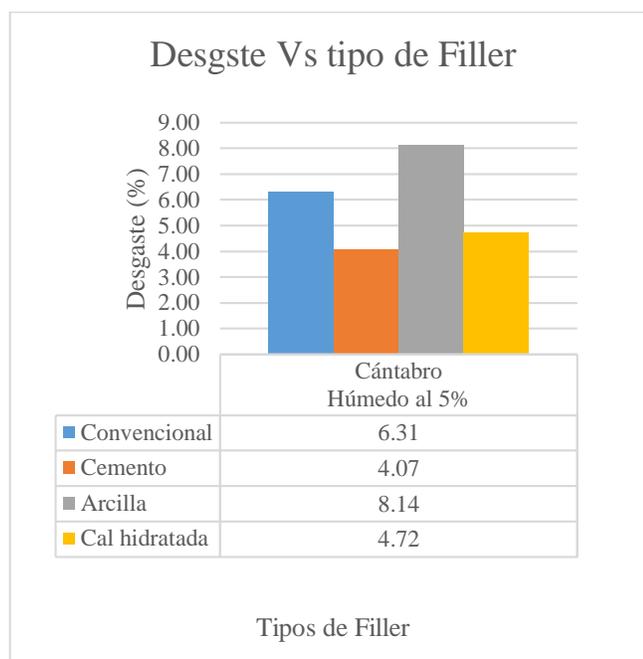
4.2.2. Cántabro por vía húmeda con material chancado y C.A. 85/100

Gráfico 4.2.4. Cántabro al 3% húmeda con material chancado y C.A. 85/100



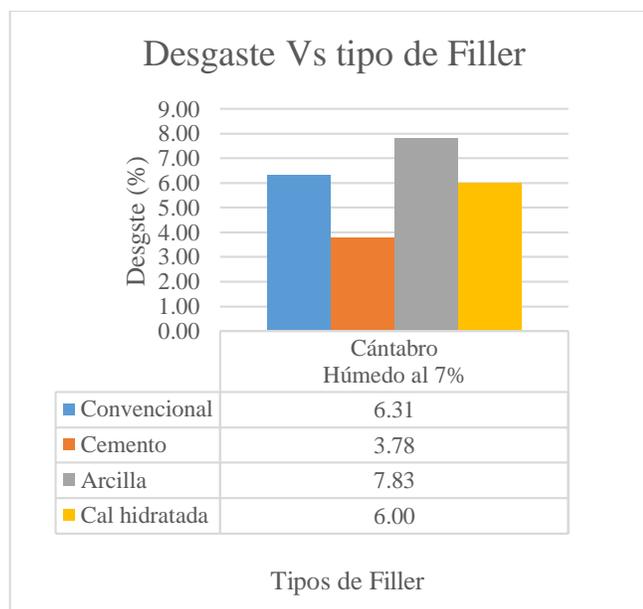
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.2.5. Cántabro al 5% húmeda con material chancado y C.A. 85/100



Fuente: Elaboración propia

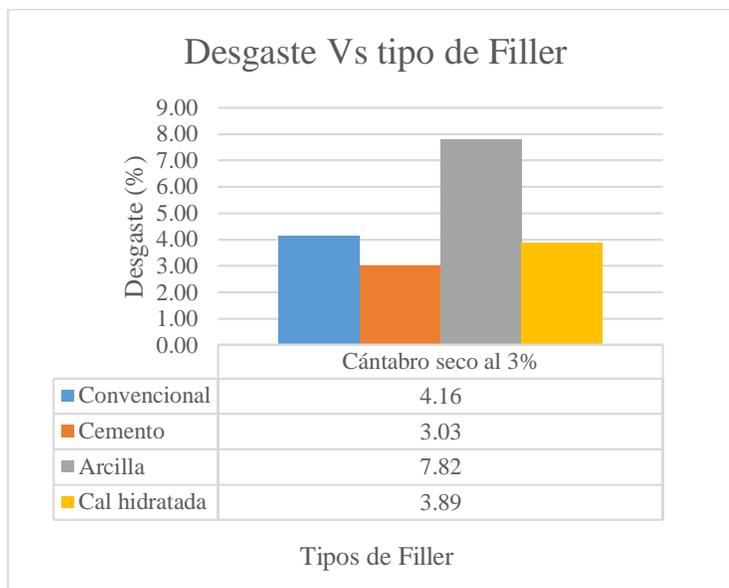
Gráfico 4.2.6. Cántabro al 7% húmeda con material chancado y C.A. 85/100



Fuente: Elaboración propia

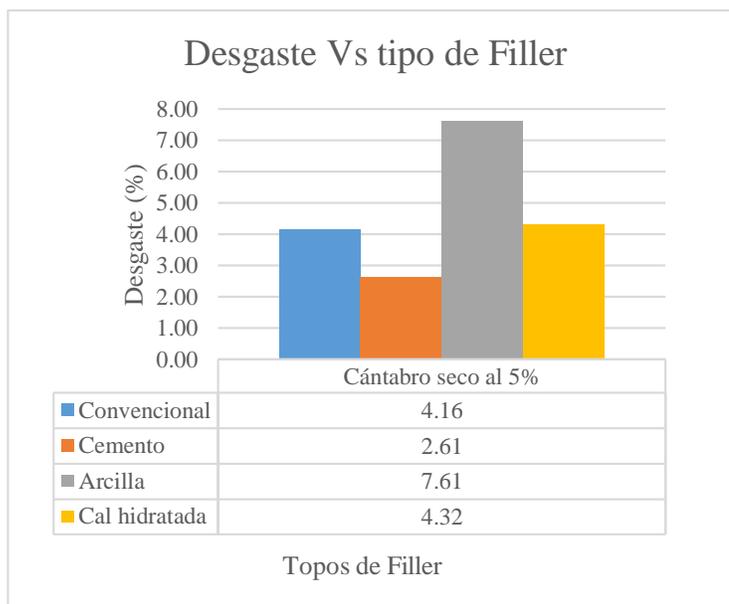
4.2.3. Cántabro por vía seca con material chancado y C.A. 60/70

Gráfico 4.2.7. Cántabro al 3% seca con material chancado y C.A. 60/70



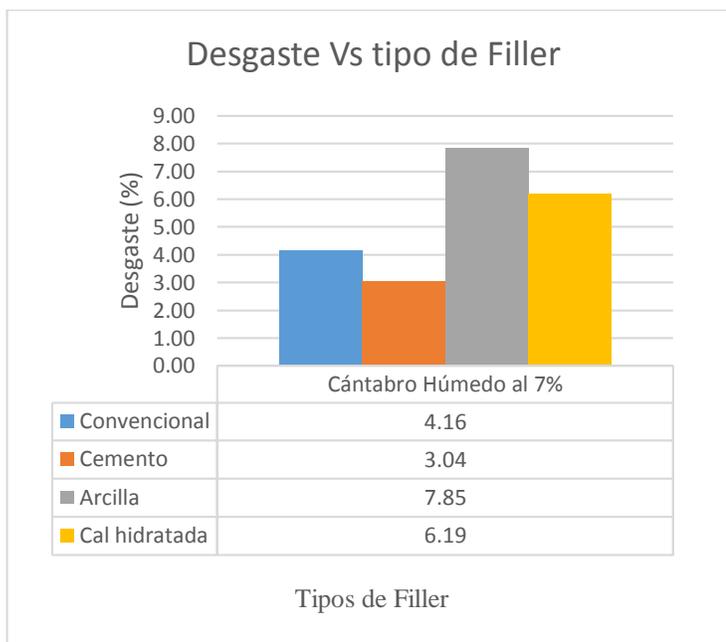
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.2.8. Cántabro al 5% seca con material chancado y C.A. 60/70



Fuente: Elaboración propia

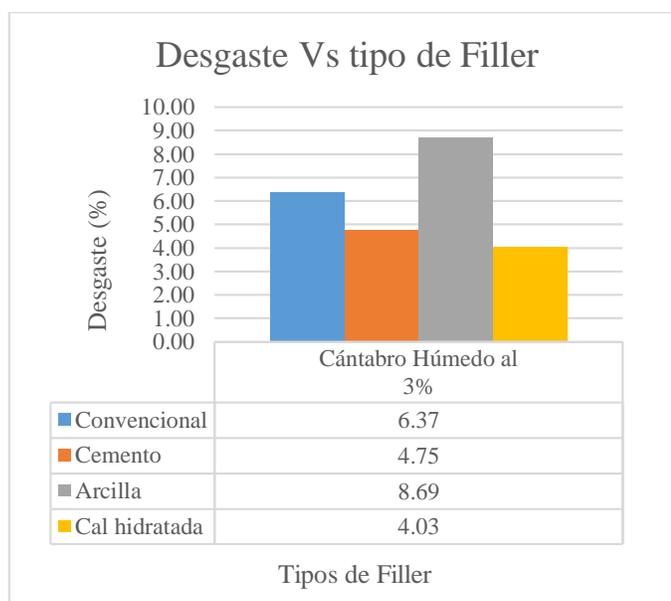
Gráfico 4.2.9. Cántabro al 7% seca con material chancado y C.A. 60/70



Fuente: Elaboración propia

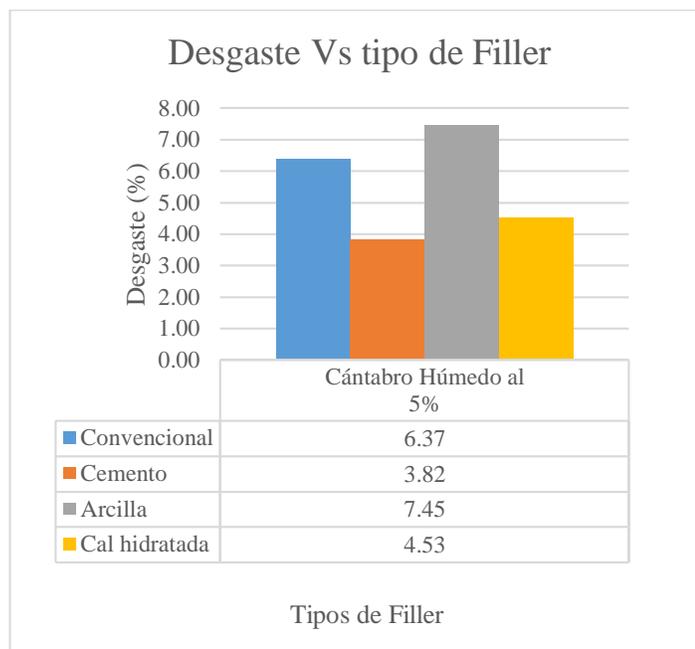
4.2.4. Cántabro por vía húmeda con material chancado y C.A. 60/70

Gráfico 4.2.10. Cántabro al 3% húmeda con material chancado y C.A. 60/70



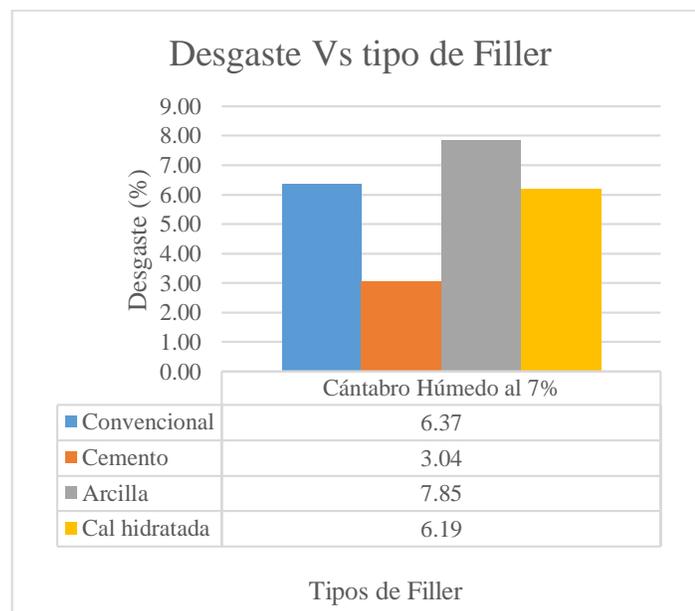
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.2.11. Cántabro al 5% húmeda con material chancado y C.A. 60/70



Fuente: Elaboración propia

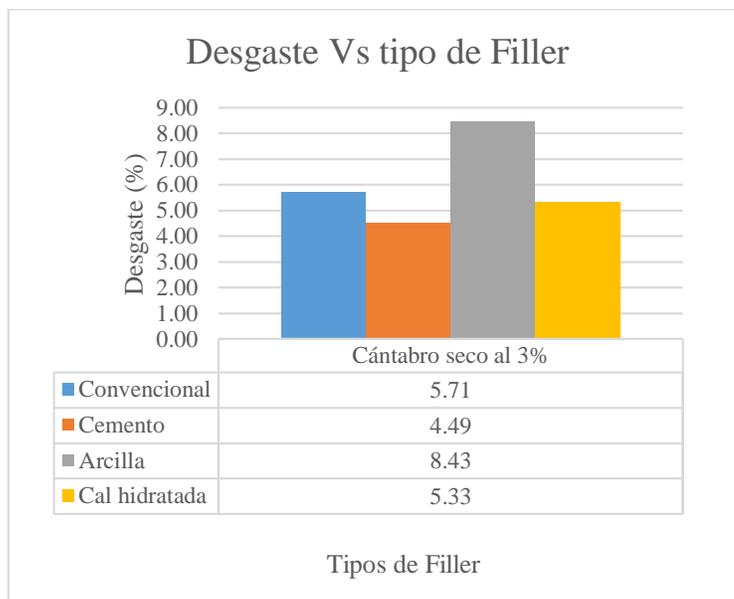
Gráfico 4.2.12. Cántabro al 7% húmeda con material chancado y C.A. 60/70



Fuente: Elaboración propia

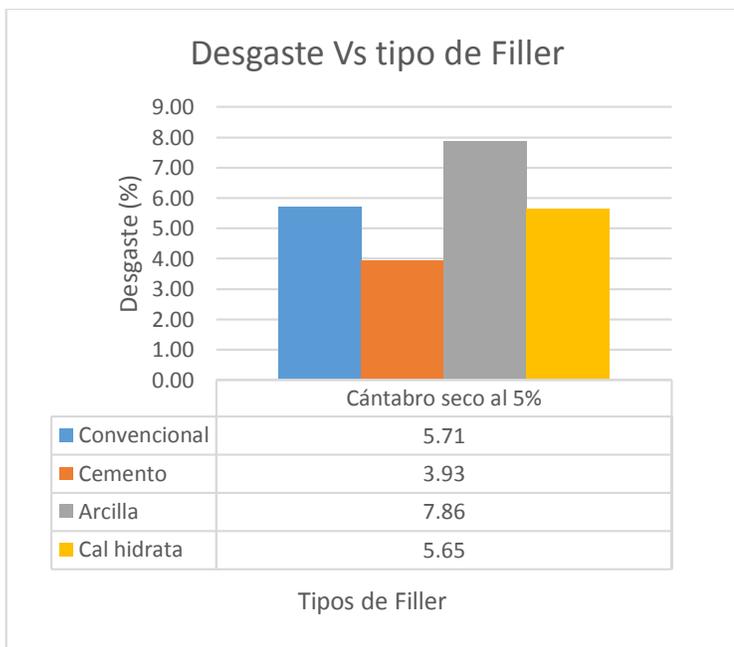
4.2.5. Cántabro por vía seca con material de canto rodado y C.A. 85/100

Gráfico 4.2.13. Cántabro al 3% seca con material de canto rodado y C.A. 85/100



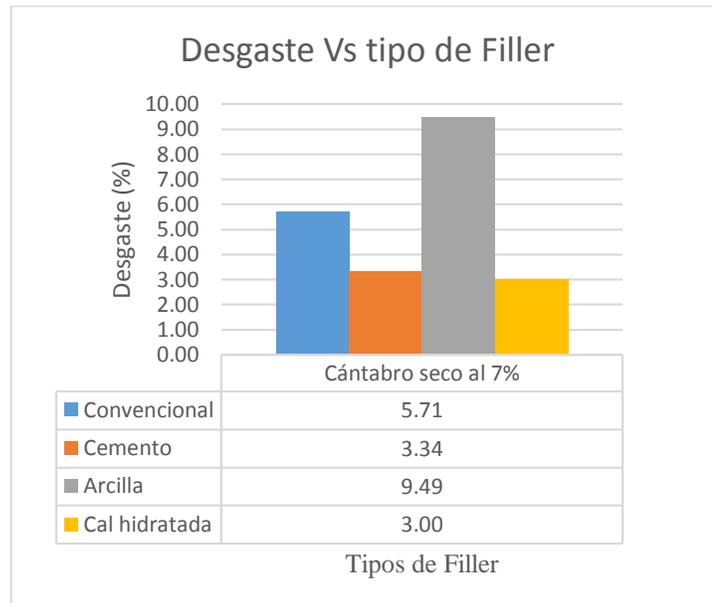
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.2.14. Cántabro al 5% seca con material de canto rodado y C.A. 85/100



Fuente: Elaboración propia

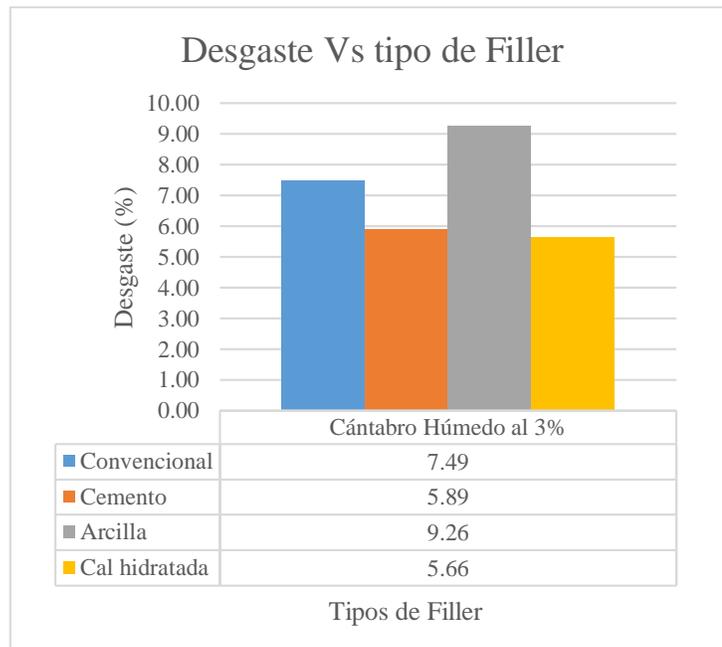
Gráfico 4.2.15. Cántabro al 7% seca con material de canto rodado y C.A. 85/100



Fuente: Elaboración propia

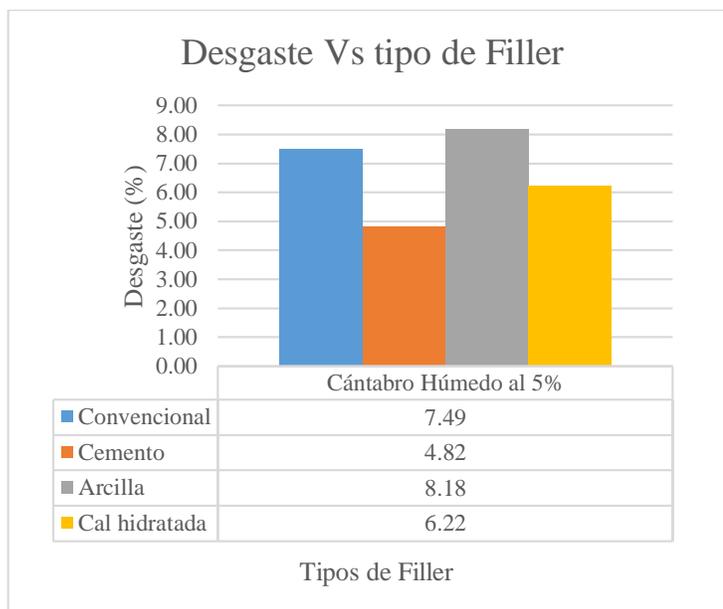
4.2.6. Cántabro por vía húmeda con material de canto rodado y C.A. 85/100

Gráfico 4.2.16. Cántabro al 3% húmeda con material de canto rodado y C.A. 85/100



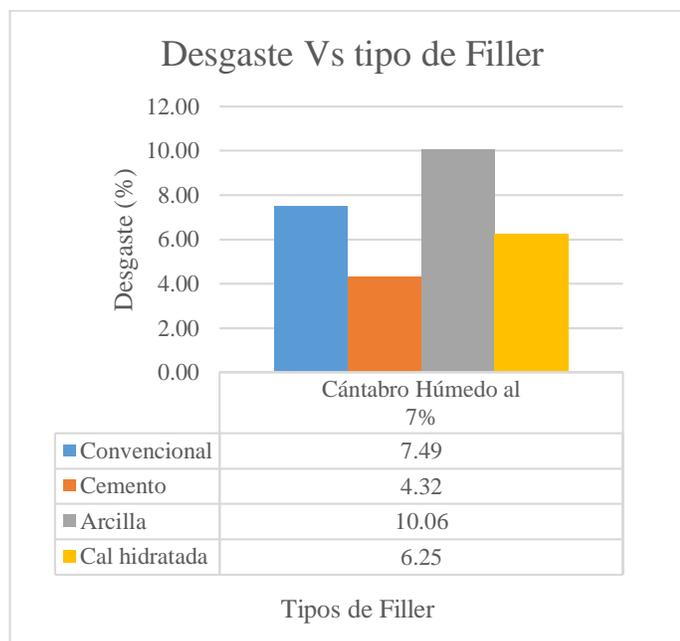
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.2.17. Cántabro al 5% húmeda con material de canto rodado y C.A. 85/100



Fuente: Elaboración propia

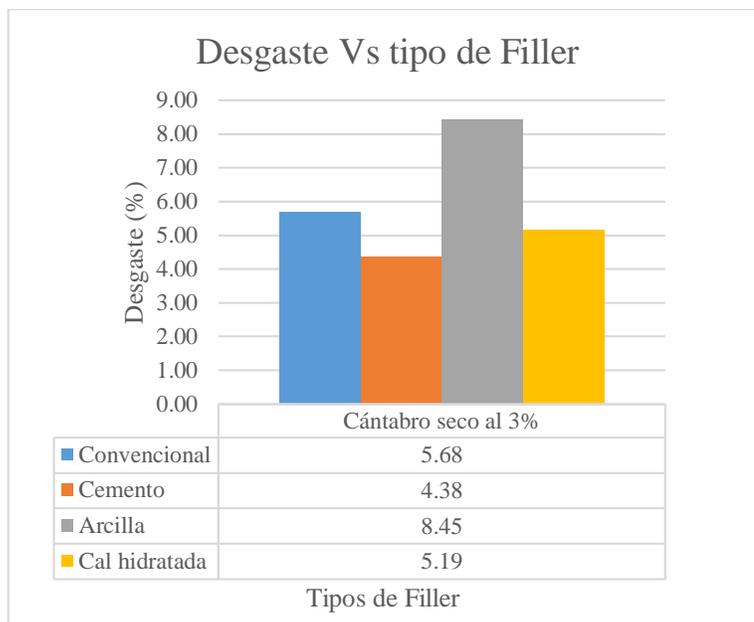
Gráfico 4.2.18. Cántabro al 7% húmeda con material de canto rodado y C.A. 85/100



Fuente: Elaboración propia

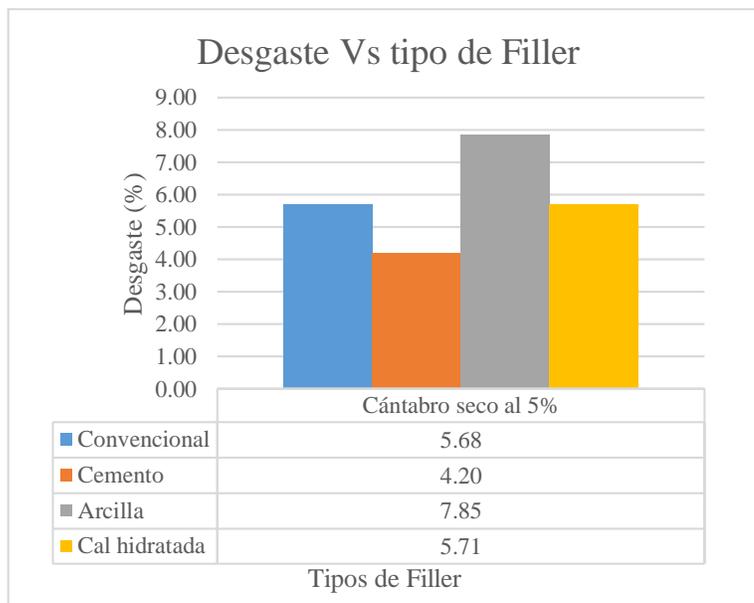
4.2.7. Cántabro por vía seca con material de canto rodado y C.A. 60/70

Gráfico 4.2.19. Cántabro al 3% seca con material de canto rodado y C.A. 60/70



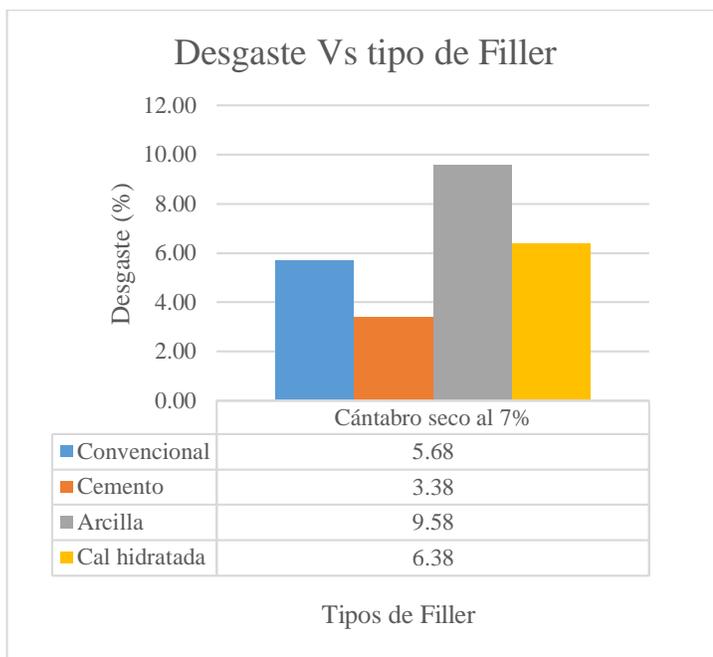
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.2.20. Cántabro al 5% seca con material de canto rodado y C.A. 60/70



Fuente: Elaboración propia

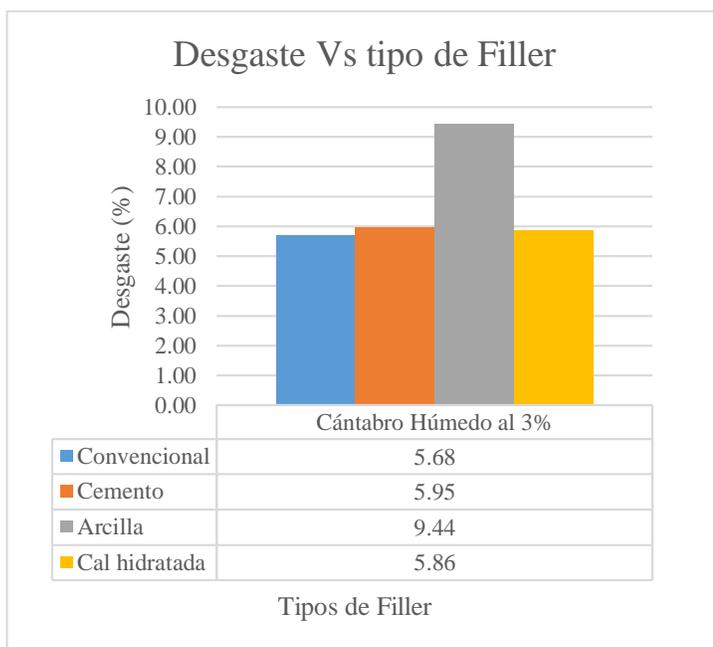
Gráfico 4.2.21. Cántabro al 7% seca con material de canto rodado y C.A. 60/70



Fuente: Elaboración propia

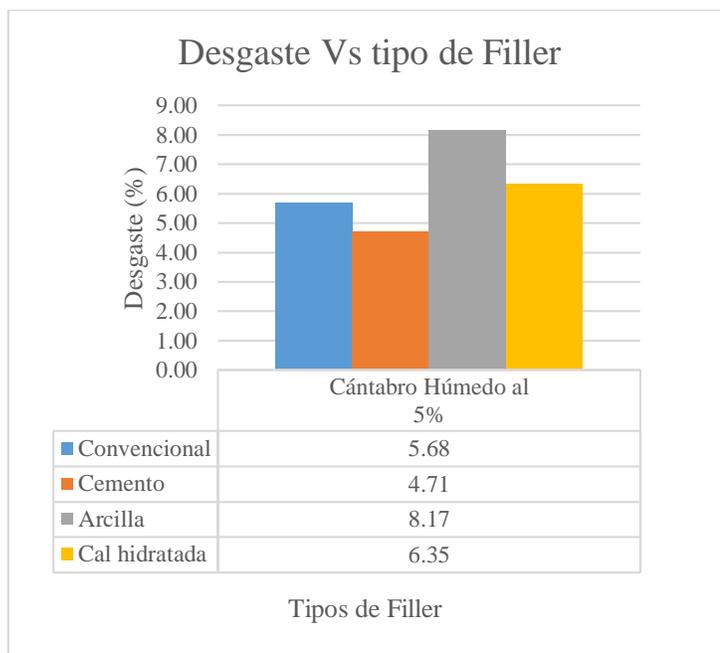
4.2.8. Cántabro por vía seca con material de canto rodado y C.A. 60/70

Gráfico 4.2.22. Cántabro al 3% húmeda con material de canto rodado y C.A. 60/70



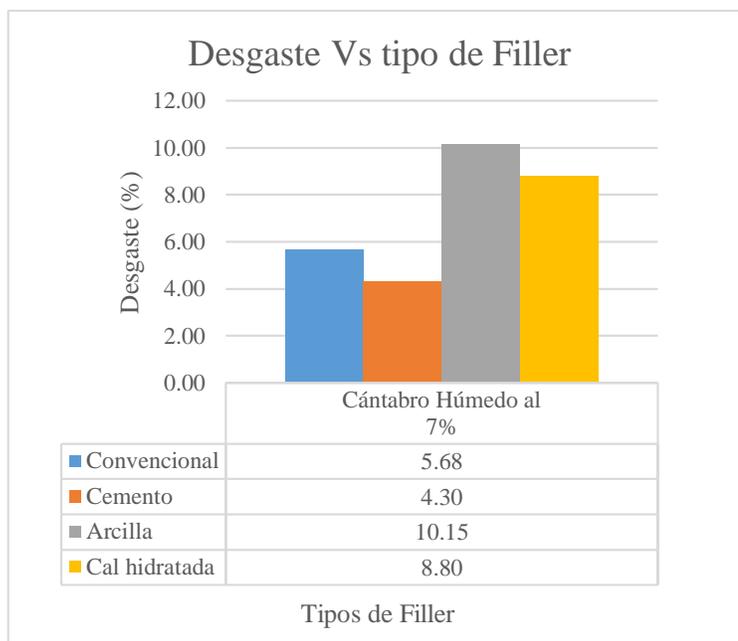
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.2.23. Cántabro al 5% húmeda con material de canto rodado y C.A. 60/70



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.2.24. Cántabro al 7% húmeda con material de canto rodado y C.A. 60/70



Fuente: Elaboración propia

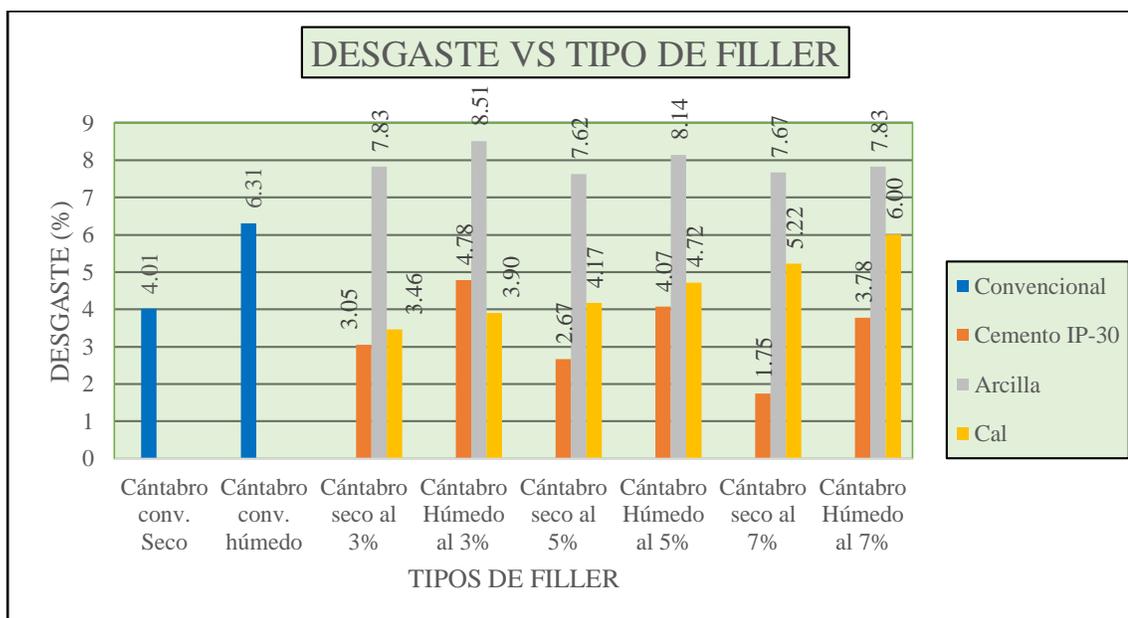
4.2.9. Comparación del cántabro con todos los tipos de filler y sus porcentajes

Tabla 4.2.1. Comparación de Cántabro por vía húmeda y vía seca material chancado utilizando el óptimo del C.A 85/100..

Tipos de filler	Cántabro conv. Seco	Cántabro conv. húmedo	Cántabro seco al 3%	Cántabro Húmedo al 3%	Cántabro seco al 5%	Cántabro Húmedo al 5%	Cántabro seco al 7%	Cántabro Húmedo al 7%
Convencional	4.01	6.31						
Cemento IP-30			3.05	4.78	2.67	4.07	1.75	3.78
Arcilla			7.83	8.51	7.62	8.14	7.67	7.83
Cal			3.46	3.90	4.17	4.72	5.22	6.00

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.2.25. Cántabro por vía húmeda y vía seca de la mezcla con a C.A. 85/100 material chancado



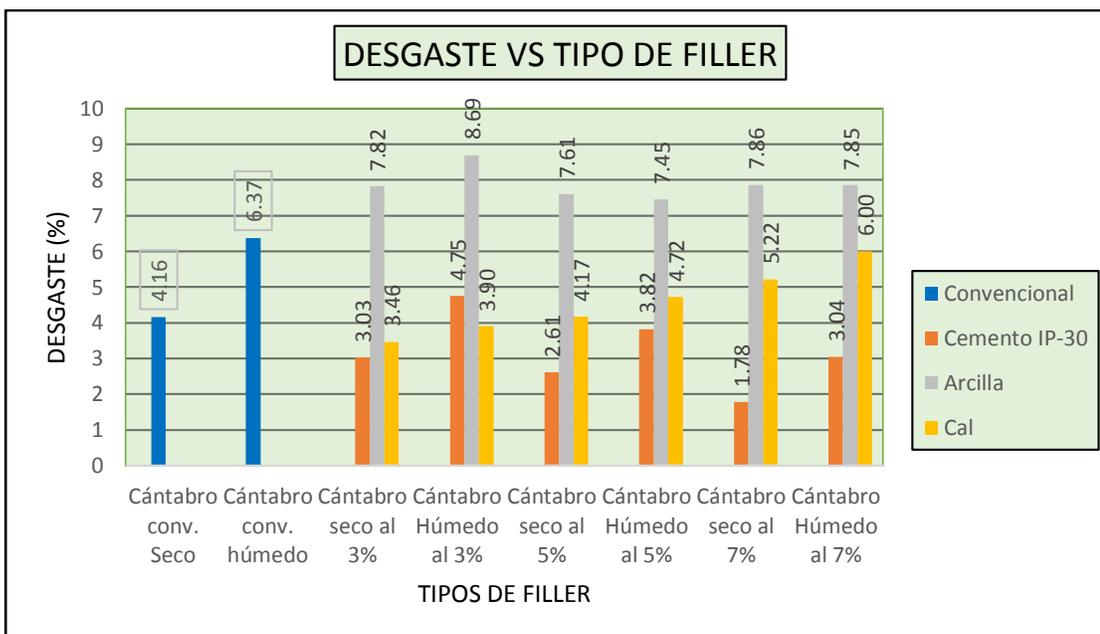
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.2.2. Comparación de Cántabro por vía húmeda y vía seca material chancado utilizando el óptimo del C.A 60 - 70..

Tipos de filler	Cántabro conv. Seco	Cántabro conv. húmedo	Cántabro seco al 3%	Cántabro Húmedo al 3%	Cántabro seco al 5%	Cántabro Húmedo al 5%	Cántabro seco al 7%	Cántabro Húmedo al 7%
Convencional	4.16	6.37						
Cemento IP-30			3.03	4.75	2.61	3.82	1.78	3.04
Arcilla			7.82	8.69	7.61	7.45	7.86	7.85
Cal			3.89	4.03	4.32	4.53	5.22	6.19

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.2.26. Cántabro por vía húmeda y vía seca de la mezcla con a C.A. 60 – 70 material chancado



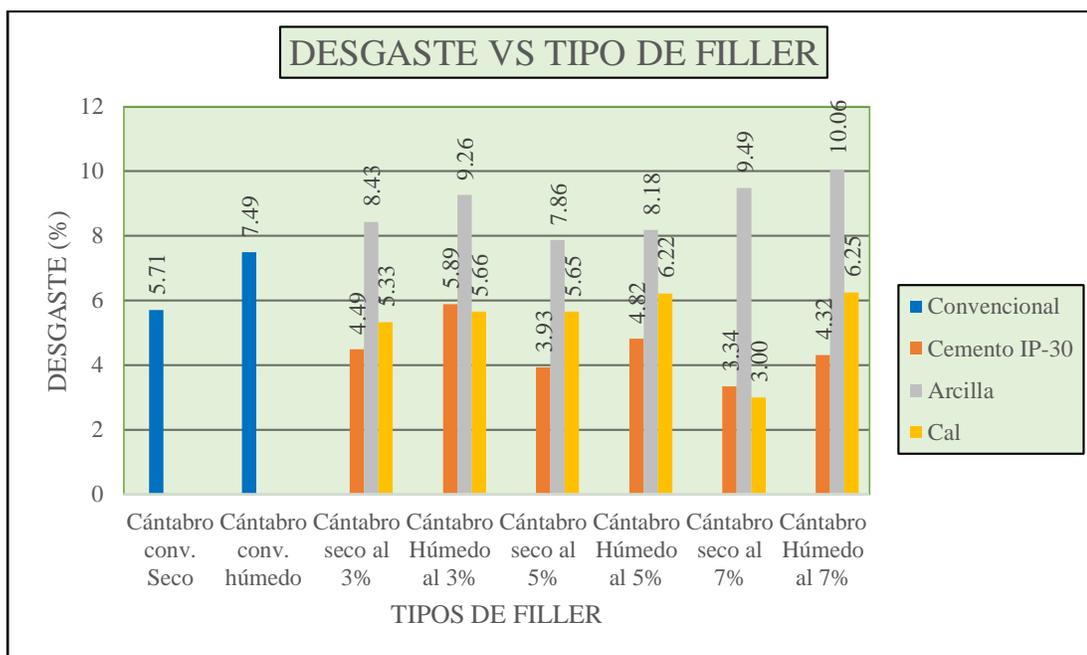
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.2.3. Comparación de Cántabro por vía húmeda y vía seca material de canto rodado utilizando el óptimo del C.A 85 - 100..

Tipos de filler	Cántabro conv. Seco	Cántabro conv. húmedo	Cántabro seco al 3%	Cántabro Húmedo al 3%	Cántabro seco al 5%	Cántabro Húmedo al 5%	Cántabro seco al 7%	Cántabro Húmedo al 7%
Convencional	5.71	7.49						
Cemento IP-30			4.49	5.89	3.93	4.82	3.34	4.32
Arcilla			8.43	9.26	7.86	8.18	9.49	10.06
Cal			5.33	5.66	5.65	6.22	3.00	6.25

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.2.27. Cántabro por vía húmeda y vía seca de la mezcla con a C.A. 85/100material de canto rodado



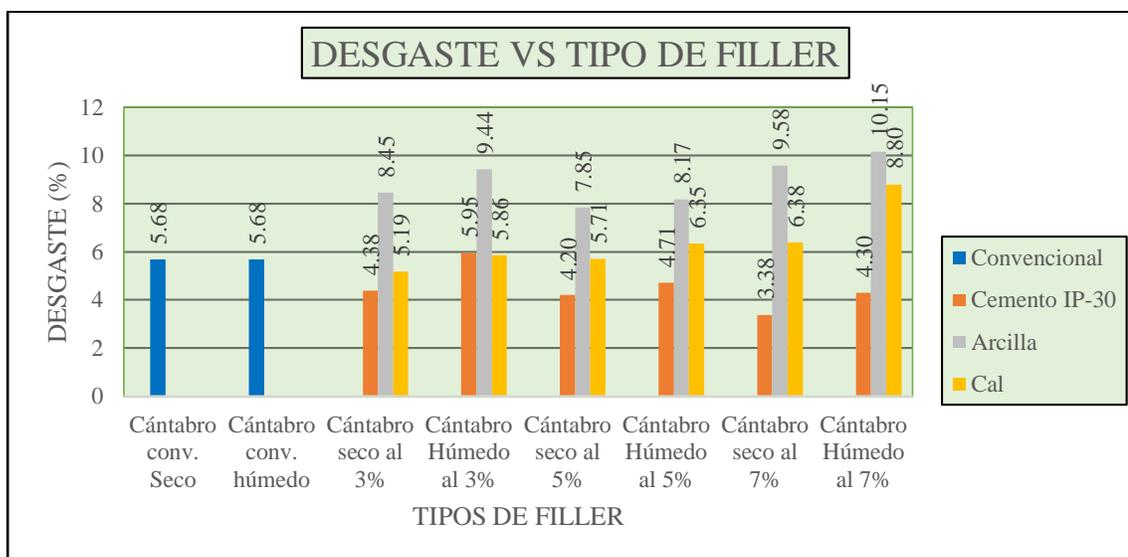
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.2.4. Comparación de Cántabro por vía húmeda y vía seca material de canto rodado utilizando el óptimo del C.A 60/70..

Tipos de filler	Cántabro conv. Seco	Cántabro conv. húmedo	Cántabro seco al 3%	Cántabro Húmedo al 3%	Cántabro seco al 5%	Cántabro Húmedo al 5%	Cántabro seco al 7%	Cántabro Húmedo al 7%
Convencional	5.68	5.68						
Cemento IP-30			4.38	5.95	4.20	4.71	3.38	4.30
Arcilla			8.45	9.44	7.85	8.17	9.58	10.15
Cal			5.19	5.86	5.71	6.35	6.38	8.80

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.2.28. Cántabro por vía húmeda y vía seca de la mezcla con a C.A. 60/70 material de canto rodado



Fuente: Elaboración propia

Realizando una comparación de los resultados obtenidos podemos explicar primeramente que se trabajó con porcentajes dos porcentajes límites y uno intermedio según la norma, podemos observar que el filler cemento nos dio mejores resultados esto debido a que mientras más porcentaje de cemento tenga el mismo tiende a rigidizarse, en cuanto a la arcilla como es un material casi puro su índice de plasticidad es muy elevado esto hace de que no sea un buen material para resistir al desgaste, la cal es un material que puede aportar

propiedades pero se debe de tener cuidado con el porcentaje a utilizar ya que al agregar demasiada cal la mezcla tiende a perder sus propiedades y llegando a presentar más desgaste, en cuanto a la mezcla convencional como es un material seleccionado y utilizado por el servicio departamental de caminos es un material graduado y normado para su utilización manteniendo su desgaste en seco pero varia por vía húmeda, cabe decir que al evaluar el cántabro por vía húmeda estaríamos simulando condiciones extremas.

La comparación del uso de material de canto rodado no es conveniente, aunque cumplió con lo establecido podemos observar en los gráficos que su desgaste es mayor y peor aun sometiénolo a condiciones extremas debido a que las partículas son lisas no ayudan a la trabazón y adherencia en la mezcla asfáltica.

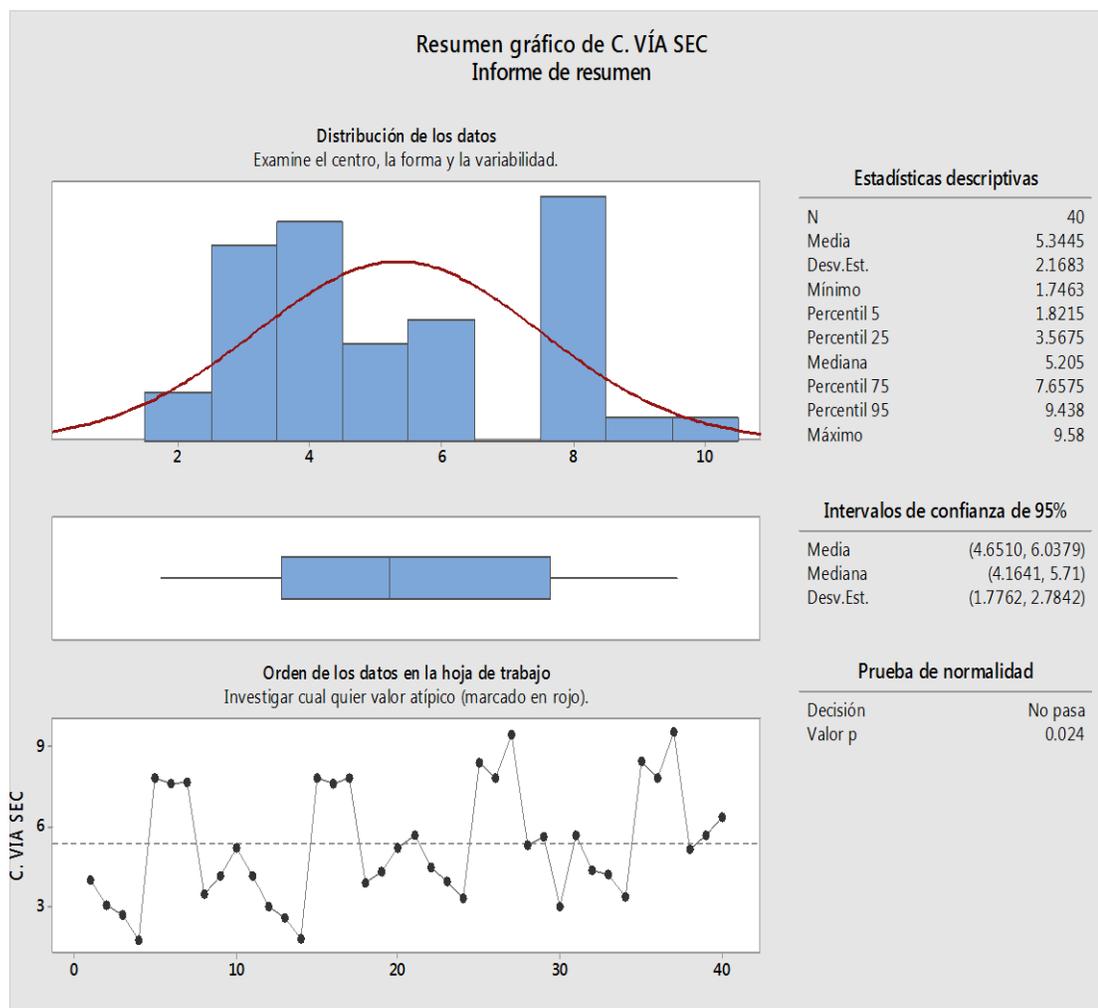
4.2.10. Análisis estadístico por el método descriptivo

Tabla 4.2.5. Estadística descriptiva para el análisis de desgaste mediante Cántabro

Desgaste de las briquetas Marshal mediante Cántabro		
N	Desgaste vía seca	Desgaste vía húmeda
1	4.01	6.31
2	3.05	4.78
3	2.67	4.07
4	1.75	3.78
5	7.83	8.51
6	7.62	8.14
7	7.67	7.83
8	3.46	3.90
9	4.17	4.72
10	5.22	6.00
11	4.16	6.37
12	3.03	4.75
13	2.61	3.82
14	1.78	3.04
15	7.82	8.69
16	7.61	7.45
17	7.86	7.85
18	3.89	4.03
19	4.32	4.53
20	5.22	6.19
21	5.71	7.49
22	4.49	5.89
23	3.93	4.82
24	3.34	4.32
25	8.43	9.26
26	7.86	8.18
27	9.49	10.06
28	5.33	5.66
29	5.65	6.22
30	3.00	6.25
31	5.68	5.68
32	4.38	5.95
33	4.20	4.71
34	3.38	4.30
35	8.45	9.44
36	7.85	8.17
37	9.58	10.15
38	5.19	5.86
39	5.71	6.35
40	6.38	8.80
Media	5.34	6.31
Desviación Estándar (s)	2.17	1.93
Varianza ($s^2 = \sigma^2$)	4.70	3.74
Coefficiente de variación	40.57	30.64
Mediana	5.21	6.10
Desgaste máximo	9.58	10.15
Desgaste mínimo	1.75	3.04

Fuente: Elaboración propia

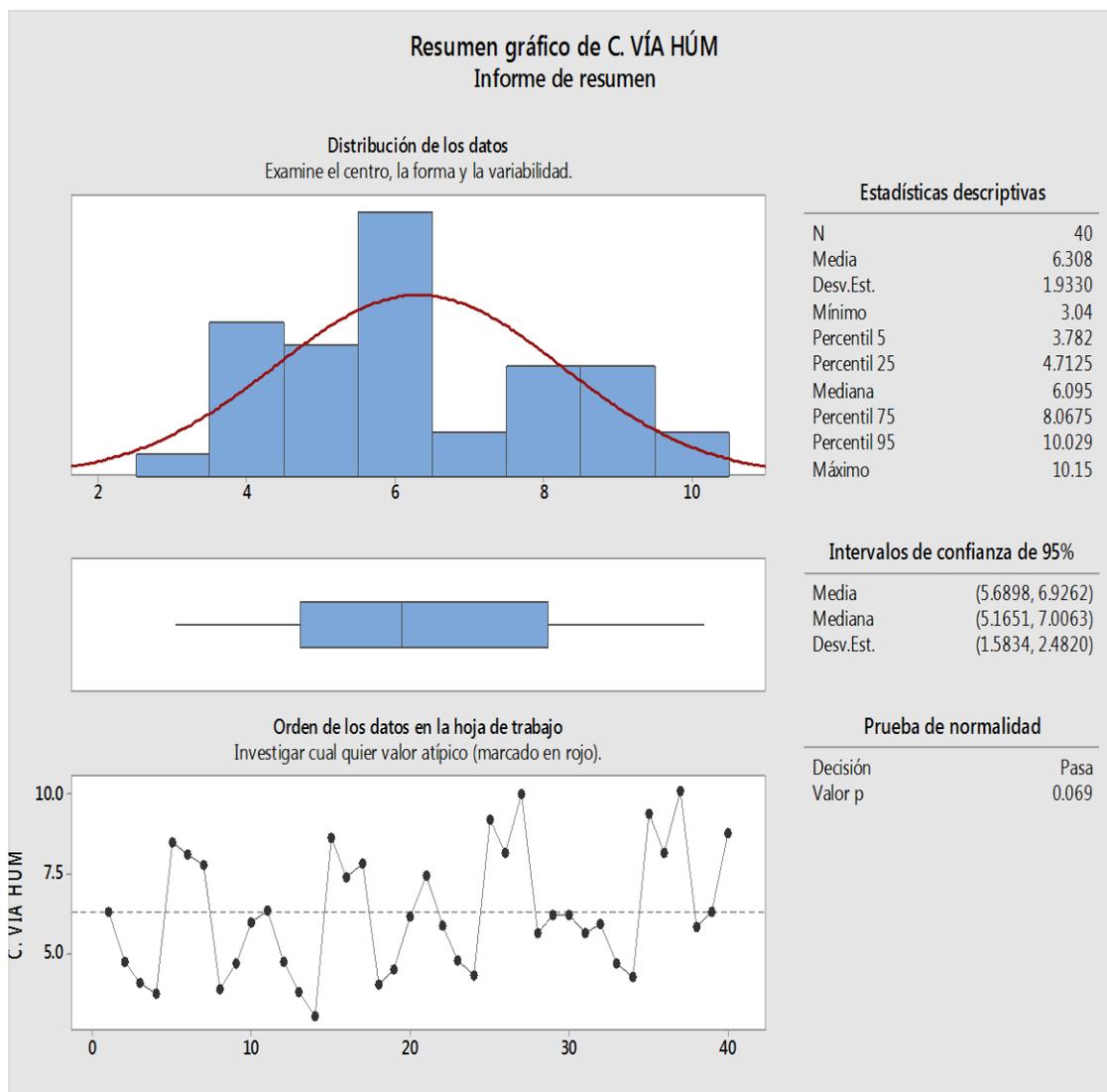
Gráfico 4.2.29. Distribución de los datos la forma y la variabilidad del cántabro por vía seca



Fuente: Programa Minitab – Elaboración propia

Podemos observar en el **gráfico 4.2.29**, que el desgaste promedio para cántabro por vía seca fue de 5.34 por ciento con una varianza de 4.70, la mitad de los ensayos realizados logró desgastes menores a 5.21 por ciento, la diferencia entre el máximo y el mínimo fue de 7.83 por ciento y el 50 por ciento de los ensayos logró desgastes comprendidos entre 3.57 y 7.66 por ciento.

Gráfico 4.2.30. Distribución de los datos la forma y la variabilidad del cántabro por vía húmeda



Fuente: Programa Minitab - Elaboración propia

Podemos observar en el **gráfico 4.2.30**, que el desgaste promedio para cántabro por vía húmeda fue de 6.31 por ciento con una varianza de 3.74, la mitad de los ensayos realizados logró desgastes menores a 6.10 por ciento, la diferencia entre el máximo y el mínimo fue de 7.11 por ciento y el 50 por ciento de los ensayos logró desgastes comprendidos entre 4.71 y 8.10 por ciento.

4.3. VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

Dentro de la investigación se presenta la siguiente hipótesis:

“Si a distintos tipos de filler se combinan con una mezcla asfáltica en caliente, entonces no siempre mejoran sus propiedades mecánicas y de resistencia al desgaste.”

Distribución normal: Se realizara la prueba de hipótesis con la distribución normal por contar con 40 datos de estudio y se tomara como propiedad mecánica para esta validación de hipótesis que será la resistencia al desgaste.

Datos:

$n = 40$ briquetas

$\bar{x} = 5.34 \%$

$S = 4.7 \%$

$\mu = .25\%$ (por norma)

NC= 95% = 0,95

Ho= Hipótesis nula.

H1= Hipótesis alternativa.

Tabla 4.3.1. Generando hipótesis

	Ho	H1
	\geq	$<$
Ho	$\bar{x} \geq \mu$	5.34 % \geq 25%.
H1	$\bar{x} < \mu$	5.34 % $<$ 25% lb.

Fuente: Elaboración propia

Determinar el nivel de significancia:

$$NC + \alpha = 1$$

$$0,95 + \alpha = 1$$

$$\alpha = 1 - 0,95$$

$\alpha = 0,05$ Es el riesgo del 5% que no ocurra la hipótesis, con este valor entramos a la tabla de distribución normal y hallamos nuestra z crítica.

Figura 4.3.1. Regla de decisiones



Leyenda: Por el nivel de significancia y la generación de la hipótesis nuestro grafica tendrá solo una región de rechazo ubicado a la izquierda del gráfico.

Fuente: Elaboración propia

Resultados de Z

Tabla 4.3.2. Resultados Zc

Error poblacional	$G = \frac{S}{\sqrt{n}}$	G = 0.74
Zc	$Zc = \frac{\bar{x} - \mu}{G / \sqrt{n}}$	Zc = - 168

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones:

Observando nuestro valor obtenido por tabla Z y el valor calculado de Zc se puede verificar que el valor de Zc se encuentra dentro de los rangos de la región de rechazo por lo que la hipótesis nula es rechazada y se acepta la hipótesis alternativa.

Al terminar el análisis de los resultados se puede verificar que la hipótesis es válida ya que con diferentes tipos de filler no siempre cumplen los parámetros técnicos en la mezcla asfáltica, en algunos casos menos y otros más significativos.

4.4. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Tabla 4.4.1. Análisis de precios unitarios con material chancado para un metro cubico de mezcla asfáltica

Mezcla asfáltica con material chancado y C.A. 85/100		
DESCRIPCIÓN	FILLER	COSTO (Bs)
Mezcla asfáltica convencional	S/F	2344.83
Con adición de cemento como filler	3%	2378.46
Con adición de cemento como filler	5%	2467.81
Con adición de cemento como filler	7%	2565.52
Con adición de arcilla como filler	3%	2313.02
Con adición de arcilla como filler	5%	2332.63
Con adición de arcilla como filler	7%	2375.62
Con adición de cal hidratada	3%	2435.27
Con adición de cal hidratada	5%	2576.00
Con adición de cal hidratada	7%	2707.55
Mezcla asfáltica con material chancado y C.A. 60/70		
Mezcla asfáltica convencional	S/F	2252.85
Con adición de cemento como filler	3%	2305.38
Con adición de cemento como filler	5%	2394.80
Con adición de cemento como filler	7%	2488.68
Con adición de arcilla como filler	3%	2227.79
Con adición de arcilla como filler	5%	2259.57
Con adición de arcilla como filler	7%	2303.79
Con adición de cal hidratada	3%	2363.37
Con adición de cal hidratada	5%	2501.50
Con adición de cal hidratada	7%	2617.97

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la **tabla 4.4.1**, que a medida que aumentamos el porcentaje de filler el precio de la mezcla asfáltica se incrementa con respecto a la mezcla convencional, también observamos que el filler más costoso es la cal debido a su peso y al precio que es comercializada, la diferencia más grande con respecto a la mezcla convencional se presenta al adicionar la cal hidratada al 7 por ciento y presenta una diferencia de 362.72 bs

Tabla 4.4.2. Análisis de precios unitarios con material de canto rodado para un metro cubico de mezcla asfáltica

Mezcla asfáltica con material de canto rodado y C.A. 85/100		
DESCRIPCIÓN	FILLER	COSTO (Bs)
Mezcla asfáltica convencional	S/F	2250.17
Con adición de cemento como filler	3%	2334.00
Con adición de cemento como filler	5%	2414.29
Con adición de cemento como filler	7%	2494.89
Con adición de arcilla como filler	3%	2254.14
Con adición de arcilla como filler	5%	2278.93
Con adición de arcilla como filler	7%	2318.51
Con adición de cal hidratada	3%	2375.28
Con adición de cal hidratada	5%	2506.15
Con adición de cal hidratada	7%	2643.62
Mezcla asfáltica con material de canto rodado y C.A. 60/70		
Mezcla asfáltica convencional	S/F	2177.16
Con adición de cemento como filler	3%	2246.96
Con adición de cemento como filler	5%	2335.91
Con adición de cemento como filler	7%	2421.48
Con adición de arcilla como filler	3%	2181.72
Con adición de arcilla como filler	5%	2195.83
Con adición de arcilla como filler	7%	2234.18
Con adición de cal hidratada	3%	2301.57
Con adición de cal hidratada	5%	2418.54
Con adición de cal hidratada	7%	2568.00

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la **tabla 4.4.2**, que a medida que aumentamos el porcentaje de filler el precio de la mezcla asfáltica se incrementa con respecto a la mezcla convencional, también observamos que el filler más costoso es la cal debido a su peso y al precio que es comercializada, la diferencia más grande con respecto a la mezcla convencional se presenta al adicionar la cal hidratada al 7 por ciento y presenta una diferencia de 393.45 bs.

Para más detalles de los precios unitarios revisar el **A.III**.

4.5. ESPECIFICACIONES DEL USO DE CADA TIPO DE FILLER

Para el uso en las mezclas asfálticas en caliente el filler tiene que cumplir con los requisitos establecidos en el manual de especificaciones técnicas de la ABC, cumplir con su granulometría y ser un material no plástico al mezclarse con el agregado fino pasante el Tamiz N°40.

Propiedades del Cemento Portland

Producto que se obtiene por la pulverización del Clinker, cuando el cemento portland es mezclado con agua, se obtiene un producto de características plásticas con propiedades adherentes que se solidifica en algunas horas y endurece progresivamente durante un periodo de varias semanas hasta adquirir una resistencia característica el proceso de solidificación se debe a un proceso químico llamado hidratación mineral.

En la ingeniería vial se utiliza para pavimentos rígidos, entre sus propiedades, como es en caso de la resistencia a la compresión y resistencia a la tracción por flexión.

Cal hidratada

La cal es un producto natural resultante de la cocción de una caliza, tiene propiedades hidráulicas y estas dependen del contenido de arcilla y también de la temperatura de calcinación, la propiedad fundamental de este material es la capacidad de fraguado en el seno del agua.

La cal es un mineral bastante utilizado en la construcción por sus propiedades, regula la higrometría, gran plasticidad, resistencia a las bacterias.

Arcilla

La arcilla es un material aglomerante, el endurecimiento de sus masas plásticas mezcladas con agua es muy débil y de carácter reversible.

Dentro de sus propiedades tenemos la capacidad de endurecimiento y las propiedades plásticas.

4.5.1. Por propiedades en la mezcla asfáltica

Cemento portland

El cemento Portland es empleado como filler de aporte en las mezclas asfálticas en caliente. En general, las condiciones de calidad de tales mezclas pueden resumirse en tres: estabilidad, flexibilidad y durabilidad, en las cuales el cemento gravita significativamente, cumpliendo tres funciones principales: actuando como material de relleno de vacíos, como espesante de asfalto o mejorando la adherencia del par agregado –asfalto.

Cal hidratada

La cal en las mezclas asfálticas se utiliza como mejorador de adherencia entre agregados pétreos y cemento asfáltico.

La cal es un excelente modificador del asfalto reduciendo o eliminando los daños por humedad, además tiene otras propiedades que aún no se han descubierto, por lo que se denomina modificador multifuncional.

Si usamos cal como sustituyente del fino, dado su naturaleza químicamente activa, elimina componentes indeseables y hace a la mezcla sea más resistente a altas temperaturas, lo que implica más resistencia al ahuellamiento.

La arcilla

La arcilla aporta a la mezcla asfáltica cohesión, impermeabilidad, estabilidad y trabajabilidad, es un aglomerante natural que aumenta la resistencia del ligante, actuando como rellenedor de vacíos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Posteriormente a la comparación que se hizo se pudo llegar a las siguientes conclusiones:

Primeramente se llega a la conclusión que al utilizar distintos tipos de filler no siempre se cumplen con los parámetros técnicos establecidos como por ejemplo en el equivalente de arena podemos observar en la **tabla 3.7.18**, con arcilla como filler al 5% y al 7% no cumplen, también podemos observar en el **gráfico 4.1.11**, que no cumple con el porcentaje de vacíos en el betón cuando agregamos 3% de cemento y 3% arcilla a la mezcla.

Se pudo realizar el análisis correspondiente, características y procedimientos de la mezcla asfáltica en caliente mediante el método Marshall, mediante el cual se pudo determinar Estabilidad y Fluencia con adición de tres tipos de filler a diferente porcentaje, alguno de ellos no cumpliendo con ciertos parámetros técnicos.

Se llegó a establecer la propiedad del filler y el más apto para su utilización dentro de la mezcla asfáltica resulto ser el Cemento Portland IP – 30.

Se realizó la caracterización de los materiales tanto de canto rodado como chancado llegando a tener mejores resultados el material proveniente de Charajas ya que es un material utilizado por SEDECA.

Se determinó el efecto que causó el filler en cada resultado del Marshall como en los agregados donde no cumple con las especificaciones técnicas debido a un exceso de filler como también fue a causa de las características del filler utilizado.

Se estableció los indicadores principales de nuestro trabajo de acuerdo a los resultados del Marshall como también al ensayo de desgaste por el método cántabro, para verificar cuál de estos tipos de filler utilizados se comporta adecuadamente en las mezclas en caliente.

Llegamos a la conclusión que el filler que mejor resultados nos dio es el cemento con referencia al convencional para material chancado y para canto rodado, también pudimos

observar y analizar que el filler cemento IP – 30 es un buen material debido a que mientras se adicione más filler la mezcla tiende a rigidizarse pero con ciertos límites porque si se adiciona en exceso, el porcentaje de vacíos disminuirá y el pavimento dejara de ser flexible y tendera a agrietarse, el cemento fue el que sufrió menos desgaste en comparación a los otros materiales, mientras más resista al desgaste más será su resistencia a la tracción ya que nuestro pavimento flexible trabaja a tracción.

Se realizó la comparación del desgaste sufrido con adición de filler con respecto a la mezcla asfáltica convencional.

Debemos pensar muy bien a la hora de utilizar el cemento como filler por el costo que significaría para la producción de la mezcla asfáltica, resaltar que al ser un filler de origen industrial nos facilita su obtención, es factible su uso siempre y cuando sea en un determinado tramo donde la carretera requiera de las propiedades y la resistencia que brinda al desgaste.

Debemos pensar muy bien a la hora de utilizar la arcilla como filler por el costo que significaría su obtención debido a la selección y la trituración del material, ya que es un filler de origen mineral, cabe resaltar que es un material que en la actualidad se presenta en la mezcla asfáltica de nuestros bancos utilizados en nuestro departamento pero no es una arcilla pura.

Debemos pensar muy bien a la hora de utilizar la cal como filler por el costo que significaría dentro de la mezcla asfáltica, cabe resaltar que es uno de los materiales más caros estudiados en esta investigación motivo por el cual limita su uso del mismo, pero también tiene características importantes para mezcla como reducir el daño por humedad.

5.2. RECOMENDACIONES

Una vez concluido el trabajo de investigación se tiene las siguientes recomendaciones:

Se debe cumplir con todas las especificaciones que existen en la AASTHO, ASTM y el manual de especificaciones técnicas de la ABC, para la elaboración de las mezclas asfálticas en caliente.

Debido a la necesidad de mejoras en la mezcla asfáltica nos vemos en la necesidad de optar por utilizar otros tipos de material llenante para dar mejor calidad a la mezcla, esto dependiendo de su costo, también debemos recalcar que es posible su uso en lugares donde se requiera, dependiendo del clima del lugar y por cierto tramo a utilizar en específico.

Encontrar el beneficio costo con el motivo de que el presente trabajo sea viable en su aplicación en nuestra región.

Para la elaboración de las mezclas asfálticas en caliente se recomienda primero calibrar los equipos a utilizar para que el margen de error sea mínimo.

En climas cálidos y húmedos recomendamos analizar el tipo de ligante y su dureza para que de esta forma no llegue a tener problemas de exudación y ahuellamientos.

Se recomienda tener cuidado con los porcentajes de filler a utilizar, también estudiar el tipo de filler que se aplicará a la mezcla asfáltica, ya que tiene que cumplir ciertos requisitos según norma, para el proceso del Marshall tener cuidado con la energía de compactación a aplicar sobre la muestra para que los resultados sean coherentes.

Calibrar el aparato para el ensayo de cántabro a cierto número de revoluciones ya que la muestra será sometida sin carga abrasiva según norma.