



UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS
“INFLUENCIA DE LA ADICION DE CAL HIDRATADA O
CEMENTO A LA ESTABILIDAD Y FLUENCIA DENTRO DEL
DISEÑO MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, PILCOMAYO -
2018”

PRESENTADO POR EL BACHILLER
JOSE, QUISPE MARTINEZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL
HUANCAYO – PERÚ
MAYO, 2018

DEDICATORIA:

A Dios quien a diario me da las fuerzas necesarias y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante el periodo de estudio del presente proyecto.

A mi madre querida, por haberme hecho una persona de bien y de buenos valores, por haberme guiado a alcanzar esta meta pese a los obstáculos encontrados y que siempre estuvieron dispuestos para brindarme todo su apoyo y comprensión y darme el aliento para seguir adelante.

A mi adorada esposa y a mis dos engreídos y tiernos hijos que cada día me llenan de alegría y felicidad, con esa ternura, alegría y ocurrencias que siempre los caracterizan hacen posible y me dan la fuerza necesaria para seguir superándome y ser cada día mejor y sobre todo ser el ejemplo de padre que ellos se merecen. A mi madre querida, por haberme hecho una persona de bien y de buenos valores, por haberme guiado a alcanzar esta meta pese a los obstáculos encontrados y que siempre estuvieron dispuestos para brindarme todo su apoyo y comprensión y darme el aliento para seguir adelante.

AGRADECIMIENTO:

Casi siempre resulta difícil agradecer a aquellas personas que han colaborado y guiado con un proceso, con un trabajo, porque nunca alcanza el tiempo, el papel o la memoria para mencionar o dar con justicia todos los créditos y méritos a quienes se lo merecen.

Partiendo de esta limitación y expresando de antemano MUCHAS GRACIAS a todas las personas que de una u otra manera han colaborado en el desarrollo de esta tesis.

Mediante el presente expreso mi mayor gratitud hacia mi Alma Mater “Universidad Alas Peruanas” y a la “Escuela de Profesional de Ingeniería Civil” que a través de sus docentes impartieron conocimientos.

RESUMEN

La presente tesis tiene como título: **“INFLUENCIA DE LA ADICCIÓN DE CAL HIDRATADA O CEMENTO A LA ESTABILIDAD Y FLUENCIA DENTRO DEL DISEÑO MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, PILCOMAYO - 2018”** siendo uno de los problemas fundamentales es que efectos causa la adicción de cal hidratada o cemento en las propiedades mecánicas del diseño de mezcla asfáltica en caliente, buscando como solución la proporción óptima para mejorar la estabilidad y fluencia dentro de la mezcla asfáltica.

Como primer punto desarrollaremos el planteamiento del problema que nos dará a conocer que en nuestra localidad de Pilcomayo el pavimento flexible es más utilizado por lo tanto utilizan el diseño de mezcla asfáltica en caliente para poder elaborar sus pistas.

Daremos a conocer el capítulo II los fundamentos teóricos, marco legal, marco conceptual y definiciones de términos.

En los siguientes capítulos contemplaran el desarrollo de la investigación y poder analizar los resultados de la investigación.

En la actualidad los diseños de pavimentos están compuestos piedra chancada arenas y el cemento asfáltico, en esta investigación diseñaremos añadiendo porcentajes de cal hidratada o cemento para poder analizar las propiedades mecánicas en la estabilidad y fluencia de la mezcla asfáltica con estas variaciones.

Estos resultados los mostraremos pudiendo ser utilizados en diversas carreteras con diferentes cargas de tráfico. Siendo así utilizable el porcentaje óptimo de cal hidratada o de cemento y poder optimizar los costos de ejecución de la obra, y también tratando de optimizar materiales.

SUMARY

This thesis has the title: "**INFLUENCE OF THE ADDICTION OF HYDRATED LIME OR CEMENT TO THE STABILITY AND FLUENCY WITHIN THE DESIGN ASPHALT MIX IN HOT, PILCOMAYO - 2018**" being one of the fundamental problems is that effects causes the addiction of hydrated lime or cement in the mechanical properties of the hot mix asphalt design, looking for the optimal ratio as a solution to improve the stability and creep within the asphalt mix.

As a first point we will develop the approach of the problem that will let us know that in our town of Pilcomayo the flexible pavement is more used therefore they use the hot mix asphalt design to be able to elaborate their tracks.

We will make known chapter II the theoretical foundations, legal framework, conceptual framework and definitions of terms.

In the following chapters, they will consider the development of the research and analyze the results of the research.

At present, the pavement designs are composed of sand-crushed stone and asphalt cement, in this research we will design adding percentages of hydrated lime or cement to be able to analyze the mechanical properties in the stability and flow of the asphalt mixture with these variations.

We will show these results and can be used on different roads with different traffic loads. Thus, the optimum percentage of hydrated lime or cement is usable and we can optimize the execution costs of the work, and also trying to optimize materials.

INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA:	2
AGRADECIMIENTO:	3
RESUMEN	4
SUMARY	5
INDICE DE CONTENIDOS	6
INDICE de tablas	11
INDICE de figuras.....	13
INTRODUCCIÓN	14
CAPITULO I.....	16
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.1. CARACTERIZACIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	16
1.2. DELIMITACIONES.....	17
1.2.1. ESPACIAL	17
1.2.2. TEMPORAL.....	17
1.3. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	18
1.3.1. PROBLEMA GENERAL	18
1.3.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	18
1.4. OBJETIVOS	18
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	18
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	19
1.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	19
1.6. VARIABLES	19
1.6.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	19
1.6.2. VARIABLE DEPENDIENTE	19
1.7. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.7.1. MÉTODO.....	20
1.7.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN	20
1.7.3. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.7.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.8. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	21
1.8.1. POBLACIÓN.....	21

1.8.3. MUESTRA.....	22
1.9. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	22
1.9.1. TÉCNICAS.....	22
1.9.2. INSTRUMENTOS	22
1.9.3. RECOLECCIÓN DE DATOS	22
1.10. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA	23
1.10.1. JUSTIFICACIÓN	23
1.10.2. IMPORTANCIA	23
1.11. LIMITACIONES	24
1.12. VIABILIDAD	24
1.12.1. TECNICA:.....	24
1.12.2. ECONOMICA:.....	24
1.12.3. SOCIAL.....	25
1.12.4. OPERATIVA:.....	25
CAPITULO II.....	26
FUNDAMENTOS TEORICOS.....	26
2.1. MARCO REFERENCIAL.....	26
2.1.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	26
2.1.2. REFERENCIAS HISTÓRICAS.....	28
2.2. MARCO LEGAL	29
2.3. MARCO CONCEPTUAL	31
2.4. MARCO TEÓRICO.....	33
2.4.1. GENERALIDADES.....	33
2.4.2. GLOSARIO DE TÉRMINOS	33
2.4.3. EL ASFALTO.....	34
2.4.4. PRODUCCION DEL ASFALTO	35
2.4.5. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES ASFÁLTICOS.....	35
2.4.6. ADHESIVIDAD A LOS ARIDOS.....	36
2.4.7. MEZCLA ASFÁLTICA	37
2.4.8. PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	39
2.4.9. CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	44
2.4.10. TIPOS DE MEZCLAS.....	45
2.4.11. METODOS DE DISEÑO	47
2.4.12. EMPLEO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	50

2.4.13. AGREGADOS	52
2.4.15. ESTABILIDAD DE MEZCLA ASFÁLTICA.....	54
CAPITULO III.....	56
DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	56
3.1. CONDICIONES PREVALECIENTES DE LA LÍNEA DE ESTUDIO	56
3.2. RESUMEN DE RESULTADOS DE GRANULOMETRIA DE AGREGADOS.....	58
3.3. RESUMEN de combinación teorica	64
3.4. RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO MARSHALL para obtener el contenido ÓPTIMO de asfalto.....	65
3.5. resumen de resultados de las adiciones	66
CAPITULO IV	68
RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	68
4.1. ANÁLISIS DE granulometria.....	68
4.2. ANÁLISIS DE combinación de agregados.....	69
4.3. ANÁLISIS DE diseño contenido de cemento asfáltico	71
4.3.1. ANÁLISIS DE DISEÑO CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO 4.0%.....	71
4.3.2. ANÁLISIS DE DISEÑO CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO 4.5%.....	71
4.3.3. ANÁLISIS DE DISEÑO CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO 5.0%.....	72
4.3.5. ANÁLISIS DE DISEÑO CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO 5.5%.....	73
4.3.5. ANÁLISIS DE DISEÑO CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO 6.0%.....	73
4.3.5. ANÁLISIS DE DISEÑO CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO 6.5%.....	74
4.4. resultado del contenido optimo de cemento asfáltico.....	75
4.5. resultado de adición de cal hidratada.....	75
4.5.1. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CAL HIDRADATADA 0.5%	75
4.5.2. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CAL HIDRADATADA 1.0%	76
4.5.3. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CAL HIDRADATADA 1.5%	76
4.5.4. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CAL HIDRADATADA 2.0%	77
4.5.5. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CAL HIDRADATADA 2.5%	78
4.5.6. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CAL HIDRADATADA 3.0%	78
4.5.7. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CAL HIDRADATADA 3.5%	79
4.5.8. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CAL HIDRADATADA 4.0%	80
4.5.10. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CAL HIDRADATADA 4.5%	81
4.5.11. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CAL HIDRADATADA 5.0%	81
4.5.12. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CAL HIDRADATADA 5.5%	82

4.5.13. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CAL HIDRATADA 6.0%	83
4.6. resultado del porcentaje maximo de CAL HIDRATADA según contenido optimo de cemento asfaltico y flujo.	84
4.7. resultado del porcentaje maximo de CAL HIDRATADA según contenido optimo de cemento asfaltico y estabilidad.....	85
4.8. resultado del porcentaje maximo de CAL HIDRATADA según contenido optimo de cemento asfaltico y relacion flujo - estabilidad.....	86
4.9. resultado de adicion de cemento.....	88
4.9.1. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CEMENTO 0.5%	88
4.9.2. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CEMENTO 1.0%	88
4.9.3. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CEMENTO 1.5%	89
4.9.4. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION CEMENTO 2.0%	90
4.9.5. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CEMENTO 2.5%	90
4.9.6. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CEMENTO 3.0%	91
4.9.7. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CEMENTO 3.5%	92
4.9.8. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CEMENTO 4.0%	92
4.9.10. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CEMENTO 4.5%	93
4.9.11. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CEMENTO 5.0%	94
4.9.12. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CEMENTO 5.5%	94
4.9.13. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CEMENTO 6.0%	95
4.10. resultado del porcentaje maximo de CEMENTO según contenido optimo de cemento asfaltico y flujo.	96
4.11. resultado del porcentaje maximo de CEMENTO según contenido optimo de cemento asfaltico y estabilidad.....	98
4.12. resultado del porcentaje maximo de CEMENTO según contenido optimo de cemento asfaltico y relacion flujo - estabilidad.....	99
CAPITULO V	101
PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS.....	101
5.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS GENERAL.....	101
5.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	101
CAPITULO VI	103
6.1. CONCLUSIONES	103
6.2. RECOMENDACIONES	104
FUENTES DE INFORMACIÓN.....	105
BIBLIOGRAFIA:.....	105

ANEXOS 106

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Causas y Efectos de Inestabilidad en el Pavimento.

Tabla 2 Resumen granulometría de piedra de 3/4"

Tabla 3 Resumen granulometría de piedra de 1/2"

Tabla 4 Resumen granulometría de arena chancada

Tabla 5 Resumen granulometría de arena zarandeada

Tabla 6 Resumen granulometría filler (Cal Hidratada)

Tabla 7 Resumen granulometría filler(Cemento portland)

Tabla 8 Combinación de agregados para mezclas asfálticas en caliente MAC 2

Tabla 9 Ensayos para obtener el contenido óptimo de asfalto

Tabla 10 Resumen de estabilidad - flujo según % de adición de cal hidratada

Tabla 11 Resumen de estabilidad - flujo según % de adición de cemento

Tabla 12 Resumen contenido de cemento asfáltico 4.0%

Tabla 13 Resumen contenido de cemento asfáltico 4.5%

Tabla 14 Resumen contenido de cemento asfáltico 5.0%

Tabla 15 Resumen contenido de cemento asfáltico 5.5%

Tabla 16 Resumen contenido de cemento asfáltico 6.0%

Tabla 17 Resumen contenido de cemento asfáltico 6.5%

Tabla 18 Resumen contenido de adición del 0.5%

Tabla 19 Resumen contenido de adición del 1.0%

Tabla 20 Resumen contenido de adición del 1.5%

Tabla 21 Resumen contenido de adición del 2.0%

Tabla 22 Resumen contenido de adición del 2.5%

Tabla 23 Resumen contenido de adición del 3.0%

Tabla 24 Resumen contenido de adición del 3.5%

Tabla 25 Resumen contenido de adición del 4.0%

Tabla 26 Resumen contenido de adición del 4.5%

Tabla 27 Resumen contenido de adición del 5.0%

Tabla 28 Resumen contenido de adición del 5.5%

Tabla 29 Resumen contenido de adición del 6.0%

Tabla 30 Resumen contenido de adición del 0.5% de cemento

Tabla 31 Resumen contenido de adición del 1.0% de cemento

Tabla 32 Resumen contenido de adición del 1.5% de cemento

Tabla 33 Resumen contenido de adición del 2.0% de cemento

Tabla 34 Resumen contenido de adición del 2.5% de cemento

Tabla 35 Resumen contenido de adición del 3.0%

Tabla 36 Resumen contenido de adición del 3.5% de cemento

Tabla 37 Resumen contenido de adición del 4.0% de cemento

Tabla 38 Resumen contenido de adición del 4.5% de cemento

Tabla 39 Resumen contenido de adición del 5.0% de cemento

Tabla 40 Resumen contenido de adición del 5.5% de cemento

Tabla 41 Resumen contenido de adición del 6.0% de cemento

INDICE DE FIGURAS

Figura 01: Localidad de Pilcomayo-Huancayo

Figura 02 Desprendimiento de la última capa delgada

Figura 03 Agrietamiento (Piel de cocodrilo)

Figura 04 Ubicación de Línea de Estudio

Figura 05 Probetas del ensayo Marshall

Figura 06 Granulometría de los agregados según USOS MAC

Figura 07 Diseño de mezcla de agregados según MAC

Figura 08 Flujo según % de Cal Hidratada

Figura 09 Grafica Flujo - % de Cal Hidratada

Figura 10 Estabilidad según % de canto rodado

Figura 11 Estabilidad - % Cal Hidratada

Figura 12 Estabilidad - Flujo

Figura 13 Grafica Estabilidad – Flujo

Figura 1 Flujo - % de adición de Cemento

Figura 2 Grafica Flujo - % de adición de Cemento

Figura 16 Estabilidad según % con adición de cemento

Figura 17 Estabilidad - % con adición de cemento

Figura 18 Estabilidad - Flujo

Figura 19 Grafica Estabilidad - Flujo

INTRODUCCIÓN

En nuestro país las carreteras son de vital importancia, el cual es necesario tener unas infraestructuras de carreteras modernas, en buenas condiciones, que tengue interconexión entre las principales ciudades de nuestro país y de nuestras regiones.

La mezcla asfáltica se emplea en la conformación de pavimentos flexibles, la cual se utiliza como carpeta de rodadura o en capas inferiores. Este tipo de pavimento tradicionalmente utilizamos la mezcla asfáltica en caliente (MAC), el cual tiene la combinación de cemento asfáltico con los agregados minerales pétreos en una proporción exacta. Este diseño determina las características físicas y propiedades mecánicas de la mezcla. Sin embargo, estas propiedades pueden ser modificadas si existe la presencia de un aditivo en la mezcla.

El presente trabajo da a conocer las propiedades dentro de la mezcla asfáltica en caliente al adicionar de cal hidratada o cemento, esto se lleva a cabo por la necesidad de tener la óptima estabilidad y fluencia dentro del diseño de mezclas asfálticas en caliente por medio de estas adiciones.

Los pavimentos de mezclas asfáltica en caliente que tenemos en nuestro país, brinda un diseño geométrico, los materiales que se utilizan se rigen bajo las especificaciones y normas que establece el contratante, el cual no se está cumpliendo con las propiedades principales de la mezcla asfáltica y uno de los factores es el Filler dentro de la estabilidad y fluencia en el asfalto.

EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONANDO CAL HIDRATADA O CEMENTO MEJORARA LA ESTABILIDAD Y FLUENCIA CON RESPECTO AL DISEÑO TRADICIONAL, tiene como objeto de estudio, realizar un diseño con la incorporación de cal hidratada o cemento en la mezcla asfáltica en caliente, utilizaremos la metodología Marshall para medir que efectos causa este tipo de adición, controlando los ensayos de laboratorio bajo la norma AASHTO, ASTM, Instituto del asfalto ACI, Manual De Ensayos De Materiales(MTC – 2016) Y

Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción EG - 2013 , son las especificaciones que rigen en la construcción de carreteras.

El diseño de mezcla asfáltica en caliente convencional tiene como componentes: agregados de la localidad de Pilcomayo, asfalto CAP PEN 85 – 100, el cual para comprobar los beneficios del uso de cal hidratada o cemento utilizaremos una proporción (0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5%, 3.0%, 3.5%, 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%). El cual los tres tipos de mezcla serán sometidos a los ensayos que indica el método de Marshall para mezcla asfálticas, con esto se podrá comparar los resultados de estos ensayos y así conocer las diferencias entre mezclas y determinar si la cal hidrata o el cemento puede cumplir la función de relleno mineral (filler) como de aditivo.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. CARACTERIZACIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

En la localidad de Pilcomayo la mezcla más utilizada en la capa de rodadura es la mezcla asfáltica en caliente, la cual se conforma de agregados pétreos y cemento asfáltico, que son debidamente calentados a una temperatura adecuada tanto para el mezclado como para la colocación y compactación.

En los últimos años el volumen de tránsito que circula por las carreteras es cada vez mayor, el cual las carreteras de pavimentos flexibles están sometidas a esfuerzos y deformaciones flexibles. Por lo tanto, es necesario que los pavimentos estén diseñados a tener mejor estabilidad y fluencia para no tener ahuellamientos ni ondulaciones en el pavimento.

Por lo cual proponemos mejorar el diseño de mezcla asfáltica en caliente con la adición de cal hidratada o cemento, mejorando la estabilidad y fluencia dentro del diseño de mezcla asfáltica en caliente.

Por consiguiente, esta tesis realizará los ensayos de laboratorio necesarios para conocer la mejora en la propiedad del diseño de mezcla asfáltica en caliente.

1.2. DELIMITACIONES

1.2.1. ESPACIAL

El tema de investigación se realizará en la localidad de Pilcomayo, provincia Huancayo, el cual se desarrollará los ensayos por medio del laboratorio de suelos y pavimentos, para poder obtener los datos correspondientes de los ensayos y mejorar el diseño de mezcla asfáltica en caliente.

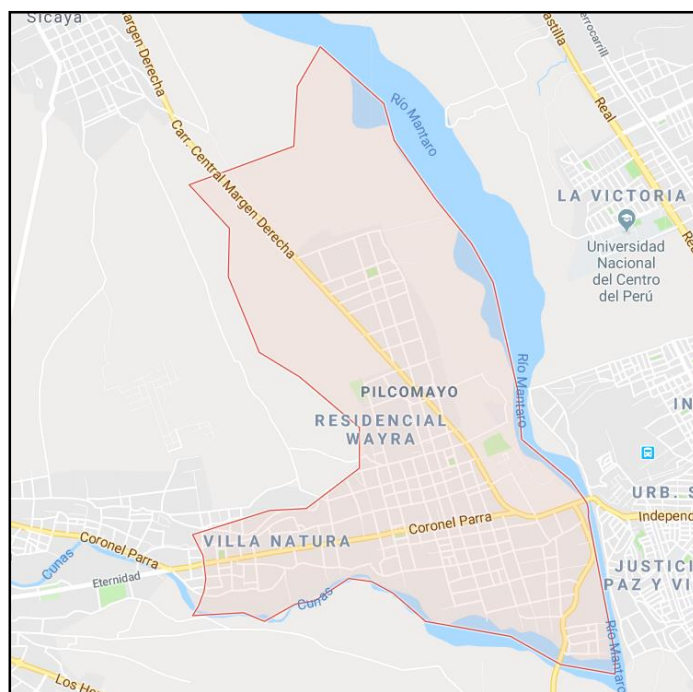


Figura 01: Localidad de Pilcomayo-Huancayo

1.2.2. TEMPORAL

El estudio tendrá una duración de tres meses, comenzará a principios de abril hasta fines de junio del 2018.

1.3. FORMULACION DEL PROBLEMA

1.3.1. PROBLEMA GENERAL

¿La adición de cal hidratada o cemento portland influye en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente?

1.3.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- a) ¿Se puede determinar el porcentaje óptimo de asfalto en función a la estabilidad y fluencia que este dentro de los parámetros de diseño de mezcla asfáltica en caliente establecido por el MTC?
- b) ¿Existe un porcentaje óptimo de cal hidratada o cemento dentro del diseño de mezcla asfáltica en caliente?
- c) ¿Cuál de los dos materiales: cal hidratada o cemento tiene mejor estabilidad y fluencia dentro del diseño de mezcla asfáltica en caliente?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar la influencia de la cal hidratada o cemento portland en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos conducen al logro del objetivo general son:

- a. Determinar el porcentaje óptimo de asfalto en función a la estabilidad y fluencia dentro del diseño de mezcla asfáltica en caliente.
- b. Determinar el porcentaje óptimo de cal hidratada o cemento dentro del diseño de mezcla asfáltica en caliente.

- c. Comparar cuál de los dos materiales: cal hidratada o cemento tiene mejor estabilidad y fluencia dentro del diseño de mezcla asfáltica en caliente.

1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL

Si, existe un cambio en la estabilidad y fluencia de la mezcla asfáltica en caliente al adicionar cal hidratada o cemento.

1.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- a) El porcentaje óptimo de asfalto óptimo es de 4% en función a la estabilidad y fluencia dentro del diseño de mezcla asfáltica en caliente.
- b) El porcentaje óptimo de cal hidratada es de 3.5% y de cemento 4% en peso del diseño de mezcla asfáltica en caliente.
- c) El cemento portland proporciona mejor estabilidad y fluencia que la cal hidratada.

1.6. VARIABLES

1.6.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

- % de cal hidratada en el diseño de mezcla asfáltica en caliente.
- % de cemento en el diseño de mezcla asfáltica en caliente.

1.6.2. VARIABLE DEPENDIENTE

- Diseño de mezcla asfáltica en caliente convencional.

1.7. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1. MÉTODO

Investigación Cuantitativa

Debido a que se usa la recolección de datos para probar la hipótesis, basándose en una medición numérica y análisis estadístico, así establecer patrones de comportamiento para probar teorías. Se analizaron dos factores, el primero es la adición para el diseño de mezcla asfáltica en caliente, el segundo es demostrar la adición que tiene mejor estabilidad y fluencia dentro de la mezcla asfáltica.

1.7.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación que se propuso corresponde al Diseño Experimental, este tipo de investigación se ha ideado con el propósito de determinar, con la mayor confiabilidad posible, relaciones de causa-efecto.

En relación al diseño de investigación, el autor sostiene “que el diseño de campo, la información se recoge en su ámbito natural” (Hurtado, 2008).

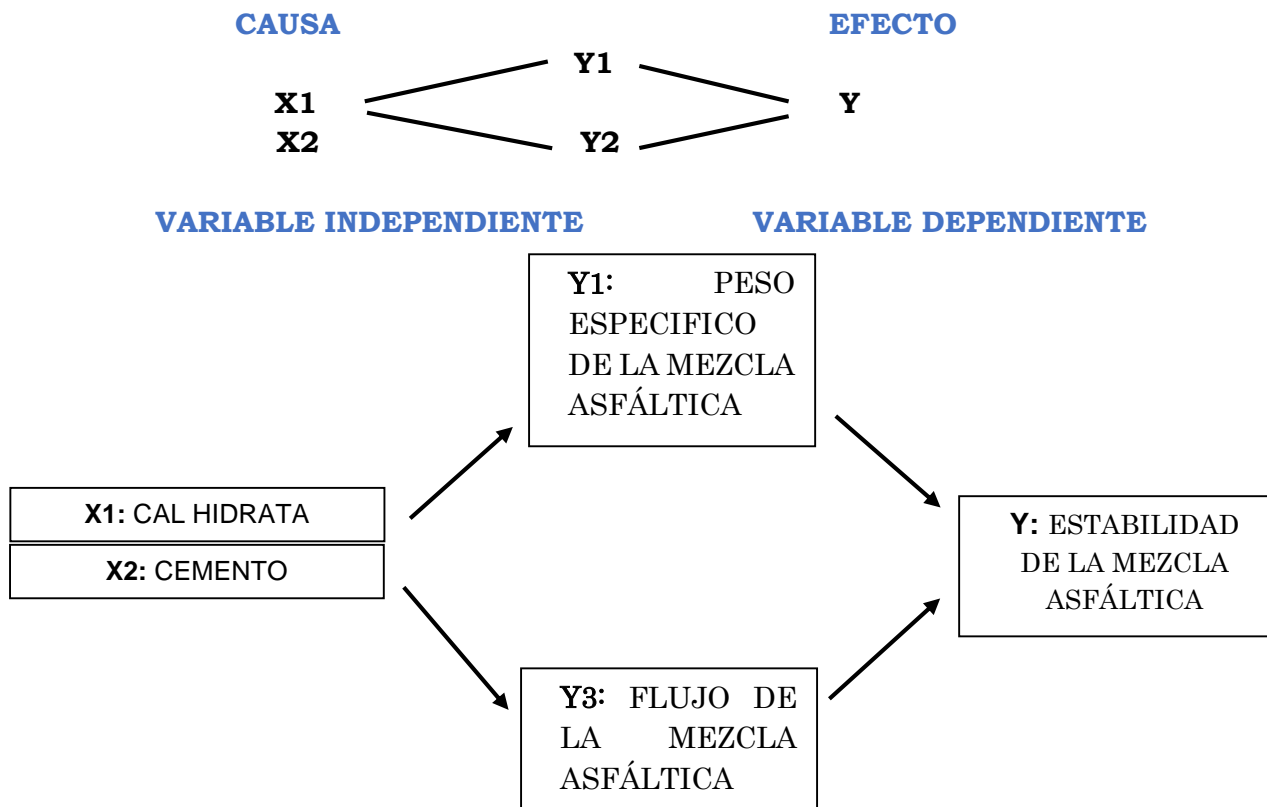
1.7.3. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es EXPERIMENTAL - CORRELACIONAL, ya que busca determinar mediante ensayos el comportamiento y la relación entre dos o más variables; y así cuando conozcamos la magnitud de asociación de las variables se tendrán bases para predecir con mayor exactitud.

1.7.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Diseño Correlacional¹

El Diseño de investigación correlacional es un método válido para relación de variables, observando el comportamiento de una para predecir el comportamiento de otra; además de lograr resultados de manera No Experimental.



1.8. POBLACIÓN Y MUESTRA

1.8.1. POBLACIÓN

El diseño de mezcla asfáltica en caliente que requiere mejorar la estabilidad y fluencia de la mezcla asfáltica.

¹ HERNANDEZ SAMPIERI Metodología de la Investigación 5ta Ed.

1.8.3. MUESTRA

La adición de cal hidratada o cemento para mejorar el diseño de mezcla asfáltica en caliente, para la pavimentación de vías en el distrito de la localidad de Pilcomayo-Huancayo.

1.9. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

1.9.1. TÉCNICAS

DIRECTA - EXPERIMENTACIÓN.

1.9.2. INSTRUMENTOS

- Diseño de mezcla asfáltica en caliente (patrón y adición).
- Fichas de observación.
- Instrumentos adecuados para realizar los ensayos.

1.9.3. RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la etapa de recolección de datos se procedió a realizar diseño de pavimentos y ensayos en el laboratorio a diferentes porcentajes de mezcla asfáltica en caliente y también diferentes dosificaciones en la adición.

Se realizó dichos ensayos y tomamos distintos puntos a considerar los cuales son:

- Diseño de pavimentos en laboratorio.
- Evaluar los porcentajes de adición de cal hidratada o cemento.
- Utilización de instrumentos de laboratorio para medir el Comportamiento.
- Pruebas Estadísticas.

1.10. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA

1.10.1. JUSTIFICACIÓN

El diseño de mezcla asfáltica en caliente convencional es afectada por los esfuerzos y deformaciones que generan los vehículos el cual es un problema que debe atenderse adecuadamente, ya que estos efectos causan ahuellamientos y ondulaciones en el asfalto.

La presente investigación nos servirá para poder analizar las propiedades mecánicas de la adición de cal hidratada o cemento dentro del diseño de mezcla asfáltica en caliente, donde veremos cuál es el porcentaje óptimo para obtener estabilidad y fluencia en el diseño de mezcla y así poder dar una posible solución técnica y viable para disminuir esfuerzos y deformaciones en la carpeta asfáltica.

1.10.2. IMPORTANCIA

La importancia de esta investigación que se pretende realizar, es analizar la influencia que tendrá la cal hidratada o el cemento dentro del diseño de mezcla asfáltica en caliente el cual se buscar encontrar la estabilidad y la fluencia dentro del diseño, para poder mejorar la resistencia ante cargas de tránsito al cual están sometidas.

El estudio que se pretende realizar servirá como solución para problemas a futuro, pudiendo así evitar ahuellamientos y ondulación en la carpeta de rodadura.

1.11. LIMITACIONES

Las limitaciones en esta investigación, fue principalmente el uso de la solución propuesta por la norma peruana, normativa que se descuidó en el Perú por su desconocimiento en el tema.

Se realizará un estudio exhaustivo de la norma y su aplicación práctica cumpliendo con todos los parámetros y reglamentos de Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC). Finalmente se propondrá una solución que esté acorde a la realidad desde un punto de vista técnico.

1.12. VIABILIDAD

La investigación es viable por contar con los recursos necesarios para su elaboración, en la formación profesional recibida y el apoyo profesional del asesor.

1.12.1. TECNICA:

Dentro de los recursos tecnológicos que se tiene para la realización de la estabilidad de mezclas asfálticas se utilizara el libro de DISEÑO MODERNO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS.

1.12.2. ECONOMICA:

El costo que implica la utilización de la adicción de cal hidratada o cemento en la estabilidad y fluencia de mezclas asfálticas resultaría más económico si llegamos a comprobar que es factible su utilización.

1.12.3. SOCIAL

Las elaboraciones de los ensayos necesitarán de personal calificado de laboratorio, por lo cual estos estudios correspondientes estarán bajo supervisión, de igual forma para los cálculos en gabinete.

De esta manera se mejorará nuestros datos elaborados.

1.12.4. OPERATIVA:

La elaboración de nuestro diseño de mezcla asfáltica en caliente con adicción (cal hidratada o cemento), podría conllevar a una solución a la mejora para obtener mayor estabilidad y fluencia en la carpeta de rodadura.

CAPITULO II

FUNDAMENTOS TEORICOS

2.1. MARCO REFERENCIAL

2.1.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Investigaciones y publicaciones referentes a este estudio aún no han sido presentadas como tal, sin embargo, podemos mencionar estudios como:

NACIONAL:

- DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE CON ADICIÓN DE CAL HIDRATADA EN EL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE, AUTOR, PERLECHE RAVINES JOSÉ, VILCHEZ ASALDE LINDA, PIMENTEL, FEBRERO, 2015.
- COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, EMPLEANDO CAL, EN LOS AEROPUERTOS DEL SUR DEL PERÚ, TESIS, PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE: INGENIERO CIVIL, BACH. ADELAIDA BETSSY ORDOÑEZ LUJANO, JULIACA – PERU 2016.
- CONTROL DE CALIDAD EN LA FORMULACION DE ASFALTO EN CALIENTE PARA EL PRIMER TRAMO QUINUA- CHALLHUAMAYO, DEL DISTRITO DEL TAMBO, PROVINCIA LA- MAR, DEPARTAMENTO DE AYACUCHO, AUTOR, PINCO PALACIOS JOSE, AYACUCHO - 2015.
- COMPORTAMIENTO DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA, CON ADICIÓN DE ZEOLITA PARA LA PAVIMENTACIÓN DE LA CIUDAD DE

JULIACA, AUTOR, VALERIANO TURPO WILBERT, CATACORA MENDOZA ADHEMIR, PUNO, 2017.

- ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO Y BENEFICIOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS, AUTOR, ORELLANA PALOMINO SUSANA, LIMA, 2016.

INTERNACIONAL:

- USO DE CAL HIDRATADA COMO RELLENO MINERAL PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, AUTOR, JAVIER ANTONIO DEL CID MORALES, GUATEMALA, OCTUBRE DE 2016.
- DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON CAL HIDRATADA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD, AUTORES, SARA BEATRIZ AGUILAR BONILLA, ENMANUEL ALEXANDER HERNÁNDEZ MALDONADO, YENCI RAQUEL SIBRIÁN HERNÁNDEZ, SAN SALVADOR, 2016.
- ESTUDIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MODIFICANDO EL FILLER MINERAL NATURAL POR CEMENTO PÓRTLAND, APLICADO EN CARPETA DE RODADURA, AUTOR, GUTIERREZ PATZI JUAN, ORURO, MAYO, 2008.
- ESTUDIO DEL EFECTO DEL TIPO DE FILLER EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL "MÁSTICO", GRUPO SURFAX, UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO, 2011

- “DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS CON CEMENTO ASFALTICO NACIONAL (ECUADOR) E IMPORTADO (PERÚ)”, AUTOR, JUAN CARLOS PÉREZ CAMPOVERDE, GUAYAQUIL – ECUADOR, 2015-2016
- INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL RELLENO MINERAL EN LA RESISTENCIA DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, AUTOR, REYES O, RINCÓN J, COLOMBIA, JUNIO, 2009.

2.1.2. REFERENCIAS HISTÓRICAS

- USO DE CAL HIDRATADA COMO RELLENO MINERAL PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, AUTOR, JAVIER ANTONIO DEL CID MORALES, GUATEMALA, OCTUBRE DE 2016.

Realizar una mezcla asfáltica modificada con la incorporación de cal hidratada, para determinar si el uso de la misma en la mezcla puede cumplir la función tanto de relleno mineral para el llenado de vacíos, como de aditivo para el mejoramiento de las características físicas y propiedades mecánicas de la mezcla, así realizar dos tipos de mezcla asfáltica, una asfáltica tradicional y otra en donde se incorpore cal hidratada en una cantidad de 1,5 % del peso total de la mezcla de agregados.

- “DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS CON CEMENTO ASFALTICO NACIONAL (ECUADOR) E IMPORTADO (PERÚ)”, AUTOR, JUAN CARLOS PÉREZ CAMPOVERDE, GUAYAQUIL – ECUADOR, 2015-2016

El presente trabajo de titulación consiste en el diseño de mezclas asfálticas en caliente utilizando el método Marshall y el análisis comparativo de las propiedades físicas mecánicas con cemento asfáltico nacional

(ecuatoriano) y el importado (peruano), esta tesis está enfocada en analizar y comparar los parámetros obtenidos en los diseños de mezclas asfálticas con los cementos asfálticos en estudio utilizando el método Marshall, mediante pruebas de laboratorio determinaremos los parámetros físicos mecánicos de los cementos asfálticos nacional e importado lo que determinaran la deformación, la consistencia, la fluidez y la densidad. También este estudio determina las propiedades de los agregados tales cumplan con las normas reglamentarias la que nos indicará la composición exacta para la elaboración de las mezclas en estudio y su grado de absorción de los mismos. El método Marshall nos permitirá determinar el porcentaje óptimo de contenido de asfalto en las mezclas asfálticas y también nos garantiza las proporciones volumétricas para la composición de una mezcla asfáltica que estén dentro de los rangos y especificaciones para asegurar una mezcla asfáltica durable, Marshall es un método dirigido al diseño de mezclas asfálticas para determinar el análisis estabilidad/flujo (fluencia) y densidad/vacíos. Al final del estudio se hará el análisis comparativo tanto a los cementos asfálticos en estudio y a las mezclas asfálticas con los cementos asfálticos nacional (ecuatoriano) y el importado (peruano) y a su vez se deducirá el comportamiento de los mismos.

2.2. MARCO LEGAL

MANUAL DE CARRETERAS Especificaciones técnicas generales para la construcción.

El Manual de “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” forma parte de los Manuales de Carreteras establecidos por el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial aprobado por D.S. N° 034-2008-MTC y constituye uno de los documentos técnicos de carácter normativo, que rige a nivel nacional y es de cumplimiento obligatorio por los órganos responsables de la gestión de la

infraestructura vial de los tres niveles de gobierno: Nacional, Regional y Local.
Manual de ensayos del ministerio.

MANUAL DE CARRETERAS suelos, geología, geotecnia y pavimentos del MTC.

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, es un organismo del Poder Ejecutivo que cuenta con personería jurídica de derecho público y constituye un pliego presupuestal, el mismo que conforme a lo señalado en la Ley N° 29370 – Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, tiene entre sus funciones, la de formular, planear, dirigir, coordinar, ejecutar, fiscalizar, supervisar y evaluar la política nacional y sectorial, bajo su competencia, aplicable a todos los niveles del gobierno.

MTC Manual de Ensayo de Materiales.

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones en su calidad de órgano rector a nivel nacional en materia de transporte y tránsito terrestre, es la autoridad competente para dictar las normas correspondientes a la gestión de la infraestructura vial y fiscalizar su cumplimiento.

El “Manual de Ensayo de Materiales” forma parte de los Manuales de Carreteras establecidos por el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial aprobado por D.S. N° 034-2008-MTC y constituye uno de los documentos técnicos de carácter normativo, que rige a nivel nacional y es de cumplimiento obligatorio por los órganos responsables de la gestión de la infraestructura vial de los tres niveles de gobierno: Nacional, Regional y Local.

DISEÑO MODERNO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS.

En la ingeniería de pavimentos se han incorporado nuevos conceptos como esfuerzos, deformación, módulo elástico, comportamiento resiliente, etc.

El aporte del análisis deformacional en el diseño de pavimentos asfálticos, cualquiera sea su categoría, es de suma importancia debido a que permite evaluar el criterio de diseño aplicado, el tipo de diseño considerado y la influencia de las condiciones de cimentación.

La metodología permite considerar las variables que influyen en la vida del pavimento, como temperatura, velocidad del tránsito, estratigrafía del terreno, la influencia de espesores de capas estabilizadas y/o tratadas, que otros métodos, debido a su limitación no pueden considerar.

Filler:

Según Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” 320 (EG – 2013) Revisada y Corregida a Junio 2013: Consiste en que tipos de materiales son considerados Filler, con la finalidad de mejorar la mezcla asfáltica.

Dentro de los controles para adicionar Filler al diseño de mezcla asfáltica en caliente debemos considerar:

- Verificar que durante el manejo del Filler no se efectúen manipulaciones y traslados que puedan afectar la calidad.
- Comprobar la correcta incorporación del Filler en la mezcla.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

- **Asfalto**

Es un material viscoso, pegajoso y de color plomo (gris oscuro). Se utiliza mezclado con arena o gravilla para pavimentar caminos. En las mezclas asfálticas es usado como aglomerante para la construcción de carreteras, autovías o autopistas. Está presente en el petróleo crudo y

compuesto casi por completo de betún bitumen. El asfalto es una sustancia que constituye la fracción más pesada del petróleo crudo.

- **Capa de rodadura**

Capa superior del pavimento flexible formado por mezclas bituminosas y agregados pétreos.

- **Diseño de mezcla asfáltica en caliente**

Es el resultado de la combinación de cemento asfáltico, agregados pétreos y polvo mineral, en proporciones estrictamente controladas, para obtener un producto de alta resistencia y durabilidad. El cemento asfáltico es el material que cumple la función de aglomerante, es viscoso, de alta densidad y está compuesto de la mezcla de sustancias orgánicas. Los agregados pétreos utilizados, son el producto de una mezcla de agregados áridos y agregados finos. Por su parte, el polvo mineral cumple con la función de llenado de vacíos en la mezcla.

- **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.

- **Piedra Chancada**

La Piedra Chancada es un agregado grueso muy importante para la constitución del concreto y mezclas asfálticas, obtenido por trituración artificial de rocas o gravas que presenta características físicas, químicas y mecánicas que tienen una influencia sobre las propiedades del concreto y asfalto.

- **Mezcla Asfáltica**

Consiste en un agregado de asfalto y materiales minerales (mezcla de varios tamaños de áridos y finos) que se mezclan juntos, se extienden en capas y se compactan.

Debido a sus propiedades es el material más común en los proyectos de construcción para firmes de carreteras, aeropuertos y aparcamientos y debido a sus buenas propiedades como impermeabilizante también se usa en el núcleo de ciertas presas como impermeabilizante.

- **Fluencia**

Es la capacidad de un pavimento asfáltico para resistir la desintegración debido al tránsito y al clima.

2.4. MARCO TEÓRICO

2.4.1. GENERALIDADES

Se define algunos conceptos básicos necesarios como introducción al lector del documento. Posteriormente de manera más específica se describe sobre las Mezclas Asfálticas en los capítulos de interés de manera escueta y concisa.

2.4.2. GLOSARIO DE TÉRMINOS

AHUELLAMIENTO: Es un tipo de defecto o falla que se produce en pavimentos asfálticos, que consiste en una depresión canalizada en la huella de circulación de los vehículos.

AGREGADO ANGULAR: Son aquellos que poseen bordes bien definidos formados por la intersección de caras planas rugosas.

ASFALTO: Un material cementante, entre carmelita oscuro y negro, en el cual los constituyentes predominantes son bitúmenes que aparecen en la naturaleza o se obtienen en el procesamiento del petróleo. El asfalto es un constituyente, en proporciones variables, de la mayoría de los petróleos crudos.

ENSAYO MARSHALL: Procedimiento para obtener diferentes parámetros de calidad de una mezcla bituminosa.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO: Una estructura de pavimento con todas sus capas compuestas de mezclas de asfalto y agregado, o con una combinación de capas de asfalto y capas de agregado sin tratar, colocadas sobre una subrasante tratada o sin tratar.

FILLER: Es una sustancia para rellenar vacíos dentro de la mezcla asfáltica en caliente, mejorando la estabilidad y la fluencia dentro de las propiedades de la mezcla asfáltica.

2.4.3. EL ASFALTO

El asfalto es un material que puede ser encontrado en la naturaleza en yacimientos naturales o a través de la destilación del crudo de petróleo. Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de la mezcla en caliente que se va a producir en esta investigación.

El asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes.

En su constitución química el asfalto básicamente está compuesto por varios hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrogeno y carbono) y algunas trazas de azufre, oxígeno, nitrógeno y otros elementos.

2.4.4. PRODUCCION DEL ASFALTO

El asfalto se obtiene de la refinación por destilación del crudo de petróleo (Figura 1) Es un proceso en el cual las diferentes fracciones son separadas fuera del crudo, por medio de un aumento en etapas de la temperatura. Existen dos procesos de destilación con los cuales puede ser producido después de haber combinado los crudos de petróleo:

- Destilación por vacío
- Extracción con solvente

Las fracciones livianas se separan por destilación simple. Los destilados más pesados, mejor conocidos como gasóleos, pueden ser separados solamente mediante una combinación de calor y vacío. Puede ser producido usando destilación por vacío a una temperatura aproximada de 480°C (900°F), esta puede variar un poco dependiendo del crudo de petróleo que se esté refinando, o del grado de asfalto que se esté produciendo. En el proceso de extracción con solventes, se remueven más gasóleos del crudo, dejando así un asfalto residual.

Dependiendo del uso, es el tipo de asfalto. En las refinerías se deben tener maneras de controlar las propiedades de los asfaltos que se producen para poder cumplir con ciertos requisitos. Esto se logra la mayor parte de las veces, mezclando varios tipos de crudos de petróleo antes de procesarlos, para producir grados intermedios. Así un asfalto muy viscoso y uno menos viscoso, pueden ser combinados para obtener un asfalto con viscosidad intermedia.

2.4.5. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES ASFÁLTICOS.

Las propiedades y características de los materiales asfálticos dependen de su estructura y composición química; pero dada su gran complejidad, estos materiales

se caracterizan mediante ensayos empíricos para valorar las propiedades que tiene que poseer para emplearse como ligantes en obra de carreteras.

Las propiedades fundamentales que tiene que poseer los asfaltos para su empleo en carretera son:

Carácter termoplástico: Por acción de la temperatura su consistencia debe disminuir de manera que sean capaces de "mojar" y envolver los áridos. Al enfriarse debe adquirir la consistencia primitiva y dar cohesión a la mezcla.

Buen comportamiento mecánico y reológico para resistir las tensiones impuestas por el tráfico y poder mantener a las temperaturas de servicio, la estructura de la mezcla asfáltica.

Resistir al envejecimiento frente a los agentes atmosféricos y condiciones ambientales para conservar sus propiedades con el tiempo.

Es decir, que las propiedades fundamentales que deben poseer los asfaltos para emplearse en carreteras son: adhesividad a los áridos, buen comportamiento geológico y resistencia al envejecimiento.

2.4.6. ADHESIVIDAD A LOS ARIDOS

Para que el asfalto se adhiera a los áridos es necesario en primer lugar, que haya un buen contacto entre la superficie del árido y el asfalto, en segundo lugar, que existan fuerzas de atracción entre ambos.

La adhesividad árido-ligante es un fenómeno muy complejo que depende de la naturaleza tanto del árido como del asfalto, así como de las condiciones específicas de estos materiales en la obra (limpieza y contenido de humedad del árido, temperatura de mezclado, etc.).

Para valorar la adhesividad se emplean numerosos procedimientos lo que da idea de la complejidad del problema entre algunos de los ensayos los más significativos

son, Ensayo de recubrimiento y peladura de asfalto en agregados, Ensayo Vialit, Ensayo de Inmersión-compresión, Ensayo en Pista con inmersión.

2.4.7. MEZCLA ASFÁLTICA

Las mezclas asfálticas asumen un papel muy importante y fundamental en los pavimentos flexibles porque constituyen la parte más costosa de toda la estructura; reciben también el nombre de “aglomerados” o “mezclas bituminosas” y deben ser realizadas en proporciones exactas. Es el resultado de la combinación de cemento asfáltico, agregados pétreos y polvo mineral, en proporciones estrictamente controladas, para obtener un producto de alta resistencia y durabilidad. El cemento asfáltico es el material que cumple la función de aglomerante, es viscoso, de alta densidad. Los agregados pétreos utilizados, son el producto de una mezcla de agregados áridos y agregados finos. Por su parte, el polvo mineral cumple con la función de llenado de vacíos en la mezcla.

Todas las experiencias con respecto a las mezclas asfálticas en caliente tienen su origen básicamente en Francia, donde las mezclas asfálticas, vienen siendo evaluadas desde los años 1965-1988 con muchas novedades actuales.

Inicialmente se desarrollaron estas mezclas empleándose contenidos de gravas superiores al 50%, especialmente concebidas para lograr una elevada fricción interna, el porcentaje de filler mineral era superior al 6% y el contenido de asfalto de baja penetración superior al 5.8%, este último garantizaba y garantiza una alta resistencia a la fatiga.

Posteriormente el contenido de asfalto varió de 4.6% a 5% con la finalidad de brindar una alta resistencia a las deformaciones. Por otro lado, las primeras experiencias en España, se realizaron en el año 1992. Incluso en el año 1995, se llevaron a cabo estudios con respecto al cambio de temperatura en mezclas asfálticas en caliente (HMA), determinando el efecto que esta produce en el módulo dinámico, densidad, estabilidad y flujo.

Con el pasar de los años las HMA han ido evolucionando, debido a diversos factores como el clima, problemas estructurales, etc., diseñando distintos tipos de mezclas asfálticas en caliente. Es por ello que en Alemania surgió la idea de una nueva tecnología en mezcla asfáltica denominada Stone Mastic Asphalt (SMA), cuyo crecimiento en el área de la construcción se ha ido incrementando debido al gran desempeño que este tipo de mezcla presenta, siendo esta mezcla materia de investigación en muchos lugares del mundo y teniendo como punto inicial estudios realizados en Alemania y extendiéndose por todos los países del mundo.

En E.E.U.U., las SMA han sido evaluadas y por consiguiente analizadas, llegando a la conclusión de tener un excelente comportamiento gracias a las propiedades que sus componentes proporcionan².

No solo norte América difunde este tipo de estudios; en Latinoamérica se realizan estudios basados en investigaciones europeas y Norte americanas así que en el año 2003, Brasil también tuvo su aporte en materia referente a las SMA, demostrando el alto desempeño de las mismas tanto en laboratorio³ como en las carreteras brasileras, aplicando este material en diversas zonas.

En el Perú⁴, se han realizado estudios de investigación con SMA en laboratorio, sin embargo nos falta desarrollar y ampliar el conocimiento de esta mezcla, siendo estos estudios de índole básica ya que el Perú no cuenta con equipos avanzados tecnológicamente, para poder determinar los múltiples factores que realzan la calidad de esta mezcla.

² Estudios realizados por E.R. Brown, NTCA: "Evaluation of Laboratory Properties of SMA Mixtures".

³ Universidad de Rio de Janeiro.

⁴ Evaluaciones desarrolladas en: Universidad Ricardo Palma y Universidad de Ingeniería.

2.4.7.1. MEZCLAS ASFALTICA EN CALIENTE

Esta se produce cuando se genera un aumento en la temperatura de la mezcla. Se fabrica con asfalto en proporciones que pueden variar de 3 a 6 % del peso total de agregados pétreos de la mezcla.

Su proceso de fabricación se lleva a cabo al calentar el cemento asfáltico a una temperatura entre 110 a 130 °C y los agregados pétreos a una temperatura entre 140 a 150 °C. Después que el material pétreo esté caliente y seco, se mezclan sus componentes de acuerdo a una composición granulométrica previamente establecida (diseño de mezcla). Posteriormente se incorpora el cemento asfáltico a la mezcla de agregados minerales, en una cantidad previamente definida.

Las mezclas asfálticas en caliente trabajan bien debido a que son diseñadas, producidas y colocadas de tal manera, que se logre obtener las propiedades deseadas. Existen varias propiedades que contribuyen a la buena calidad del pavimento de este tipo de mezcla, entre las cuales se pueden mencionar; estabilidad, durabilidad, impermeabilidad, trabajabilidad, flexibilidad, resistencia a la fatiga y resistencia al deslizamiento.

La puesta en obra de la mezcla se realiza a temperaturas muy superiores a la del ambiente, pues de lo contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún, compactarse adecuadamente.

2.4.8. PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Las principales propiedades de las mezclas asfálticas se producen a causa de la selección cuidadosa que se tiene con los materiales que constituyen estas mezclas, dependiendo también del tipo de mezclas asfálticas que se diseñen.

Estas propiedades suelen variar, ya que la proporción de los materiales con la cual se diseña no siempre son iguales, haciendo que su campo de aplicación también varíe. No siempre una mezcla va a acaparar todas las propiedades ya que, depende

mucho de la funcionalidad y estructura del pavimento, pero para mayor conocimiento de se toman las propiedades generales de los mismos:

- a) Estabilidad
- b) Durabilidad
- c) Flexibilidad
- d) Resistencia a la fatiga
- e) Resistencia al daño por humedad o impermeabilidad
- f) Resistencia al deslizamiento
- g) Trabajabilidad

a) Estabilidad:

Es la capacidad de una mezcla asfáltica de resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas impuestas por el tránsito. La carpeta asfáltica debe de ser capaz de mantener su forma y textura ante las secuencias de carga que a diario le son impuestas. La fricción interna depende de la textura superficial, graduación del agregado, forma de la partícula, densidad de la mezcla, y, del contenido y tipo de asfalto. La estabilidad es función de la fricción y la resistencia inter-bloqueada del agregado en la mezcla. Cuando sobrepasamos el nivel óptimo de asfalto la película es demasiado gruesa y esto genera que la cohesión decrezca, resultando en pérdida de fricción entre las partículas que componen la mezcla asfáltica. Es importante que las partículas que componen el agregado sean angulares y ásperas en su textura superficial, esto dará una alta estabilidad a la mezcla.

Lo cual el efecto que causa la estabilidad baja:

Ahuellamiento: Consiste en una depresión continua a lo largo de la capa de rodadura. Las cargas repetitivas de tránsito conducen a deformar permanentemente cualquier capa que componen la estructura del pavimento, sin embargo, cuando la carpeta asfáltica recién colocada presenta

ahuellamiento es debido al exceso de asfalto en la mezcla, es decir el óptimo de asfalto se ha sobrepasado y genera por consiguiente pérdida de cohesión.

El ahuellamiento también es producido por la forma redondeada de la partícula, por la falta de textura áspera, falta de adherencia y absorción del agregado. Es decir, si una mezcla tiene un óptimo de asfalto y sus agregados no cumplen con las siguientes propiedades tales como: graduación, limpieza, dureza, textura superficial, capacidad de absorción, afinidad con el asfalto, peso específico, también nos generara ahuellamiento.

b) Durabilidad:

El tiempo de vida de un pavimento depende de muchos factores, pero primordialmente de la durabilidad. Es importante resaltar que un pavimento (principalmente la carpeta asfáltica), queda expuesto a diferentes agresiones externas que perjudican su duración siendo éstas la abrasión producida por el tráfico, la radiación solar, la oxidación del ligante producida por el aire, el agua o el hielo, también los aceites y combustibles, produciendo así el desprendimiento (Figura 8), de la película de asfalto y la desintegración del agregado.



Figura 02 Desprendimiento de la última capa delgada

Para evitar tales deterioros siempre se tiene que tener en cuenta el espesor de la película de asfalto y la cantidad de vacíos de aire que éste contiene. Es por ello que existen tres formas de mejorar una mezcla:

Usando mayor cantidad de asfalto (teniendo cuidado de no excederse sino perdería estabilidad), usando una gradación densa de agregado y diseñando y compactando la mezcla de tal manera que se obtenga una buena impermeabilidad.

Así el envejecimiento de la mezcla será de forma lenta.

c) Flexibilidad:

La flexibilidad es una propiedad muy deseable en todos los pavimentos, ya que la densidad de la subrasante es poco uniforme debido a que algunas partes del pavimento tienden a comprimirse y expandirse por el suelo y tienden a asentarse por causa del tráfico. Lo que se busca en la mayoría de mezclas es la capacidad de poder resistir a diversos tipos de asentamientos sin que lleguen a quebrarse.

d) Resistencia a la fatiga:

Para que una mezcla sea buena tenemos que considerar la resistencia que esta ejerce con respecto a la fatiga. Cuando la fuerza que produce la fatiga en la mezcla va en aumento da inicio a las deformaciones elásticas que se dan en la superficie de la carpeta asfáltica, llegando a originar agrietamientos comúnmente llamados piel de cocodrilo (cocodrile cracks) (Figura 9). Incluso, cuando las cargas que se repiten son inferiores a la carga de rotura, se genera un agotamiento progresivo por fatiga del material a largo plazo.



Figura 03 Agrietamiento (Piel de cocodrilo)

Por ello se consideran muchos factores para poder contrarrestar el agrietamiento prematuro de la mezcla tales como: la relación del contenido de asfalto y su rigidez, la relación estructural del espesor de la carpeta, la capacidad portante de la subrasante y la carga de rotura y el control de la temperatura en su diseño. El contenido de vacíos no está libre de un riguroso control ya que un contenido alto de éste produciría agrietamientos.

d) Resistencia al daño por humedad o impermeabilidad:

La impermeabilidad no nace de la capa superior del pavimento sino desde sus capas interiores. Esta propiedad tiene como función evitar el paso del agua o aire a las mezclas asfálticas, siendo sus principales colaboradores: el contenido de vacíos, ya que éste es un gran indicador de cuan susceptible puede llegar a ser la mezcla asfáltica y el contenido de asfalto. Cuando esta impermeabilidad se va perdiendo, debido a la gran cantidad de contenido de vacíos, aparecen carencias estructurales en el pavimento producidas por la oxidación y adherencia del asfalto, y el drenaje del pavimento.

f) Resistencia al deslizamiento:

Se refiere a la capacidad que tiene el pavimento de disminuir el riesgo al deslizamiento aumentando la adherencia entre los neumáticos y la carpeta asfáltica, sobre todo cuando está húmeda (hidroplaneo). Se tiene que tener en cuenta que una superficie rugosa y áspera tendrá mayor posibilidad de adherencia con el neumático; para esto, los agregados deben de ser resistentes al desgaste bajo tránsito, siendo los agregados calcáreos los menos resistentes. Otro punto muy importante de resaltar es la exudación del asfalto ya que proporciona poca resistencia al deslizamiento.

g) Trabajabilidad:

Las mezclas asfálticas deben de ser trabajables; esto se refiere a la docilidad en el proceso de mezclado, colocación y compactación in situ. Esto depende de las características del agregado, granulometría, relleno mineral, contenido y viscosidad del asfalto.

2.4.9. CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.

Existen varios parámetros de clasificación para establecer las diferencias entre las distintas mezclas y las clasificaciones pueden ser:

2.4.9.1. POR LA TEMPERATURA DE PUESTA EN OBRA.

- Mezclas asfálticas en Caliente: Se fabrican con asfaltos a unas temperaturas elevadas, se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos.
- Mezclas asfálticas en Frío: El ligante suele ser una emulsión asfáltica (debido a que se sigue utilizando en algunos lugares los asfaltos fluidificados), y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.

2.3.7.2. POR LA PROPORCIÓN DE VACÍOS EN LA MEZCLA ASFÁLTICA.

- Mezclas Cerradas o Densas: La proporción de vacíos no supera el 6%.
- Mezclas Semi-cerradas o Semi-densas: La proporción de vacíos está entre el 6 % y el 10 %.
- Mezclas Abiertas: La proporción de vacíos supera el 12 %.
- Mezclas Porosas o Drenantes: La proporción de vacíos es superior al 20 %.

2.4.9.3. POR EL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO PÉTREO.

- Mezclas Gruesas: Donde el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10 mm.
- Mezclas Finas: Se trata de mezclas formadas básicamente por un árido fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico. El tamaño máximo del agregado pétreo determina el espesor mínimo con el que ha de extenderse una mezcla que vendría a ser del doble al triple del tamaño máximo.

2.4.9.4. POR LA GRANULOMETRÍA.

- Mezclas Continuas: Una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.
- Mezclas Discontinuas: Una cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.

2.4.10. TIPOS DE MEZCLAS

2.4.10.1 MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA EN FRÍO.

Se conocen en Colombia como MAF-38, MAF-25 y MAF-19 de acuerdo con Invias (2013, artículo 441-13) haciendo como referencia a los números, es el tamaño máximo de los agregados pétreos en mm. En el caso IDU (2011, artículo 552) se generan unos cambios en las denominaciones de las mezclas MAF12, MAF20 y MAF25.

El ligante es una emulsión asfáltica (aunque en algunos lugares se usan los asfaltos fluidificados), y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente. Se caracterizan

por tener un alto contenido de vacíos, su aplicación generalmente es en bacheos y las capas de rodadura.

2.4.10.2. MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA EN CALIENTE.

Se conocen en Colombia como MAC-75, MAF-63 y MAF-50 de acuerdo con Invias (2013, artículo 451) haciendo como referencia a los números, es el tamaño máximo de los agregados pétreos en mm. En el caso IDU (2011, artículo 514) se generan unos cambios en las denominaciones de las mezclas MAC40, MAF50 y MAF60.

Fabricadas con asfaltos a temperaturas elevadas, en el rango de los 150 grados centígrados, según la viscosidad del ligante, se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos. La puesta en obra se realiza a temperaturas muy superiores al ambiente, pues en caso contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente.

2.4.10.3. MEZCLAS DE ALTO MÓDULO.

Su proceso de elaboración es en caliente, citando específicamente las mezclas de alto módulo para capas de base, se fabrican con asfaltos muy duros. A veces modificados, con contenidos asfálticos próximos al 6 % de la masa de los agregados pétreos, la proporción del polvo mineral también es alta, entre el 8% - 10%. Son mezclas con un elevado módulo de elasticidad, del orden de los 13,000 Mpa. A 20 grados centígrados y una resistencia a la fatiga relativamente elevada. Se utilizan en capas de espesores de entre 8 y 15 cm., tanto para rehabilitaciones como para la construcción de firmes nuevos con tráficos pesados de intensidad media o alta. Su principal ventaja frente a las bases de grava cementó es la ausencia de agrietamiento debido a la retracción o como las mezclas convencionales en gran espesor la ventaja es una mayor capacidad de absorción de tensiones y en general una mayor resistencia a la fatiga, permitiendo ahorra espesor.

2.4.10.4. MEZCLA ASFÁLTICA DENSA EN CALIENTE.

En Colombia las podemos encontrar como MDC (Mezcla densas en caliente), MSC (mezclas semi densas en caliente), MGC (mezclas gruesas en cliente) y MAM (mezclas de alto modulo)⁵ .

“Generalmente una mezcla es el resultado de la combinación de cemento asfáltico y agregados pétreos en unas proporciones exactas y predeterminadas; se pueden fabricar en caliente o en frío, siendo más usuales las Mezclas densas en caliente”.

Se conocen una serie de procedimientos para calcular las cantidades de cada material en la mezcla en caliente, siendo el procedimiento Marshall uno de los métodos más usados y confiables. Sirve como agente cementante que fija los agregados en la posición adecuada para transmitir las cargas aplicado a las capas inferiores. Los agregados son por lo general piedra partida, grava, arenas, etc., se pueden usar combinados o aisladamente⁶.

“La mezcla densa en caliente tiene la particularidad de ofrecer a la estructura la resistencia y elasticidad que necesita para soportar y absorber las cargas que circulan”⁷.

2.4.11. METODOS DE DISEÑO

Existen diferentes métodos de diseño. En Perú oficialmente se usa el Método Marshall.

Método Marshall: Basado en estabilidad y contenido de vacíos.

Método Superpave: Basado en el contenido de vacíos.

⁵ INVIAS, 2013

⁶ RONDÓN, 2009

⁷ INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO, 2008

2.4.11.1. METODO MARSHALL

El concepto del método Marshall fue desarrollado por Bruce Marshall, ex-Ingeniero de Bitúmenes del Departamento de Carreteras del Estado de Mississippi.

El Ensaño Marshall, surgió de una investigación iniciada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en 1943. Varios métodos para el diseño y control de mezclas asfálticas fueron comparados y evaluados para desarrollar un método simple.

Dicho cuerpo de ingenieros decidió adoptar el método Marshall, y desarrollarlo y adaptarlo para diseño y control de mezclas de pavimento bituminoso en el campo, debido en parte a que el método utilizaba equipo portátil. A través de una extensa investigación de pruebas de tránsito, y de estudios de correlación, en el laboratorio, el Cuerpo de Ingenieros mejoró y agregó ciertos detalles al procedimiento del Ensayo Marshall, y posteriormente desarrolló criterios de diseño de mezclas.

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 construcción del pavimento.

El método Marshall, sólo se aplica a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación que usan cemento asfáltico clasificado con viscosidad o penetración y que contienen agregados con tamaños máximos de 25.0 mm o menos. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación.

El método Marshall usa muestras normalizadas de pruebas (probetas) de 64mm (2.5in) de espesor por 103mm (4in) de diámetro. Una serie de probetas,

cada una con la misma combinación de agregados, pero con diferentes tipos de asfaltos, es preparada usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas asfálticas de agregado. Los dos datos más importantes del diseño de mezclas del Método Marshall son: un análisis de la relación de vacíos-densidad, y una prueba de estabilidad-flujo de las muestras compactadas.

Para llevar a cabo el diseño de una mezcla asfáltica en Perú se utiliza comúnmente el método Marshall, que se encarga de determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados, también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente estableciendo densidades y contenidos óptimos de vacío que se deben tener en cuenta durante la construcción.

Este método solo se aplica para mezclas asfálticas en caliente con cemento asfáltico clasificado en cuanto a viscosidad, penetración y contenido de agregados en tamaños máximos de 25 mm. El Marshall es muy utilizado para diseño en el laboratorio, sirve de control de campo de mezclas asfálticas.

En el método Marshall se utilizan muestras de pruebas denominadas (probetas) que tienen unas dimensiones 64mm (2.5in) espesor por 103mm (4in) de diámetro. Se hace una serie de probetas con la misma combinación de agregados, pero con diferentes tipos de asfaltos. Hay dos cosas que se deben tener muy en cuenta del diseño de mezclas por medio del método Marshall: hacer un análisis de la relación de vacíos-densidad y una prueba de estabilidad-flujo de las muestras compactadas.

Teniendo en cuenta el diseño de la mezcla asfáltica por el método Marshall que será de gran importancia para el desarrollo de este proyecto y el análisis sobre la adherencia en mezclas asfálticas en caliente, se opta por el ensayo de tracción indirecta que se destaca por ser un método simple y representativo,

permite ver la respuesta de un pavimento flexible y obtener la carga máxima que aguanta una mezcla antes de romper⁸.

Prueba de estabilidad-flujo Marshall: El ensayo de estabilidad se realiza con el objetivo de medir la resistencia a la deformación plástica de la muestra compactada. La fluencia mide la deformación bajo carga que experimenta la mezcla.

Para la prueba se utilizan especímenes estándar de 64 mm (2 ½") de alto y 102 mm (4") de diámetro. Se preparan mediante un procedimiento en el que se calienta, se combina y se compacta la mezcla de cemento asfáltico, agregados y polvo mineral.

2.4.12. EMPLEO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Las mezclas asfálticas se emplean en la construcción de firmes, ya sea en capas de rodadura o en capas inferiores y su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica a los usuarios de las vías de comunicación, facilitando la circulación de los vehículos, aparte de transmitir suficientemente las cargas debidas al tráfico a la explanada para que sean soportadas por ésta. Se tienen que considerar dos aspectos fundamentales en el diseño y proyecto de un firme:

1. La Función Resistente, que determina los materiales y los espesores de las capas que habremos de emplear en su construcción.
2. La Finalidad, que determina las condiciones de textura y acabado que se deben exigir a las capas superiores del firme, para que resulten seguras y confortables. A estas capas superiores se le denomina pavimento.

⁸ INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, 2007

Las tipologías de los firmes de acuerdo a su comportamiento y respuesta se pueden dividir en los siguientes tipos:

a) Firmes Flexibles. (Base Granular).

Constituidos por capas de sub-base y base de material granular, y por un tratamiento superficial o por una capa de mezcla asfáltica de espesores muy delgados que pueden ir hasta los 10 cm. regularmente, las capas granulares resisten fundamentalmente la acción del tráfico, la capa de rodadura sirve para impermeabilizar el firme, resistir los efectos abrasivos del tráfico y proporcionar una rodadura cómoda y segura.

b) Firmes Flexibles. (Base Asfáltica).

Compuesto por una base y un pavimento asfáltico y el cual está constituido por una capa intermedia y otra de rodadura, la sub-base puede ser granular o bien tratada con un ligante hidráulico o hidrocarbonado.

c) Firmes Semi-rígidos. (Base tratada con ligantes hidráulicos).

Constituido por una capa de base tratada con ligantes hidráulicos, o de concreto, la sub-base suele ser de material granular, pudiendo ser estabilizada, el pavimento está formado por una o dos capas de mezcla asfáltica (rodadura e intermedia).

d) Firmes Rígidos. (Pavimentos de hormigón).

Están formados por una losa de hormigón colocada directamente sobre la explanada, o sobre una capa de base granular o estabilizada o un hormigón pobre, la losa de hormigón actúa como capa de rodadura.

2.4.13. AGREGADOS

La palabra agregados se refiere a cualquier combinación de arena, grava o roca triturada en su estado natural o procesado. Son minerales comunes, resultado de las fuerzas geológicas erosivas del agua y del viento. Son generalmente encontrados en ríos y valles, donde han sido depositados por las corrientes de agua.

Los depósitos de arena y grava están constituidos por materiales que han sido separados más o menos de otros.

La diferencia básica entre las arenas y las gravas, de acuerdo a una clasificación geológica comúnmente aceptada, es el tamaño del grano. Generalmente las fracciones entre 1/16 y 5 mm se denominan arenas y el material mayor de 5 mm se llama grava.

En general los agregados pétreos se clasifican en 4 grandes grupos: Depósito aluviales, materiales de arrastre, las calizas y los ígneos y metamórficos.

Los agregados son usados principalmente en la fabricación de mezclas de concreto, asfalto, mortero, como bases y sub-bases en la construcción de vías, drenajes o balasto para vías de ferrocarril.

Los agregados son productos minerales imprescindibles para la sociedad. En general son materiales de bajo costo, abundantes en la naturaleza, por lo que deben estar situados cerca a los centros de consumo, teniendo en cuenta su alta sensibilidad a los costos de transporte.

La producción de agregados a partir de graveras o canteras requiere previamente la realización de un proyecto de explotación de la misma.

Las etapas que se llevan a cabo para la extracción de este mineral, inicia con la exploración en donde se localiza el depósito que puede abastecer al mercado a un precio competitivo. Posteriormente se realiza la extracción de los agregados, utilizando maquinaria pesada, los cuales son llevados a la planta de beneficio para su lavado, trituración y clasificación, quedando así listos para el envío a los centros de consumo.

Paralelo al desarrollo de la actividad minera, se llevan a cabo los procesos de rehabilitación y recuperación morfológica y ambiental del suelo, para finalmente darle a estos otros usos como la agricultura, la ganadería, la recreación, urbanización o cualquier otro uso industrial.

2.4.14. CLASIFICACIÓN:

Existen varias formas de clasificar a los agregados, algunas de las cuales son:

POR SU NATURALEZA:

Los agregados pueden ser naturales o artificiales, siendo los naturales de uso frecuente, además los agregados utilizados en el concreto se pueden clasificar en: agregado grueso, fino y hormigón (agregado global).

- a. El agregado fino, se define como aquel que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las rocas.
- b. El agregado grueso, es aquel que queda retenido en el tamiz N°4 y proviene de la desintegración de las rocas; puede a su vez clasificarse en piedra chancada y grava.
- c. El hormigón, es el material conformado por una mezcla de arena y grava este material mezclado en proporciones arbitrarias se encuentra en forma natural en la corteza terrestre y se emplea tal cual se extrae en la cantera.

POR SU DENSIDAD:

Se pueden clasificar en agregados de peso específico normal comprendidos entre 2.50 a 2.75, ligeros con pesos específicos menores a 2.5, y agregados pesados cuyos pesos específicos son mayores a 2.75.

POR EL ORIGEN, FORMA Y TEXTURA SUPERFICIAL:

Por naturaleza los agregados tienen forma irregularmente geométrica compuestos aleatoriamente por caras redondeadas y angularidades. En términos descriptivos la forma de los agregados puede ser:

- **Angular:** Poca evidencia de desgaste en caras y bordes.
- **Sub angular:** Evidencia de algo de desgaste en caras y bordes.
- **Sub redondeada:** Considerable desgaste en caras y bordes.
- **Redondeada:** Bordes casi eliminados.
- **Muy Redondeada:** Sin caras ni bordes

POR EL TAMAÑO DEL AGREGADO:

Según su tamaño, los agregados para concreto son clasificados en:

- Agregados finos (arenas) y
- Agregados gruesos (piedras).

2.4.15. ESTABILIDAD DE MEZCLA ASFÁLTICA

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.

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre partículas) está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unas respecto a otras debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico.

En términos generales, entre más angular sea la forma de las partículas de agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla.

Cuando no hay agregados disponibles con características de alta fricción interna, se pueden usar mezclas más económicas, en lugares donde se espere tráfico liviano, utilizando agregados con valores menores de fricción interna.

La fuerza ligante de la cohesión aumenta con aumentos en la frecuencia de carga (tráfico). La cohesión también aumenta a medida que la viscosidad del asfalto aumenta, o a medida que la temperatura del pavimento disminuye. Adicionalmente, y hasta cierto nivel, la cohesión aumenta con aumentos en el contenido de asfalto. Cuando se sobrepasa este nivel, los aumentos en el contenido de asfalto producen una película demasiado gruesa sobre las partículas de agregado, lo cual resulta en pérdida de fricción entre partículas.

Existen muchas causas y efectos asociados con una estabilidad insuficiente en el pavimento.

Tabla 1 Causas y Efectos de Inestabilidad en el Pavimento.

CAUSAS	EFFECTOS
Exceso de asfalto en la 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 si, o con pocas, superficies trituradas.	Ahuellamiento y canalización.

CAPITULO III

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. CONDICIONES PREVALECIENTES DE LA LÍNEA DE ESTUDIO

Existen varios factores que influyen o afectan la estabilidad y fluencia de las mezclas asfálticas, entre ellos podemos mencionar: los materiales utilizados, la mezcla bituminosa, la compactación de la mezcla, el porcentaje de humedad, contenido de aire, flujo, etc. Todas estas condiciones y otras son las que determinan la estabilidad de la mezcla asfáltica, por esa razón es el punto de partida para este trabajo de investigación.

El desarrollo y análisis de la información de campo se ha realizado en la línea de estudio que es las mezclas asfálticas ubicadas en la Provincia Huancayo y departamento Junín.



Figura 04 *Ubicación de Línea de Estudio*

El control establecido para realizar el análisis de nuestro estudio:

Se basa en realizar ensayos de Marshall que comprende de agregados y bitumen ambos mezclados en caliente y para su utilización la estabilidad es muy importante, ya que este valor determina la resistencia a distintas cargas que soportara durante el periodo de uso en las distintas calles y red vial de nuestra ciudad.



Figura 05 Probetas del ensayo Marshall

Realizaremos para este estudio el ensayo Marshall que consistirá en la elaboración de probetas con un peso de agregados pétreos de 3,832 gr. En todas las granulometrías y para el tipo de asfalto utilizado. Se consideró para el diseño de la mezcla un alto tráfico, por lo que se dieron a cada probeta 75 golpes por cara. La metodología para el ensayo Marshall se encuentra en la NORMA MTC E-504 (AASHTO T-245 / ASTM D-1559).

El material del que se dispuso para la elaboración de las probetas fue agregado pétreo triturado al 100% luego añadiremos relleno mineral en porcentajes aumentado a 0.50% hasta llegar al 6.00% de adición sin afectar el uso de la curva granulométrica del agregado. La composición de las granulometrías de las probetas

del ensayo Marshall, la fracción de agregados pétreos fueron previamente lavados y secados al horno, con el objetivo de retirarles todo el polvo mineral adherido; posteriormente, se les añadió la parte correspondiente en peso de polvo mineral (filler).


Una vez realizadas las probetas, se procedió a calcular su estabilidad y fluencia al ser ensayado en el aparato Marshall obteniendo datos de carga, deformación. Los resultados se podrán observar en el anexo 12-13.

Empleando la normativa del ensayo Marshall, se calcularon la Estabilidad corregida y la Deformación, cuyos cálculos y resultados se indican en el Anexo 12-13 para las probetas elaboradas.

3.2. RESUMEN DE RESULTADOS DE GRANULOMETRIA DE AGREGADOS

Mostramos los ensayos granulométricos de los agregados para así conocer qué tipo de agregado que estamos utilizando y así poder incluir en el diseño Marshall.

Tabla 2 Resumen granulometría de piedra de 3/4"

						
Análisis Mecánico por Tamizado						
Diseño	MAC					
Fecha	mayo 2018					
Material	Grava Chancada TM 3/4"					
Cantera	pilcomayo					
Granulometria (MTC E 204)						
Datos de ensayo						
Peso Total	5000.0					
Malla	Peso	% Ret	% Ret	% que	Especifi-	
Tamiz	mm.	(gr)	Parcial	Acum.	Pasa	caciones
3"	76.200					
2 1/2"	63.500					
2"	50.600					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050	0.0	0.0	0.0	100.0	
1/2"	12.700	2430	48.6	48.6	51.4	
3/8"	9.525	1825	36.5	85.1	14.9	
1/4"	6.350	730	14.6	99.7	0.3	
No#4	4.760	15	0.3	100.0	0.0	
8	2.360	0	0.0	100.0		
10	2.000					
16	1.190					
20	0.840					
30	0.600					
40	0.420					
50	0.300					
60	0.250					
80	0.180					
100	0.149					
200	0.074					
< 200						

Fuente: Elaboración propia


Tabla 3 Resumen granulometría de piedra de 1/2"

Malla		Peso (gr)	% Ret Parcial	% Ret Acum.	% que Pasa	Especifi- caciones
Tamiz	mm.					
3"	76.200					
2 1/2"	63.500					
2"	50.600					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050	0.0	0.0	0.0	100.0	
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0	
3/8"	9.525	475	9.5	9.5	90.5	
1/4"	6.350	3780	75.6	85.1	14.9	
No4	4.760	745	14.9	100.0	0.0	
8	2.360	0	0.0	100.0		
10	2.000					
16	1.190					
20	0.840					
30	0.600					
40	0.420					
50	0.300					
60	0.250					
80	0.180					
100	0.149					
200	0.074					
< 200						

Fuente: Elaboración propia

La tabla 3 de granulometría muestra los resultados de piedra de 1/2", que cuenta con la proporción del agregado: 9.5% de 3/8", 75.6% de 1/4" y 14.9% de N°4. Estos datos serán necesarios para realizar la combinación de agregados para el diseño de Marshall.

Tabla 4 Resumen granulometría de arena chancada



Análisis Mecánico por Tamizado

Diseño MAC
 Fecha mayo 2018
 Material Arena Chancada
 Cantera pilcomayo

Granulometría (MTC E 204)
 Datos de ensayo
 Peso Total : 500.0
 Peso muestra lavada : 500.0

Tamiz	Malla mm.	Peso (gr)	% Ret Parcial	% Ret Acum.	% que Pasa	Especificaciones
3"	76.200					
2 1/2"	63.500					
2"	50.600					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050					
1/2"	12.700					
3/8"	9.525					
1/4"	6.350				100.0	
Nº4	4.760	48.0	9.6	9.6	90.4	
8	2.360	150.0	30.0	39.6	60.4	
10	2.000	64.0	12.8	52.4	47.6	
16	1.190	41.0	8.2	60.6	39.4	
20	0.840					
30	0.600	50.0	10.0	70.6	29.4	
40	0.420	26.0	5.2	75.8	24.2	
50	0.300	24.0	4.8	80.6	19.4	
60	0.250					
80	0.180	26.0	5.2	85.8	14.2	
100	0.149	20.0	4.0	89.8	10.2	
200	0.074	35.0	7.0	96.8	3.2	
< 200		16.0	3.2	100.0		

Fuente: Elaboración propia

La tabla 4 de granulometría muestra los resultados de arena chancada, que cuenta con la proporción del agregado: 9.6% de N°4, 30.0% de N°8, 12.8% de N°10, 8.2% de N°16, 10.0% de N°30, 5.2% de N°40, 4.8% de N°50, 5.2% de N°80, 4.0% de N°100, 7.0% de N°200 y pasante un 3.2%. Estos datos serán necesarios para realizar la combinación de agregados para el diseño de Marshall.

Tabla 5 Resumen granulometría de arena zarandeada



Análisis Mecánico por Tamizado

Diseño MAC
 Fecha mayo 2018
 Material Arena zarandeada
 Cantera pilcomayo


Granulometría (MTC E 204)
 Datos de ensayo
 Peso Total : 500.0
 Peso muestra lavada : 500.0

Malla		Peso (gr)	% Ret Parcial	% Ret Acum.	% que Pasa	Especificaciones
Tamiz	mm.					
3"	76.200					
2 1/2"	63.500					
2"	50.600					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050					
1/2"	12.700					
3/8"	9.525					
1/4"	6.350				100.0	
No4	4.760	33.0	6.6	6.6	93.4	
8	2.360	103.0	20.6	27.2	72.8	
10	2.000	68.0	13.6	40.8	59.2	
16	1.190	58.0	11.6	52.4	47.6	
20	0.840					
30	0.600	104.0	20.8	73.2	26.8	
40	0.420	44.0	8.8	82.0	18.0	
50	0.300	25.0	5.0	87.0	13.0	
60	0.250					
80	0.180	24.0	4.8	91.8	8.2	
100	0.149	19.0	3.8	95.6	4.4	
200	0.074	18.0	3.6	99.2	0.8	
< 200		4.0	0.8	100.0		

Fuente: Elaboración propia

La tabla 5 de granulometría muestra los resultados de arena ZARANDEADA, que cuenta con la proporción del agregado: 6.6% de N°4, 20.6% de N°8, 13.6% de N°10, 11.6% de N°16, 20.8% de N°30, 8.8% de N°40, 5.0% de N°50, 4.8% de N°80, 3.8% de N°100, 3.6% de N°200 y pasante un 0.8%. Estos datos serán necesarios para realizar la combinación de agregados para el diseño de Marshall.

Tabla 6 Resumen granulometría filler (Cal Hidratada)



Análisis Mecánico por Tamizado

Diseño MAC
Fecha mayo 2018
Material Cal Hidratada
Cantera pilcomayo


Granulometría (MTC E 204)
Datos de ensayo
 Peso Total : 500.0
 Peso muestra lavada : 500.0

Malla		Peso (gr)	% Ret Parcial	% Ret Acum.	% que Pasa	Especificaciones
Tamiz	mm.					
3"	76.200					
2 1/2"	63.500					
2"	50.600					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050					
1/2"	12.700					
3/8"	9.525					
1/4"	6.350					
No4	4.760					
8	2.360					
10	2.000					
16	1.190					
20	0.840					
30	0.600					
40	0.420					
50	0.300					
60	0.250					
80	0.180		0.0	0.0	100.0	
100	0.149	25.0	5.0	5.0	95.0	
200	0.074	450.0	90.0	95.0	5.0	
< 200		25.0	5.0	100.0		

Fuente: Elaboración propia

La tabla 6 de granulometría muestra los resultados de cal hidratada, que cuenta con la proporción del agregado: 5.0% de N°100, 90.0% de N°200 y pasante un 5.0%. Estos datos serán necesarios para realizar la combinación de agregados para el diseño de Marshall utilizando las adiciones.

Tabla 7 Resumen granulometría filler(Cemento portland)



Análisis Mecánico por Tamizado

Diseño MAC
Fecha mayo 2018
Material cemento portland
Cantera pilcomayo

Granulometría (MTC E 204)
Datos de ensayo
 Peso Total : 500.0
 Peso muestra lavada : 500.0

Malla		Peso (gr)	% Ret Parcial	% Ret Acum.	% que Pasa	Especificaciones
Tamiz	mm.					
3"	76.200					
2 1/2"	63.500					
2"	50.600					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050					
1/2"	12.700					
3/8"	9.525					
1/4"	6.350					
No4	4.760					
8	2.360					
10	2.000					
16	1.190					
20	0.840					
30	0.600					
40	0.420					
50	0.300					
60	0.250					
80	0.180		0.0	0.0	100.0	
100	0.149	24.8	5.0	5.0	95.0	
200	0.074	450.0	90.0	95.0	5.0	
< 200		25.2	5.0	100.0		

Fuente: Elaboración propia

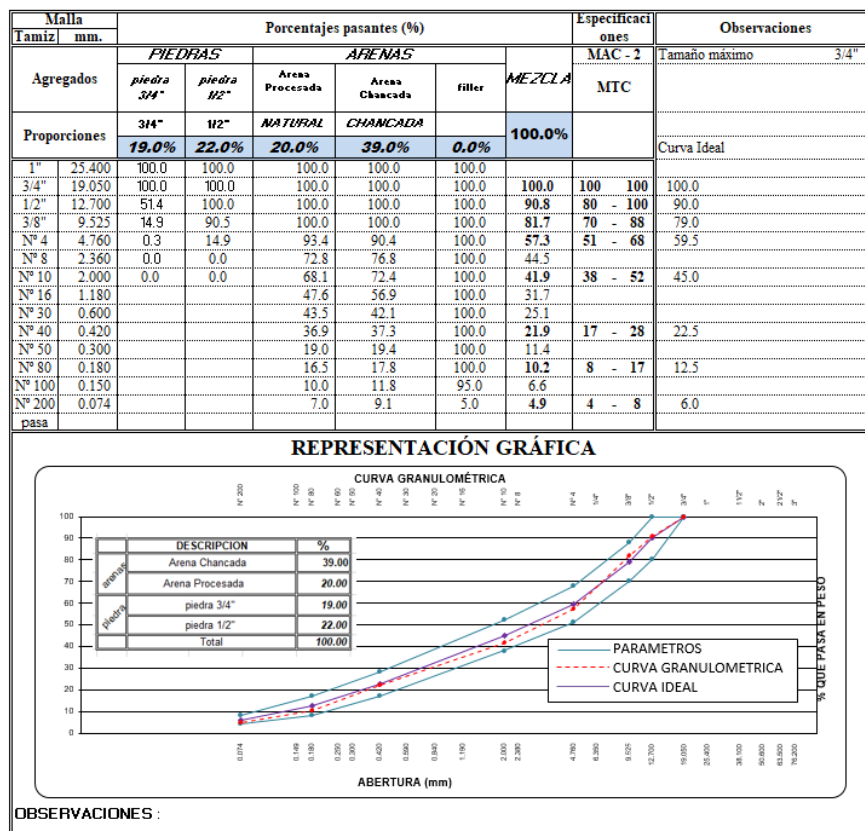
La tabla 7 de granulometría muestra los resultados de cemento, que cuenta con la proporción del agregado: 5.0% de N°100, 90.0% de N°200 y pasante un 5.0%. Estos datos serán necesarios para realizar la combinación de agregados para el diseño de Marshall utilizando las adiciones.

Aquí apreciamos todos los resúmenes granulométricos de los agregados y la granulometría de las adiciones de cal hidratada y cemento portland, a utilizar para el diseño Marshall.

3.3. RESUMEN DE COMBINACIÓN TEORICA

Una vez de a ver concluido con el análisis granulométrico podemos realizar el proceso de la combinación teórica para poder realizar la mejor combinación optima de agregados para la mezcla asfáltica en caliente.

Tabla 8 Combinación de agregados para mezclas asfálticas en caliente MAC 2



Fuente: Elaboración propia

Esta curva nos muestra la combinación optima de los agregados que disponemos y observamos los parámetros que nos da el uso MAC-2, con esta combinación realizaremos las probetas de la mezcla asfáltica en caliente para conseguir el óptimo asfalto que tenga la mejor relación entre la estabilidad y fluencia.

3.4. RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO MARSHALL PARA OBTENER EL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO.

A continuación, se mostrarán el cuadro de resumen de los resultados de las probetas sometidas al ensayo para poder encontrar el contenido óptimo de asfalto.

Tabla 9 Ensayos para obtener el contenido óptimo de asfalto

% de asfalto	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03
4.00%	Flujo	mm	3.80	3.70	3.81
	Estabilidad sin corregir	kg	1483.40	1480.10	1482.90
	Factor de estabilidad		0.94	0.94	0.94
	Estabilidad corregida	kg	1394.40	1391.29	1393.93
	Estabilida-Flujo	kg/cm	3669.46	3760.25	3658.60
4.50%	Flujo	mm	3.90	4.06	4.10
	Estabilidad sin corregir	kg	1573.60	1575.30	1577.10
	Factor de estabilidad		0.96	0.96	0.96
	Estabilidad corregida	kg	1510.66	1512.29	1514.02
	Estabilida-Flujo	kg/cm	3873.48	3724.85	3692.72
5.00%	Flujo	mm	4.45	4.46	4.42
	Estabilidad sin corregir	kg	1475.10	1474.60	1476.30
	Factor de estabilidad		0.94	0.94	0.94
	Estabilidad corregida	kg	1386.59	1386.12	1387.72
	Estabilida-Flujo	kg/cm	3115.94	3107.90	3139.64
5.50%	Flujo	mm	4.68	4.70	4.75
	Estabilidad sin corregir	kg	1448.90	1446.90	1448.20
	Factor de estabilidad		0.94	0.94	0.94
	Estabilidad corregida	kg	1361.97	1360.09	1361.31
	Estabilida-Flujo	kg/cm	2910.18	2893.80	2865.91
6.00%	Flujo	mm	4.88	4.80	4.91
	Estabilidad sin corregir	kg	1376.80	1379.20	1370.90
	Factor de estabilidad		1.00	1.00	1.00
	Estabilidad corregida	kg	1376.80	1379.20	1370.90
	Estabilida-Flujo	kg/cm	2821.31	2873.33	2792.06
6.50%	Flujo	mm	4.90	5.10	4.98
	Estabilidad sin corregir	kg	995.40	991.80	993.70
	Factor de estabilidad		1.00	1.00	1.00
	Estabilidad corregida	kg	995.40	991.80	993.70
	Estabilida-Flujo	kg/cm	2031.43	1944.71	1995.38

Fuente: Elaboración propia

La tabla 9 nos muestra cual es el contenido óptimo de asfalto, para este ensayo se realizaron 3 probetas con cada porcentaje de asfalto. De ahí podemos observar según la relación estabilidad – flujo el porcentaje de asfalto es 4.5%.

3.5. RESUMEN DE RESULTADOS DE LAS ADICIONES

En este apartado mostraremos la variación del contenido de las adiciones de cal hidratada o cemento el cual mostraremos el contenido óptimo en relación a la estabilidad y flujo.

Tabla 3 Resumen de estabilidad - flujo según % de adición de cal hidratada

% de asfalto	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03	Probeta 04	Probeta 05
0.50%	Flujo	mm	3.15	3.13	3.12	3.14	3.12
	Estabilidad sin corregir	kg	676.00	674.20	672.40	674.20	673.20
	Factor de estabilidad		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	Estabilidad corregida	kg	608.40	606.78	605.16	606.78	605.88
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	1931.43	1938.59	1933.62	1932.42	1941.92
1.00%	Flujo	mm	3.30	3.32	3.28	3.25	3.26
	Estabilidad sin corregir	kg	768.50	770.10	766.90	765.10	766.90
	Factor de estabilidad		0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
	Estabilidad corregida	kg	683.97	685.39	682.54	680.94	682.54
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	2072.62	2064.42	2080.92	2095.20	2093.68
1.50%	Flujo	mm	3.80	3.76	3.78	3.75	3.77
	Estabilidad sin corregir	kg	1050.60	1046.50	1049.50	1044.80	1050.10
	Factor de estabilidad		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	Estabilidad corregida	kg	945.54	941.85	944.55	940.32	945.03
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	2488.26	2504.92	2498.81	2507.52	2506.87
2.00%	Flujo	mm	3.90	3.86	3.88	3.87	3.88
	Estabilidad sin corregir	kg	1142.50	1138.80	1140.80	1138.50	1138.90
	Factor de estabilidad		0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
	Estabilidad corregida	kg	1096.80	1093.25	1095.17	1092.96	1093.34
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	2812.31	2832.25	2822.60	2824.19	2817.90
2.50%	Flujo	mm	4.10	4.08	4.08	4.09	4.08
	Estabilidad sin corregir	kg	1276.80	1274.80	1273.40	1276.20	1274.80
	Factor de estabilidad		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	Estabilidad corregida	kg	1143.12	1147.32	1146.06	1148.58	1147.32
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	2802.73	2812.06	2808.97	2808.26	2812.06
3.00%	Flujo	mm	4.30	4.27	4.31	4.29	4.28
	Estabilidad sin corregir	kg	1345.80	1343.70	1344.10	1342.20	1340.20
	Factor de estabilidad		0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
	Estabilidad corregida	kg	1278.51	1276.52	1276.90	1275.09	1273.19
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	2973.28	2989.50	2962.63	2972.24	2974.74
3.50%	Flujo	mm	4.50	4.48	4.45	4.47	4.48
	Estabilidad sin corregir	kg	1393.70	1390.50	1388.20	1389.70	1390.40
	Factor de estabilidad		0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
	Estabilidad corregida	kg	1324.02	1320.98	1318.79	1320.22	1320.88
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	2942.26	2948.60	2963.57	2953.50	2948.39
4.00%	Flujo	mm	4.60	4.68	4.67	4.67	4.66
	Estabilidad sin corregir	kg	1442.90	1449.90	1449.20	1448.80	1446.70
	Factor de estabilidad		0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
	Estabilidad corregida	kg	1284.18	1290.41	1289.79	1289.43	1287.56
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	2791.70	2757.29	2761.86	2761.10	2763.01
4.50%	Flujo	mm	4.68	4.68	4.67	4.68	4.67
	Estabilidad sin corregir	kg	1513.80	1511.40	1509.80	1511.80	1512.70
	Factor de estabilidad		0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
	Estabilidad corregida	kg	1332.14	1330.03	1328.62	1330.38	1331.18
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	2846.46	2841.95	2845.02	2842.70	2850.48
5.00%	Flujo	mm	4.79	4.79	4.79	4.80	4.80
	Estabilidad sin corregir	kg	1319.50	1317.90	1316.40	1318.90	1319.80
	Factor de estabilidad		0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
	Estabilidad corregida	kg	1161.16	1159.75	1158.43	1160.63	1161.42
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	2424.13	2421.19	2418.44	2417.98	2419.63
5.50%	Flujo	mm	5.10	5.10	5.12	5.11	5.10
	Estabilidad sin corregir	kg	1160.80	1163.00	1162.90	1161.70	1163.10
	Factor de estabilidad		0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
	Estabilidad corregida	kg	975.07	976.92	976.84	975.83	977.00
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	1911.91	1915.53	1907.88	1909.64	1915.69
6.00%	Flujo	mm	5.60	5.62	5.60	5.60	5.50
	Estabilidad sin corregir	kg	995.70	996.70	994.50	996.00	993.10
	Factor de estabilidad		0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
	Estabilidad corregida	kg	816.47	817.29	815.49	816.72	814.34
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	1457.99	1454.26	1456.23	1458.43	1480.62

Fuente: Elaboración propia

Como podemos apreciar de la tabla 10 los resultados de los ensayos de las 12 adiciones el cual determinamos que con 3.0% de adición de cal hidratada se obtuvo la mejor relación entre estabilidad y flujo dando como promedio de 2974.48 kg/cm.

Tabla 11 Resumen de estabilidad - flujo según % de adición de cemento

% de ADICION	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03	Probeta 04	Probeta 05
0.50%	Flujo	mm	2.90	2.98	2.98	2.98	2.99
	Estabilidad sin corregir	kg	966.00	950.00	963.50	965.80	965.20
	Factor de estabilidad		0.76	0.76	0.76	0.76	0.76
	Estabilidad corregida	kg	734.16	722.00	732.26	734.01	733.55
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	2531.59	2422.82	2457.25	2463.11	2453.95
1.00%	Flujo	mm	3.00	2.98	2.98	2.98	2.98
	Estabilidad sin corregir	kg	1130.20	1128.80	1125.60	1128.40	1124.50
	Factor de estabilidad		0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
	Estabilidad corregida	kg	949.37	948.19	945.50	947.86	944.58
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	3164.56	3181.85	3172.83	3180.72	3169.73
1.50%	Flujo	mm	3.30	3.26	3.28	3.27	3.32
	Estabilidad sin corregir	kg	1293.60	1290.40	1290.00	1289.70	1294.30
	Factor de estabilidad		0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	Estabilidad corregida	kg	1099.56	1096.84	1096.50	1096.25	1100.16
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	3332.00	3364.54	3342.99	3352.43	3313.72
2.00%	Flujo	mm	3.40	3.39	3.41	3.41	3.41
	Estabilidad sin corregir	kg	1474.50	1470.30	1472.80	1473.80	1475.10
	Factor de estabilidad		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	Estabilidad corregida	kg	1327.05	1323.27	1325.52	1326.42	1327.59
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	3903.09	3903.45	3887.16	3889.79	3893.23
2.50%	Flujo	mm	3.53	3.52	3.52	3.52	3.52
	Estabilidad sin corregir	kg	1545.10	1543.60	1546.80	1542.80	1540.70
	Factor de estabilidad		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	Estabilidad corregida	kg	1390.59	1389.24	1392.12	1388.52	1386.63
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	3939.35	3946.70	3954.89	3944.66	3939.29
3.00%	Flujo	mm	3.70	3.68	3.68	3.68	3.66
	Estabilidad sin corregir	kg	1613.50	1615.20	1610.20	1612.00	1610.10
	Factor de estabilidad		0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
	Estabilidad corregida	kg	1468.29	1469.83	1465.28	1466.92	1465.19
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	3968.34	3994.11	3981.74	3986.20	4003.25
3.50%	Flujo	mm	3.79	3.76	3.76	3.76	3.76
	Estabilidad sin corregir	kg	1679.80	1675.50	1678.20	1675.40	1674.60
	Factor de estabilidad		0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	Estabilidad corregida	kg	1427.83	1424.18	1426.47	1424.09	1423.41
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	3767.36	3787.70	3793.80	3787.47	3785.66
4.00%	Flujo	mm	3.92	3.90	3.90	3.89	3.88
	Estabilidad sin corregir	kg	1859.00	1858.20	1859.20	1857.40	1856.20
	Factor de estabilidad		0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	Estabilidad corregida	kg	1580.15	1579.47	1580.32	1578.79	1577.77
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	4030.99	4049.92	4052.10	4058.59	4066.42
4.50%	Flujo	mm	4.05	4.08	4.04	4.06	4.07
	Estabilidad sin corregir	kg	1984.60	1990.30	1985.60	1989.70	1982.80
	Factor de estabilidad		0.83	0.83	0.83	0.83	0.83
	Estabilidad corregida	kg	1647.22	1651.95	1648.05	1651.45	1645.72
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	4067.20	4048.89	4079.33	4067.61	4043.55
5.00%	Flujo	mm	4.30	4.26	4.26	4.30	4.32
	Estabilidad sin corregir	kg	1700.00	1697.50	1689.90	1696.40	1704.50
	Factor de estabilidad		0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
	Estabilidad corregida	kg	1428.00	1425.90	1419.52	1424.98	1431.78
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	3320.33	3347.18	3332.20	3313.90	3314.31
5.50%	Flujo	mm	4.45	4.44	4.46	4.41	4.42
	Estabilidad sin corregir	kg	1597.20	1591.20	1596.50	1590.40	1590.20
	Factor de estabilidad		0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
	Estabilidad corregida	kg	1341.65	1336.61	1341.06	1335.94	1335.77
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	3014.94	3010.38	3006.86	3029.33	3022.10
6.00%	Flujo	mm	4.60	4.55	4.56	4.57	4.53
	Estabilidad sin corregir	kg	1427.00	1422.80	1426.90	1427.40	1424.90
	Factor de estabilidad		0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
	Estabilidad corregida	kg	1227.22	1223.61	1227.13	1227.56	1225.41
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	2667.87	2689.25	2691.08	2686.14	2705.11

Fuente: Elaboración propia

Como podemos apreciar de la tabla 11 los resultados de los ensayos de las 12 adiciones el cual determinamos que con 4.0% de adición de cemento se obtuvo la mejor relación entre estabilidad y flujo dando como promedio de 4051.60 kg/cm.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Aquí nos basaremos en el análisis de los resultados de los módulos y resúmenes desarrollados anteriormente. El siguiente análisis es en base al porcentaje óptimo de cemento asfáltico y adicionando cal hidratada o cemento en porcentajes de 0.5% hasta 6.0%.

4.1. ANÁLISIS DE GRANULOMETRIA

La información obtenida de los ensayos granulométricos de los agregados nos muestra que los agregados se encuentran dentro de los USOS granulométricos especificados para el diseño MARSHALL de asfalto.

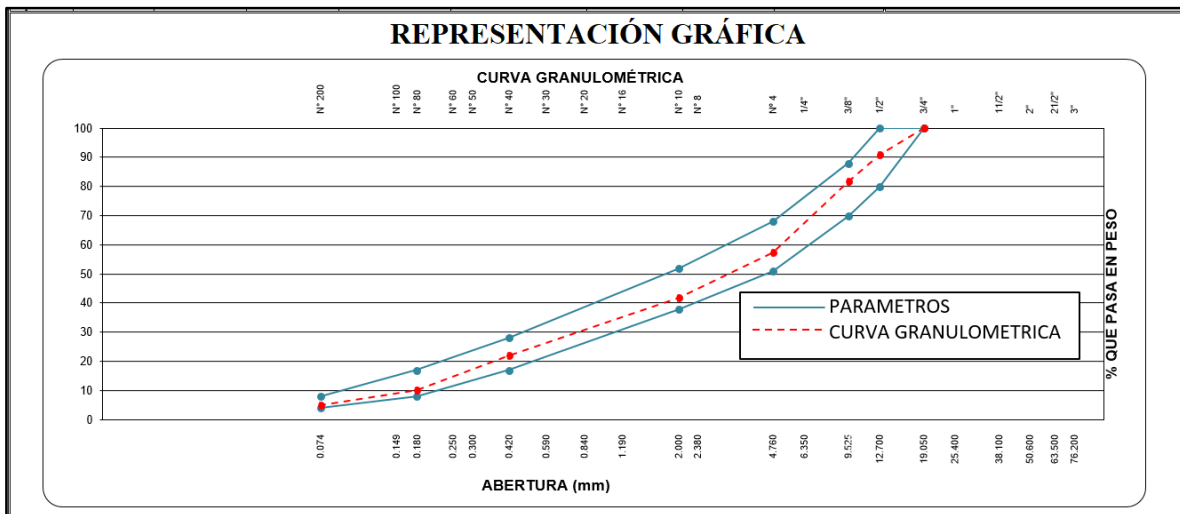


Figura 06 Granulometría de los agregados según USOS MAC

La figura 06 nos muestra granulometría está dentro del USO MAC-2, el cual se encuentra con los siguientes parámetros según el reglamento.

4.2. ANÁLISIS DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS

Los resultados de combinación de agregados nos muestran la cantidad que mezclaremos de cada tipo de agregado para diseñar la carpeta asfáltica de una forma eficiente y que pueda ser evaluado.

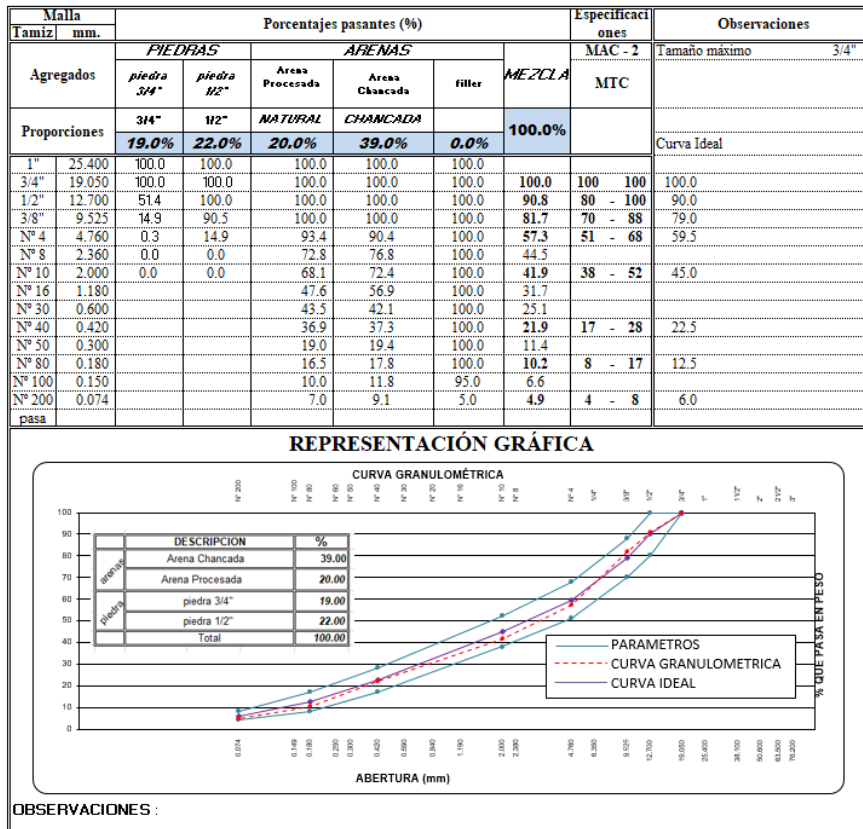


Figura 07 Diseño de mezcla de agregados según MAC

En la figura 07 nos muestra los porcentajes que debemos de mezclar en proporciones de:

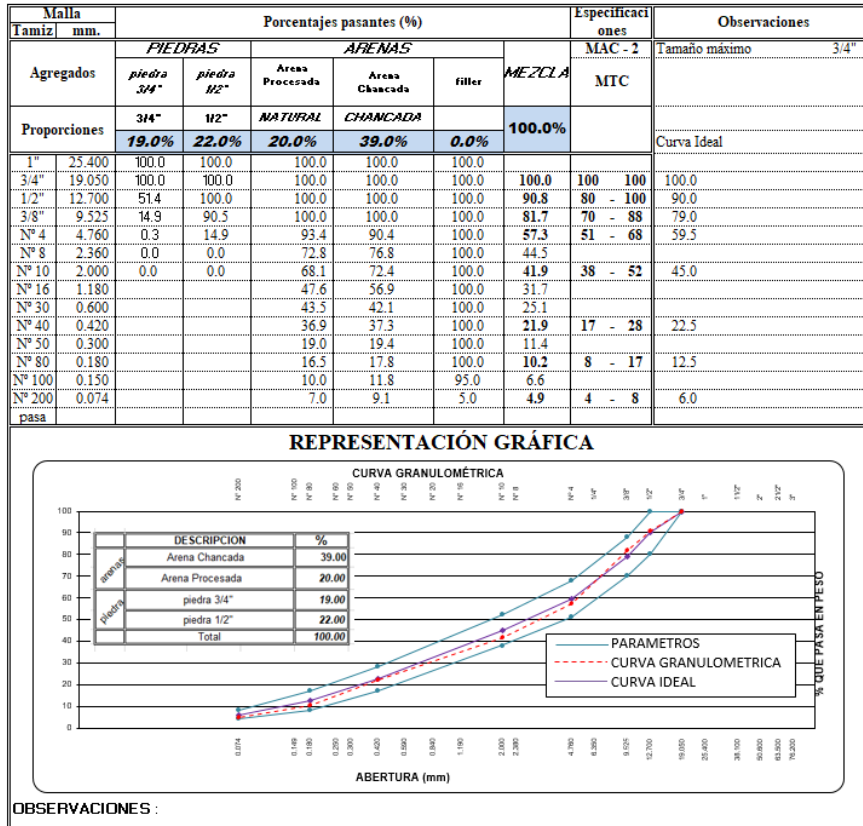
Piedra chancada 3/4": 19.00 %, Piedra chancada 1/2": 22.00%, Arena chancada: 39.00% y Arena zarandeada: 20.00%.

Y con estas proporciones diseñaremos las probetas para someterlas a los ensayos respectivos para obtener el óptimo contenido de asfalto.

4.2.1 Combinación teórica en dosificación 0.5% cal hidratada

Los resultados de combinación de agregados nos muestran la cantidad que mezclaremos de cada tipo de agregado para diseñar la carpeta asfáltica de una forma eficiente y que pueda ser evaluado adicionando la cal hidratada a 0.5% de cal hidratada.

Tabla 8 Combinación de agregados para mezclas asfálticas en caliente MAC 2



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8 nos muestra los porcentajes que debemos de mezclar en proporciones de:

Piedra chancada 3/4": 19.00 %, Piedra chancada 1/2": 22.00%, Arena chancada: 39.00% y Arena zarandeada: 20.00%.

Y con estas proporciones diseñaremos las probetas para someterlas a los ensayos respectivos para obtener el óptimo contenido de asfalto.

4.3. ANÁLISIS DE DISEÑO CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO

En el siguiente apartado mostraremos los ensayos realizados para obtener el contenido óptimo de cemento asfáltico.

4.3.1. ANÁLISIS DE DISEÑO CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO 4.0%

En este aspecto mostraremos el resumen de las probetas con una proporción de cemento asfáltico de 4.0%.

Tabla 12 Resumen contenido de cemento asfáltico 4.0%

% de asfalto	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03
4.00%	Flujo	mm	3.80	3.70	3.81
	Estabilidad sin corregir	kg	1483.40	1480.10	1482.90
	Factor de estabilidad		0.94	0.94	0.94
	Estabilidad corregida	kg	1394.40	1391.29	1393.93
	Estabilida-Flujo	kg/cm	3669.46	3760.25	3658.60
	Compactación, numero de golpes por cara		75	75	75

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la tabla 12 el porcentaje de 4.0%, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 3.77 mm en promedio; la estabilidad es de 1393.21 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 3696.11 kg/cm. En resumen, tiene una baja estabilidad, pero un flujo alto.

4.3.2. ANÁLISIS DE DISEÑO CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO 4.5%

En este aspecto mostraremos el resumen de las probetas con una proporción de cemento asfáltico de 4.5%.

Tabla 13 Resumen contenido de cemento asfaltico 4.5%

% de asfalto	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03
4.50%	Flujo	mm	3.90	4.06	4.10
	Estabilidad sin corregir	kg	1573.60	1575.30	1577.10
	Factor de estabilidad		0.96	0.96	0.96
	Estabilidad corregida	kg	1510.66	1512.29	1514.02
	Estabilida-Flujo	kg/cm	3873.48	3724.85	3692.72
	Compactación, numero de golpes por cara		75	75	75

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la tabla 13 el porcentaje de 4.5%, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 4.02 mm en promedio; la estabilidad es de 1512.32 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 3763.68 kg/cm. En resumen, tiene una buena estabilidad y un flujo intermedio.

4.3.3. ANÁLISIS DE DISEÑO CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO 5.0%

En este aspecto mostraremos el resumen de las probetas con una proporción de cemento asfaltico de 5.0%.

Tabla 14 Resumen contenido de cemento asfaltico 5.0%

% de asfalto	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03
5.00%	Flujo	mm	4.45	4.46	4.42
	Estabilidad sin corregir	kg	1475.10	1474.60	1476.30
	Factor de estabilidad		0.94	0.94	0.94
	Estabilidad corregida	kg	1386.59	1386.12	1387.72
	Estabilida-Flujo	kg/cm	3115.94	3107.90	3139.64
	Compactación, numero de golpes por cara		75	75	75

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la tabla 14 el porcentaje de 5.0%, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 4.44 mm en promedio; la estabilidad es de 1386.81

kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 3121.16 kg/cm. En resumen, tiene una buena estabilidad y un flujo alto.

4.3.5. ANÁLISIS DE DISEÑO CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO 5.5%

En este aspecto mostraremos el resumen de las probetas con una proporción de cemento asfáltico de 5.5%.

Tabla 15 Resumen contenido de cemento asfáltico 5.5%

% de asfalto	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03
5.50%	Flujo	mm	4.68	4.70	4.75
	Estabilidad sin corregir	kg	1448.90	1446.90	1448.20
	Factor de estabilidad		0.94	0.94	0.94
	Estabilidad corregida	kg	1361.97	1360.09	1361.31
	Estabilida-Flujo	kg/cm	2910.18	2893.80	2865.91
	Compactación, numero de golpes por cara		75	75	75

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la tabla 15 el porcentaje de 5.5%, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 4.71 mm en promedio; la estabilidad es de 1361.12 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 3121.16 kg/cm. En resumen, tiene una buena estabilidad y un flujo alto.

4.3.5. ANÁLISIS DE DISEÑO CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO 6.0%

En este aspecto mostraremos el resumen de las probetas con una proporción de cemento asfáltico de 6.0%.

Tabla 16 Resumen contenido de cemento asfaltico 6.0%

% de asfalto	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03
6.00%	Flujo	mm	4.88	4.80	4.91
	Estabilidad sin corregir	kg	1376.80	1379.20	1370.90
	Factor de estabilidad		1.00	1.00	1.00
	Estabilidad corregida	kg	1376.80	1379.20	1370.90
	Estabilida-Flujo	kg/cm	2821.31	2873.33	2792.06
	Compactación, numero de golpes por cara		75	75	75

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la tabla 16 el porcentaje de 6.0%, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 4.86 mm en promedio; la estabilidad es de 1375.63 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 2828.90 kg/cm. En resumen, tiene una buena estabilidad y un flujo alto.

4.3.5. ANÁLISIS DE DISEÑO CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO 6.5%

En este aspecto mostraremos el resumen de las probetas con una proporción de cemento asfaltico de 6.5%.

Tabla 17 Resumen contenido de cemento asfaltico 6.5%

% de asfalto	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03
6.50%	Flujo	mm	4.90	5.10	4.98
	Estabilidad sin corregir	kg	995.40	991.80	993.70
	Factor de estabilidad		1.00	1.00	1.00
	Estabilidad corregida	kg	995.40	991.80	993.70
	Estabilida-Flujo	kg/cm	2031.43	1944.71	1995.38
	Compactación, numero de golpes por cara		75	75	75

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la tabla 17 el porcentaje de 6.5%, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 4.99 mm en promedio; la estabilidad es de 993.63 kg

en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 1990.51 kg/cm. En resumen, tiene una estabilidad que no cumple con los parámetros de la normativa como mínimo y un flujo muy alto.

4.4. RESULTADO DEL CONTENIDO OPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO

Después de los ensayos realizados pudimos notar que el más favorable resulta ser el que tiene como contenido de cemento asfaltico 4.5% ya que tiene un flujo y estabilidad óptimos para la colocación en terreno, según la cantidad optima obtenida procederemos a añadir el porcentaje de cal hidratada o cemento y ensayando cinco probetas por porcentaje elaborando en total de 60 probetas de carpeta asfáltica por cada adicción.

4.5. RESULTADO DE ADICION DE CAL HIDRATADA

4.5.1. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CAL HIDRATADA 0.5%

Después de conocer el contenido óptimo de asfalto procedemos a realizar cuatro probetas con contenido de adición de 0.5 %.

Tabla 18 Resumen contenido de adición del 0.5%

% de asfalto	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03	Probeta 04	Probeta 05
0.50%	Flujo	mm	3.15	3.13	3.12	3.14	3.12
	Estabilidad sin corregir	kg	676.00	674.20	672.40	674.20	673.20
	Factor de estabilidad		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	Estabilidad corregida	kg	608.40	606.78	605.16	606.78	605.88
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	1931.43	1938.59	1939.62	1932.42	1941.92
	Compactación, numero de golpes por cara		75	75	75	75	75

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la tabla 18 el porcentaje de 0.5% de adición de cal hidratada, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 3.13 mm en promedio; la estabilidad es de 606.6 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo

es de 1936.8 kg/cm. En resumen, tiene una estabilidad que no cumple con los parámetros de la normativa como mínimo y un flujo bajo.

4.5.2. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CAL HIDRADATADA 1.0%

Después de conocer el contenido óptimo de asfalto procedemos a realizar cuatro probetas con contenido de adición 1.0 %.

Tabla 19 Resumen contenido de adición del 1.0%

% de asfalto	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03	Probeta 04	Probeta 05
1.00%	Flujo	mm	3.30	3.32	3.28	3.25	3.26
	Estabilidad sin corregir	kg	768.50	770.10	766.90	765.10	766.90
	Factor de estabilidad		0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
	Estabilidad corregida	kg	683.97	685.39	682.54	680.94	682.54
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	2072.62	2064.42	2080.92	2095.20	2093.68
	Compactación, numero de golpes por cara		75	75	75	75	75

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la tabla 19 el porcentaje de 1.0% de adición de cal hidratada, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 3.28 mm en promedio; la estabilidad es de 683.08 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 2081.37 kg/cm. En resumen, tiene una estabilidad que no cumple con los parámetros de la normativa como mínimo y un flujo bajo.

4.5.3. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CAL HIDRADATADA 1.5%

Después de conocer el contenido óptimo de asfalto procedemos a realizar cuatro probetas con contenido de adición 1.5 %.

Tabla 20 Resumen contenido de adición del 1.5%

% de asfalto	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03	Probeta 04	Probeta 05
1.50%	Flujo	mm	3.80	3.76	3.78	3.75	3.77
	Estabilidad sin corregir	kg	1050.60	1046.50	1049.50	1044.80	1050.10
	Factor de estabilidad		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	Estabilidad corregida	kg	945.54	941.85	944.55	940.32	945.09
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	2488.26	2504.92	2498.81	2507.52	2506.87
	Compactación, número de golpes por cara		75	75	75	75	75

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la tabla 20 el porcentaje de 1.5% de adición de cal hidratada, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 3.77 mm en promedio; la estabilidad es de 943.47 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 2501.28 kg/cm. En resumen, tiene una estabilidad que no cumple con los parámetros de la normativa como mínimo y un flujo intermedio.

4.5.4. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CAL HIDRADATADA 2.0%

Después de conocer el contenido óptimo de asfalto procedemos a realizar cuatro probetas con contenido de adición 2.0 %.

Tabla 21 Resumen contenido de adición del 2.0%

% de asfalto	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03	Probeta 04	Probeta 05
2.00%	Flujo	mm	3.90	3.86	3.88	3.87	3.88
	Estabilidad sin corregir	kg	1142.50	1138.80	1140.80	1138.50	1138.90
	Factor de estabilidad		0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
	Estabilidad corregida	kg	1096.80	1093.25	1095.17	1092.96	1093.34
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	2812.31	2832.25	2822.60	2824.19	2817.90
	Compactación, número de golpes por cara		75	75	75	75	75

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la tabla 21 el porcentaje de 2.0% de adición de cal hidratada, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 3.88 mm en promedio; la

estabilidad es de 1094.30 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 2821.85 kg/cm. En resumen, tiene una estabilidad que no cumple con los parámetros de la normativa como mínimo y un flujo intermedio.

4.5.5. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CAL HIDRADATADA 2.5%

Después de conocer el contenido óptimo de asfalto procedemos a realizar cuatro probetas con contenido de adición 2.5 %.

Tabla 22 Resumen contenido de adición del 2.5%

% de asfalto	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03	Probeta 04	Probeta 05
2.50%	Flujo	mm	4.10	4.08	4.08	4.09	4.08
	Estabilidad sin corregir	kg	1276.80	1274.80	1273.40	1276.20	1274.80
	Factor de estabilidad		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	Estabilidad corregida	kg	1149.12	1147.32	1146.06	1148.58	1147.32
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	2802.73	2812.06	2808.97	2808.26	2812.06
	Compactación, numero de golpes por cara		75	75	75	75	75

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la tabla 22 el porcentaje de 2.5% de adición de cal hidratada, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 4.09 mm en promedio; la estabilidad es de 1147.68 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 2808.82 kg/cm. En resumen, tiene una estabilidad que cumple con los parámetros de la normativa como mínimo y un flujo intermedio.

4.5.6. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CAL HIDRADATADA 3.0%

Después de conocer el contenido óptimo de asfalto procedemos a realizar cuatro probetas con contenido de adición 3.0 %.

Tabla 4 Resumen contenido de adición del 3.0%

% de asfalto	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03	Probeta 04	Probeta 05
3.00%	Flujo	mm	4.30	4.27	4.31	4.29	4.28
	Estabilidad sin corregir	kg	1345.80	1343.70	1344.10	1342.20	1340.20
	Factor de estabilidad		0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
	Estabilidad corregida	kg	1278.51	1276.52	1276.90	1275.09	1273.19
	Estabilida-Flujo	kg/cm	2973.28	2989.50	2962.63	2972.24	2974.74
	Compactación, numero de golpes por cara		75	75	75	75	75

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la tabla 23 el porcentaje de 3.0% de adición de cal hidratada, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 4.29 mm en promedio; la estabilidad es de 1276.04 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 2974.48 kg/cm. En resumen, tiene una estabilidad que cumple con los parámetros de la normativa y un flujo intermedio.

4.5.7. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CAL HIDRADATADA 3.5%

Después de conocer el contenido óptimo de asfalto procedemos a realizar cuatro probetas con contenido de adición 3.5 %.

Tabla 24 Resumen contenido de adición del 3.5%

% de asfalto	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03	Probeta 04	Probeta 05
3.50%	Flujo	mm	4.50	4.48	4.45	4.47	4.48
	Estabilidad sin corregir	kg	1393.70	1390.50	1388.20	1389.70	1390.40
	Factor de estabilidad		0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
	Estabilidad corregida	kg	1324.02	1320.98	1318.79	1320.22	1320.88
	Estabilida-Flujo	kg/cm	2942.26	2948.60	2963.57	2953.50	2948.39
	Compactación, numero de golpes por cara		75	75	75	75	75

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la tabla 24 el porcentaje de 3.5% de adición de cal hidratada, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 4.48 mm en promedio; la estabilidad es de 1320.98 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 2951.27 kg/cm. En resumen, tiene una estabilidad que cumple con los parámetros de la normativa y un flujo alto.

4.5.8. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CAL HIDRADATADA 4.0%

Después de conocer el contenido óptimo de asfalto procedemos a realizar cuatro probetas con contenido de adición 4.0 %.

Tabla 25 Resumen contenido de adición del 4.0%

% de asfalto	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03	Probeta 04	Probeta 05
4.00%	Flujo	mm	4.60	4.68	4.67	4.67	4.66
	Estabilidad sin corregir	kg	1442.90	1449.90	1449.20	1448.80	1446.70
	Factor de estabilidad		0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
	Estabilidad corregida	kg	1284.18	1290.41	1289.79	1289.43	1287.56
	Estabilida-Flujo	kg/cm	2791.70	2757.29	2761.86	2761.10	2763.01
	Compactación, numero de golpes por cara		75	75	75	75	75

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la tabla 25 el porcentaje de 4.0% de adición de cal hidratada, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 4.66 mm en promedio; la estabilidad es de 1288.28 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 2766.99 kg/cm. En resumen, tiene una estabilidad que cumple con los parámetros de la normativa y un flujo alto.

4.5.10. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CAL HIDRADATADA 4.5%

Después de conocer el contenido óptimo de asfalto procedemos a realizar cuatro probetas con contenido de adición 4.5 %.

Tabla 26 Resumen contenido de adición del 4.5%

% de asfalto	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03	Probeta 04	Probeta 05
4.50%	Flujo	mm	4.68	4.68	4.67	4.68	4.67
	Estabilidad sin corregir	kg	1513.80	1511.40	1509.80	1511.80	1512.70
	Factor de estabilidad		0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
	Estabilidad corregida	kg	1332.14	1330.03	1328.62	1330.38	1331.18
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	2846.46	2841.95	2845.02	2842.70	2850.48
	Compactación, numero de golpes por cara		75	75	75	75	75

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la tabla 26 el porcentaje de 4.5% de adición de cal hidratada, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 4.68 mm en promedio; la estabilidad es de 1330.47 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 2845.32 kg/cm. En resumen, tiene una estabilidad que cumple con los parámetros de la normativa y un flujo alto.

4.5.11. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CAL HIDRADATADA 5.0%

Después de conocer el contenido óptimo de asfalto procedemos a realizar cuatro probetas con contenido de adición 5.0 %.

Tabla 27 Resumen contenido de adición del 5.0%

% de asfalto	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03	Probeta 04	Probeta 05
5.00%	Flujo	mm	4.79	4.79	4.79	4.80	4.80
	Estabilidad sin corregir	kg	1319.50	1317.90	1316.40	1318.90	1319.80
	Factor de estabilidad		0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
	Estabilidad corregida	kg	1161.16	1159.75	1158.43	1160.63	1161.42
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	2424.13	2421.19	2418.44	2417.98	2419.63
	Compactación, numero de golpes por cara		75	75	75	75	75

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la tabla 27 el porcentaje de 5.5% de adición de cal hidratada, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 4.79 mm en promedio; la estabilidad es de 1160.28 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 2420.28 kg/cm. En resumen, tiene una estabilidad que no cumple con los parámetros de la normativa y un flujo muy alto.

4.5.12. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CAL HIDRADATADA 5.5%

Después de conocer el contenido óptimo de asfalto procedemos a realizar cuatro probetas con contenido de adición 5.5 %.

Tabla 28 Resumen contenido de adición del 5.5%

% de asfalto	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03	Probeta 04	Probeta 05
5.50%	Flujo	mm	5.10	5.10	5.12	5.11	5.10
	Estabilidad sin corregir	kg	1160.80	1163.00	1162.90	1161.70	1163.10
	Factor de estabilidad		0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
	Estabilidad corregida	kg	975.07	976.92	976.84	975.83	977.00
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	1911.91	1915.53	1907.88	1909.64	1915.69
	Compactación, numero de golpes por cara		75	75	75	75	75

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la tabla 28 el porcentaje de 5.5% de adición de cal hidratada, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 5.11 mm en promedio; la estabilidad es de 976.33 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 1912.13 kg/cm. En resumen, tiene una estabilidad que no cumple con los parámetros de la normativa y un flujo muy alto.

4.5.13. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CAL HIDRADATADA 6.0%

Después de conocer el contenido óptimo de asfalto procedemos a realizar cuatro probetas con contenido de adición 6.0 %.

Tabla 29 Resumen contenido de adición del 6.0%

% de asfalto	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03	Probeta 04	Probeta 05
6.00%	Flujo	mm	5.60	5.62	5.60	5.60	5.50
	Estabilidad sin corregir	kg	995.70	996.70	994.50	996.00	993.10
	Factor de estabilidad		0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
	Estabilidad corregida	kg	816.47	817.29	815.49	816.72	814.34
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	1457.99	1454.26	1456.23	1458.43	1480.62
	Compactación, numero de golpes por cara		75	75	75	75	75

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la tabla 29 el porcentaje de 6.0% de adición de cal hidratada, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 5.58 mm en promedio; la estabilidad es de 816.06 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 1461.51 kg/cm. En resumen, tiene una estabilidad que no cumple con los parámetros de la normativa y un flujo muy alto.

4.6. RESULTADO DEL PORCENTAJE MAXIMO DE CAL HIDRATADA SEGÚN CONTENIDO OPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO Y FLUJO.

A continuación, mostraremos las 5 probetas que se realizaron y ensayaron con las diferentes dosificaciones de porcentajes.

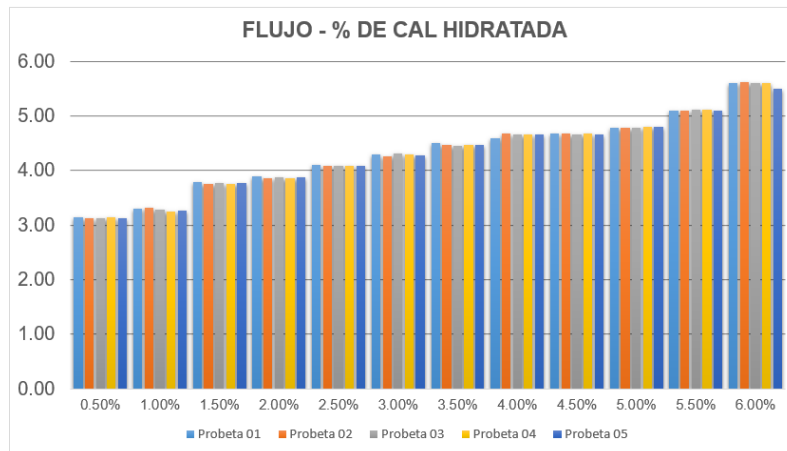


Figura 08 Flujo según % de Cal Hidratada

Como observamos en la figura 08 las muestras realizadas se encuentran relativamente cercanas en la estabilidad según el porcentaje de cada adición, observamos picos de 5.58 mm y bajos de hasta 3.13 mm.

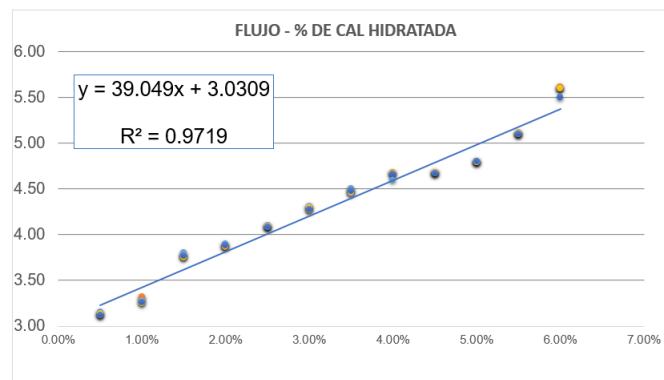


Figura 09 Grafica Flujo - % de Cal Hidratada

En la figura 09 mostramos la tendencia generada según los promedios de estabilidades para así poder obtener el porcentaje de adición que se utilizar en la

carpeta asfáltica. También observamos la ecuación de la curva generada por una regresión lineal.

4.7. RESULTADO DEL PORCENTAJE MAXIMO DE CAL HIDRATADA SEGÚN CONTENIDO OPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO Y ESTABILIDAD.

A continuación, mostraremos el promedio de las 5 probetas que se realizaron y ensayaron con los porcentajes de cal hidratada.

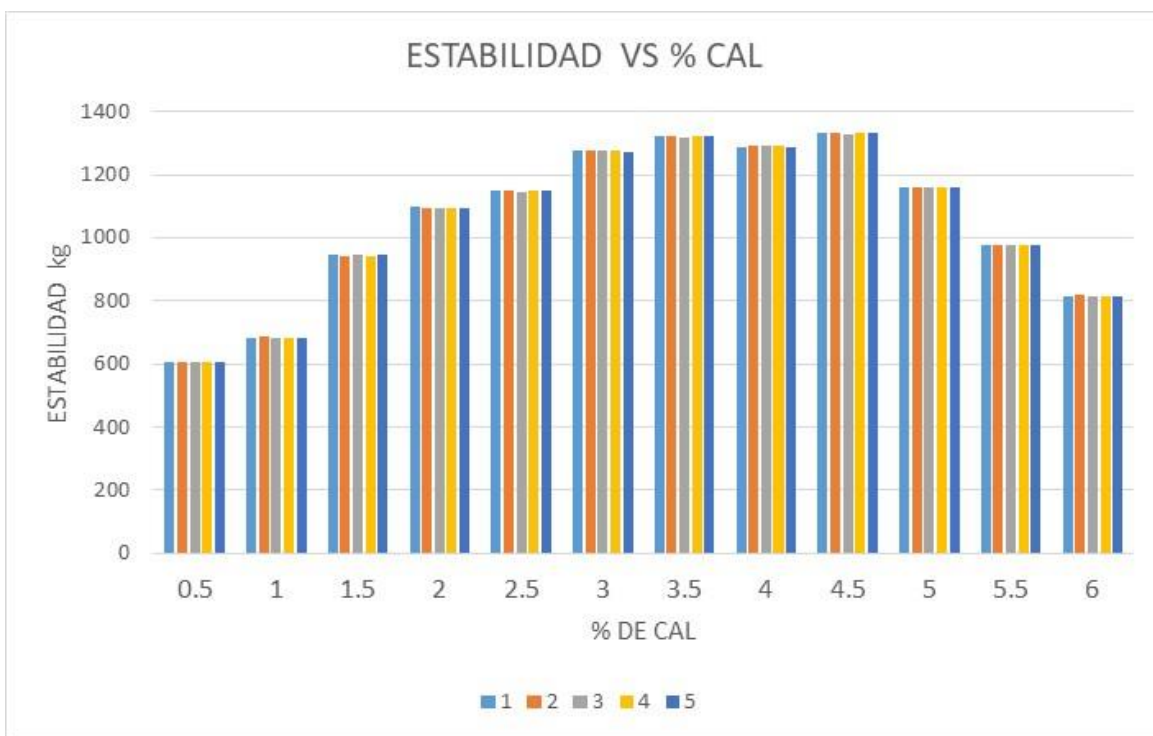


Figura 10 Estabilidad según % de CAL

Como observamos en la figura 10 las muestras realizadas se encuentran relativamente cercanas en la estabilidad según el porcentaje de adición, observamos picos de 1332.14 kg y bajos de hasta 605.16 kg.

También observamos la ecuación de la curva generada por una regresión polinómica.

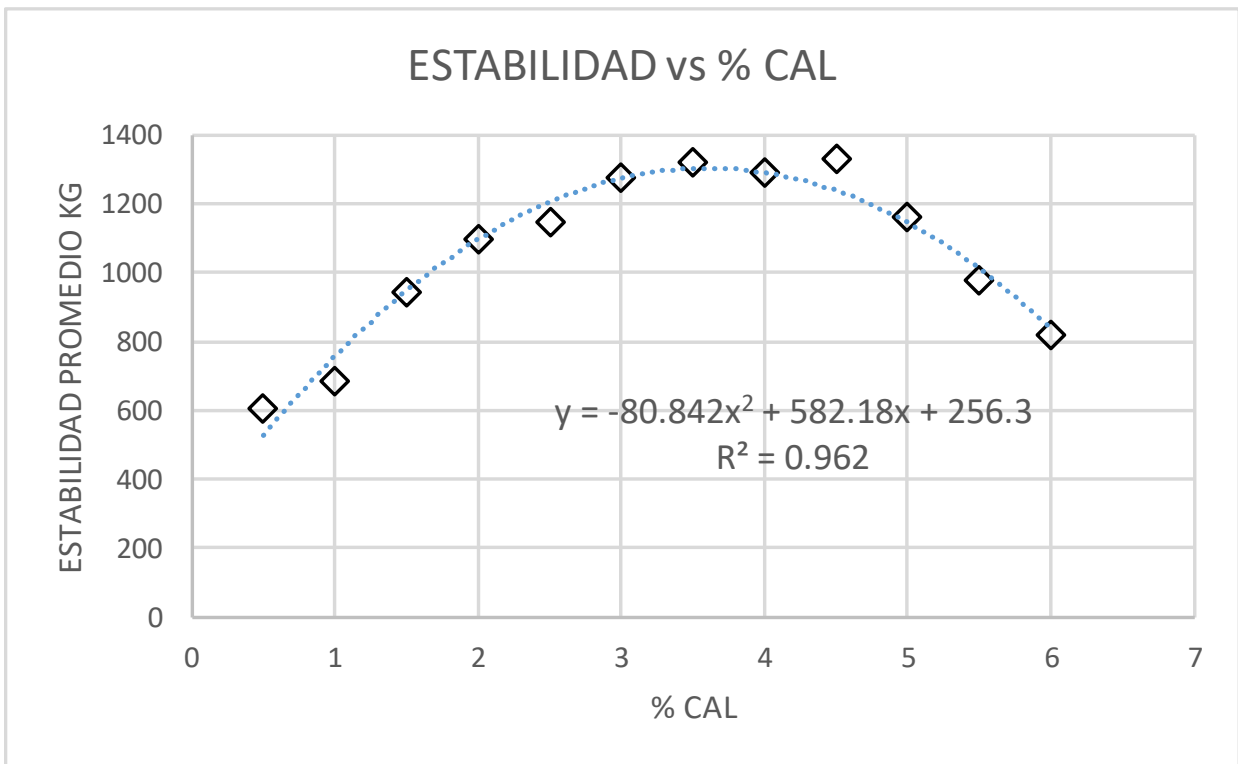


Figura 11 Estabilidad - % Cal Hidratada

Como podemos observar en la figura 11 la estabilidad mínima obtenida es de 605.16 kg, sacando de estos conceptos podemos constatar que el porcentaje máximo añadiendo cal hidratada es 3.50 % para una estabilidad máxima de 1332.14 kg

4.8. RESULTADO DEL PORCENTAJE MAXIMO DE CAL HIDRATADA SEGÚN CONTENIDO OPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO Y RELACION FLUJO - ESTABILIDAD.

A continuación, mostraremos las 5 probetas que se realizaron y ensayaron con el método de Marshall.

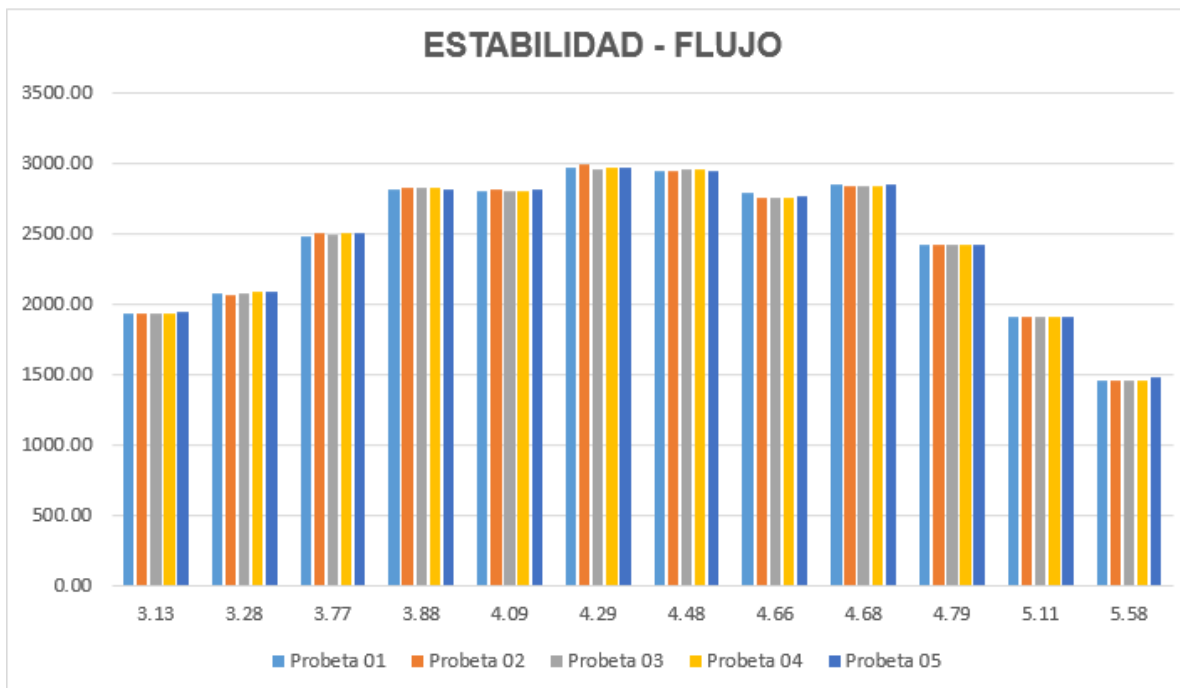


Figura 12 Estabilidad - Flujo

Como observamos en la figura 12 las muestras realizadas se encuentran relativamente cercanas en la estabilidad según el porcentaje de adición, observamos picos de 2974.48 kg/cm y bajos de hasta 1461.51 kg/cm.

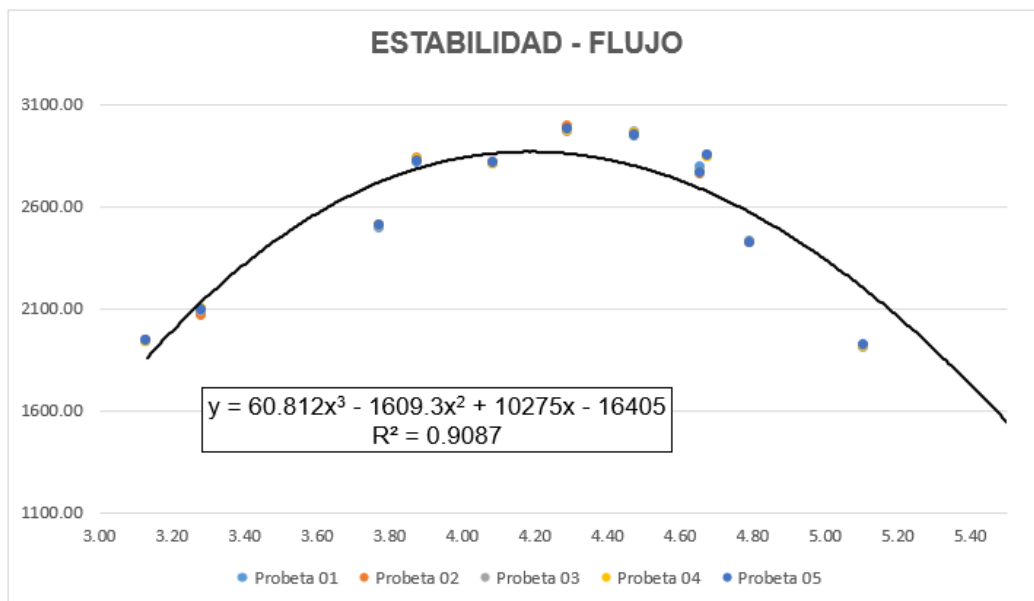


Figura 13 Grafica Estabilidad - Flujo

En la figura 13 mostramos la curva generada según los promedios de estabilidades para así poder obtener hasta que porcentaje de cal hidratada que es viable utilizar

en la carpeta asfáltica. También observamos la ecuación de la curva generada por una regresión polinómica.

4.9. RESULTADO DE ADICION DE CEMENTO

4.9.1. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CEMENTO

0.5%

Después de conocer el contenido óptimo de asfalto procedemos a realizar cuatro probetas con contenido de adición 0.5 %.

Tabla 30 Resumen contenido de adición del 0.5% de cemento

% de ADICION	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03	Probeta 04	Probeta 05
0.50%	Flujo	mm	2.90	2.98	2.98	2.98	2.99
	Estabilidad sin corregir	kg	966.00	950.00	963.50	965.80	965.20
	Factor de estabilidad		0.76	0.76	0.76	0.76	0.76
	Estabilidad corregida	kg	734.16	722.00	732.26	734.01	733.55
	Estabilida-Flujo	kg/cm	2531.59	2422.82	2457.25	2463.11	2453.35
	Compactación, numero de golpes por cara		75	75	75	75	75

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la tabla 30 el porcentaje de 0.5% de adición de cemento, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 2.97 mm en promedio; la estabilidad es de 731.20 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 2465.62 kg/cm. En resumen, tiene una estabilidad que no cumple con los parámetros de la normativa como mínimo y un flujo bajo.

4.9.2. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CEMENTO

1.0%

Después de conocer el contenido óptimo de asfalto procedemos a realizar cuatro probetas con contenido de adición 1.0 %.

Tabla 31 Resumen contenido de adición del 1.0% de cemento

% de ADICION	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03	Probeta 04	Probeta 05
1.00%	Flujo	mm	3.00	2.98	2.98	2.98	2.98
	Estabilidad sin corregir	kg	1130.20	1128.80	1125.60	1128.40	1124.50
	Factor de estabilidad		0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
	Estabilidad corregida	kg	949.37	948.19	945.50	947.86	944.58
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	3164.56	3181.85	3172.83	3180.72	3169.73
	Compactación, numero de golpes por cara		75	75	75	75	75

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la tabla 31 el porcentaje de 1.0% de adición de cemento, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 2.98 mm en promedio; la estabilidad es de 947.10 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 3173.94 kg/cm. En resumen, tiene una estabilidad que no cumple con los parámetros de la normativa como mínimo y un flujo bajo.

4.9.3. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CEMENTO

1.5%

Después de conocer el contenido óptimo de asfalto procedemos a realizar cuatro probetas con contenido de adición 1.5 %.

Tabla 32 Resumen contenido de adición del 1.5% de cemento

% de ADICION	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03	Probeta 04	Probeta 05
1.50%	Flujo	mm	3.30	3.26	3.28	3.27	3.32
	Estabilidad sin corregir	kg	1293.60	1290.40	1290.00	1289.70	1294.30
	Factor de estabilidad		0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	Estabilidad corregida	kg	1099.56	1096.84	1096.50	1096.25	1100.16
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	3332.00	3364.54	3342.99	3352.43	3313.72
	Compactación, numero de golpes por cara		75	75	75	75	75

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la tabla 32 el porcentaje de 1.5% de adición de cemento, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 3.29 mm en promedio; la estabilidad es de 1097.86 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 3341.14 kg/cm. En resumen, tiene una estabilidad que no cumple con los parámetros de la normativa como mínimo y un flujo intermedio.

4.9.4. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION CEMENTO 2.0%

Después de conocer el contenido óptimo de asfalto procedemos a realizar cuatro probetas con contenido de adición 2.0 %.

Tabla 33 Resumen contenido de adición del 2.0% de cemento

% de ADICION	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03	Probeta 04	Probeta 05
2.00%	Flujo	mm	3.40	3.39	3.41	3.41	3.41
	Estabilidad sin corregir	kg	1474.50	1470.30	1472.80	1473.80	1475.10
	Factor de estabilidad		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	Estabilidad corregida	kg	1327.05	1323.27	1325.52	1326.42	1327.59
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	3903.09	3903.45	3887.16	3889.79	3893.23
	Compactación, numero de golpes por cara		75	75	75	75	75

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la tabla 33 el porcentaje de 2.0% de adición de cemento, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 3.40 mm en promedio; la estabilidad es de 1325.97 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 3895.34 kg/cm. En resumen, tiene una estabilidad que cumple con los parámetros de la normativa como mínimo y un flujo intermedio.

4.9.5. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CEMENTO 2.5%

Después de conocer el contenido óptimo de asfalto procedemos a realizar cuatro probetas con contenido de adición 2.5 %.

Tabla 34 Resumen contenido de adición del 2.5% de cemento

% de ADICION	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03	Probeta 04	Probeta 05
2.50%	Flujo	mm	3.53	3.52	3.52	3.52	3.52
	Estabilidad sin corregir	kg	1545.10	1543.60	1546.80	1542.80	1540.70
	Factor de estabilidad		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	Estabilidad corregida	kg	1390.59	1389.24	1392.12	1388.52	1386.63
	Estabilida-Flujo	kg/cm	3939.35	3946.70	3954.89	3944.66	3939.29
	Compactación, numero de golpes por cara		75	75	75	75	75

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la tabla 34 el porcentaje de 2.5% de adición de cemento, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 3.52 mm en promedio; la estabilidad es de 1389.42 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 3944.98 kg/cm. En resumen, tiene una estabilidad que cumple con los parámetros de la normativa como mínimo y un flujo intermedio.

4.9.6. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CEMENTO

3.0%

Después de conocer el contenido óptimo de asfalto procedemos a realizar cuatro probetas con contenido de adición 3.0 %.

Tabla 35 Resumen contenido de adición del 3.0%

% de ADICION	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03	Probeta 04	Probeta 05
3.00%	Flujo	mm	3.70	3.68	3.68	3.68	3.66
	Estabilidad sin corregir	kg	1613.50	1615.20	1610.20	1612.00	1610.10
	Factor de estabilidad		0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
	Estabilidad corregida	kg	1468.29	1469.83	1465.28	1466.92	1465.19
	Estabilida-Flujo	kg/cm	3968.34	3994.11	3981.74	3986.20	4003.25
	Compactación, numero de golpes por cara		75	75	75	75	75

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la tabla 35 el porcentaje de 3.0% de adición de cemento, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 3.68 mm en promedio; la estabilidad es de 1467.10 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de

3986.73 kg/cm. En resumen, tiene una estabilidad que cumple con los parámetros de la normativa y un flujo intermedio.

4.9.7. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CEMENTO

3.5%

Después de conocer el contenido óptimo de asfalto procedemos a realizar cuatro probetas con contenido de adición 3.5 %.

Tabla 36 Resumen contenido de adición del 3.5% de cemento

% de ADICION	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03	Probeta 04	Probeta 05
3.50%	Flujo	mm	3.79	3.76	3.76	3.76	3.76
	Estabilidad sin corregir	kg	1679.80	1675.50	1678.20	1675.40	1674.60
	Factor de estabilidad		0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	Estabilidad corregida	kg	1427.83	1424.18	1426.47	1424.09	1423.41
	Estabilida-Flujo	kg/cm	3767.36	3787.70	3793.80	3787.47	3785.66
	Compactación, numero de golpes por cara		75	75	75	75	75

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la tabla 36 el porcentaje de 3.5% de adición de cemento, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 3.77 mm en promedio; la estabilidad es de 1425.20 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 3986.73 kg/cm. En resumen, tiene una estabilidad que cumple con los parámetros de la normativa y un flujo intermedio.

4.9.8. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CEMENTO

4.0%

Después de conocer el contenido óptimo de asfalto procedemos a realizar cuatro probetas con contenido de adición 4.0 %.

Tabla 37 Resumen contenido de adición del 4.0% de cemento

% de ADICION	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03	Probeta 04	Probeta 05
4.00%	Flujo	mm	3.92	3.90	3.90	3.89	3.88
	Estabilidad sin corregir	kg	1859.00	1858.20	1859.20	1857.40	1856.20
	Factor de estabilidad		0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	Estabilidad corregida	kg	1580.15	1579.47	1580.32	1578.79	1577.77
	Estabilida-Flujo	kg/cm	4030.99	4049.92	4052.10	4058.59	4066.42
	Compactación, numero de golpes por cara		75	75	75	75	75

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la tabla 37 el porcentaje de 4.0% de adición de cemento, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 3.90 mm en promedio; la estabilidad es de 1579.30 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 4051.60 kg/cm. En resumen, tiene una estabilidad que cumple con los parámetros de la normativa y un flujo intermedio.

4.9.10. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CEMENTO 4.5%

Después de conocer el contenido óptimo de asfalto procedemos a realizar cuatro probetas con contenido de adición 4.5 %.

Tabla 38 Resumen contenido de adición del 4.5% de cemento

% de ADICION	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03	Probeta 04	Probeta 05
4.50%	Flujo	mm	4.05	4.08	4.04	4.06	4.07
	Estabilidad sin corregir	kg	1984.60	1990.30	1985.60	1989.70	1982.80
	Factor de estabilidad		0.83	0.83	0.83	0.83	0.83
	Estabilidad corregida	kg	1647.22	1651.95	1648.05	1651.45	1645.72
	Estabilida-Flujo	kg/cm	4067.20	4048.89	4079.33	4067.61	4043.55
	Compactación, numero de golpes por cara		75	75	75	75	75

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la tabla 38 el porcentaje de 4.5% de adición de cemento, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 4.06 mm en promedio; la estabilidad

es de 1648.88 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 4061.32 kg/cm. En resumen, tiene una estabilidad que cumple con los parámetros de la normativa y un flujo intermedio.

4.9.11. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CEMENTO

5.0%

Después de conocer el contenido óptimo de asfalto procedemos a realizar cuatro probetas con contenido de adición 5.0 %.

Tabla 39 Resumen contenido de adición del 5.0% de cemento

% de ADICION	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03	Probeta 04	Probeta 05
5.00%	Flujo	mm	4.30	4.26	4.26	4.30	4.32
	Estabilidad sin corregir	kg	1700.00	1697.50	1689.90	1696.40	1704.50
	Factor de estabilidad		0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
	Estabilidad corregida	kg	1428.00	1425.90	1419.52	1424.98	1431.78
	Estabilida-Flujo	kg/cm	3320.93	3347.18	3332.20	3313.90	3314.31
	Compactación, numero de golpes por cara		75	75	75	75	75

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la tabla 39 el porcentaje de 5.5% de adición de cemento, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 4.29 mm en promedio; la estabilidad es de 1426.03 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 3325.72 kg/cm. En resumen, tiene una estabilidad que cumple con los parámetros de la normativa y un flujo muy alto.

4.9.12. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CEMENTO

5.5%

Después de conocer el contenido óptimo de asfalto procedemos a realizar cuatro probetas con contenido de adición 5.5 %.

Tabla 40 Resumen contenido de adición del 5.5% de cemento

% de ADICION	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03	Probeta 04	Probeta 05
5.50%	Flujo	mm	4.45	4.44	4.46	4.41	4.42
	Estabilidad sin corregir	kg	1597.20	1591.20	1596.50	1590.40	1590.20
	Factor de estabilidad		0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
	Estabilidad corregida	kg	1341.65	1336.61	1341.06	1335.94	1335.77
	Estabilida-Flujo	kg/cm	3014.94	3010.38	3006.86	3029.33	3022.10
	Compactación, numero de golpes por cara		75	75	75	75	75

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la tabla 40 el porcentaje de 5.5% de adición de cemento, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 4.44 mm en promedio; la estabilidad es de 1338.20 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 3016.72 kg/cm. En resumen, tiene una estabilidad que cumple con los parámetros de la normativa y un flujo muy alto.

4.9.13. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON ADICION DE CEMENTO

6.0%

Después de conocer el contenido óptimo de asfalto procedemos a realizar cuatro probetas con contenido de adición 6.0 %.

Tabla 41 Resumen contenido de adición del 6.0% de cemento

% de ADICION	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03	Probeta 04	Probeta 05
6.00%	Flujo	mm	4.60	4.55	4.56	4.57	4.53
	Estabilidad sin corregir	kg	1427.00	1422.80	1426.90	1427.40	1424.90
	Factor de estabilidad		0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
	Estabilidad corregida	kg	1227.22	1223.61	1227.13	1227.56	1225.41
	Estabilida-Flujo	kg/cm	2667.87	2689.25	2691.08	2686.14	2705.11
	Compactación, numero de golpes por cara		75	75	75	75	75

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la tabla 41 el porcentaje de 6.0% de adición de cal hidratada, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 4.56 mm en promedio; la

estabilidad es de 1226 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 2687.89 kg/cm. En resumen, tiene una estabilidad que cumple con los parámetros de la normativa y un flujo muy alto.

4.10. RESULTADO DEL PORCENTAJE MAXIMO DE CEMENTO SEGÚN CONTENIDO OPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO Y FLUJO.

A continuación, mostraremos las 5 probetas que se realizaron y ensayaron con las diferentes dosificaciones de porcentajes.

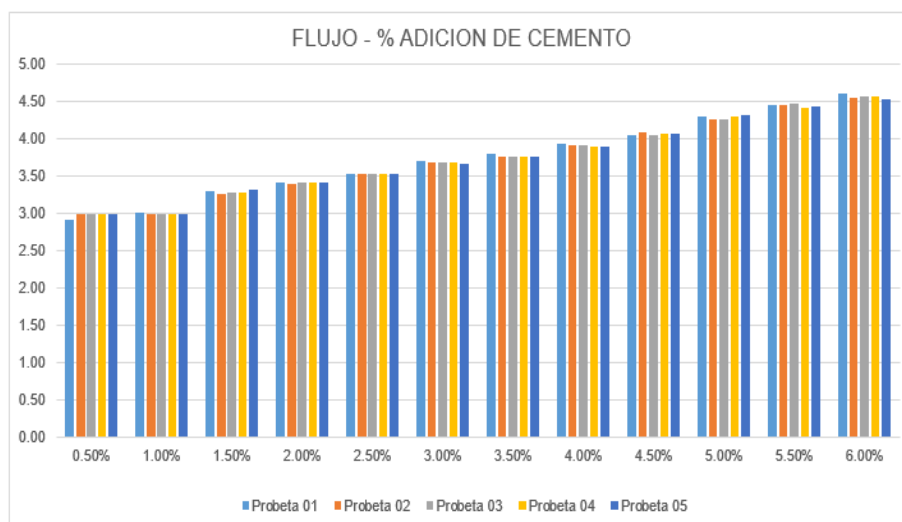


Figura 3 Flujo - % de adición de Cemento

Como observamos en la figura 14 las muestras realizadas se encuentran relativamente cercanas en la estabilidad según el porcentaje de cada adición, observamos picos de 5.58 mm y bajos de hasta 3.13 mm.

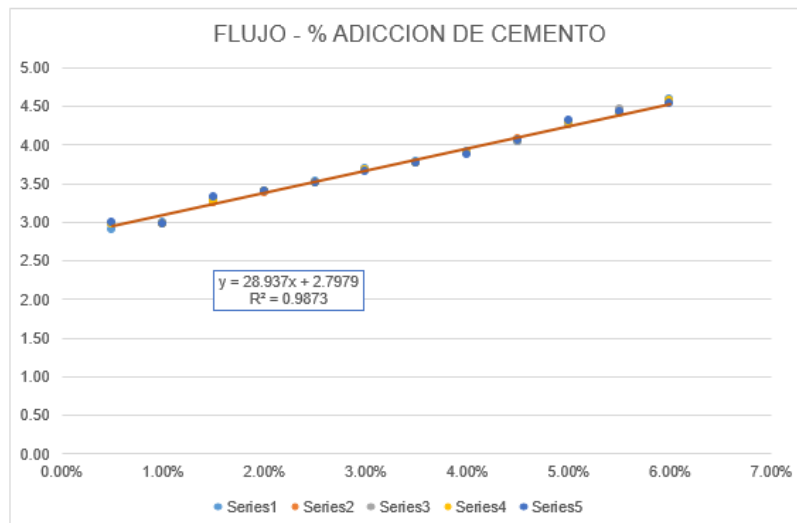


Figura 4 Grafica Flujo - % de adición de Cemento

En la figura 15 mostramos la tendencia generada según los promedios de estabilidades para así poder obtener el porcentaje de adición que se utilizar en la carpeta asfáltica. También observamos la ecuación de la curva generada por una regresión lineal.

4.11. RESULTADO DEL PORCENTAJE MAXIMO DE CEMENTO SEGÚN CONTENIDO OPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO Y ESTABILIDAD.

A continuación, mostraremos el promedio de las 5 probetas que se realizaron y ensayaron con los porcentajes de cal hidratada.

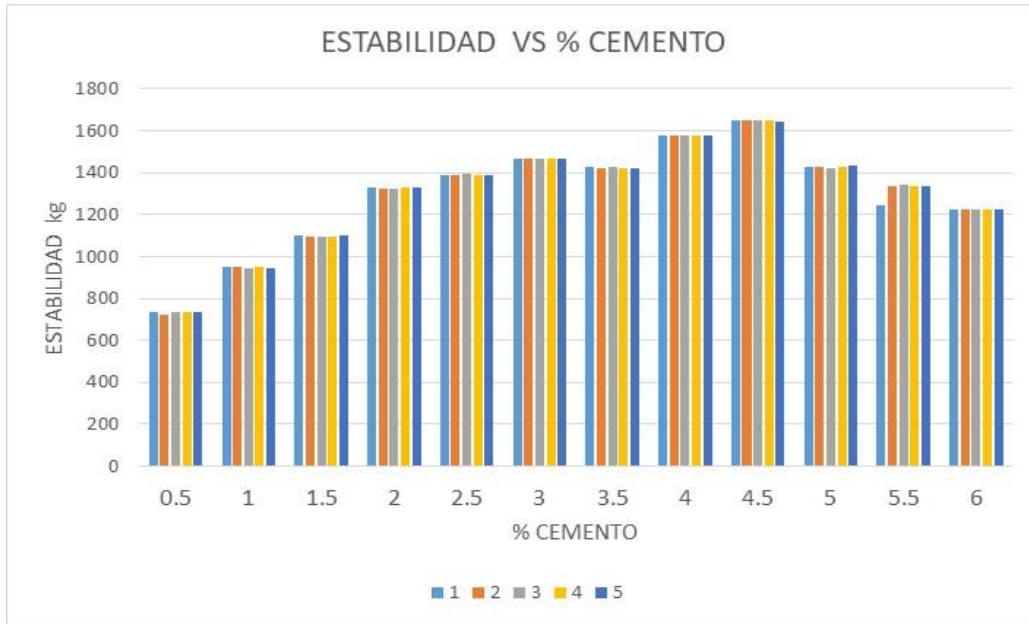


Figura 16 Estabilidad según % con adición de cemento

Como observamos en la figura 16 las muestras realizadas se encuentran relativamente cercanas en la estabilidad según el porcentaje de adición, observamos picos de 1651.95 kg y bajos de hasta 722.00 kg.

También observamos la ecuación de la curva generada por una regresión polinómica.

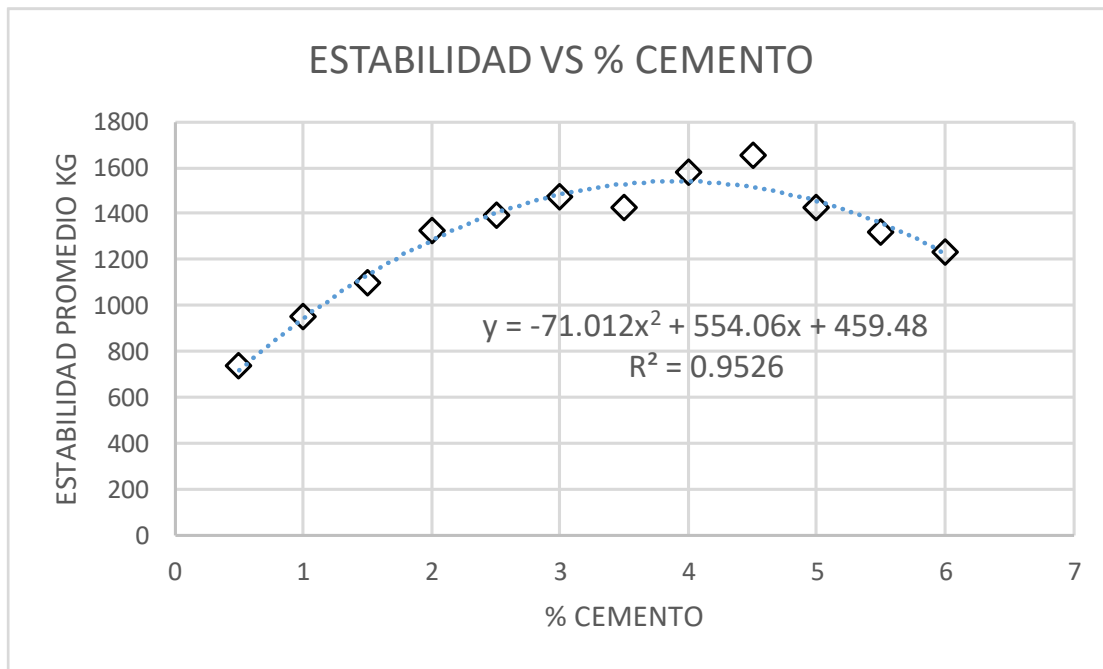


Figura 17 Estabilidad - % con adición de cemento

Como podemos observar en la figura 17 la estabilidad mínima obtenida es de 722.00 kg, sacando de estos conceptos podemos constatar que el porcentaje máximo añadiendo cemento portland es de 4.00 % para una estabilidad máxima de 1651.00 kg

4.12. RESULTADO DEL PORCENTAJE MAXIMO DE CEMENTO SEGÚN CONTENIDO OPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO Y RELACION FLUJO - ESTABILIDAD.

A continuación, mostraremos las 5 probetas que se realizaron y ensayaron con el método de Marshall.

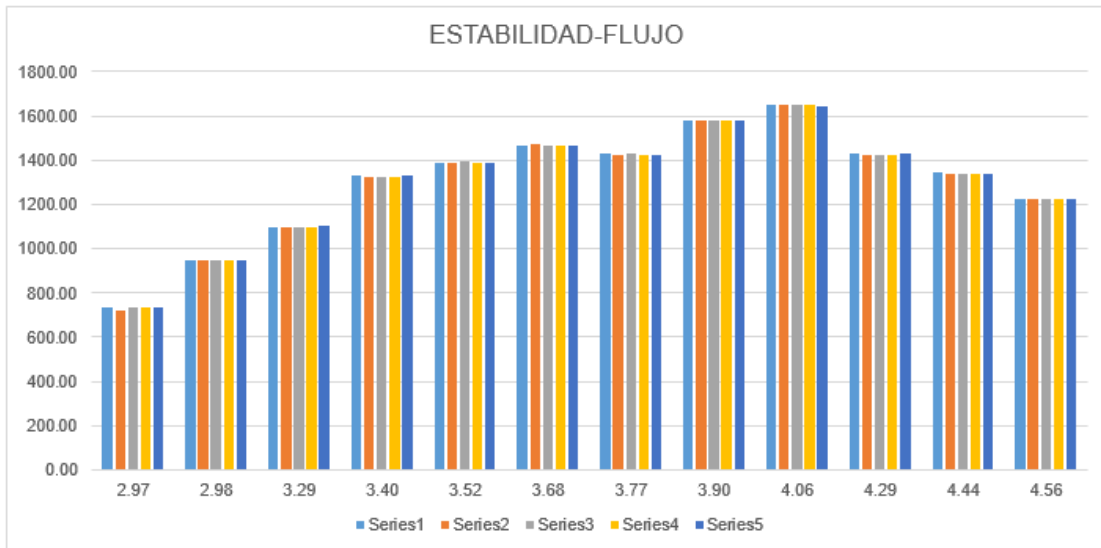


Figura 18 Estabilidad - Flujo

Como observamos en la figura 18 las muestras realizadas se encuentran relativamente cercanas en la estabilidad según el porcentaje de adición, observamos picos de 2974.48 kg/cm y bajos de hasta 1461.51 kg/cm.

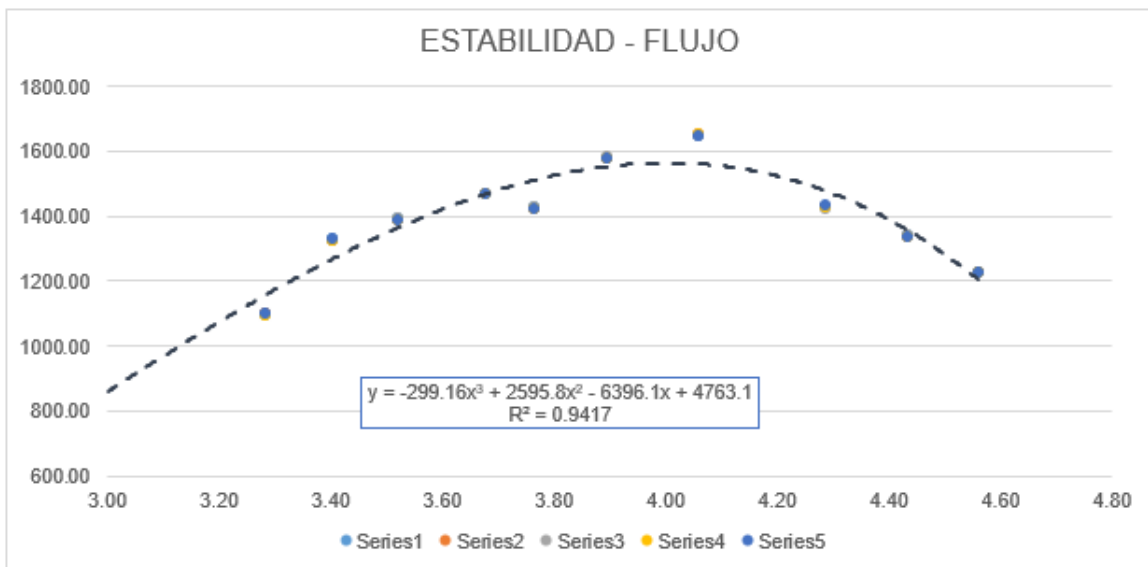


Figura 19 Grafica Estabilidad - Flujo

En la figura 19 mostramos la curva generada según los promedios de estabilidades para así poder obtener hasta que porcentaje de cal hidratada que es viable utilizar en la carpeta asfáltica. También observamos la ecuación de la curva generada por una regresión polinómica.

CAPITULO V

PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS

5.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS GENERAL

Afecta la adición de cal hidratada o cemento en la estabilidad y fluencia del diseño de mezcla asfáltica en la ciudad de Pilcomayo 2018.

Como pudimos observar y analizar en esta investigación la adición de cal hidrata cuenta con valores de estabilidad 1343.20 kg, el cemento cuenta con valor de estabilidad 1648.88 kg, en el caso del cemento es mayor que el Patrón de estabilidad 1512.32 kg. Lo cual nos indica que a ciertos porcentajes la mezcla asfáltica tiene una muy baja estabilidad.

5.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- a) El porcentaje óptimo de cal hidratada o cemento dentro del diseño de mezcla asfáltica en caliente.

En la investigación se pudo constatar que el óptimo contenido de adición de cal hidratada es 3.00 % y para el cemento óptimo contenido es 4.50 %.

- b) El porcentaje de asfalto en función a la estabilidad y fluencia dentro del diseño de mezcla asfáltica en caliente.

El porcentaje de asfalto es de 4.50%, el cual a este se le añadió las adiciones de cal hidratada y cemento modificando sus propiedades del diseño de mezcla asfáltico en caliente.

- c) La cal hidratada o el cemento tiene mejor estabilidad y fluencia dentro del diseño de mezcla asfáltica en caliente.

Esta hipótesis es verdad debido a que las dos adiciones modifican las propiedades del asfalto en el caso de la cal hidratada es de 2.00 % menor al patrón, en caso del cemento es de 9.00 % más respecto al patrón

CAPITULO VI

6.1. CONCLUSIONES

- Mediante la investigación se puede concluir que la adición de filler, si afecta las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica, como se puede ver incrementa los valores de estabilidad, mientras que en el flujo mantiene valores cercanos al diseño original. La adición de cal hidratada cuenta con valores de estabilidad máximas de 1332.14 kg, el cemento cuenta con un valor de estabilidad máxima de 1651.95 kg. Siendo este último el más efectivo.
- El porcentaje óptimo de cemento asfáltico, según Marshall es de 4.5% para el tipo de asfalto y agregado ensayado en esta investigación.
- La investigación ha dado como resultado que los porcentajes óptimos de adición de cal hidratada y cemento portland para obtener los valores más óptimos de estabilidad son 3.5% y 4% respectivamente.
- Según la investigación en el caso del flujo los valores son similares, sin embargo en la estabilidad la adición de cemento portland como filler nos da los valores más altos, el valor más alto registrado es para la adición de 4.0% de cemento, que nos da una estabilidad máxima de 1651.95 kg.

6.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda complementar el estudio con un análisis de costo beneficio para poder tomar una mejor decisión.
- Se recomienda a la Municipalidad del distrito de Pilcomayo y a las municipalidades cercanas aplicar los estudios realizados, ya que por ser una alternativa para la elaboración de mezclas asfálticas para pavimentación.
- Se puede aplicar este diseño para poder ahorrar costos, debido a que la adición utilizada no es costosa y mejora las propiedades mecánicas de la mezcla
- Tener un estricto control al añadir los porcentajes transformados a pesos, dentro del diseño de mezcla asfáltico en caliente. los porcentajes dentro del diseño de mezcla asfáltico en caliente.

FUENTES DE INFORMACIÓN

BIBLIOGRAFIA:

- [1] AASHTO, *Guide for Design Of Pavement Structures*. (1993). Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- [2] American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *Guía para el diseño de estructuras de pavimento*. Washington: AASHTO.
- [3] American Society for Testing and Materials. (1997). *ASTM D4439 Standard Terminology for Geosynthetics* .
- [4] AQUAPRUF S.A. (s.f.). *Manual de instalacion de geomembranas de polietileno HDPE*. Medellín.
- [5] Beltrán B., C. A. (2013). Ventajas de la utilización de geosintéticos para el refuerzo de pavimento en la carrera 7 estación transmilenio Museo Nacional. Bogotá, Colombia.
- [6] Florez Gonzales , L. (2012). *Evaluación Estructural de Pavimentos Flexibles de carreteras de bajo Volumen de Transito*. Lima.
- [7] Hanser López, J. (2008). *Analisis de la Evaluacion Tecnica y Economica de Proyectos viales con el Modelo de estandares de Conservacion y Diseño de Carreteras*. Guatemala.
- [8] Hoffman , M., & Del Aguila , P. (1985). *Estudios de evaluacion estructural de Pavimentos Basados en la interpretacion de curvas de Deflexiones*. Louis Berger Internacional Inc.
- [9] Huang, Y. (1993). *Pavement Analysis and Design*. Person Prentice- Hall, Inc.
- [10] Kraemer C, R. S. (2004). *Ingenieria de Carreteras Vol.2, 1ª ed*. Editorial McGraw Hill.
- [11] Ministerio de Obras Públicas y comunicaciones. (2002). *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes*. Quito.
- [12] Ministerio de tranportes y comunicaciones. (2013). *Manual de carreteras. Especificaciones técnicas generales para la construcción EG - 2013*. Lima, Perú.

ANEXOS

ANEXO 01: Proceso de tamizado de agregado



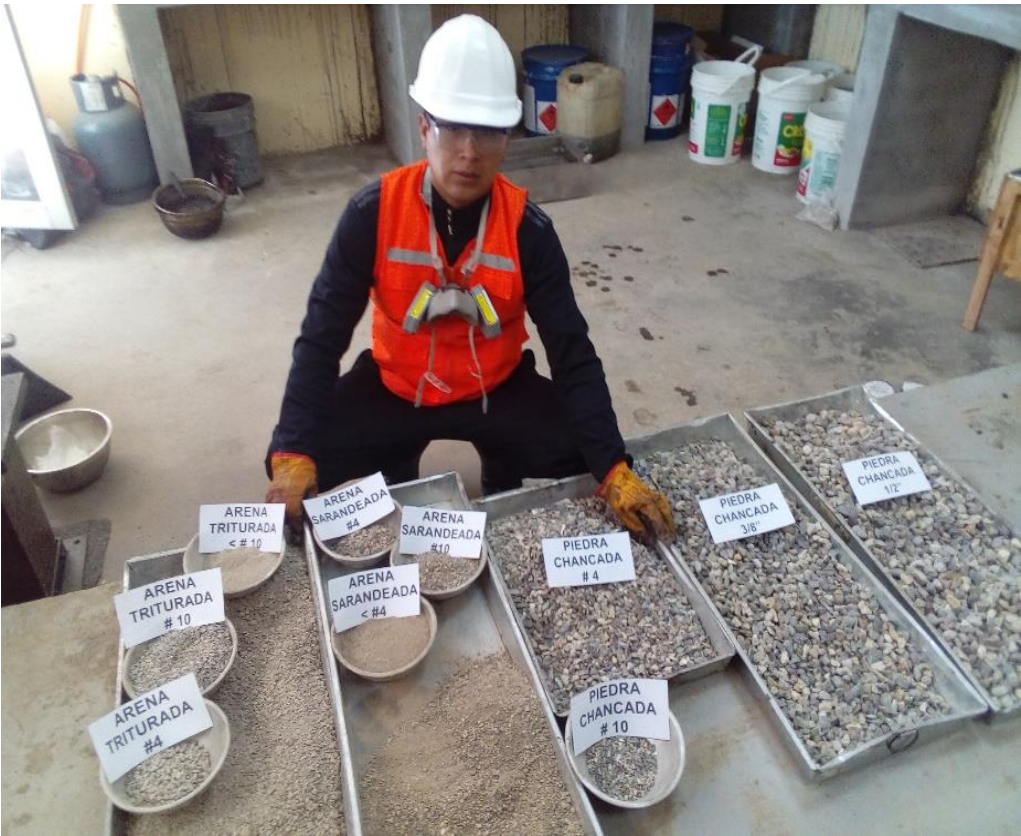
FUENTE: Laboratorio de suelos y pavimentos

ANEXO 02: Análisis de cal hidratada y cemento



FUENTE: Laboratorio de suelos y pavimentos

ANEXO 03: combinación de agregados para elaboración de la mezcla



FUENTE: Laboratorio de suelos y pavimentos

ANEXO 04: Elaboración de la mezcla asfáltica en caliente



FUENTE: Laboratorio de suelos y pavimentos

ANEXO 05: Compactación de la mezcla asfáltica en caliente



FUENTE: Laboratorio de suelos y pavimentos

ANEXO 06: Probetas con adición de cal hidratada



FUENTE: Laboratorio de suelos y pavimentos

ANEXO 07: Probetas con adición de cemento



FUENTE: Laboratorio de suelos y pavimentos

ANEXO 08: realizando baño maría antes de ser sometido a prensa de Marshall



FUENTE: Laboratorio de suelos y pavimentos

ANEXO 09: Secado superficialmente antes de ser sometido a prensa de Marshall



FUENTE: Laboratorio de suelos y pavimentos

ANEXO 09: Ensayo en la prensa de Marshall



FUENTE: Laboratorio de suelos y pavimentos

ANEXO 10: Muestras ensayadas en la prensa de Marshall



FUENTE: Laboratorio de suelos y pavimentos

ANEXO 11: resultados de laboratorio, Cal hidratada

% de asfalto	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03	Probeta 04	Probeta 05
0.50%	Flujo	mm	3.15	3.13	3.12	3.14	3.12
	Estabilidad sin corregir	kg	676.00	674.20	672.40	674.20	673.20
	Factor de estabilidad		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	Estabilidad corregida	kg	608.40	606.78	605.16	606.78	605.88
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	1931.43	1938.59	1939.62	1932.42	1941.92
1.00%	Flujo	mm	3.30	3.32	3.28	3.25	3.26
	Estabilidad sin corregir	kg	768.50	770.10	766.90	765.10	766.90
	Factor de estabilidad		0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
	Estabilidad corregida	kg	683.97	685.39	682.54	680.94	682.54
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	2072.62	2064.42	2080.92	2095.20	2093.68
1.50%	Flujo	mm	3.80	3.76	3.78	3.75	3.77
	Estabilidad sin corregir	kg	1050.60	1046.50	1049.50	1044.80	1050.10
	Factor de estabilidad		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	Estabilidad corregida	kg	945.54	941.85	944.55	940.32	945.09
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	2488.26	2504.92	2498.81	2507.52	2506.87
2.00%	Flujo	mm	3.90	3.86	3.88	3.87	3.88
	Estabilidad sin corregir	kg	1142.50	1138.80	1140.80	1138.50	1138.90
	Factor de estabilidad		0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
	Estabilidad corregida	kg	1096.80	1093.25	1095.17	1092.96	1093.34
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	2812.31	2832.25	2822.60	2824.19	2817.90
2.50%	Flujo	mm	4.10	4.08	4.08	4.09	4.08
	Estabilidad sin corregir	kg	1276.80	1274.80	1273.40	1276.20	1274.80
	Factor de estabilidad		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	Estabilidad corregida	kg	1143.12	1147.32	1146.06	1148.58	1147.32
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	2802.73	2812.06	2808.97	2808.28	2812.06
3.00%	Flujo	mm	4.30	4.27	4.31	4.29	4.28
	Estabilidad sin corregir	kg	1345.80	1343.70	1344.10	1342.20	1340.20
	Factor de estabilidad		0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
	Estabilidad corregida	kg	1278.51	1276.52	1276.90	1275.09	1273.19
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	2973.28	2989.50	2962.63	2972.24	2974.74
3.50%	Flujo	mm	4.50	4.48	4.45	4.47	4.48
	Estabilidad sin corregir	kg	1393.70	1390.50	1388.20	1389.70	1390.40
	Factor de estabilidad		0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
	Estabilidad corregida	kg	1324.02	1320.98	1318.79	1320.22	1320.88
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	2942.26	2948.60	2963.57	2953.50	2948.39
4.00%	Flujo	mm	4.60	4.68	4.67	4.67	4.66
	Estabilidad sin corregir	kg	1442.90	1449.90	1449.20	1448.80	1446.70
	Factor de estabilidad		0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
	Estabilidad corregida	kg	1284.18	1290.41	1289.79	1289.43	1287.56
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	2791.70	2757.29	2761.86	2761.10	2763.01
4.50%	Flujo	mm	4.68	4.68	4.67	4.68	4.67
	Estabilidad sin corregir	kg	1513.80	1511.40	1509.80	1511.80	1512.70
	Factor de estabilidad		0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
	Estabilidad corregida	kg	1332.14	1330.03	1326.62	1330.38	1331.18
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	2846.46	2841.95	2845.02	2842.70	2850.48
5.00%	Flujo	mm	4.79	4.79	4.79	4.80	4.80
	Estabilidad sin corregir	kg	1319.50	1317.90	1316.40	1318.90	1319.80
	Factor de estabilidad		0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
	Estabilidad corregida	kg	1161.16	1159.75	1158.43	1160.63	1161.42
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	2424.13	2421.19	2418.44	2417.98	2419.63
5.50%	Flujo	mm	5.10	5.10	5.12	5.11	5.10
	Estabilidad sin corregir	kg	1160.80	1163.00	1162.90	1161.70	1163.10
	Factor de estabilidad		0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
	Estabilidad corregida	kg	975.07	976.32	976.84	975.83	977.00
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	1911.91	1915.53	1907.88	1909.64	1915.69
6.00%	Flujo	mm	5.60	5.62	5.60	5.60	5.50
	Estabilidad sin corregir	kg	995.70	996.70	994.50	996.00	993.10
	Factor de estabilidad		0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
	Estabilidad corregida	kg	816.47	817.29	815.49	816.72	814.34
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	1457.99	1454.26	1456.23	1458.43	1480.62

FUENTE: Laboratorio de suelos y pavimentos

ANEXO 12: resultados de laboratorio, Cemento

% de ADICION	Factores	Unidades	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03	Probeta 04	Probeta 05
0.50%	Flujo	mm	2.30	2.38	2.38	2.38	2.39
	Estabilidad sin corregir	kg	966.00	950.00	963.50	965.80	965.20
	Factor de estabilidad		0.76	0.76	0.76	0.76	0.76
	Estabilidad corregida	kg	734.16	722.00	732.26	734.01	733.55
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	2531.59	2422.82	2457.25	2463.11	2453.35
1.00%	Flujo	mm	3.00	2.98	2.98	2.98	2.98
	Estabilidad sin corregir	kg	1130.20	1128.80	1125.60	1128.40	1124.50
	Factor de estabilidad		0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
	Estabilidad corregida	kg	949.37	948.19	945.50	947.86	944.58
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	3164.56	3181.85	3172.83	3180.72	3169.73
1.50%	Flujo	mm	3.30	3.26	3.28	3.27	3.32
	Estabilidad sin corregir	kg	1293.60	1290.40	1290.00	1289.70	1294.30
	Factor de estabilidad		0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	Estabilidad corregida	kg	1099.56	1096.84	1096.50	1096.25	1100.16
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	3332.00	3364.54	3342.99	3352.43	3313.72
2.00%	Flujo	mm	3.40	3.39	3.41	3.41	3.41
	Estabilidad sin corregir	kg	1474.50	1470.30	1472.80	1473.80	1475.10
	Factor de estabilidad		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	Estabilidad corregida	kg	1327.05	1323.27	1325.52	1326.42	1327.59
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	3903.09	3903.45	3887.16	3889.79	3893.23
2.50%	Flujo	mm	3.53	3.52	3.52	3.52	3.52
	Estabilidad sin corregir	kg	1545.10	1543.60	1546.80	1542.80	1540.70
	Factor de estabilidad		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	Estabilidad corregida	kg	1390.59	1389.24	1392.12	1388.52	1386.63
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	3939.35	3946.70	3954.89	3944.66	3939.29
3.00%	Flujo	mm	3.70	3.68	3.68	3.68	3.66
	Estabilidad sin corregir	kg	1613.50	1615.20	1610.20	1612.00	1610.10
	Factor de estabilidad		0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
	Estabilidad corregida	kg	1468.29	1469.83	1465.28	1466.92	1465.19
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	3968.34	3994.11	3981.74	3986.20	4003.25
3.50%	Flujo	mm	3.79	3.76	3.76	3.76	3.76
	Estabilidad sin corregir	kg	1679.80	1675.50	1678.20	1675.40	1674.60
	Factor de estabilidad		0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	Estabilidad corregida	kg	1427.83	1424.18	1426.47	1424.09	1423.41
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	3767.36	3787.70	3793.80	3787.47	3785.66
4.00%	Flujo	mm	3.32	3.30	3.30	3.39	3.88
	Estabilidad sin corregir	kg	1859.00	1858.20	1859.20	1857.40	1856.20
	Factor de estabilidad		0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	Estabilidad corregida	kg	1580.15	1579.47	1580.32	1578.79	1577.77
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	4030.99	4049.92	4052.10	4058.59	4066.42
4.50%	Flujo	mm	4.05	4.08	4.04	4.06	4.07
	Estabilidad sin corregir	kg	1964.60	1990.30	1985.60	1989.70	1982.80
	Factor de estabilidad		0.83	0.83	0.83	0.83	0.83
	Estabilidad corregida	kg	1647.22	1651.95	1648.05	1651.45	1645.72
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	4067.20	4048.89	4079.33	4067.61	4043.55
5.00%	Flujo	mm	4.30	4.26	4.26	4.30	4.32
	Estabilidad sin corregir	kg	1700.00	1697.50	1689.90	1696.40	1704.50
	Factor de estabilidad		0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
	Estabilidad corregida	kg	1428.00	1425.90	1419.52	1424.98	1431.78
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	3320.33	3347.18	3332.20	3313.90	3314.31
5.50%	Flujo	mm	4.45	4.44	4.46	4.41	4.42
	Estabilidad sin corregir	kg	1597.20	1591.20	1596.50	1590.40	1590.20
	Factor de estabilidad		0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
	Estabilidad corregida	kg	1341.65	1336.61	1341.06	1335.94	1335.77
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	3014.94	3010.38	3006.86	3029.33	3022.10
6.00%	Flujo	mm	4.60	4.55	4.56	4.57	4.53
	Estabilidad sin corregir	kg	1427.00	1422.80	1426.90	1427.40	1424.90
	Factor de estabilidad		0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
	Estabilidad corregida	kg	1227.22	1223.61	1227.13	1227.56	1225.41
	Estabilidad-Flujo	kg/cm	2667.87	2689.25	2691.08	2686.14	2705.11

FUENTE: Laboratorio de suelos y pavimentos

ANEXO 13: Tabla de correlación estabilidad Marshall

Volumen de la probeta (cm ³)	Espesor de la probeta		Factor de corrección
	mm	pg	
290 a 301	36,5	1,44	3,03
302 a 316	38,1	1,50	2,78
317 a 328	39,7	1,56	2,50
329 a 340	41,3	1,62	2,27
341 a 353	42,9	1,69	2,08
354 a 367	44,4	1,75	1,92
368 a 379	46,0	1,81	1,79
380 a 392	47,6	1,88	1,67
393 a 405	49,2	1,94	1,56
406 a 420	50,8	2,00	1,47
421 a 431	52,4	2,06	1,39
432 a 443	54,0	2,12	1,32
444 a 456	55,6	2,19	1,25
457 a 470	57,2	2,25	1,19
471 a 482	58,7	2,31	1,14
483 a 495	60,3	2,38	1,09
496 a 508	61,9	2,44	1,04
509 a 522	63,5	2,50	1,00
523 a 535	65,1	2,56	0,96
536 a 546	66,7	2,62	0,93
547 a 559	68,3	2,69	0,89
560 a 573	69,8	2,75	0,86
574 a 585	71,4	2,81	0,83
586 a 598	73,0	2,88	0,81
599 a 610	74,6	2,94	0,78
611 a 626	76,2	3,00	0,76

FUENTE: Dirección General de Caminos. Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes. Pág. 489