



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

**TESIS**

**“EFECTO DEL CANTO RODADO DE RIO SIN TRITURAR  
EN LA ESTABILIDAD DE MEZCLAS ASFALTICAS EN  
HUANCAYO”**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:**

**SAUL FORTUNATO, DIONISIO ACUÑA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO CIVIL**

**HUANCAYO – PERÚ**

**MAYO, 2017**

## **DEDICATORIA:**

Este proyecto está dedicado a las personas que más han influenciado en mi vida, dándome los mejores consejos, guiándome y haciéndome una persona de bien.

## **AGRADECIMIENTO:**

A Dios por siempre mostrarme el camino correcto, a todos los Ingenieros de la Facultad de Ingenierías y Arquitectura por todos los consejos y sabiduría dada hacia mi persona durante el desarrollo de la tesis. A mis padres por el apoyo incondicional y la confianza vertida en todo momento.

## RESUMEN

La presente tesis tiene como título: “EFECTO DEL CANTO RODADO DE RIO SIN TRITURAR EN LA ESTABILIDAD DE MEZCLAS ASFALTICAS EN HUANCAYO” siendo el problema de dicha investigación es ¿Cuál es el efecto del porcentaje de canto rodado de rio sin triturar en la estabilidad de mezclas asfálticas en la ciudad de Huancayo? y tiene por objetivo analizar la estabilidad de la mezcla asfáltica a diferentes porcentajes de canto rodado de rio sin triturar en la ciudad de Huancayo.

En la actualidad los diseños de pavimentos se realizan solo con materiales (agregados) procesados en este caso la piedra chancada, en esta investigación diseñaremos variando los porcentajes de agregado procesado y agregado sin procesar. Reduiremos los porcentajes de piedra chancada y aumentaremos los porcentajes de canto rodado de rio sin triturar, así observaremos el comportamiento 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 cierto porcentaje de canto rodado sin triturar y poder optimizar los costos de ejecución de la obra, y también tratando de optimizar materiales disposición debido a que no todas las poblaciones tienen los materiales procesados a su alcance.

## SUMARY

The present thesis is entitled: "EFFECT OF THE ROUND ROD OF RIO WITHOUT CRUSHING IN THE STABILITY OF ASFALTIC MIXTURES IN HUANCAYO", the problem being the problem of this investigation is What is the effect of the percentage of boulder without crushing in The stability of asphalt mixtures in the city of Huancayo? And aims to analyze the stability of the asphalt mixture at different percentages of unpaved river boulder in the city of Huancayo.

At present the pavement designs are made only with materials (aggregates) processed in this case crushed stone, in this investigation we will design varying the percentages of aggregate processed and aggregate without processing. We will reduce the percentages of crushed stone and increase the percentages of boulder without grinding, so we will observe the behavior of the asphalt mixture with these variations.

These results we show them being able to be used in diverse roads with different loads of traffic. Being thus usable a certain percentage of boulder without crushing and to be able to optimize the costs of execution of the work, and also trying to optimize material layout because not all populations have the processed materials at their fingertips.

## INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA:.....	II
AGRADECIMIENTO:.....	III
RESUMEN .....	IV
SUMARY.....	V
INDICE DE CONTENIDOS .....	VI
INDICE DE TABLAS .....	X
INDICE DE FIGURAS .....	XI
INTRODUCCIÓN .....	XII
CAPITULO I .....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.1. CARACTERIZACIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	1
1.2. DELIMITACIONES .....	2
1.2.1. ESPACIAL.....	2
1.2.1. TEMPORAL .....	2
1.3. FORMULACION DEL PROBLEMA .....	2
1.3.1. PROBLEMA GENERAL .....	2
1.3.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	2
1.4. OBJETIVOS .....	3
1.4.1. OBJETIVO GENERAL .....	3
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....	4
1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	4
1.5.2. HIPÓTESIS ESPECIFICAS .....	4
1.6. VARIABLES .....	4

1.6.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	4
1.6.2. VARIABLE DEPENDIENTE .....	5
1.7. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	5
1.7.1. MÉTODO .....	5
1.7.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	5
1.7.3. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN .....	6
1.7.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
1.8. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	7
1.8.1. POBLACIÓN .....	7
1.8.3. MUESTRA.....	7
1.9. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	7
1.9.1. TÉCNICAS.....	7
1.9.2. INSTRUMENTOS .....	7
1.9.3. RECOLECCIÓN DE DATOS.....	7
1.10. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA.....	8
1.10.1. JUSTIFICACIÓN .....	8
1.10.2. IMPORTANCIA .....	9
1.11. LIMITACIONES .....	9
1.12. VIABILIDAD .....	9
1.12.1. TECNICA:.....	9
1.12.2. ECONOMICA:.....	9
1.12.3. SOCIAL.....	10
1.12.4. OPERATIVA: .....	10
CAPITULO II .....	11
FUNDAMENTOS TEORICOS.....	11
2.1. MARCO REFERENCIAL.....	11

2.1.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA .....	11
2.1.2. REFERENCIAS HISTÓRICAS.....	13
2.2. MARCO LEGAL .....	16
2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	18
2.4. MARCO TEÓRICO.....	19
2.4.1. GENERALIDADES.....	19
2.4.2. GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	19
2.4.3. EL ASFALTO .....	21
2.4.4. PRODUCCION DEL ASFALTO .....	22
2.4.5. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES ASFÁLTICOS.....	23
2.4.6. ADHESIVIDAD A LOS ARIDOS.....	24
2.4.7. MEZCLA ASFÁLTICA .....	24
2.4.8. PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	32
2.4.9. CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS. ....	36
2.4.10. TIPOS DE MEZCLAS .....	38
2.4.11. METODOS DE DISEÑO .....	41
2.4.12. EMPLEO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	47
2.4.13. AGREGADOS .....	48
2.4.14. CANTO RODADO.....	51
2.4.15. ESTABILIDAD DE MEZCLA ASFÁLTICA.....	52
CAPITULO III .....	55
DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	55
3.1. CONDICIONES PREVALECIENTES DE LA LÍNEA DE ESTUDIO.....	55
3.2. RESUMEN DE RESULTADOS DE GRANULOMETRIA DE AGREGADOS ..	57
3.3. RESUMEN DE COMBINACIÓN TEORICA.....	62

3.4. RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO MARSHALL PARA OBTENER EL CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO. ....	64
3.5. RESUMEN DE RESULTADOS DE LA VARIACIÓN DE CANTO RODADO ..	65
CAPITULO IV .....	67
RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....	67
4.1. ANÁLISIS DE GRANULOMETRIA .....	67
4.2. ANÁLISIS DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS.....	68
4.3. ANÁLISIS DE DISEÑO CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO .....	70
4.3.1. ANÁLISIS DE DISEÑO CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO 4.5%70	
4.3.2. ANÁLISIS DE DISEÑO CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO 5.0%71	
4.3.3. ANÁLISIS DE DISEÑO CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO 5.5%71	
4.3.4. ANÁLISIS DE DISEÑO CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO 6.0%72	
4.3.5. ANÁLISIS DE DISEÑO CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO 6.5%73	
4.4. RESULTADO DEL CONTENIDO OPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO .....	74
4.4.1. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON 100% DE AGREGADO CHANCADO Y 0% DE CANTO RODADO.....	75
4.4.2. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON 90% DE AGREGADO CHANCADO Y 10% DE CANTO RODADO.....	76
4.4.3. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON 80% DE AGREGADO CHANCADO Y 20% DE CANTO RODADO.....	77
4.4.4. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON 70% DE AGREGADO CHANCADO Y 30% DE CANTO RODADO.....	78
4.4.5. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON 60% DE AGREGADO CHANCADO Y 40% DE CANTO RODADO.....	79
4.4.6. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON 50% DE AGREGADO CHANCADO Y 50% DE CANTO RODADO.....	80
4.4.7. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON 40% DE AGREGADO CHANCADO Y 60% DE CANTO RODADO.....	81

4.4.8. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON 30% DE AGREGADO CHANCADO Y 70% DE CANTO RODADO .....	82
4.4.9. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON 20% DE AGREGADO CHANCADO Y 80% DE CANTO RODADO .....	83
4.4.10. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON 10% DE AGREGADO CHANCADO Y 90% DE CANTO RODADO .....	84
4.4.11. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON 00% DE AGREGADO CHANCADO Y 100% DE CANTO RODADO .....	85
4.5. RESULTADO DEL PORCENTAJE MAXIMO DE CANTO RODADO SEGÚN CONTENIDO OPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO Y ESTABILIDAD. ....	91
4.6. RESULTADO DEL PORCENTAJE MAXIMO DE CANTO RODADO SEGÚN CONTENIDO OPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO Y FLUJO. ....	86
4.7. RESULTADO DEL PORCENTAJE MAXIMO DE CANTO RODADO SEGÚN CONTENIDO OPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO Y ESTABILIDAD. ....	89
CAPITULO V .....	919
PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS .....	93
5.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS GENERAL .....	93
5.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS ESPECÍFICAS .....	93
CAPITULO VI .....	95
6.1. CONCLUSIONES.....	95
6.2. RECOMENDACIONES .....	96
FUENTES DE INFORMACIÓN .....	97
ANEXOS .....	99

## **INDICE DE TABLAS**

TABLA 1 REFERENCIA DE GRADO ASFÁLTICO BAJAS TEMPERATURAS .....	46
--	----

TABLA 2 CAUSAS Y EFECTOS DE INESTABILIDAD EN EL PAVIMENTO.....	53
TABLA 3 RESUMEN GRANULOMETRÍA DE ARENA CHANCADA .....	58
TABLA 4 RESUMEN GRANULOMETRÍA DE ARENA ZARANDEADA.....	59
TABLA 5 RESUMEN GRANULOMETRÍA FILLER.....	60
TABLA 6 RESUMEN GRANULOMETRÍA GRAVA 1/2.....	61
TABLA 7 RESUMEN GRANULOMETRÍA GRAVA 3/4.....	62
TABLA 8 COMBINACIÓN DE AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MAC 2 .....	63
TABLA 9 ENSAYOS PARA OBTENER EL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO.....	64
TABLA 10 RESUMEN DE ESTABILIDAD - FLUJO SEGUN % DE CANTO RODADO.....	65
TABLA 11 RESUMEN CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO 4.5%.....	70
TABLA 12 RESUMEN CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO 5.0%.....	71
TABLA 13 RESUMEN CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO 5.5%.....	72
TABLA 14 RESUMEN CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO 6.0%.....	73
TABLA 15 RESUMEN CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO 6.5%.....	74
TABLA 16 RESUMEN CONTENIDO DE CANTO RODADO DE 0% Y PIEDRA CHANCADA 100%75	
TABLA 17 RESUMEN CONTENIDO DE CANTO RODADO DE 10% Y PIEDRA CHANCADA 90%76	
TABLA 18 RESUMEN CONTENIDO DE CANTO RODADO DE 20% Y PIEDRA CHANCADA 80%77	
TABLA 19 RESUMEN CONTENIDO DE CANTO RODADO DE 30% Y PIEDRA CHANCADA 70%78	
TABLA 20 RESUMEN CONTENIDO DE CANTO RODADO DE 40% Y PIEDRA CHANCADA 60%79	
TABLA 21 RESUMEN CONTENIDO DE CANTO RODADO DE 50% Y PIEDRA CHANCADA 50%80	
TABLA 22 RESUMEN CONTENIDO DE CANTO RODADO DE 60% Y PIEDRA CHANCADA 40%81	
TABLA 23 RESUMEN CONTENIDO DE CANTO RODADO DE 70% Y PIEDRA CHANCADA 30%82	
TABLA 24 RESUMEN CONTENIDO DE CANTO RODADO DE 80% Y PIEDRA CHANCADA 20%83	
TABLA 25 RESUMEN CONTENIDO DE CANTO RODADO DE 90% Y PIEDRA CHANCADA 10%84	
TABLA 26 RESUMEN CONTENIDO DE CANTO RODADO DE 100% Y PIEDRA CHANCADA 0%85	

## **INDICE DE FIGURAS**

FIGURA 1 PROCESO DE REFINACIÓN DEL PETRÓLEO PARA OBTENCIÓN DEL ASFALTO. ....	23
--	----

FIGURA 2 EXTENSIÓN Y COMPACTACIÓN DE BASE DE ALTO MÓDULO, CALLE 80 CON AVENIDA 68 TRANSMILENIO COLOMBIA .....	25
FIGURA 3 VARIACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO Y DE LA DE APLICACIÓN DE UNA CARGA (CURVA EXPERIMENTAL). ....	28
FIGURA 4 MONTAJE DE UN ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS (INSTITUTO MEXICANO DE TRANSPORTE) .....	29
FIGURA 5 COMPORTAMIENTO DEL AGREGADO SOMETIDO A CARGA DE CORTE .....	30
FIGURA 6 CANTIDAD DE ASFALTO EN DIFERENTES TIEMPOS Y DIFERENTES TEMPERATURAS .....	32
FIGURA 7 PARTE INTERNA DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA .....	33
FIGURA 8 DESPRENDIMIENTO DE LA ÚLTIMA CAPA DELGADA.....	34
FIGURA 9 AGRIETAMIENTO (PIEL DE COCODRILO).....	35
FIGURA 10 UBICACIÓN DE LÍNEA DE ESTUDIO.....	55
FIGURA 11 PROBETAS DEL ENSAYO MARSHALL .....	56
FIGURA 12 GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS SEGÚN USOS MAC.....	67
FIGURA 13 DISEÑO DE MEZCLA DE AGREGADOS SEGÚN MAC .....	69
FIGURA 14 ESTABILIDAD SEGÚN % DE CANTO RODADO .....	91
FIGURA 15 GRAFICA ESTABILIDAD - PORCENTAJE DE CANTO RODADO .....	92
FIGURA 16 PORCENTAJE DE CANTO RODADO VIABLE.....	92
FIGURA 17 FLUJO SEGÚN % DE CANTO RODADO.....	86
FIGURA 18 GRAFICA FLUJO - PORCENTAJE DE CANTO RODADO .....	87
FIGURA 19 PORCENTAJE DE CANTO RODADO VIABLE.....	87
FIGURA 20 ESTABILIDAD SEGÚN % DE CANTO RODADO .....	89
FIGURA 21 PORCENTAJE DE CANTO RODADO VIABLE.....	90

## INTRODUCCIÓN

De todos los tipos de pavimentos que existen, el pavimento flexible es uno de los más difundidos a nivel mundial, esta estructura está conformada convencionalmente por 3 capas superpuestas: la carpeta asfáltica, la base granular

y la sub base granular, posadas sobre la subrasante. Este sistema de capas ha sido utilizado por más de 100 años, pues es de fácil construcción y de costo razonable, respecto a otros tipos de pavimentos.

Dentro de la estructura del pavimento flexible, cada una de las capas contribuye en cierta medida a la capacidad estructural del todo, siendo la capa superficial de la carpeta asfáltica la que aporta con el mayor porcentaje de capacidad de resistencia estructural, entre 50 al 70 % de la capacidad total, dependiendo del espesor considerado en el diseño. Por lo tanto, es importante que la calidad de los materiales y de la carpeta misma sea la óptima, ya que solo así podemos garantizar el buen desempeño del pavimento.

Es oportuno señalar la importancia que tiene el estudio, evaluación y entendimiento de las características físicas y el comportamiento mecánico de los materiales en un proyecto de pavimentación. Por ello, la compresibilidad, resistencia cortante y las relaciones volumétricas y gravimétricas constituyen los fundamentos de diseño de las estructuras de pavimento y mezclas asfálticas. Los ensayos de laboratorio, en ese sentido, permiten medir, evaluar y entender el comportamiento mencionado. Son los resultados experimentales los que van a permitir desarrollar, perfeccionar, verificar, validar y señalar las limitaciones de las teorías y modelos físico-matemáticos.

Los agregados empleados en la construcción de carreteras, deben cumplir con requisitos de granulometría y especificaciones técnicas, que garanticen un buen comportamiento durante su periodo de vida. A su llegada al laboratorio, las muestras deben ser preparadas para someterlas a diferentes ensayos de calidad de agregados. Sin embargo, en muchas obras no se realiza el control de calidad adecuado a veces por falta de conocimiento o con el fin de reducir costos, omiten algunos requisitos. Según las especificaciones técnicas el agregado grueso utilizado en la preparación de mezclas asfálticas debe de tener un gran porcentaje de caras fracturadas, condición que se llega cuando se somete al agregado más grueso a procesos de trituración en planta. Este proceso es costoso y eleva el costo de la carpeta en un gran porcentaje.

En obras pequeñas, normalmente a cargo de municipios locales no es posible llevar un control estricto en calidad de materiales, debido al poco presupuesto y descuido de los encargados. Por tanto, existen muchas vías que actualmente se han pavimentando utilizando agregado no procesado, sin triturar en la elaboración de mezcla asfáltica. Cambiando las condiciones de comportamiento de la mezcla.

La presente investigación que tiene como título el **“EFECTO DEL CANTO RODADO DE RIO SIN TRITURAR EN LA ESTABILIDAD DE MEZCLAS ASFALTICAS EN HUANCAYO”** tiene como objetivo: Determinar la influencia del uso de canto rodado sin triturar en la estabilidad de mezclas asfálticas.

# **CAPITULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. CARACTERIZACIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

Las mezclas asfálticas deben de ser elaboradas bajo un estricto control de calidad, tanto en el procedimiento como en los materiales que se utilizan, en el caso del agregado grueso, deben cumplir parámetros como porcentajes máximo de abrasión, porcentajes máximos de piedras chatas y alargadas, porcentajes mínimos de caras fracturadas, CBR, % de finos entre otros. Sin embargo, la realidad es que, en muchas obras de pavimentación, donde no hay un control adecuado, se han construido pavimentos con mezclas asfálticas que no cumplen con algunos requisitos, por considerarlos innecesarios y hasta exagerados, una de ellos es la elaboración de mezclas con altos porcentajes de grava sin triturar, pues la grava triturada tiene un costo alto.

Un porcentaje alto de canto rodado sin triturar puede cambiar el comportamiento de la mezcla asfáltica, es necesario entender las consecuencias y hasta qué medida estas variaciones podrían afectar el desempeño del pavimento a mediano y largo plazo y si en realidad estamos ahorrando o gastado más a la larga.

## **1.2. DELIMITACIONES**

### **1.2.1. ESPACIAL**

Calles y vías de mezclas asfálticas en la ciudad de Huancayo – Junín.

### **1.2.1. TEMPORAL**

El estudio tendrá una duración de dos meses, comenzará a principios de abril hasta fines de mayo del 2017.

## **1.3. FORMULACION DEL PROBLEMA**

### **1.3.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Cuál es el efecto del canto rodado de río sin triturar en la estabilidad de mezclas asfálticas en la ciudad de Huancayo?

### **1.3.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- a) ¿Cuál es influencia del canto rodado de río sin triturar en el Peso específico de la mezcla asfáltica?
- b) ¿Cómo interviene el canto rodado de río sin triturar en el volumen de vacíos de la mezcla asfáltica?
- c) ¿Cómo afecta el canto rodado de río sin triturar en el flujo de la mezcla asfáltica?

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar la influencia del canto rodado sin triturar en la estabilidad de mezclas asfálticas en la ciudad de Huancayo.

### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Determinar la influencia del canto rodado de río sin triturar en el Peso específico de la mezcla asfáltica.
- b) Identificar la influencia del canto rodado de río sin triturar en el volumen de vacíos de la mezcla asfáltica.
- c) Determinar la influencia del canto rodado de río sin triturar en el flujo de la mezcla asfáltica.

## **1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL**

Afecta el canto rodado de río sin triturar en la estabilidad de las mezclas asfálticas en la ciudad de Huancayo 2017.

### **1.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- a) El canto rodado de río sin triturar influye en el peso específico de las mezclas asfálticas
- b) El canto rodado de río sin triturar interviene en el volumen de vacíos de las mezclas asfálticas
- c) El canto rodado de río sin triturar afecta en el flujo de la mezcla asfáltica

## **1.6. VARIABLES**

### **1.6.1. VARIABLE INDEPENDIENTE**

- Canto rodado.  
Es la cantidad de canto rodado de río que contiene la mezcla.
- Peso específico.  
Relación existente entre el peso y el volumen que ocupa una sustancia.
- Volumen de vacíos.  
Espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada.

- Flujo.

## **1.6.2. VARIABLE DEPENDIENTE**

- Estabilidad de mezcla asfáltica.

## **1.7. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.7.1. MÉTODO**

#### **Investigación Cuantitativa**

Usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías. El trabajo de investigación muestra un enfoque cuantitativo, ya que mide fenómenos haciendo uso de estadísticas y empleando experimentación.

### **1.7.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El tipo de investigación es Aplicada cual es una investigación destinada conocimiento de algún aspecto de la realidad o a la verificación la realidad. Debido a que busca determinar el comportamiento y la relación entre dos o más variables; cuando estén correlacionadas y se conozca la magnitud de asociación se tendrán bases para predecir con mayor exactitud.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> HERNANDEZ SAMPIERI Metodología de la Investigación 5ta Ed.



## **1.8. POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **1.8.1. POBLACIÓN**

Las carreteras asfaltadas con pavimento flexible, de la red vial peruana.

### **1.8.3. MUESTRA**

Diseños realizados en laboratorio para simular las características de las calles de la ciudad de Huancayo.

## **1.9. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS**

### **1.9.1. TÉCNICAS**

DIRECTA - EXPERIMENTACIÓN.

### **1.9.2. INSTRUMENTOS**

- Diseño de pavimentos.
- Fichas de observación.
- Instrumentos adecuados.

### **1.9.3. RECOLECCIÓN DE DATOS**

Para la etapa de recolección de datos se procedió a realizar diseño de pavimentos y ensayos en laboratorio a diferentes porcentajes de mezcla bituminosa y también canto rodado de río sin triturar.

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

- Diseño de pavimentos en laboratorio.
- Evaluar los porcentajes de canto rodado en cada diseño.
- Utilización de instrumentos de laboratorio para medir el Comportamiento.
- Pruebas Estadísticas.

## **1.10. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA**

### **1.10.1. JUSTIFICACIÓN**

La presente investigación se justifica debido a que es necesario brindar a la comunidad herramientas simples, que permitan la mejora de la confianza en la utilización de cierta cantidad de canto rodado para la elaboración de carpeta asfáltica. Actualmente la complejidad de los métodos de diseños y el uso de piedra fracturada a pesar de que esta pueda ser de un costo más elevado, se lleva a la necesidad de poder hacer uso de cierto porcentaje de canto rodado logrando así tener un coste más económico y que la mayoría opte por estas formas de elaboración que podrían tener un comportamiento similar.

Además, se justifica en la necesidad de brindar alternativas a zonas donde no se tiene materiales según las especificaciones, que son tradicionalmente el método más usado en este procedimiento. Sin tomar en cuenta los efectos económicos en el proyecto.

## **1.10.2. IMPORTANCIA**

Tomando en cuenta lo que significa carpeta asfáltica, es importante que esta tenga un buen desempeño a lo largo de su vida útil, lo cual se asegura con un buen comportamiento estructural, la existencia de nuevos materiales que se puedan utilizar, que brinden similares ventajas técnicas y sobre todo el ser más económicas, refuerza esta idea y da a los ingenieros más herramientas para asegurar este fin.

## **1.11. LIMITACIONES**

Este trabajo de investigación se limita a la ciudad de Huancayo ya que, diferentes tipos de asfalto, agregados y condiciones climatológicas podrían variar resultados.

## **1.12. VIABILIDAD**

La presente investigación es viable debido a que se cuenta con los recursos necesarios para su elaboración, a la formación profesional recibida; así como 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 canto rodado sin triturar en la estabilidad de mezclas asfálticas resultaría más económico si llegamos a comprobar que es factible su utilización.

### **1.12.3. SOCIAL**

Los cálculos, ensayos y elaboración necesitaran de personal calificado, en este sentido se realizará los estudios correspondientes con el personal requerido y los cálculos de igual manera.

De esta manera se mejoraría la condición social al contar con una capacitación técnica.

### **1.12.4. OPERATIVA:**

La puesta en marcha de la utilización de canto rodado en la estabilización de las mezclas asfálticas podría conllevar a una solución al no poder contar con los recursos necesarios exigidos.

## **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:**

- “LA DEFORMACIÓN PERMANENTE EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS Y EL CONSECUENTE DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN EL PERÚ”. TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA DE TRANSPORTES PRESENTADO POR ING. NÉSTOR W. HUAMÁN GUERRERO, LIMA - PERÚ 2011.
- “ESTUDIO DEFINITIVO PARA LA REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA. DV IMPERIAL – PAMPAS 00+000 – 36+232” ESTUDIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS.
- OPTIMIZACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRIO UTILIZANDO ASFALTO LIQUIDO MC-30 Y AGREGADOS DE LAS CANTERAS SAN MARTIN Y CERRO CAMPANA, TRUJILLO – LA LIBERTAD. MARCO ANTONIO RAMÍREZ MONTENEGRO EX ALUMNO DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL, UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO.

## INTERNACIONAL:

- “INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRÍA EN LA RESISTENCIA AL AHUELLAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS”. Grading Influence On Rutting In The Asphalt Mistures. Oscar J. Reyes-Ortiz Ingeniero Civil, MSc. Profesor Asociado Universidad Militar Nueva Granada, oreyes@umng.edu.co, Javier Camacho-Tauta Ingeniero Civil, MSc. Profesor Asistente Universidad Militar Nueva Granada, jcamacho@umng.edu.co Programa de Ingeniería Civil - Grupo de investigación de Geotecnia Dirección: Universidad Militar Nueva Granada, carrera 11 N. 101-80, Bogotá (Colombia).
- “UTILIZACIÓN DE AGREGADOS PROVENIENTES DE DESECHO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS” Centro de investigaciones Viales LEMaC. Área: MATERIALES VIALES. Becario: Lisandro Sagasti. Director Tesis: Oscar Rebollo.
- “COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMERO ETILENO VINIL ACETATO (EVA)”. TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL. AUTOR: MAILA PAUCAR MANUEL ELÍAS. TUTOR: ING. ANÍBAL ÁVILA MONTERO. QUITO – ECUADOR. 2013
- “ANÁLISIS DE PAVIMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO CON POLÍMERO”. Tesis para optar al título de: Ingeniero Constructor. Profesor Patrocinante: Sr. Luís Collarte Concha. Ingeniero Civil. M. Sc. en Ingeniería Civil. Especialidad Hidráulica Mecánica de Suelos. FERNANDO ANDRES WULF RODRIGUEZ VALDIVIA – CHILE 2008.

## 2.1.2. REFERENCIAS HISTÓRICAS

- a) “1ER. CONGRESO NACIONAL DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS 2015” realizado en Lima entre el 13 y el 14 de octubre del 2015.

El Ing. Jorge Lazarte Conroy, Presidente del ILIEV, al dar la bienvenida a los participantes, dijo que este tipo de eventos promueve las investigaciones en universidades, empresas, centros de investigación y otras entidades relacionadas con el sector tanto público como privado y de esta manera se fortalece los vínculos permitiendo el desarrollo sustentable. Todo hace pensar que el futuro del transporte terrestre seguirá siendo responsabilidad de la red de carreteras, señaló el experto español Alberto Bardesi Orúe-Echevarría, al exponer el tema “Pavimentos de larga duración” durante la primera charla magistral del certamen. El mismo Bardesi, quien es Director de Asfaltos Repsol-España, desarrolló luego el tema “Utilización de materiales reciclados de otras industrias en mezclas bituminosas” en otra de las cinco charlas. Las otras tres charlas fueron: “Mezclas Tibias” a cargo del estadounidense Everett Crews Director de Investigación y Desarrollo de Mead Westvaco - Asphalt Innovations-USA; “Gestión de Pavimentos Asfálticos” a cargo del chileno Hernán de Solminihac Tampier y “Aridos para carreteras: características, prestaciones y normativas” a cargo de la española María Elena Hidalgo Pérez, Directora Técnica de EIFFAGE Infraestructuras.

- b) TRITURACION DE ARIDOS NATURALES RODADOS Y SU USO EN MEZCLAS ASFALTICAS DENSAS. EFECTO EN LA ADHERENCIA ARIDO LIGANTE: AUTORES: Gerardo Botasso - Marcelo Martínez - Cecilia J. Soengas - Oscar Rebollo INSTITUCIÓN: LEMaC, Centro de Investigaciones Viales. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional La Plata - AkzoNobel de Argentina S.A. PAÍS: Argentina

En regiones del país en donde la disponibilidad de áridos se da en yacimientos próximos a la obra, los cuales constituyen una buena alternativa por su calidad físico-mecánica, es muy común proceder a la trituración de los mismos. Este proceso involucra trituración primaria, secundaria y también, en caso de ser necesario, procesos de impacto para regular la angularidad de los mismos. Las exigencias habituales en la fracción gruesa es que el 75 % de las partículas posea dos a más caras fracturadas, y el resto con al menos una, como así también valores de índice de lajas inferiores al 25 %. En muchas provincias estas exigencias aún no se aplican y se diseñan concretos densos sin el cumplimiento de las mismas. En el presente trabajo se pretende mostrar la incidencia de los procesos de trituración en las fracciones gruesas y finas en las propiedades de cohesión de la mezcla asfáltica.

- c) ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LAS DEFORMACIONES PLÁSTICAS DE MEZCLAS BITUMINOSAS DENSAS DE LA NORMATIVA MEXICANA MEDIANTE EL ENSAYO DE PISTA. Padilla Rodríguez, Alejandro. Tutor / director / evaluador Pérez Jiménez, Félix Edmundo. Tipo de documento Tesina Fecha 2004

En este trabajo se ha realizado una búsqueda, recopilación y análisis de investigaciones y reportes técnicos de agencias internacionales de transporte, reuniendo literatura de fuentes diversas que hablan acerca de las deformaciones plásticas permanentes, las cuales son uno de los tipos de deterioro de pavimentos asfálticos. En este trabajo se incluye un análisis para describir el comportamiento de las mezclas densas mexicanas ante las deformaciones plásticas, de la normativa que establece la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). La parte experimental de este trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Caminos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de

Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, de la Universidad Politécnica de Catalunya.

- d) “COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMERO ETILENO VINIL ACETATO (EVA)”. Trabajo De Graduación Previo La Obtención Del Título De Ingeniero Civil. Autor: Maila Paucar Manuel Elías. Tutor: Ing. Aníbal Ávila Montero. Quito – Ecuador. 2013

El presente trabajo de investigación, fue realizado con el fin de mejorar las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas mediante la incorporación del polímero Etileno Vinil Acetato (EVA).

Se realizaron ensayos para caracterizar las propiedades de los materiales utilizados, de acuerdo a procedimientos y especificaciones indicados con su respectiva norma, se efectuaron ensayos sobre las mezclas convencional y modificada como son Marshall, Cántabro, Tensión indirecta y Módulo Dinámico Elástico, siendo este el más representativo de la investigación ya que mide las deformaciones de las mezclas a diferentes temperaturas mediante tecnología moderna COOPER TECHNOLOGY (CRTHYD25-II).

Los resultados obtenidos muestran mejoras significativas en las propiedades de la mezcla asfáltica lo cual permitió concluir que la incorporación del polímero EVA dentro de una mezcla convencional le da características de durabilidad e incrementa sus propiedades físico-mecánicas para disminuir el deterioro y daños viales producidos por cargas de tráfico.

- e) “LA DEFORMACIÓN PERMANENTE EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS Y EL CONSECUENTE DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN EL PERÚ”. Tesis Para Optar El

Grado Académico De Maestro En Ciencias Con Mención En Ingeniería De Transportes Presentado Por Ing. Néstor W. Huamán Guerrero, Lima - Perú 2011

A través del desarrollo del trabajo, se presentan los antecedentes sobre las características geográficas del territorio peruano con sus diferentes climas que inciden en el comportamiento de los pavimentos asfálticos referidos a la falla por deformación permanente; además de otras causas que generan este deterioro. También se desarrolla el concepto de la reología del asfalto, que depende directamente de la composición química del mismo, presentando las propiedades reológicas de los materiales asfálticos a través de la mecánica del medio continuo, así como de los parámetros reológicos aplicando la tecnología Superpave. Así mismo, se discute la influencia de la granulometría y demás características de los agregados en la deformación permanente, el diseño de la mezcla asfáltica, y aspectos constructivos.

## **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.

### **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.

- **Canto Rodado**

Son fragmentos de roca pulidos y sueltos, susceptibles de ser transportados por medios naturales, como las corrientes de agua, los corrimientos de tierra, etc. Aunque no se hace distinción de forma, en general, un canto rodado adquiere una morfología más o menos redondeada, sub redondeada u oblonga, sin aristas y con la superficie lisa, debido al desgaste sufrido por los procesos erosivos durante el transporte, generalmente causados por la corrosión o las corrientes de agua.

- **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 demás.

- **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.

- **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.

## **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**

**AGREGADO:** Un material granular duro de composición mineralógica, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

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

**AGREGADO BIEN GRADADO:** Agregado cuya gradación va desde el tamaño máximo hasta el de un relleno mineral con el objeto de obtener una mezcla bituminosa con un contenido de vacíos controlado y de alta estabilidad.

**AGREGADO DE GRADACION ABIERTA:** Agregado que contiene poco o ningún relleno mineral, y donde los espacios de vacíos en el agregado compactado son relativamente grandes.

**AGREGADO DE GRADACION FINA:** Agregado cuya gradación es continua desde tamaños gruesos hasta tamaños finos, y donde predominan estas últimas

**AGREGADO DE GRADACION GRUESA:** Agregado cuya gradación es continua desde tamaños gruesos hasta tamaños finos, y donde predominan los tamaños gruesos.

**AGREGADO DENSAMENTE GRADADO:** Agregado con una distribución de tamaños de partícula tal que cuando es compactado, los vacíos que resultan entre las partículas, expresados como un porcentaje del espacio total ocupado, son relativamente pequeños.

**ASFALTENOS:** La fracción de hidrocarburo de alto peso molecular, en el asfalto, que es precipitada por medio de un solvente parafínico de nafta, usando una proporción específica de solvente-asfalto.

**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.

**CANTO RODADO:** Partícula de roca redondeada o semi-redondeada que pasa la zaranda de 3" y son retenidas en la malla N° 4.

**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.

### 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. El asfalto, cuando es diluido en un solvente como el heptano, puede separarse en dos partes principales: asfaltenos y maltenos.

**Los asfaltenos** no se disuelven en el heptano. Los asfaltenos una vez separados de los maltenos, son usualmente de color negro o pardo oscuro y se parece al polvo grueso de grafito. Los asfaltenos le dan al asfalto su color y dureza.

**Los maltenos** se disuelven en el heptano. Son líquidos viscosos compuestos de resinas y aceites. Las resinas son, por lo general, líquidos pesados de color ámbar o pardo oscuro, mientras que los aceites son de color más claro. Las resinas proporcionan las cualidades adhesivas en el asfalto, mientras que los aceites actúan como un medio de transporte para los asfaltenos y las resinas. La proporción de los asfaltenos y maltenos en los asfaltos puede variar debido a un sin número de

factores, incluyendo altas temperaturas, exposición a la luz y el oxígeno, tipo de agregado usado en la mezcla del pavimento y espesor de la película de asfalto en las partículas de agregado.

#### **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.

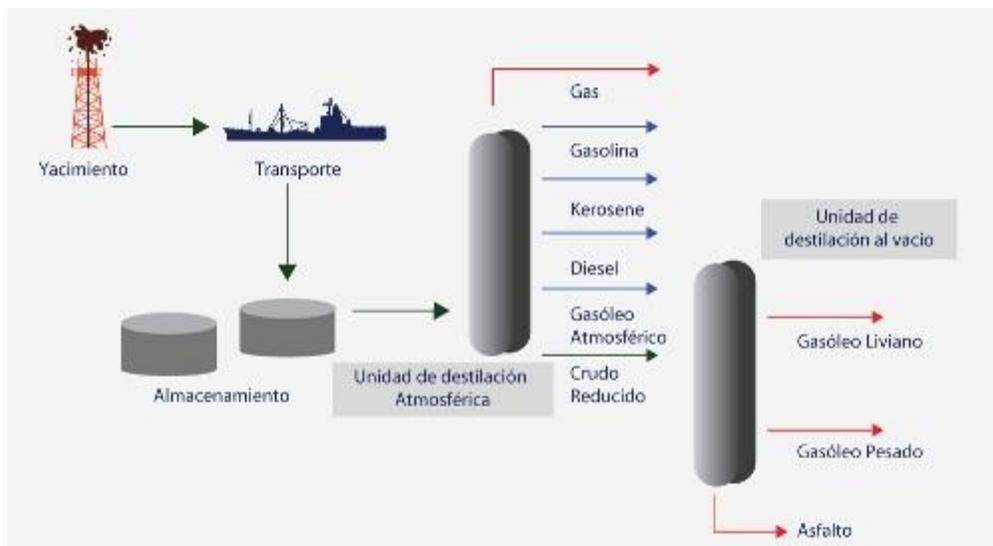


Figura 1 Proceso de refinación del petróleo para obtención del asfalto.

#### 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 reológico 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.

En la actualidad el uso de pavimento flexible con mezcla asfáltica en frío es diario, práctico y económico. Sin embargo, como se puede apreciar, las carreteras y pistas del Perú, no siempre se encuentran en óptimas condiciones, presentando deterioros en el pavimento por lo que cada cierto tiempo, no muy largo, éstas se hallan en reparación, produciendo malestar y déficit en el ámbito social y económico.

Una alternativa a los problemas cotidianos, mencionados, es el uso de las mezclas asfálticas en caliente o también conocidas como Hot Mix Asphalt (HMA). Si bien es cierto, que esta mezcla se utiliza de manera recurrente, no siempre se da de un modo cotidiano, ya que estas presentan un mayor costo que las mezclas asfálticas en frío.

En diversos países las HMA, siguen siendo tema de variados estudios, para el mejoramiento de sus pistas. Como por ejemplo en Brasil, en el año 2003, se realizaron estudios a las HMA con la aprobación de la Confederación Nacional de Transportes – CNT. Dichos estudios, consistían en el alto desempeño que estas mezclas presentan con elevada carga de tránsito ya que, un estudio previo definía el deficiente estado de los pavimentos, teniendo con cifra aproximada el 58.5% de los 57,000Km de carreteras analizadas. Mientras que en Colombia, durante el año 2001, se realizaron evaluaciones en la Troncal de Transmilenio de la calle 80, en Bogotá<sup>4</sup>. Esta presentaba deformaciones hasta de 12cm de profundidad, y gracias a evaluaciones de resistencia, durabilidad, etc., se pudieron realizar los estudios adecuados para poder proceder al diseño, fabricación y colocación de las HMA en base a experiencias francesas y españolas<sup>5</sup>.



**Figura 2 Extensión y compactación de base de alto módulo, Calle 80 con Avenida 68 Transmilenio Colombia**

---

<sup>4</sup> Evaluaciones realizadas por la Universidad de los Andes – Colombia, con el apoyo de la empresa SHELL y ASOPAC (Asociación de Productores y Pavimentadores Asfálticos de Colombia).

<sup>5</sup> Universidad Politécnica de Cataluña, España.

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 proporcionan<sup>6</sup>.

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

---

<sup>6</sup> Estudios realizados por E.R. Brown, NTCA: "Evaluation of Laboratory Properties of SMA Mixtures".

año 2003, Brasil también tuvo su aporte en materia referente a las SMA, demostrando el alto desempeño de las mismas tanto en laboratorio<sup>7</sup> como en las carreteras brasileras, aplicando este material en diversas zonas.

En el Perú<sup>8</sup>, 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.

#### **2.4.7.1. COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS**

El comportamiento de las mezclas asfálticas, se da gracias a la conjunción de todos los materiales y propiedades que cada tipo de mezcla contiene durante el diseño y en el funcionamiento bajo situaciones extremas.

Los materiales que componen las mezclas asfálticas, poseen propiedades dinámicas, dando lugar al módulo dinámico que caracteriza de forma mecánica a unas mezclas de otras.

El comportamiento dinámico, se puede hallar a través del ensayo ASTM D 3497-Modulo Dinámico, donde se somete el espécimen a pulsos repetitivos en condiciones de compresión no confinada. Este se calcula como el cociente entre el esfuerzo aplicado y la deformación unitaria elástica en cada ciclo de carga como se muestra en la Figura 3.

Según Julián Vidal<sup>9</sup>, la variación de estas propiedades se da principalmente por el cambio de temperatura, pues un aumento de esta, genera una disminución en el módulo resiliente. Por otro lado, el efecto de la frecuencia de carga que se manifiesta a través del movimiento de los vehículos pesados sobre la estructura, produce módulos mayores a medida que la velocidad se incrementa.

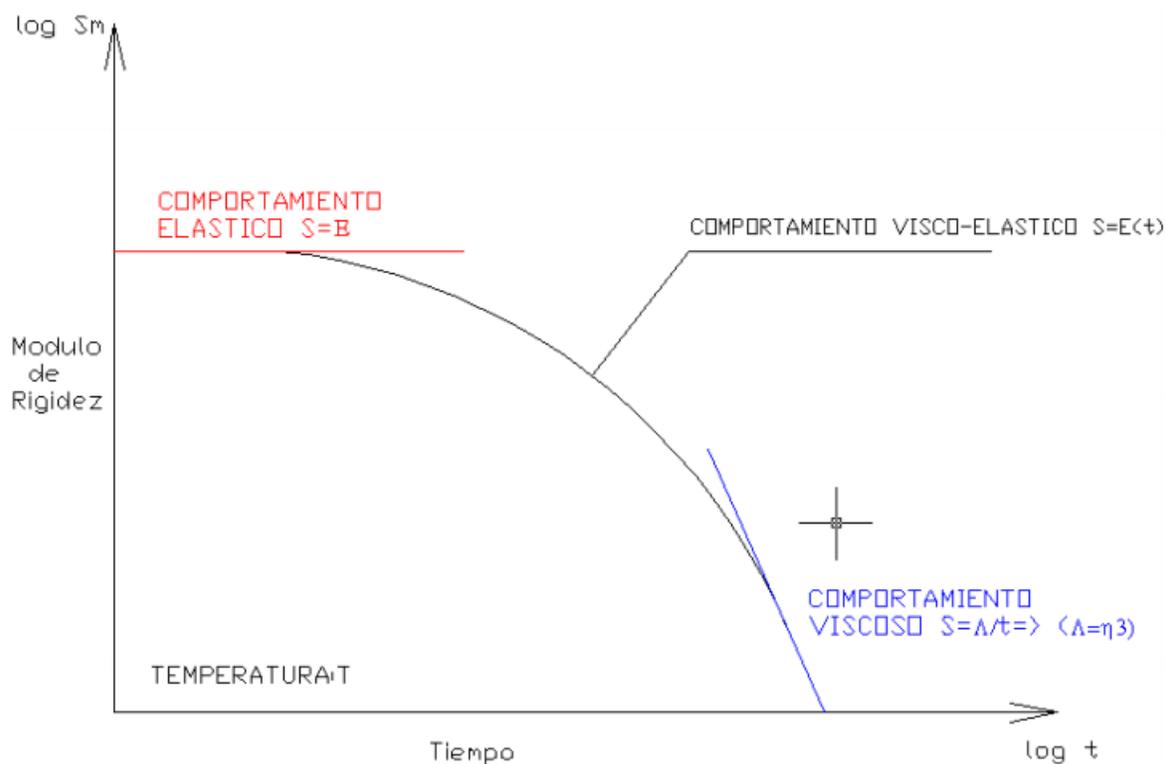
---

<sup>7</sup> Universidad de Rio de Janeiro.

<sup>8</sup> Evaluaciones desarrolladas en: Universidad Ricardo Palma y Universidad de Ingeniería.

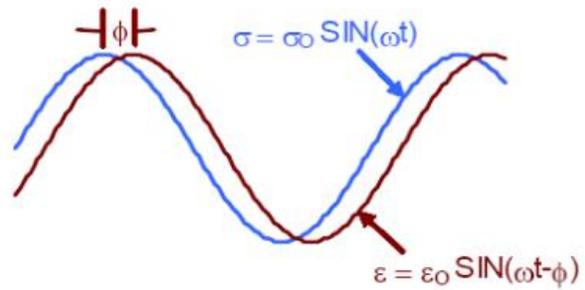
<sup>9</sup> Revista de la Universidad EAFIT, Colombia (2006).

En estudios realizados por el Dr. Little<sup>10</sup>, se demostró que en condiciones de carga y temperatura similares a las condiciones de servicio del pavimento, cualquier ensayo se puede considerar con un comportamiento visco elástico lineal. Esta linealidad permite la superposición de acciones y respuestas de las probetas ensayadas.



**Figura 3** Variación del comportamiento de una mezcla asfáltica en función del tiempo y de la de aplicación de una carga (curva experimental).

<sup>10</sup> UPC: Universidad Politécnica de Cataluña, España.



**Figura 4 Montaje de un ensayo de Módulo Dinámico en mezclas asfálticas (Instituto Mexicano de Transporte)**

El comportamiento de esta mezcla se basa también, en el diseño estructural del pavimento (ya que estas sufren cargas a causa del tránsito). Es por ello que, en el año 1945, Burmister propuso una teoría que se podía aplicar a estructuras de pavimentos.

Dicha teoría, está basada en la teoría inicial de Boussinesq (1885); la diferencia que existe entre ésta teoría y la de Burmister es que, toma en cuenta los estratos del pavimento y las propiedades mecánicas de los materiales que conforman la masa de suelo, para calcular el estado de esfuerzos de ésta a cualquier profundidad. Esta teoría es utilizada para determinar los esfuerzos, deformaciones y deflexiones producidas por las cargas de tránsito<sup>11</sup>.

Investigaciones realizadas en Colombia, demostraron no solo que la variación de temperatura y la frecuencia de carga aplicada en las mezclas produce cambios en el comportamiento de éstas sino que también dependen de la energía de compactación y de la granulometría de las mismas<sup>12</sup>.

Como se dijo anteriormente, los materiales que componen las mezclas tienen que tener ciertas propiedades para que cuando se les aplique una carga en el agregado,

<sup>11</sup> Ing. Henry A. Vergara B. - "DISEÑO DIRECTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES".

<sup>12</sup> CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA POR ENERGÍA DE COMPACTACIÓN Y VARIACIÓN EN LA GRANULOMETRÍA - Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.

no generen cortes en la estructura del pavimento produciendo las deformaciones permanentes, Figura 5.

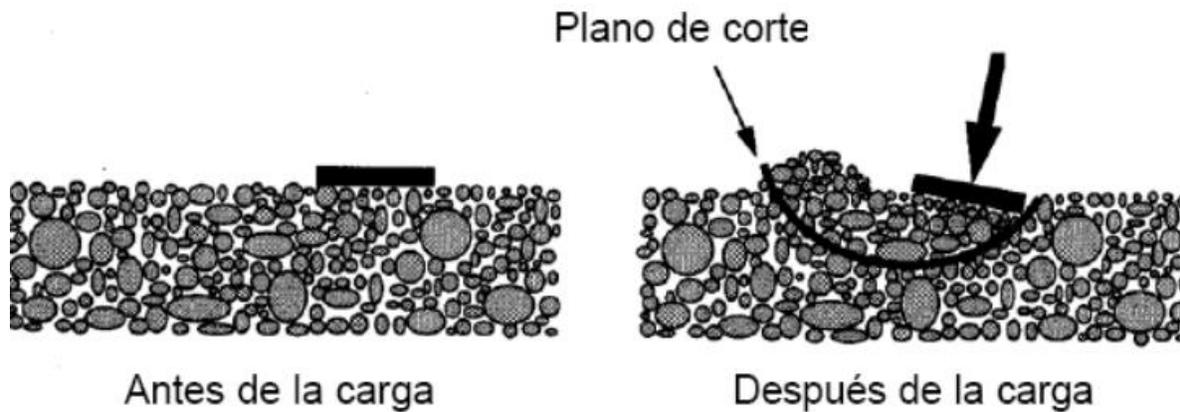


Figura 5 Comportamiento del agregado sometido a carga de corte

La resistencia al corte de los distintos agregados puede explicarse mediante la teoría de Mohr-Coulomb, la cual establece que la resistencia al corte de una mezcla de agregados depende de que tan unidas estén las partículas del agregado (cohesión); la tensión normal a que están sometidos los agregados; y la fricción interna.

La ecuación de Mohr-Coulomb para expresar la resistencia al corte de un material es:

$$\tau = C + \sigma \operatorname{tg} \varphi$$

Donde:

$\tau$  = resistencia al corte de la mezcla de agregados

$C$  = cohesión del agregado

$\sigma$  = tensión normal a la cual está sujeta el agregado

$\varphi$  = ángulo de fricción interna

Por otro lado, al someter una masa de agregado a tensiones de corte, las partículas deben fracturarse o arrastrarse unas sobre otras, si se produce un desplazamiento. Este fenómeno se llama dilatancia, resultante de la expansión o incremento de volumen de la masa de agregados. Los materiales resistentes, con una mayor densificación y alto ángulo de fricción interna, tienden a dilatarse más que los materiales más débiles<sup>13</sup>.

Mientras que la tensión al corte es predominante en el agregado; en el cemento asfáltico lo es la temperatura, la visco-elasticidad, y el envejecimiento ya que dentro del cemento asfáltico se encuentra el asfalto, cuyas características primordiales son: la viscosidad y la elasticidad.

Por ello, los ensayos sobre los cementos asfálticos y mezclas asfálticas deben especificar la temperatura y la velocidad de carga. Sin una temperatura de ensayo y velocidad de carga especificada, el resultado del ensayo no puede ser interpretado como es debido.

La cantidad de asfalto que fluye podría ser la misma para una hora a 60 °C o 10 horas a 25 °C. En otras palabras, los efectos del tiempo y la temperatura están relacionados; el comportamiento a temperaturas altas en periodos de corto tiempo, es equivalente al que ocurre a temperaturas bajas y duraciones largas<sup>14</sup>.

Por lo que así tenemos:

- A altas temperaturas (>100 °C), o bajo carga sostenida, el cemento asfáltico actúa como un líquido viscoso, es decir, tiene un comportamiento plástico. Se emplea para expresar la diferencia entre las fuerzas resistentes y la velocidad relativa con que fluye una capa con respecto a otra en el cemento asfáltico caliente.
- A bajas temperaturas (<0 °C) o bajo cargas aplicadas rápidamente, el cemento asfáltico se comporta como un sólido elástico; cuando es cargado se deforma y cuando es descargado regresa a su forma original.

---

<sup>13</sup> Asphalt Institute SP-2, 1996.

<sup>14</sup> Instituto Mexicano de Transportes, "Caracterización Geomecánica de las Mezclas Asfálticas".

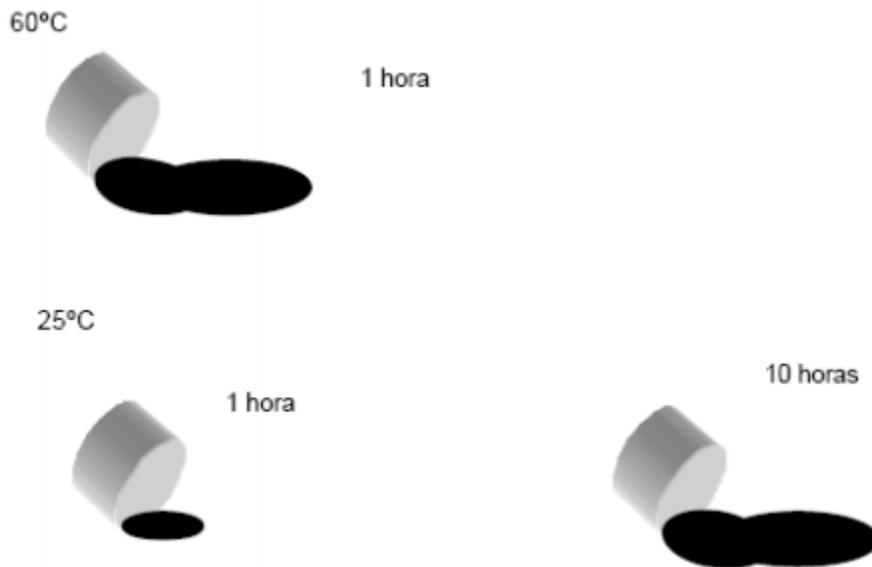


Figura 6 Cantidad de asfalto en diferentes tiempos y diferentes temperaturas

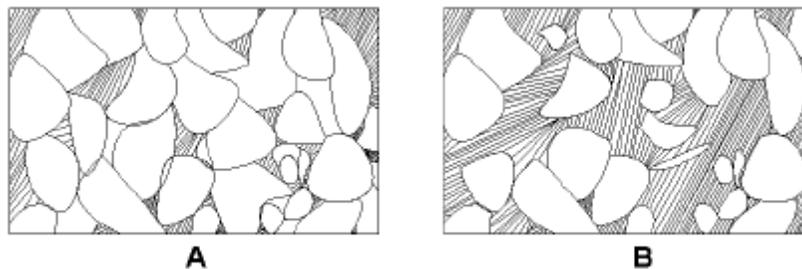
#### 2.4.8. PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

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:** La estabilidad, es una de las propiedades fundamentales de las mezclas asfálticas, ya que se refiere a la capacidad de soportar cargas y resistir tensiones produciendo deformaciones y desplazamientos tolerables. Para ello existen especificaciones y tolerancias que se tienen que tener en cuenta en el diseño, por ello cuando se dan valores demasiados altos se producen pavimentos excesivamente rígidos y por ende menos durables. Esta propiedad depende, básicamente, de la fricción interna y de la cohesión. La fricción interna (fricción entre las partículas) depende mucho de la textura superficial, de la granulometría, de la forma y tamaño de la partícula. Esta aumenta con la rugosidad superficial de las partículas del agregado y también con el área de contacto entre partículas (A). Cuando existe demasiado asfalto en la mezcla, esta lubrica las partículas disminuyendo de ésta manera la fricción que se produce entre ella (B), como lo muestra la Figura 7.



**Figura 7 Parte interna de una Mezcla Asfáltica**

A) Buena Fricción y Cohesión, B) Demasiada Cohesión y una pobre Fricción.

Por otro lado, la cohesión de la mezcla depende del contenido óptimo del asfalto, ya que el asfalto mantiene las presiones de contacto que generan las partículas del agregado; también se debe recalcar que la cohesión aumenta a medida que la viscosidad del asfalto incrementa o cuando la temperatura del pavimento disminuye. Éstas características son dependientes una de la otra, ya que lo que afecte a una de ellas instantáneamente repercute en la otra; así pues, si la cantidad de asfalto excede al contenido máximo, se forma una película gruesa lo que produciría una pérdida de fricción entre las partículas del agregado y aumentaría la cohesión en dicha mezcla. Por lo que una cantidad adecuada de estos dos factores evitará que se produzcan deterioros en el pavimento.

**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 8 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 9 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.

**e) 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 FRACCIONES DE AGREGADO PÉTREO EMPLEADO.**

- Masilla asfáltica: Polvo mineral más ligante.
- Mortero asfáltico: Agregado fino más masilla.
- Concreto asfáltico: Agregado grueso más mortero.
- Macadam asfáltico: Agregado grueso más ligante asfáltico.

##### **2.4.9.2. 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.

#### **2.3.7.3. 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 %.

#### **2.4.9.4. 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.

#### **2.4.9.5. 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. MEZCLA ASFÁLTICA DRENANTE.**

Se conocen en Colombia como MD de acuerdo con Invias (2013, artículo 453-13) En el caso IDU (2011, artículo 512), en la denominación de las mezclas cambia MDr15. Haciendo como referencia el número, tamaño máximo de los agregados pétreos en mm.

La mezcla presenta un porcentaje alto de vacíos (entre 20%-25%) permitiendo que se filtre el agua de lluvia con rapidez, ayudando a evacuarla hacia obras de drenaje localizadas en la vía. Otra característica importante de esta mezcla es su alta porosidad que genera una textura superficial rugosa, así contribuye a la disminución de accidentalidad en las vías. Para llevar a cabo el diseño de mezclas MD es por medio del método y ensayo cántabro.

### **2.4.10.4 MEZCLA DISCONTINUAS EN CALIENTE O MICRO AGLOMERADOS.**

Se conocen en Colombia como M-10, M-13, F-10, F-13 de acuerdo con Invias (2013, artículo 452-13) haciendo como referencia a los números, es el tamaño máximo de los agregados pétreos en mm. En el caso IDU se generan unos cambios en las denominaciones de las mezclas MM8, MM10, MF8 y MF10. (IDU, 2011).

Estas mezclas son utilizadas para mejorar irregularidades y deterioros superficiales en el pavimento. Para su fabricación se recomienda asfaltos que tengan GCR.

### **2.4.10.5. MEZCLAS CON ESQUELETO MINERAL.**

Suministradas de un esqueleto mineral resistente, su componente de resistencia debida al rozamiento interno de los agregados es notable. Ejemplo, las mezclas

abiertas y los que genéricamente se denominan concretos asfálticos, aunque también una parte de la resistencia de estos últimos, se debe a la masilla.

#### **2.4.10.6. MEZCLAS SIN ESQUELETO MINERAL.**

No poseen un esqueleto mineral resistente, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla. Ejemplo, los diferentes tipos de masillas asfálticas.

#### **2.4.10.7. 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 tráfico 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.

#### **2.4.10.8. 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)<sup>15</sup> .

“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 aisladamente<sup>16</sup>.

“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”<sup>17</sup>.

#### **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.

##### **2.4.11.1. METODO MARSHALL**

---

<sup>15</sup> INVIAS, 2013

<sup>16</sup> RONDÓN, 2009

<sup>17</sup> INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO, 2008

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 romper<sup>18</sup>.

---

<sup>18</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, 2007

#### **2.4.11.2. METODO SUPERPAVE**

Las nuevas especificaciones para asfaltos y asfaltos modificados desarrolladas por el Programa Estratégico de investigaciones en Caminos SHRP de los EEUU permiten establecer un sistema de clasificación y selección del ligante en función de las condiciones climáticas del lugar. Dichas condiciones expresadas en rangos de temperaturas de diseño del pavimento permiten calcular las propiedades de flujo y deformación de los ligantes para unas condiciones de carga y temperatura adecuadas al proyecto en cuestión.

Dichas especificaciones relacionan las propiedades físicas de los asfaltos con principios ingenieriles de manera que por primera vez se está en condiciones de relacionar características reológicas del ligante con el comportamiento del mismo en servicio, propiedad esta de suma trascendencia a fin de prever la durabilidad del asfalto.

Las especificaciones tradicionales basadas en ensayos de base empírica (penetración, ductilidad, punto de ablandamiento, viscosidad capilar, etc.) se basan en ensayos realizados a una sola y determinada temperatura cuyo resultado es comparado con un rango determinado por una especificación. Los resultados de los ensayos se comparan con criterios especificados, lo cual tiene como principal desventaja la necesidad de requerir experiencia previa de camino para poder relacionar el ensayo con el comportamiento en servicio. Ello no solo no es posible en muchos casos, sino que además puede conducir a serios errores cuando se extrapolan resultados de una región a otra.

En las especificaciones SHRP para ligantes el valor del parámetro es siempre constante pero medido a distintas temperaturas. Con ello se logra que se establezca un valor crítico constante de la propiedad a analizar variando la temperatura del ensayo para la cual el valor es alcanzado. Se especifican así diferentes ligantes para diferentes climas a fin de alcanzar un comportamiento adecuado en todos los climas.

Los ensayos que se realizan en cumplimiento con las nuevas especificaciones SHRP contenidas en el Superpave se basan en medir propiedades fundamentales de los asfaltos, esto es aquellas que pueden relacionar tensiones deformaciones en el material. Los módulos complejo y Stiffness del asfalto son medidos (no estimados) a las temperaturas de ensayo. Asimismo, la deformación a baja temperatura y la viscosidad rotacional a alta temperatura son parte del conjunto de ensayos utilizados.

Con la información de viscosidad rotacional, módulo complejo, módulo stiffness y deformación a la rotura medidas a temperaturas críticas de servicio se tiene un espectro de características del ligante que permiten confiar en ensayos realizados bajo condiciones que simulan tres etapas críticas por las que pasa el asfalto en servicio, deformaciones permanentes, fatiga y fisuración térmica.

Las temperaturas de diseño del sistema de clasificación de asfaltos Superpave han sido elegidas en función de los tres mecanismos de falla más importantes ya mencionados. Así se comprobó que las temperaturas más críticas en el rango de altas temperaturas son aquellas máximas temperaturas que se producen en el año durante 7 días corridos. En el caso de las bajas temperaturas se considera como crítica la menor temperatura alcanzada durante el año. En relación con los fenómenos de fatiga se calculan los parámetros a temperaturas intermedias.

Las temperaturas mencionadas son las del aire y se computan para un promedio no menor de 20 años de datos acumulados en las estaciones meteorológicas. Mediante un algoritmo se traducen en temperaturas del pavimento a 20 mm de la superficie, con lo cual se está en condiciones de determinar las propiedades de los asfaltos a dichas temperaturas y para el tránsito estimado.

Los grados asfálticos contenidos en la especificación Superpave indican las temperaturas superiores e inferiores que los mismos resisten adecuadamente

afín de maximizar la resistencia a deformaciones permanentes, fisuras por fatiga y fisuramiento térmico. Ellos pueden sintetizarse en el siguiente cuadro:

**Tabla 1 Referencia de Grado Asfáltico bajas temperaturas**

Grado Asfáltico	Grado Asfáltico, bajas temperaturas
PG 46	-30, -40, -46
PG 52	-10, -16, -22, -28, -34, -40, -46
PG 58	-16, -22, -28, -34, -40
PG 64	-10, -16, -22, -28, -34, -40
PG 70	-10, -16, -22, -28, -34, -40,
PG 76	-10, -16, -22, -28, -34
PG 82	-10, -16, -22, -28, -34

Como puede verse, para cada temperatura alta existen varias temperaturas bajas que conforman a un grado asfáltico determinado. Así por ejemplo un PG 46 puede ser PG 46-30 o PG 46-40 o PG 46-46 que significa que resiste hasta los 7 días corridos de 46°C de temperatura promedio del periodo considerado (mayor que 20 años) y hasta una temperatura mínima de -30°C, o -40°C, o -46°C.

Retornando al cuadro de grados asfálticos puede también observarse que los intervalos de temperaturas en el rango de las altas van en incrementos de 6°C. Ello responde a un cuidadoso estudio realizado por el SHRP en función de las distintas regiones climáticas de los EE.UU. y el Canadá. Se quiso obtener tantos grados como regiones, pero al mismo tiempo no incrementar tanto los grados tal que pudiera resultar su fabricación económicamente no conveniente.

Finalmente, la selección del grado de ligante asfáltico en el sistema de clasificación Superpave se realiza de tres maneras: por área geográfica a través del uso de mapas de temperaturas especialmente diseñados, por

temperaturas del aire que luego se convierten en temperaturas del pavimento o bien por temperaturas del pavimento de diseño determinadas por el proyectista. Existe una corrección por tipo de tránsito contemplada dentro del sistema Superpave con lo cual el asfalto es seleccionado según el clima y el tránsito de la región.

El sistema de clasificación y selección de ligantes asfálticos Superpave se espera que sea usado en forma rutinaria en todo EE.UU. para 1997. Algunos estados ya han reemplazado el viejo sistema basado en viscosidades por el nuevo desarrollado por el SHRP, tal es el caso del estado de Michigan cuyo Departamento de Transporte editará sus especificaciones para caminos reemplazando la tradicional especificación de asfaltos por la nueva creada por SHRP. A manera de ejemplo se cita que han encontrado que el asfalto 85-100 cumple con un grado PG 58-28 del Superpave.

#### **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.

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.

## **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: Bordos 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).

#### **2.4.14. CANTO RODADO**

Los cantos rodados o guijarros (chinas o chinarras, cuando son de pequeño tamaño) son fragmentos de roca pulidos y sueltos, susceptibles de ser transportados por medios naturales, como las corrientes de agua, los corrimientos de tierra, etc. Aunque no se hace distinción de forma, en general, un canto rodado adquiere una morfología más o menos redondeada, subredondeada u oblonga, sin aristas y con la superficie lisa, debido al desgaste sufrido por los procesos erosivos durante el transporte, generalmente causados por la corrosión o las corrientes de agua (erosión hídrica).

### **USOS**

Se utilizan generalmente en la construcción para hacer revoques y pavimentos. Sus cantos planos son de gran utilidad para el apilamiento de material y su adherencia al hormigón o cemento los hacen muy útiles.

Los guijarros fueron usados como arma arrojada preferida por parte de los honderos.

Los guijarros también forman parte desde la antigüedad de la actividad lúdica infantil. "Hacer sopas u ondas" es uno de los juegos más populares, que consiste en lanzar y hacer deslizar por una superficie líquida guijarros planos. La tensión superficial del agua impide que se hundan durante unos segundos.

Esta técnica de rebote en el agua fue utilizada por bombarderos aliados para arrojar bombas en algunos ríos y presas del enemigo durante la II Guerra Mundial.

Los guijarros chicos, llamados chinás o chinarras, estos un poco más grandes, se usaron en la antigüedad con profusión técnica del cosmatesco para realizar solados artísticos; dibujos circulares, sogueados y otros efectos artísticos geométricos. Pueden hallarse en muchas de las iglesias rurales del norte de España. Igualmente, en el sur de España fue empleado por los musulmanes de Granada y se conoce con el nombre de empedrado granadino. Normalmente se hace con guijarros blancos en contraste con otros oscuros.

#### **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 2 Causas y Efectos de Inestabilidad en el Pavimento.**

<b>CAUSAS</b>	<b>EFFECTOS</b>
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 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, y es desde aquí 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 10 Ubicación de Línea de Estudio

El punto de control establecido para realizar el análisis es:

Como sabemos las mezclas asfálticas están comprendidas 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 la ciudad de Huancayo.



**Figura 11 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 3,739 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) que se muestra en el Anexo 5.

El material del que se dispuso para la elaboración de las probetas fue agregado pétreo triturado al 100% luego añadiremos agregado pétreo sin triturar en porcentajes aumentado a 10% y así disminuyendo el agregado triturado en porcentajes de 10%, llegando al final con agregado triturado en 0% y sin triturar al 100%.

Para 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 densidad luego, se ensayaron en el aparato Marshall obteniéndolos datos de carga, deformación. Los resultados se podrán observar en el anexo 5.

Utilizando la granulometría de la curva media se procedió a calcular el peso específico de los agregados pétreos empleados en la fabricación de las probetas, el cual se determinó siguiendo la NORMA MTC E-504 (AASHTO T-245 / ASTM D-1559). El valor del peso específico de los agregados fue de 2.74 gr/cm<sup>3</sup>, el cual es un dato indispensable para hacer el cálculo del porcentaje de vacíos de la mezcla.

Empleando la gráfica del anexo 4 y la normativa del ensayo Marshall, se calcularon la Estabilidad corregida y la Deformación, cuyos cálculos y resultados se indican en el Anexo 5 para las probetas elaboradas. En este mismo anexo mostraremos el cálculo de porcentajes de vacíos y agregado mineral en la mezcla asfáltica.

### **3.2. RESUMEN DE RESULTADOS DE GRANULOMETRIA DE AGREGADOS**

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

Tabla 3 Resumen granulometría de arena chancada

Calicata		PAPQ				T - 40	
Muestra		M-1				M - 1	
Profundidad (m)		ACOPIO			(m)	0,00 - 0,50	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla		peso retenido	% retenido parcial	%retenido acumulado	% que pasa
		Nº	Abertura (mm)				
		3 "	76.200	0.0			100.00
		2 "	50.800				100.00
		1 1/2 "	38.100				100.00
		1 "	25.400	0.0			100.00
		3/4"	19.100	0.0	-	-	100.00
		1/2"	12.700	0.0	-	-	100.00
		3/8"	9.525	0.0	-	-	100.00
		1/4"	6.300	0.0	-	-	100.00
		Nº 4	4.760	43.7	5.71	5.71	94.29
		Nº 10	2.000	241.8	31.61	37.32	62.68
		Nº 40	0.420	263.7	34.47	71.79	28.21
		Nº 80	0.180	90.1	11.78	83.57	16.43
		Nº 200	0.074	48.9	6.39	89.96	10.04
< Nº 200		FONDO	76.8	10.04	100.00	-	
		TOTAL	765.0				

DESCRIPCION DE LA MUESTRA			
PESO TOTAL		765.00	
PESO LAVADO		688.20	
PESO FINO		721.30	
% HUMEDAD	P.S.H	P.S.S	%HUMEDAD
	774.00	765.00	1.2%
MALLA 200	P.S.Seco	P.S.Lavado	200%
	765.00	688.20	10.00

Modulo de finura		2.41%	
% Grava	GG%	0.00	5.71
	GF%	5.71	
% Arena	AG%	0.00	84.25
	AM%	66.08	
	AF%	18.17	
% Finos			10.0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4 Resumen granulometría de arena zarandeada

Calicata		PAPQ				T - 40		
Muestra		M-1				M - 1		
Profundidad (m)		ACOPIO			(m)	0,00 - 0,50		
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla		peso retenido	% retenido parcial	%retenido acumulado	% que pasa	
		Nº	Abertura (mm)					
		3 "	76.200					100.00
		2 "	50.800					100.00
		1 1/2 "	38.100					100.00
		1 "	25.400	0.0				100.00
		3/4"	19.100	0.0	-	-		100.00
		1/2"	12.700	0.0	-	-		100.00
		3/8"	9.525	0.0	-	-		100.00
		1/4"	6.300	0.0	-	-		100.00
		Nº 4	4.760	33.6	4.00	4.00		96.00
		Nº 10	2.000	63.9	7.60	11.59		88.41
		Nº 40	0.420	303.8	36.12	47.72		52.28
		Nº 80	0.180	310.7	36.94	84.66		15.34
		Nº 200	0.074	72.2	8.59	93.25		6.75
< Nº 200	FONDO	56.8	6.75	100.00		-		
	TOTAL	841.0						

DESCRIPCION DE LA MUESTRA			
PESO TOTAL		841.00	
PESO LAVADO		784.20	
PESO FINO		807.40	
% HUMEDAD	P.S.H	P.S.S	%HUMEDAD
	850.00	841.00	1.10%
MALLA 200	P.S.Seco	P.S.Lavado	200%
	841.00	784.20	6.80

Modulo de finura		1.64%	
% Grava	GG%	0.00	4.0
	GF%	4.00	
% Arena	AG%	0.00	89.3
	AM%	43.72	
	AF%	45.53	
% Finos			6.8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5 Resumen granulometría filler

Calicata		PAPQ				T - 40	
Muestra		M-1				M - 1	
Profundidad (m)		ACOPIO			(m)	0,00 - 0,50	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla		peso retenido	% retenido parcial	%retenido acumulado	% que pasa
		Nº	Abertura (mm)				
		3 "	76.200	0.0			100.00
		2 "	50.800				100.00
		1 1/2 "	38.100				100.00
		1 "	25.400	0.0			100.00
		3/4"	19.100	0.0	-	-	100.00
		1/2"	12.700	0.0	-	-	100.00
		3/8"	9.525	0.0	-	-	100.00
		1/4"	6.300	0.0		-	100.00
		Nº 4	4.760	0.0	-	-	100.00
		Nº 10	2.000	0.0	-	-	100.00
		Nº 40	0.420	0.0	-	-	100.00
		Nº 50	0.300	13.0	3.43	3.43	96.57
		Nº 200	0.074	53.2	14.05	17.49	82.51
		FONDO	312.4	82.51			
		TOTAL	378.6				

DESCRIPCION DE LA MUESTRA			
PESO TOTAL			379.20
PESO HUM (g)	PESO SECO (g)	%HUMEDAD	
382.20	379.20	0.79%	

PESO TOTAL	379.2	gr
PESO LAVADO	66.8	gr
PESO FINO	379.2	gr

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6 Resumen granulometría grava 1/2

Calicata		PAPQ				T - 40	
Muestra		M-1				M - 1	
Profundidad (m)		ACOPIO			(m)	0,00 - 0,50	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla		peso retenido	% retenido parcial	%retenido acumulado	% que pasa
		Nº	Abertura (mm)				
		3 "	76.200	0.0			100.00
		2 "	50.800				100.00
		1 1/2 "	38.100				100.00
		1 "	25.400	0.0			100.00
		3/4"	19.100	0.0	-	-	100.00
		1/2"	12.700	0.0	-	-	100.00
		3/8"	9.525	806.0	27.00	27.00	73.00
		1/4"		0.0	-	27.00	
		Nº 4	4.760	2102.0	70.42	97.42	2.58
		Nº 10	2.000	48.0	1.61	99.03	0.97
		Nº 40	0.420	0.0	-	99.03	0.97
		Nº 60	0.250	0.0	-	99.03	0.97
Nº 200	0.074	29.0	0.97	100.00	-		
		<b>TOTAL</b>	2985.0				

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA			
PESO TOTAL			3116.00
% HUMEDAD	P.S.H	P.S.S	%HUMEDAD
	3153.00	3116.00	1.19%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7 Resumen granulometría grava 3/4

Calicata		PAPQ				T - 40	
Muestra		M-1				M - 1	
Profundidad (m)		ACOPIO			(m)	0,00 - 0,50	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla		peso retenido	% retenido parcial	%retenido acumulado	% que pasa
		Nº	Abertura (mm)				
		3 "	76.200	0.0			100.00
		2 "	50.800				100.00
		1 1/2 "	38.100				100.00
		1 "	25.400	0.0			100.00
		3/4"	19.100	0.0	-	-	100.00
		1/2"	12.700	1786.0	69.44	69.44	30.56
		3/8"	9.525	724.0	28.15	97.59	2.41
		1/4"	6.300	0.0		97.59	2.41
		Nº 4	4.760	56.0	2.18	99.77	0.23
		Nº 10	2.000	2.0	0.08	99.84	0.16
		Nº 40	0.420	0.0		99.84	0.16
		Nº 60	0.250	0.0		99.84	0.16
Nº 200	0.074	4.0	0.16	100.00	-		
		<b>TOTAL</b>		2572.0			
<b>DESCRIPCION DE LA MUESTRA</b>							
<b>PESO TOTAL</b>				2572.00			
<b>% HUMEDAD</b>	<b>P.S.H</b>	<b>P.S.S</b>	<b>%HUMEDAD</b>				
	2587.00	2572.00	0.58%				

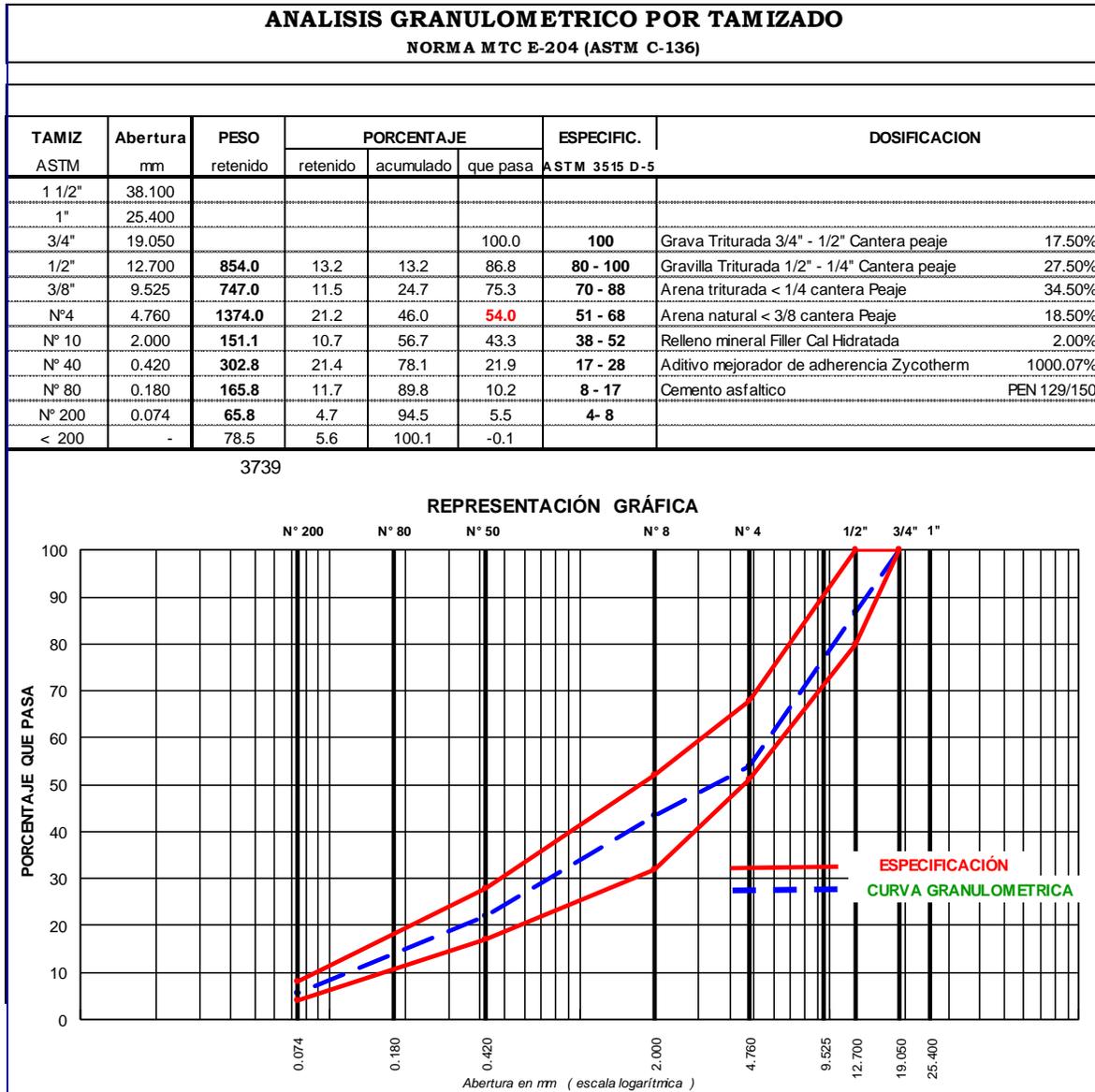
Fuente: Elaboración propia

Aquí podemos observar todos los resúmenes granulométricos de los agregados que serán utilizados para el diseño Marshall.

### 3.3. RESUMEN DE COMBINACIÓN TEORICA

Luego procederemos a realizar una combinación teórica para poder ver la combinación óptima de agregados para la mezcla asfáltica.

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



**Fuente: Elaboración propia**

Esta curva nos muestra cual es la combinación óptima de los agregados que disponemos, en esta curva no mostramos el canto rodado ya que primero haremos el diseño sin canto rodado para obtener el contenido de asfalto.

### 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.

Los resultados se verán en el anexo 5.

**Tabla 9 Ensayos para obtener el contenido óptimo de asfalto**

% de asfalto	Factores	Unidades	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
4.5	Flujo	mm	2.6	2.5	2.5
	Estabilidad sin corregir	kg	972.0	981.0	971.0
	Factor de estabilidad		1.0	1.0	1.0
	Estabilidad corregida	kg	972.0	981.0	971.0
	Estabilidad - Flujo	kg/cm	3738.5	3924.0	3884.0
5.0	Flujo	mm	2.8	2.6	2.6
	Estabilidad sin corregir	kg	1111.0	1052.0	1046.0
	Factor de estabilidad		1.0	1.0	1.0
	Estabilidad corregida	kg	1111.0	1052.0	1046.0
	Estabilidad - Flujo	kg/cm	3967.9	4046.2	4023.1
5.5	Flujo	mm	3.0	3.0	3.1
	Estabilidad sin corregir	kg	1061.0	1066.0	1065.0
	Factor de estabilidad		1.0	1.0	1.0
	Estabilidad corregida	kg	1081.0	1066.0	1065.0
	Estabilidad - Flujo	kg/cm	3603.3	3553.3	3435.5
6.0	Flujo	mm	3.7	3.5	3.5
	Estabilidad sin corregir	kg	1021.0	1033.0	1018.0
	Factor de estabilidad		1.0	1.0	1.0
	Estabilidad corregida	kg	1021.0	1033.0	1018.0
	Estabilidad - Flujo	kg/cm	2759.5	2951.4	2908.6
6.5	Flujo	mm	4.0	4.3	3.9
	Estabilidad sin corregir	kg	892.0	907.0	899.0
	Factor de estabilidad		1.0	1.0	1.0
	Estabilidad corregida	kg	892.0	907.0	899.0
	Estabilidad - Flujo	kg/cm	2230.0	2109.3	2305.1

**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 es cuando el porcentaje de asfalto es 5.5%.

### 3.5. RESUMEN DE RESULTADOS DE LA VARIACIÓN DE CANTO RODADO

En este apartado mostraremos la variación del contenido de canto rodado en porcentaje de variación de 10 % con el contenido óptimo de asfalto que resultó ser el 5.5 % podremos observar factores como flujo y estabilidad. Los cálculos se mostrarán en el anexo 6.

**Tabla 10 Resumen de estabilidad - flujo según % de canto rodado**

% de canto rodado	% de cemento asfáltico					
	Factores	Unidades	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Probeta 4
0	Flujo	mm	3.0	3.0	3.1	3.1
	Estabilidad sin corregir	kg	1061.0	1066.0	1065.0	1064.0
	Factor de estabilidad		1.0	1.0	1.0	1.0
	Estabilidad corregida	kg	1061.0	1066.0	1065.0	1064.0
	Estabilidad - Flujo	kg/cm	3510.2	3497.4	3436.8	3462.0
10	Flujo	mm	3.1	3.1	3.1	3.1
	Estabilidad sin corregir	kg	900.0	898.0	898.0	896.0
	Factor de estabilidad		1.0	1.0	1.0	1.0
	Estabilidad corregida	kg	900.0	898.0	898.0	896.0
	Estabilidad - Flujo	kg/cm	2904.4	2921.8	2897.9	2915.3
20	Flujo	mm	3.2	3.2	3.2	3.2
	Estabilidad sin corregir	kg	802.0	801.0	800.0	798.0
	Factor de estabilidad		1.0	1.0	1.0	1.0
	Estabilidad corregida	kg	802.0	801.0	800.0	798.0
	Estabilidad - Flujo	kg/cm	2526.0	2533.0	2519.7	2503.4
30	Flujo	mm	3.3	3.3	3.3	3.3
	Estabilidad sin corregir	kg	682.0	690.0	687.0	688.0
	Factor de estabilidad		1.0	1.0	1.0	1.0
	Estabilidad corregida	kg	682.0	690.0	687.0	688.0
	Estabilidad - Flujo	kg/cm	2065.4	2105.8	2088.6	2099.7
40	Flujo	mm	3.4	3.4	3.4	3.4
	Estabilidad sin corregir	kg	600.0	602.0	598.0	597.0
	Factor de estabilidad		1.0	1.0	1.0	1.0
	Estabilidad corregida	kg	600.0	602.0	598.0	597.0
	Estabilidad - Flujo	kg/cm	1749.8	1762.1	1757.0	1747.5
50	Flujo	mm	3.5	3.5	3.5	3.5
	Estabilidad sin corregir	kg	550.0	542.0	548.0	544.0
	Factor de estabilidad		1.0	1.0	1.0	1.0
	Estabilidad corregida	kg	550.0	542.0	548.0	544.0
	Estabilidad - Flujo	kg/cm	1563.4	1538.5	1552.1	1543.0

60	Flujo	mm	3.6	3.6	3.6	3.6
	Estabilidad sin corregir	kg	500.0	498.0	505.0	503.0
	Factor de estabilidad		1.0	1.0	1.0	1.0
	Estabilidad corregida	kg	500.0	498.0	505.0	503.0
	Estabilidad - Flujo	kg/cm	1386.3	1378.8	1399.1	1392.6
70	Flujo	mm	3.8	3.8	3.8	3.8
	Estabilidad sin corregir	kg	501.0	499.0	497.0	496.0
	Factor de estabilidad		1.0	1.0	1.0	1.0
	Estabilidad corregida	kg	501.0	499.0	497.0	496.0
	Estabilidad - Flujo	kg/cm	1328.2	1318.5	1323.9	1306.2
80	Flujo	mm	3.9	3.9	3.9	3.9
	Estabilidad sin corregir	kg	482.0	480.0	478.0	479.0
	Factor de estabilidad		1.0	1.0	1.0	1.0
	Estabilidad corregida	kg	482.0	480.0	478.0	479.0
	Estabilidad - Flujo	kg/cm	1248.4	1241.6	1234.8	1232.6
90	Flujo	mm	4.0	4.0	4.0	4.0
	Estabilidad sin corregir	kg	461.0	460.0	458.0	462.0
	Factor de estabilidad		1.0	1.0	1.0	1.0
	Estabilidad corregida	kg	461.0	460.0	458.0	462.0
	Estabilidad - Flujo	kg/cm	1160.5	1159.4	1151.4	1163.0
100	Flujo	mm	4.1	4.1	4.1	4.1
	Estabilidad sin corregir	kg	450.0	440.0	445.0	448.0
	Factor de estabilidad		1.0	1.0	1.0	1.0
	Estabilidad corregida	kg	450.0	440.0	445.0	448.0
	Estabilidad - Flujo	kg/cm	1100.4	1082.7	1084.8	1094.2

**Fuente: Elaboración propia**

Como podemos observar para estos ensayos realizamos 4 probetas de cada porcentaje de canto rodado, de igual manera el flujo aumenta con respecto al aumento de canto rodado, al contrario, pasa con la estabilidad que disminuye según el aumento de canto rodado.

## 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 variando el contenido de canto rodado cada 10% hasta cubrir un rango de 0 a 100%.

#### 4.1. ANÁLISIS DE GRANULOMETRÍA

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.

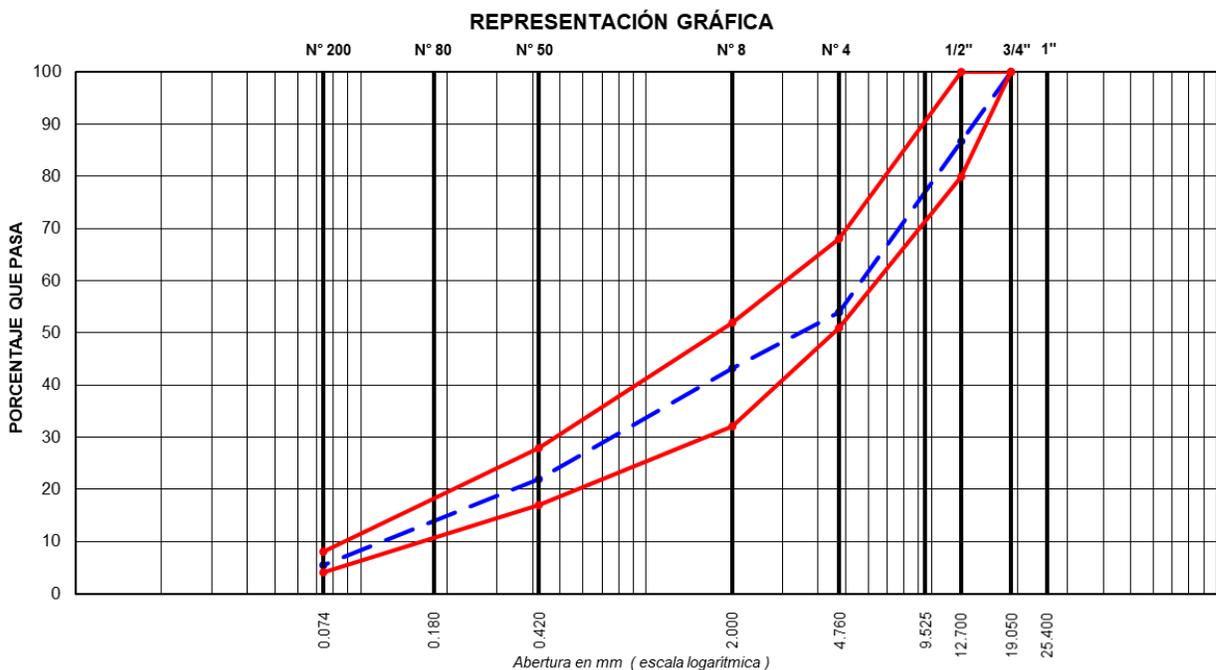


Figura 12 Granulometría de los agregados según USOS MAC

La figura 12 nos muestra que en la malla N° 4 la granulometría se acerca al USO inferior y podemos discernir que el agregado en este tamaño se encuentra casi en el límite.

Así mismo podemos observar que en la malla  $\frac{3}{4}$  el agregado usado si se encuentra en el USO inferior, pero no se encuentra fuera de este. Con lo que usar el agregado es viable debido a que la curva en general se encuentra dentro de los límites establecidos.

## **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.

Malla		Porcentajes pasantes (%)						Especificaciones		Observaciones	
Tamiz	mm.	PIEDRAS			ARENAS			MEZCLA	MAC - 2		Tamaño máximo 3/4"
		Piedra 3/4" - 1/2"	Piedra 1/2" - 1/4"		Arena Natural Peaje < 1/4"	Arena triturada Peaje < 1/4"	FILLER Cal hidratada		MTC		
Proporciones		3/4"	1/2"		NATURAL	CHANCADA		100.0%		Curva Idea	
		17.5%	27.5%		18.5%	34.5%	2.0%				
1"	25.400										
3/4"	19.050	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0	100.0	100	100	100.0 100.0
1/2"	12.700	30.4	100.0		100.0	100.0	100.0	87.8	80 - 100		90.0 87.8
3/8"	9.525	2.5	73.70		100.0	100.0	100.0	75.7	70 - 88		79.0 75.7
Nº 4	4.760	0.4	2.5		96.1	94.4	100.0	53.1	51 - 68		58.0 53.1
Nº 8	2.360							0.0			0.0
Nº 10	2.000	0.2	1.1		88.6	63.0	100.0	40.5	38 - 52		45.0 40.5
Nº 16	1.180							0.0			
Nº 30	0.600							0.0			0.0
Nº 40	0.420	0.1	0.2		52.3	28.5	100.0	21.6	17 - 28		22.5 21.6
Nº 50	0.300							0.0			0.0
Nº 80	0.180	0.1	0.2		15.4	16.4	100.0	10.6	8 - 17		12.5 10.6
Nº 100	0.150							0.0			0.0
Nº 200	0.074	0.1	0.1		6.7	10.1	84.6	6.5	4 - 8		6.0 6.5
pasa											

### REPRESENTACIÓN GRÁFICA

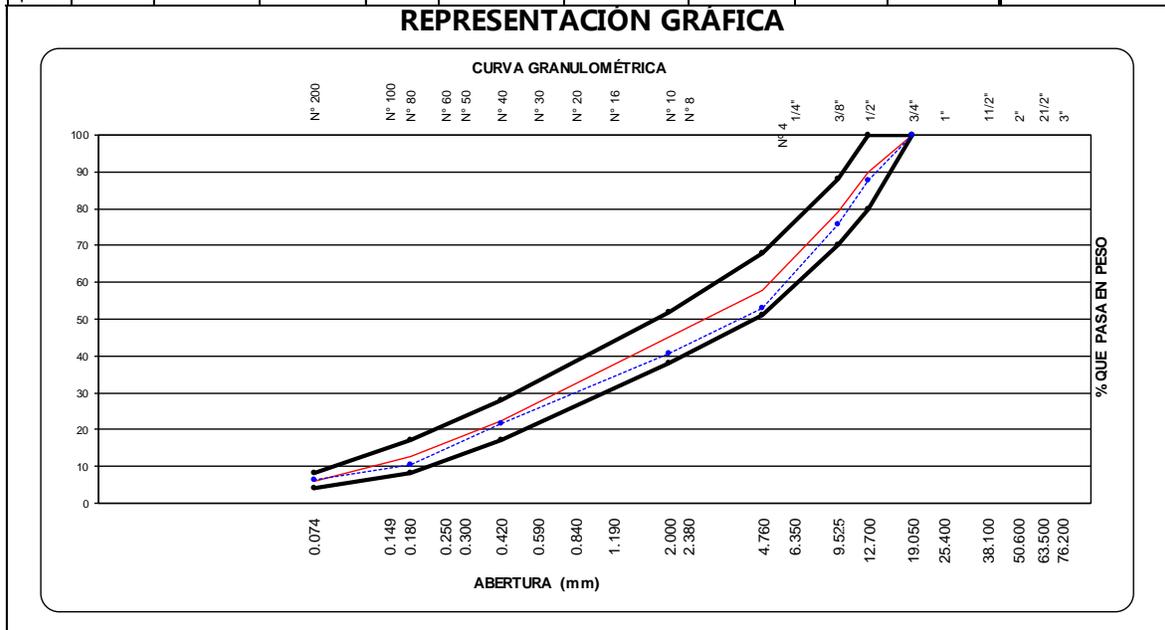


Figura 13 Diseño de mezcla de agregados según MAC

En la figura 13 nos muestra los porcentajes que debemos de mezclar en proporciones de:

Agregado grueso en peso de la mezcla > N°4 (chancado) = 43.44%

Agregado fino en peso de la mezcla < N°4 = 49.17%

Filler en peso de la mezcla = 1.89%

Y con estas proporciones diseñaremos las probetas para someterlas a los ensayos respectivos.

### 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 4.5%

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

**Tabla 11 Resumen contenido de cemento asfáltico 4.5%**

V.M.A.	$100-(2+3+4)*(16/19)$	%	16.5	16.4	16.3	16.4
Vacios llenos con cemento asfáltico	$100*(20-18)/20$	%	61.7	62.0	62.5	62.1
Peso específico del agregado total	$(2+3+4)/((100/17)-(1/5))$	gr/cc	2.693	2.693	2.693	
Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	$(100*5*(22-19))/(22*19)$	%	0.33	0.33	0.33	
Cemento asfáltico efectivo	$1-(23*(2+3+4)/100)$	%	4.18	4.18	4.18	
Lectura del flexímetro		pulg	10.10	9.90	9.80	
Flujo		mm	2.60	2.50	2.50	2.53
Estabilidad sin corregir		kg	972	981	971	
Factor de estabilidad			1.00	1.00	1.00	
Estabilidad corregida		kg	972	981	971	975
Estabilidad - Flujo		kg/cm	3738	3924	3884	3849
Relacion de polvo T <sub>max</sub> 0.0074 mm/Asfalto Efectivo			1			
Compactación, numero de golpes por cara			75			

**Fuente: Elaboración propia**

Podemos observar en la tabla 11 que en el porcentaje de 4.5% los vacíos llenos con cemento asfáltico es de 61.7%, el cemento asfáltico el cemento asfáltico absorbido por el agregado total es de 0.33% y el cemento asfáltico efectivo es de 4.18%, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 2.53 mm en promedio; la estabilidad es de 975 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 3849 kg/cm. En resumen, tiene una buena estabilidad, pero un flujo demasiado bajo.

### 4.3.2. ANÁLISIS DE DISEÑO CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO 5.0%

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

**Tabla 12 Resumen contenido de cemento asfáltico 5.0%**

V.M.A.	$100-(2+3+4)*(16/19)$	%	16.3	16.2	16.1	16.2
Vacios llenos con cemento asfáltico	$100*(20-18)/20$	%	71.3	71.7	72.5	71.8
Peso específico del agregado total	$(2+3+4)/((100/17)-(1/5))$	gr/cc	2.693	2.693	2.693	
Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	$(100*5*(22-19))/(22*19)$	%	0.33	0.33	0.33	
Cemento asfáltico efectivo	$1-(23*(2+3+4)/100)$	%	4.69	4.69	4.69	
Lectura del flexímetro		pulg	10.90	10.30	10.10	10.4
Flujo		mm	2.80	2.60	2.60	2.70
Estabilidad sin corregir		kg	1111	1052	1046	
Factor de estabilidad			1.00	1.00	1.00	
Estabilidad corregida		kg	1111	1052	1046	1070
Estabilidad - Flujo		kg/cm	3968	4046	4023	4012
Relacion de polvo Tmax 0.0074 mm/Asfalto Efectivo			1			
Compactación, numero de golpes por cara			75			

**Fuente: Elaboración propia**

Podemos observar que en el porcentaje de 5.0% los vacíos llenos con cemento asfáltico es de 71.8%, el cemento asfáltico absorbido por el agregado total es de 0.33% y el cemento asfáltico efectivo es de 4.69%, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 2.70 mm en promedio; la estabilidad es de 1070 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 4012 kg/cm. En resumen, tiene una buena estabilidad, pero un flujo demasiado bajo.

### 4.3.3. 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 13 Resumen contenido de cemento asfáltico 5.5%**

V.M.A.	$100 - (2+3+4) * (16/19)$	%	16.0	16.1	16.0	16.0
Vacios llenos con cemento asfáltico	$100 * (20-18) / 20$	%	80.0	79.3	80.0	79.8
Peso específico del agregado total	$(2+3+4) / ((100/17) - (1/5))$	gr/cc	2.693	2.693	2.693	
Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	$(100 * 5 * (22-19)) / (22 * 19)$	%	0.33	0.33	0.33	
Cemento asfáltico efectivo	$1 - (23 * (2+3+4)) / 100$	%	5.19	5.19	5.19	
Lectura del flexímetro		pulg	11.90	12.00	12.20	12.0
Flujo		mm	3.00	3.00	3.10	3.0
Estabilidad sin corregir		kg	1061	1066	1065	
Factor de estabilidad			1.00	1.00	1.00	
Estabilidad corregida		kg	1081	1066	1065	1071
Estabilidad - Flujo		kg/cm	3603	3553	3435	3531
Relacion de polvo Tmax 0.0074 mm/Asfalto Efectivo			1			
Compactación, numero de golpes por cara			75			

**Fuente: Elaboración propia**

Podemos observar que en el porcentaje de 5.5% los vacíos llenos con cemento asfáltico es de 79.8%, el cemento asfáltico el cemento asfáltico absorbido por el agregado total es de 0.33% y el cemento asfáltico efectivo es de 5.19%, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 3.00 mm en promedio; la estabilidad es de 1071 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 3531 kg/cm. En resumen, tiene una buena estabilidad, un buen flujo, una buena proporción de vacíos llenos y también su colocación será mucho más fácil que los anteriores.

#### **4.3.4. 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 14 Resumen contenido de cemento asfáltico 6.0%**

V.M.A.	$100 - (2+3+4) * (16/19)$	%	16.1	16.0	16.3	16.2
Vacios llenos con cemento asfáltico	$100 * (20-18) / 20$	%	86.6	87.0	85.2	86.3
Peso específico del agregado total	$(2+3+4) / ((100/17) - (1/5))$	gr/cc	2.693	2.693	2.693	
Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	$(100 * 5 * (22-19)) / (22 * 19)$	%	0.33	0.33	0.33	
Cemento asfáltico efectivo	$1 - (23 * (2+3+4)) / 100$	%	5.69	5.69	5.69	
Lectura del flexímetro		pulg	14.50	13.90	13.90	14.1
Flujo		mm	3.70	3.50	3.50	3.6
Estabilidad sin corregir		kg	1021	1033	1018	
Factor de estabilidad			1.00	1.00	1.00	
Estabilidad corregida		kg	1021	1033	1018	1024
Estabilidad - Flujo		kg/cm	2759	2951	2909	2873
Relacion de polvo Tmax 0.0074 mm/Asfalto Efectivo			1			
Compactación, numero de golpes por cara			75			

**Fuente: Elaboración propia**

Podemos observar que en el porcentaje de 6.0% los vacíos llenos con cemento asfáltico es de 86.3%, el cemento asfáltico el cemento asfáltico absorbido por el agregado total es de 0.33% y el cemento asfáltico efectivo es de 5.69%, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 3.6 mm en promedio; la estabilidad es de 1024 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 2873 kg/cm. En resumen, tiene una estabilidad un poco baja, aunque el flujo es bueno.

#### **4.3.5. ANÁLISIS DE DISEÑO CONTENIDO DE CEMENTO ASFÁLTICO 6.5%**

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

**Tabla 15 Resumen contenido de cemento asfáltico 6.5%**

V.M.A.	$100 - (2+3+4) * (16/19)$	%	17.0	16.9	16.7	16.9
Vacios llenos con cemento asfáltico	$100 * (20 - 18) / 20$	%	92.9	93.3	94.5	93.6
Peso específico del agregado total	$(2+3+4) / ((100/17) - (1/5))$	gr/cc	2.693	2.693	2.693	
Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	$(100 * 5 * (22 - 19)) / (22 * 19)$	%	0.33	0.33	0.33	
Cemento asfáltico efectivo	$1 - (23 * (2+3+4) / 100)$	%	6.19	6.19	6.19	
Lectura del flexímetro		pulg	15.70	16.80	15.20	15.9
Flujo		mm	4.00	4.30	3.90	4.1
Estabilidad sin corregir		kg	892	907	899	
Factor de estabilidad			1.00	1.00	1.00	
Estabilidad corregida		kg	892	907	899	899
Estabilidad - Flujo		kg/cm	2230	2109	2305	2215
Relacion de polvo Tmax 0.0074 mm/Asfalto Efectivo			1			
Compactación, numero de golpes por cara			75			

**Fuente: Elaboración propia**

Podemos observar que en el porcentaje de 6.5% los vacíos llenos con cemento asfáltico es de 93.6%, el cemento asfáltico el cemento asfáltico absorbido por el agregado total es de 0.33% y el cemento asfáltico efectivo es de 6.19%, así mismo podemos observar que tiene un flujo de 4.1 mm en promedio; la estabilidad es de 899 kg en promedio y finalmente la relación estabilidad – flujo es de 2215 kg/cm. En resumen, tiene una estabilidad baja, es muy fluido lo cual perjudicaría en la colocación.

#### **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 asfáltico 5.5% ya que tiene un flujo y estabilidad óptimos para la colocación en terreno, según la cantidad optima obtenida procederemos a cambiar el porcentaje de piedra chancada por canto rodado en porcentajes que aumentan en 10% y ensayando cuatro probetas por porcentaje elaborando en total de 40 probetas de carpeta asfáltica.

#### 4.4.1. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON 100% DE AGREGADO CHANCADO Y 0% DE CANTO RODADO

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

**Tabla 16 Resumen contenido de canto rodado de 0% y piedra chancada 100%**

V.M.A.	$100 - (2+3+4) * (16/19)$	%	16.0	16.1	16.0	16.0	16.0
Vacios llenos con cemento asfáltico	$100 * (20 - 18) / 20$	%	80.0	79.3	80.0	80.0	79.8
Peso específico del agregado total	$(2+3+4) / ((100/17) - (1/5))$	gr/cc	2.693	2.693	2.693	2.693	
Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	$(100 * 5 * (22 - 19)) / (22 * 19)$	%	0.33	0.33	0.33	0.33	
Cemento asfáltico efectivo	$1 - (23 * (2+3+4) / 100)$	%	5.19	5.19	5.19	5.19	
Lectura del flexímetro		pulg	11.90	12.00	12.20	12.10	12.1
Flujo		mm	3.02	3.05	3.10	3.07	3.1
Estabilidad sin corregir		kg	1061	1066	1065	1064	
Factor de estabilidad			1.00	1.00	1.00	1.00	
Estabilidad corregida		kg	1061	1066	1065	1064	1064
Estabilidad - Flujo		kg/cm	3510	3497	3437	3462	3477
Relacion de polvo T <sub>max</sub> 0.0074 mm/Asfalto Efectivo			1				
Compactación, numero de golpes por cara			75				

**Fuente: Elaboración propia**

La tabla 16 muestra las 4 probetas que se realizaron y ensayaron con un porcentaje de agregado grueso en peso de la mezcla > N°4 (canto rodado) de 0.00% y de agregado grueso en peso de la mezcla > N°4 (chancado) de 43.33%.

Donde observamos que tiene vacíos en el agregado mineral de 16.0% en promedio, vacíos llenos con cemento asfáltico de 79.8% en promedio, lectura del flexímetro de 12.1 pulg/100 en promedio, un flujo de 3.1 mm en promedio, una estabilidad de 1064 kg en promedio y una relación estabilidad – flujo de 3477 kg/cm, una compactación de 75 golpes por cara.

#### 4.4.2. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON 90% DE AGREGADO CHANCADO Y 10% DE CANTO RODADO

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

**Tabla 17 Resumen contenido de canto rodado de 10% y piedra chancada 90%**

V.M.A.	$100 - (2+3+4) * (16/19)$	%	16.0	16.1	16.0	16.0	16.0
Vacios llenos con cemento asfáltico	$100 * (20 - 18) / 20$	%	80.0	79.3	80.0	80.0	79.8
Peso específico del agregado total	$(2+3+4) / ((100/17) - (1/5))$	gr/cc	2.693	2.693	2.693	2.693	
Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	$(100 * 5 * (22 - 19)) / (22 * 19)$	%	0.33	0.33	0.33	0.33	
Cemento asfáltico efectivo	$1 - (23 * (2+3+4) / 100)$	%	5.20	5.20	5.20	5.20	
Lectura del flexímetro		pulg	12.20	12.10	12.20	12.10	12.2
Flujo		mm	3.10	3.07	3.10	3.07	3.1
Estabilidad sin corregir		kg	900	898	898	896	
Factor de estabilidad			1.00	1.00	1.00	1.00	
Estabilidad corregida		kg	900	898	898	896	898
Estabilidad - Flujo		kg/cm	2904	2922	2898	2915	2910
Relacion de polvo T <sub>max</sub> 0.0074 mm/Asfalto Efectivo			1				
Compactación, numero de golpes por cara			75				

**Fuente: Elaboración propia**

La tabla 17 muestra las 4 probetas que se realizaron y ensayaron con un porcentaje de agregado grueso en peso de la mezcla > N°4 (canto rodado) de 4.34% y de agregado grueso en peso de la mezcla > N°4 (chancado) de 39.10%.

Donde observamos que tiene vacíos en el agregado mineral de 16.0% en promedio, vacíos llenos con cemento asfáltico de 79.8% en promedio, lectura del flexímetro de 12.2 pulg/100 en promedio, un flujo de 3.1 mm en promedio, una estabilidad de 898 kg en promedio y una relación estabilidad – flujo de 2910 kg/cm, una compactación de 75 golpes por cara.

#### 4.4.3. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON 80% DE AGREGADO CHANCADO Y 20% DE CANTO RODADO

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

**Tabla 18 Resumen contenido de canto rodado de 20% y piedra chancada 80%**

V.M.A.	$100 - (2+3+4) * (16/19)$	%	16.0	16.1	16.1	16.0	16.1
Vacios llenos con cemento asfáltico	$100 * (20 - 18) / 20$	%	80.0	79.3	80.0	80.0	79.8
Peso específico del agregado total	$(2+3+4) / ((100/17) - (1/5))$	gr/cc	2.693	2.693	2.693	2.693	
Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	$(100 * 5 * (22 - 19)) / (22 * 19)$	%	0.33	0.33	0.33	0.33	
Cemento asfáltico efectivo	$1 - (23 * (2+3+4) / 100)$	%	5.22	5.22	5.22	5.22	
Lectura del flexímetro		pulg	12.50	12.45	12.50	12.55	12.5
Flujo		mm	3.18	3.16	3.18	3.19	3.2
Estabilidad sin corregir		kg	802	801	800	798	
Factor de estabilidad			1.00	1.00	1.00	1.00	
Estabilidad corregida		kg	802	801	800	798	800
Estabilidad - Flujo		kg/cm	2526	2533	2520	2503	2521
Relacion de polvo T <sub>max</sub> 0.0074 mm/Asfalto Efectivo			1				
Compactación, numero de golpes por cara			75				

**Fuente: Elaboración propia**

La tabla 18 muestra las 4 probetas que se realizaron y ensayaron con un porcentaje de agregado grueso en peso de la mezcla > N°4 (canto rodado) de 8.69% y de agregado grueso en peso de la mezcla > N°4 (chancado) de 34.75%.

Donde observamos que tiene vacíos en el agregado mineral de 16.1% en promedio, vacíos llenos con cemento asfáltico de 79.8% en promedio, lectura del flexímetro de 12.5 pulg/100 en promedio, un flujo de 3.2 mm en promedio, una estabilidad de 800 kg en promedio y una relación estabilidad – flujo de 2521 kg/cm, una compactación de 75 golpes por cara.

#### 4.4.4. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON 70% DE AGREGADO CHANCADO Y 30% DE CANTO RODADO

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

**Tabla 19 Resumen contenido de canto rodado de 30% y piedra chancada 70%**

V.M.A.	$100 - (2+3+4) * (16/19)$	%	16.0	16.1	16.1	16.0	16.1
Vacios llenos con cemento asfáltico	$100 * (20 - 18) / 20$	%	80.0	79.3	80.0	80.0	79.8
Peso específico del agregado total	$(2+3+4) / ((100/17) - (1/5))$	gr/cc	2.693	2.693	2.693	2.693	
Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	$(100 * 5 * (22 - 19)) / (22 * 19)$	%	0.33	0.33	0.33	0.33	
Cemento asfáltico efectivo	$1 - (23 * (2+3+4) / 100)$	%	5.23	5.23	5.23	5.23	
Lectura del flexímetro		pulg	13.00	12.90	12.95	12.90	12.9
Flujo		mm	3.30	3.28	3.29	3.28	3.3
Estabilidad sin corregir		kg	682	690	687	688	
Factor de estabilidad			1.00	1.00	1.00	1.00	
Estabilidad corregida		kg	682	690	687	688	687
Estabilidad - Flujo		kg/cm	2065	2106	2089	2100	2090
Relacion de polvo T <sub>max</sub> 0.0074 mm/Asfalto Efectivo			1				
Compactación, numero de golpes por cara			75				

**Fuente: Elaboración propia**

La tabla 19 muestra las 4 probetas que se realizaron y ensayaron con un porcentaje de agregado grueso en peso de la mezcla > N°4 (canto rodado) de 13.03% y de agregado grueso en peso de la mezcla > N°4 (chancado) de 30.41%.

Donde observamos que tiene vacíos en el agregado mineral de 16.1% en promedio, vacíos llenos con cemento asfáltico de 79.8% en promedio, lectura del flexímetro de 12.9 pulg/100 en promedio, un flujo de 3.3 mm en promedio, una estabilidad de 687 kg en promedio y una relación estabilidad – flujo de 2090 kg/cm, una compactación de 75 golpes por cara.

#### 4.4.5. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON 60% DE AGREGADO CHANCADO Y 40% DE CANTO RODADO

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

**Tabla 20 Resumen contenido de canto rodado de 40% y piedra chancada 60%**

V.M.A.	$100 - (2+3+4) * (16/19)$	%	16.0	16.1	16.1	16.0	16.1
Vacios llenos con cemento asfáltico	$100 * (20 - 18) / 20$	%	80.0	79.3	80.0	80.0	79.8
Peso específico del agregado total	$(2+3+4) / ((100/17) - (1/5))$	gr/cc	2.693	2.693	2.693	2.693	
Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	$(100 * 5 * (22 - 19)) / (22 * 19)$	%	0.33	0.33	0.33	0.33	
Cemento asfáltico efectivo	$1 - (23 * (2+3+4) / 100)$	%	5.25	5.25	5.25	5.25	
Lectura del flexímetro		pulg	13.50	13.45	13.40	13.45	13.5
Flujo		mm	3.43	3.42	3.40	3.42	3.4
Estabilidad sin corregir		kg	600	602	598	597	
Factor de estabilidad			1.00	1.00	1.00	1.00	
Estabilidad corregida		kg	600	602	598	597	599
Estabilidad - Flujo		kg/cm	1750	1762	1757	1748	1754
Relacion de polvo T <sub>max</sub> 0.0074 mm/Asfalto Efectivo			1				
Compactación, numero de golpes por cara			75				

**Fuente: Elaboración propia**

La tabla 20 muestra las 4 probetas que se realizaron y ensayaron con un porcentaje de agregado grueso en peso de la mezcla > N°4 (canto rodado) de 17.38% y de agregado grueso en peso de la mezcla > N°4 (chancado) de 26.06%.

Donde observamos que tiene vacíos en el agregado mineral de 16.1% en promedio, vacíos llenos con cemento asfáltico de 79.8% en promedio, lectura del flexímetro de 13.5 pulg/100 en promedio, un flujo de 3.4 mm en promedio, una estabilidad de 599 kg en promedio y una relación estabilidad – flujo de 1754 kg/cm, una compactación de 75 golpes por cara.

#### 4.4.6. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON 50% DE AGREGADO CHANCADO Y 50% DE CANTO RODADO

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

**Tabla 21 Resumen contenido de canto rodado de 50% y piedra chancada 50%**

V.M.A.	$100 - (2+3+4) * (16/19)$	%	16.0	16.1	16.1	16.0	16.1
Vacios llenos con cemento asfáltico	$100 * (20 - 18) / 20$	%	80.0	79.3	80.0	80.0	79.8
Peso específico del agregado total	$(2+3+4) / ((100/17) - (1/5))$	gr/cc	2.693	2.693	2.693	2.693	
Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	$(100 * 5 * (22 - 19)) / (22 * 19)$	%	0.33	0.33	0.33	0.33	
Cemento asfáltico efectivo	$1 - (23 * (2+3+4) / 100)$	%	5.26	5.26	5.26	5.26	
Lectura del flexímetro		pulg	13.85	13.87	13.90	13.88	13.9
Flujo		mm	3.52	3.52	3.53	3.53	3.5
Estabilidad sin corregir		kg	550	542	548	544	
Factor de estabilidad			1.00	1.00	1.00	1.00	
Estabilidad corregida		kg	550	542	548	544	546
Estabilidad - Flujo		kg/cm	1563	1538	1552	1543	1549
Relacion de polvo T <sub>max</sub> 0.0074 mm/Asfalto Efectivo			1				
Compactación, numero de golpes por cara			75				

**Fuente: Elaboración propia**

La tabla 21 muestra las 4 probetas que se realizaron y ensayaron con un porcentaje de agregado grueso en peso de la mezcla > N°4 (canto rodado) de 21.72% y de agregado grueso en peso de la mezcla > N°4 (chancado) de 21.72%.

Donde observamos que tiene vacíos en el agregado mineral de 16.1% en promedio, vacíos llenos con cemento asfáltico de 79.8% en promedio, lectura del flexímetro de 13.9 pulg/100 en promedio, un flujo de 3.5 mm en promedio, una estabilidad de 546 kg en promedio y una relación estabilidad – flujo de 1549 kg/cm, una compactación de 75 golpes por cara.

#### 4.4.7. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON 40% DE AGREGADO CHANCADO Y 60% DE CANTO RODADO

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

**Tabla 22 Resumen contenido de canto rodado de 60% y piedra chancada 40%**

V.M.A.	$100 - (2+3+4) * (16/19)$	%	16.0	16.1	16.1	16.0	16.1
Vacios llenos con cemento asfáltico	$100 * (20 - 18) / 20$	%	80.0	79.3	80.0	80.0	79.8
Peso específico del agregado total	$(2+3+4) / ((100/17) - (1/5))$	gr/cc	2.693	2.693	2.693	2.693	
Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	$(100 * 5 * (22 - 19)) / (22 * 19)$	%	0.33	0.33	0.33	0.33	
Cemento asfáltico efectivo	$1 - (23 * (2+3+4) / 100)$	%	5.27	5.27	5.27	5.27	
Lectura del flexímetro		pulg	14.20	14.22	14.21	14.22	14.2
Flujo		mm	3.61	3.61	3.61	3.61	3.6
Estabilidad sin corregir		kg	500	498	505	503	
Factor de estabilidad			1.00	1.00	1.00	1.00	
Estabilidad corregida		kg	500	498	505	503	502
Estabilidad - Flujo		kg/cm	1386	1379	1399	1393	1389
Relacion de polvo T <sub>max</sub> 0.0074 mm/Asfalto Efectivo			1				
Compactación, numero de golpes por cara			75				

**Fuente: Elaboración propia**

La tabla 22 muestra las 4 probetas que se realizaron y ensayaron con un porcentaje de agregado grueso en peso de la mezcla > N°4 (canto rodado) de 26.06% y de agregado grueso en peso de la mezcla > N°4 (chancado) de 17.38%.

Donde observamos que tiene vacíos en el agregado mineral de 16.1% en promedio, vacíos llenos con cemento asfáltico de 79.8% en promedio, lectura del flexímetro de 14.2 pulg/100 en promedio, un flujo de 3.6 mm en promedio, una estabilidad de 502 kg en promedio y una relación estabilidad – flujo de 1389 kg/cm, una compactación de 75 golpes por cara.

#### 4.4.8. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON 30% DE AGREGADO CHANCADO Y 70% DE CANTO RODADO

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

**Tabla 23 Resumen contenido de canto rodado de 70% y piedra chancada 30%**

V.M.A.	$100 - (2+3+4) * (16/19)$	%	16.0	16.1	16.1	16.0	16.1
Vacios llenos con cemento asfáltico	$100 * (20 - 18) / 20$	%	80.0	79.3	80.0	80.0	79.8
Peso específico del agregado total	$(2+3+4) / ((100/17) - (1/5))$	gr/cc	2.693	2.693	2.693	2.693	
Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	$(100 * 5 * (22 - 19)) / (22 * 19)$	%	0.33	0.33	0.33	0.33	
Cemento asfáltico efectivo	$1 - (23 * (2+3+4) / 100)$	%	5.29	5.29	5.29	5.29	
Lectura del flexímetro		pulg	14.85	14.90	14.78	14.95	14.9
Flujo		mm	3.77	3.78	3.75	3.80	3.8
Estabilidad sin corregir		kg	501	499	497	496	
Factor de estabilidad			1.00	1.00	1.00	1.00	
Estabilidad corregida		kg	501	499	497	496	498
Estabilidad - Flujo		kg/cm	1328	1319	1324	1306	1319
Relacion de polvo T <sub>max</sub> 0.0074 mm/Asfalto Efectivo			1				
Compactación, numero de golpes por cara			75				

**Fuente: Elaboración propia**

La tabla 23 muestra las 4 probetas que se realizaron y ensayaron con un porcentaje de agregado grueso en peso de la mezcla > N°4 (canto rodado) de 30.41% y de agregado grueso en peso de la mezcla > N°4 (chancado) de 13.03%.

Donde observamos que tiene vacíos en el agregado mineral de 16.1% en promedio, vacíos llenos con cemento asfáltico de 79.8% en promedio, lectura del flexímetro de 14.9 pulg/100 en promedio, un flujo de 3.8 mm en promedio, una estabilidad de 498 kg en promedio y una relación estabilidad – flujo de 1319 kg/cm, una compactación de 75 golpes por cara.

#### 4.4.9. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON 20% DE AGREGADO CHANCADO Y 80% DE CANTO RODADO

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

**Tabla 24 Resumen contenido de canto rodado de 80% y piedra chancada 20%**

V.M.A.	$100 - (2+3+4) * (16/19)$	%	16.0	16.1	16.1	16.0	16.1
Vacios llenos con cemento asfáltico	$100 * (20 - 18) / 20$	%	80.0	79.3	80.0	80.0	79.8
Peso específico del agregado total	$(2+3+4) / ((100/17) - (1/5))$	gr/cc	2.693	2.693	2.693	2.693	
Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	$(100 * 5 * (22 - 19)) / (22 * 19)$	%	0.33	0.33	0.33	0.33	
Cemento asfáltico efectivo	$1 - (23 * (2+3+4) / 100)$	%	5.30	5.30	5.30	5.30	
Lectura del flexímetro		pulg	15.20	15.22	15.24	15.30	15.2
Flujo		mm	3.86	3.87	3.87	3.89	3.9
Estabilidad sin corregir		kg	482	480	478	479	
Factor de estabilidad			1.00	1.00	1.00	1.00	
Estabilidad corregida		kg	482	480	478	479	480
Estabilidad - Flujo		kg/cm	1248	1242	1235	1233	1239
Relacion de polvo T <sub>max</sub> 0.0074 mm/Asfalto Efectivo			1				
Compactación, numero de golpes por cara			75				

**Fuente: Elaboración propia**

La tabla 24 muestra las 4 probetas que se realizaron y ensayaron con un porcentaje de agregado grueso en peso de la mezcla > N°4 (canto rodado) de 34.75% y de agregado grueso en peso de la mezcla > N°4 (chancado) de 8.69%.

Donde observamos que tiene vacíos en el agregado mineral de 16.1% en promedio, vacíos llenos con cemento asfáltico de 79.8% en promedio, lectura del flexímetro de 15.2 pulg/100 en promedio, un flujo de 3.9 mm en promedio, una estabilidad de 480 kg en promedio y una relación estabilidad – flujo de 1239 kg/cm, una compactación de 75 golpes por cara.

#### 4.4.10. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON 10% DE AGREGADO CHANCADO Y 90% DE CANTO RODADO

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

**Tabla 25 Resumen contenido de canto rodado de 90% y piedra chancada 10%**

V.M.A.	$100 - (2+3+4) * (16/19)$	%	16.0	16.1	16.1	16.0	16.1
Vacios llenos con cemento asfáltico	$100 * (20 - 18) / 20$	%	80.0	79.3	80.0	80.0	79.8
Peso específico del agregado total	$(2+3+4) / ((100/17) - (1/5))$	gr/cc	2.693	2.693	2.693	2.693	
Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	$(100 * 5 * (22 - 19)) / (22 * 19)$	%	0.33	0.33	0.33	0.33	
Cemento asfáltico efectivo	$1 - (23 * (2+3+4) / 100)$	%	5.32	5.32	5.32	5.32	
Lectura del flexímetro		pulg	15.64	15.62	15.66	15.64	15.6
Flujo		mm	3.97	3.97	3.98	3.97	4.0
Estabilidad sin corregir		kg	461	460	458	462	
Factor de estabilidad			1.00	1.00	1.00	1.00	
Estabilidad corregida		kg	461	460	458	462	460
Estabilidad - Flujo		kg/cm	1160	1159	1151	1163	1159
Relacion de polvo T <sub>max</sub> 0.0074 mm/Asfalto Efectivo			1				
Compactación, numero de golpes por cara			75				

**Fuente: Elaboración propia**

La tabla 25 muestra las 4 probetas que se realizaron y ensayaron con un porcentaje de agregado grueso en peso de la mezcla > N°4 (canto rodado) de 39.10% y de agregado grueso en peso de la mezcla > N°4 (chancado) de 4.34%.

Donde observamos que tiene vacíos en el agregado mineral de 16.1% en promedio, vacíos llenos con cemento asfáltico de 79.8% en promedio, lectura del flexímetro de 15.6 pulg/100 en promedio, un flujo de 4.0 mm en promedio, una estabilidad de 460 kg en promedio y una relación estabilidad – flujo de 1159 kg/cm, una compactación de 75 golpes por cara.

#### 4.4.11. ANALISIS DE ENSAYOS REALIZADOS CON 00% DE AGREGADO CHANCADO Y 100% DE CANTO RODADO

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

**Tabla 26 Resumen contenido de canto rodado de 100% y piedra chancada 0%**

V.M.A.	$100 - (2+3+4) * (16/19)$	%	16.0	16.1	16.1	16.0	16.1
Vacios llenos con cemento asfáltico	$100 * (20 - 18) / 20$	%	80.0	79.3	80.0	80.0	79.8
Peso específico del agregado total	$(2+3+4) / ((100/17) - (1/5))$	gr/cc	2.693	2.693	2.693	2.693	
Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	$(100 * 5 * (22 - 19)) / (22 * 19)$	%	0.33	0.33	0.33	0.33	
Cemento asfáltico efectivo	$1 - (23 * (2+3+4) / 100)$	%	5.33	5.33	5.33	5.33	
Lectura del flexímetro		pulg	16.10	16.00	16.15	16.12	16.1
Flujo		mm	4.09	4.06	4.10	4.09	4.1
Estabilidad sin corregir		kg	450	440	445	448	
Factor de estabilidad			1.00	1.00	1.00	1.00	
Estabilidad corregida		kg	450	440	445	448	446
Estabilidad - Flujo		kg/cm	1100	1083	1085	1094	1091
Relacion de polvo T <sub>max</sub> 0.0074 mm/Asfalto Efectivo			1				
Compactación, numero de golpes por cara			75				

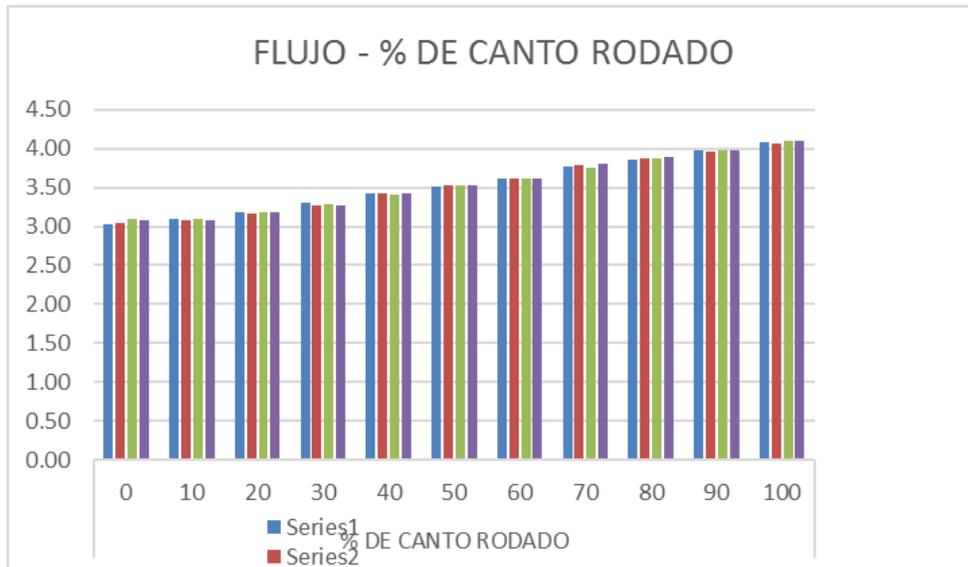
**Fuente: Elaboración propia**

La tabla 26 muestra las 4 probetas que se realizaron y ensayaron con un porcentaje de agregado grueso en peso de la mezcla > N°4 (canto rodado) de 43.44% y de agregado grueso en peso de la mezcla > N°4 (chancado) de 0.00%.

Donde observamos que tiene vacíos en el agregado mineral de 16.1% en promedio, vacíos llenos con cemento asfáltico de 79.8% en promedio, lectura del flexímetro de 16.1 pulg/100 en promedio, un flujo de 4.1 mm en promedio, una estabilidad de 446 kg en promedio y una relación estabilidad – flujo de 1091 kg/cm, una compactación de 75 golpes por cara.

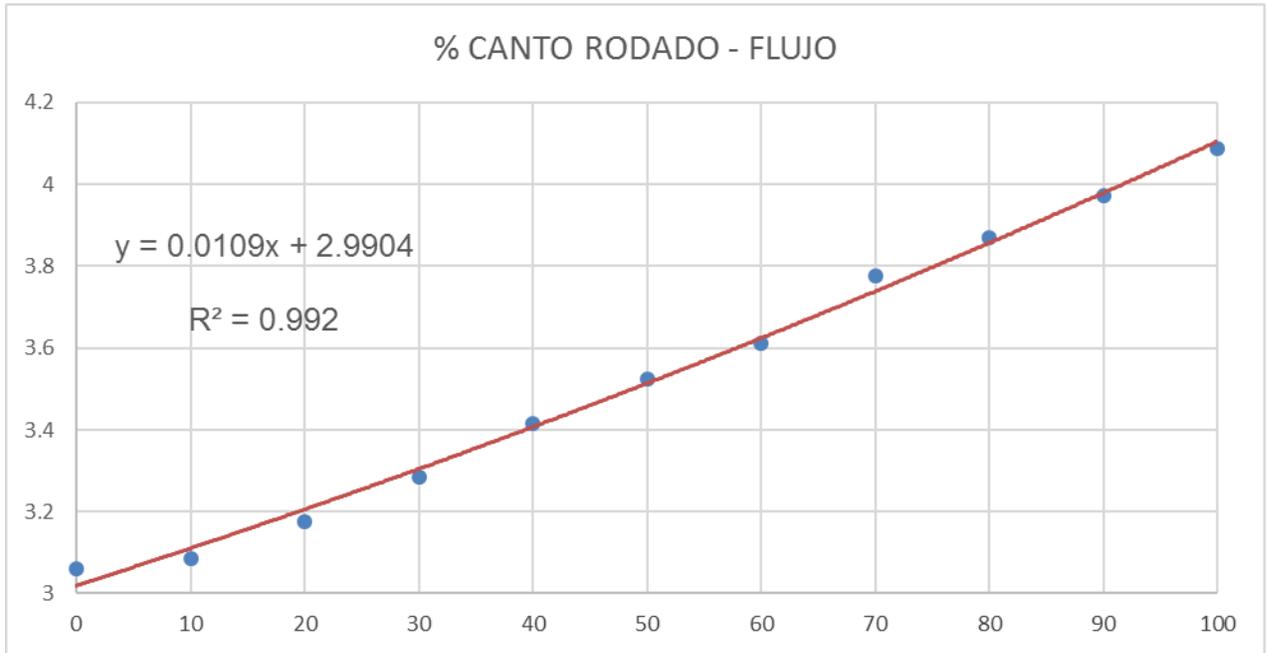
#### 4.6. RESULTADO DEL PORCENTAJE MAXIMO DE CANTO RODADO SEGÚN CONTENIDO OPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO Y FLUJO.

A continuación, mostraremos las 4 probetas que se realizaron y ensayaron con un porcentaje de agregado grueso en peso de la mezcla > N°4 (canto rodado) de 00% a 100% y de agregado grueso en peso de la mezcla > N°4 (chancado) de 100% a 0.00%.



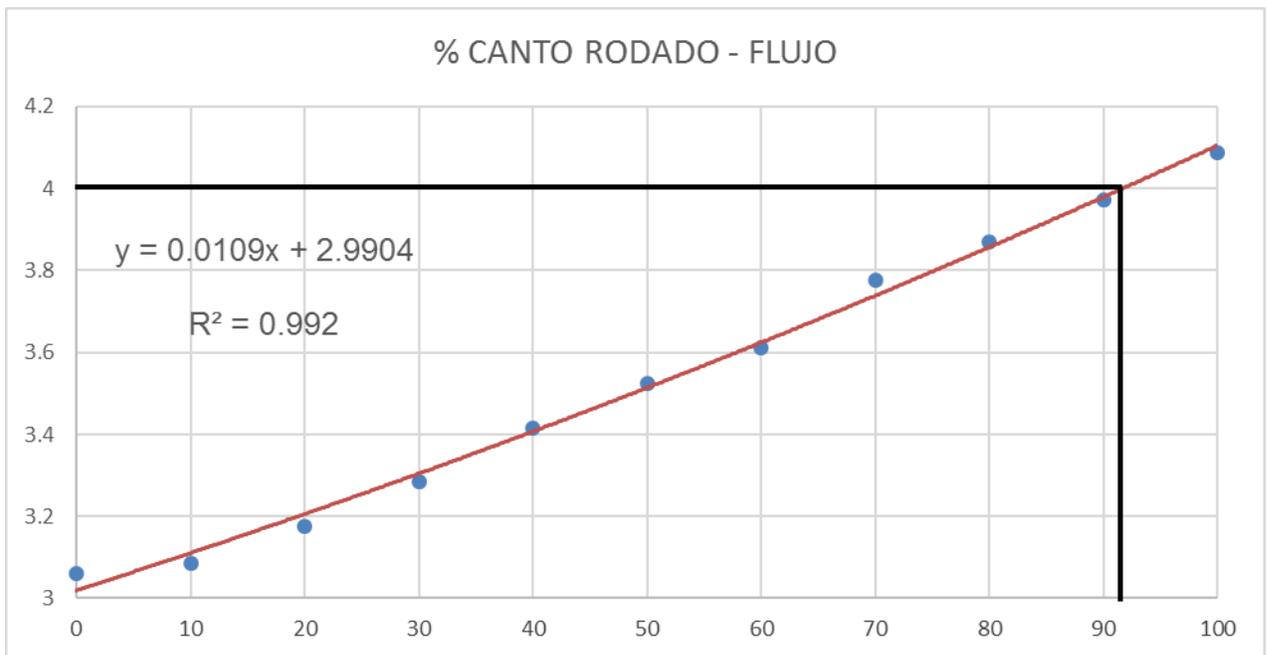
**Figura 14 Flujo según % de canto rodado**

Como observamos en la figura 14 las muestras realizadas se encuentran relativamente cercanas en la estabilidad según el porcentaje de canto rodado, observamos picos de 3.02 mm y bajos de hasta 4 mm.



**Figura 15 Grafica Flujo - Porcentaje de canto rodado**

En la figura 15 mostramos la curva generada según los promedios de estabilidades para así poder obtener hasta que porcentaje de canto rodado es viable utilizar en la carpeta asfáltica. También observamos la ecuación de la curva generada por una regresión lineal.

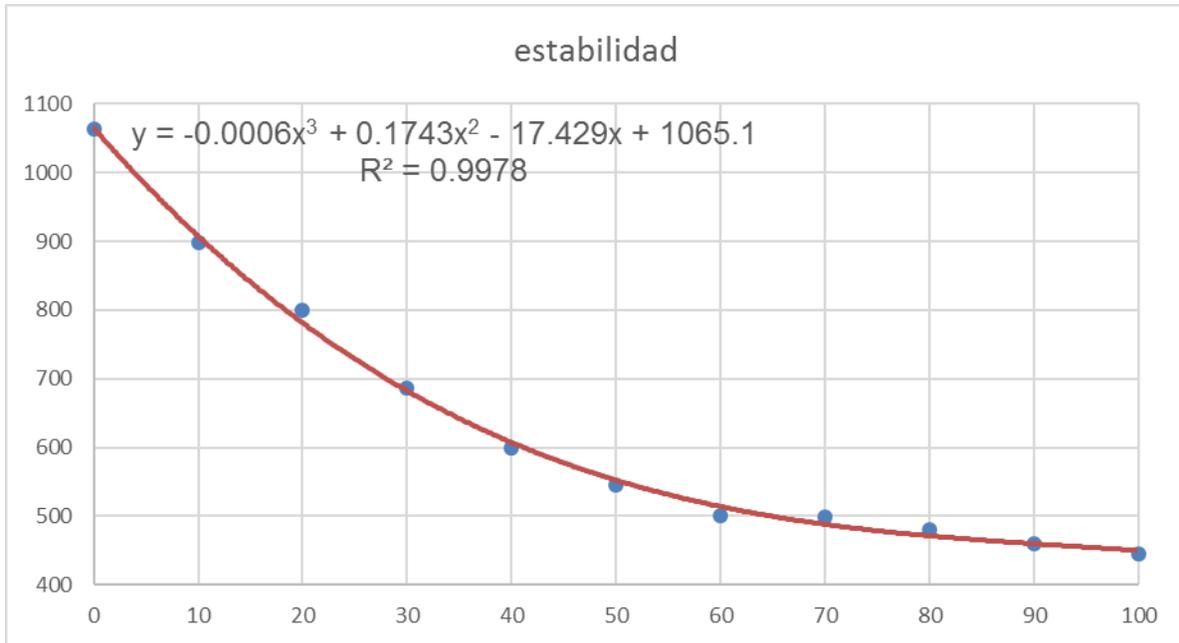


**Figura 16 Porcentaje de canto rodado viable**

Como podemos observar en la figura 16 el flujo máximo aceptable es de 4.0 mm, sacando de estos conceptos podemos constatar que el porcentaje máximo de canto rodado sería un 92% aproximadamente.

#### 4.7. RESULTADO DEL PORCENTAJE MAXIMO DE CANTO RODADO SEGÚN CONTENIDO OPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO Y ESTABILIDAD.

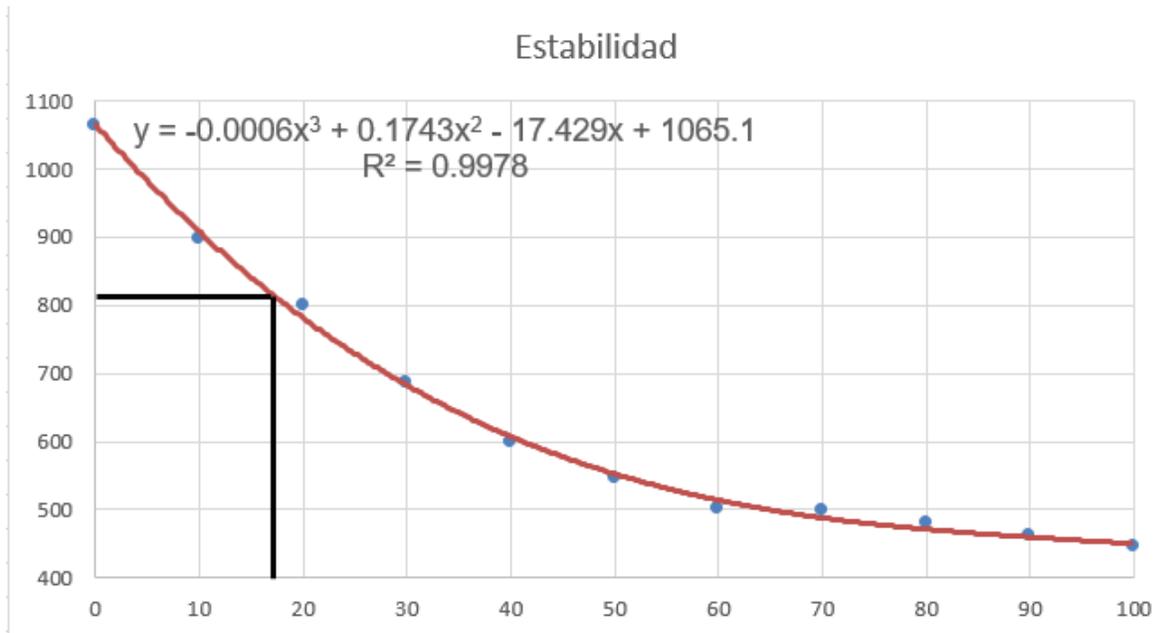
A continuación, mostraremos el promedio de las 4 probetas que se realizaron y ensayaron con un porcentaje de agregado grueso en peso de la mezcla > N°4 (canto rodado) de 00% a 100% y de agregado grueso en peso de la mezcla > N°4 (chancado) de 100% a 0.00%.



**Figura 17 Estabilidad según % de canto rodado**

Como observamos en la figura 17 las muestras realizadas se encuentran relativamente cercanas en la estabilidad según el porcentaje de canto rodado, observamos picos de 1064 kg y bajos de hasta 446 kg.

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

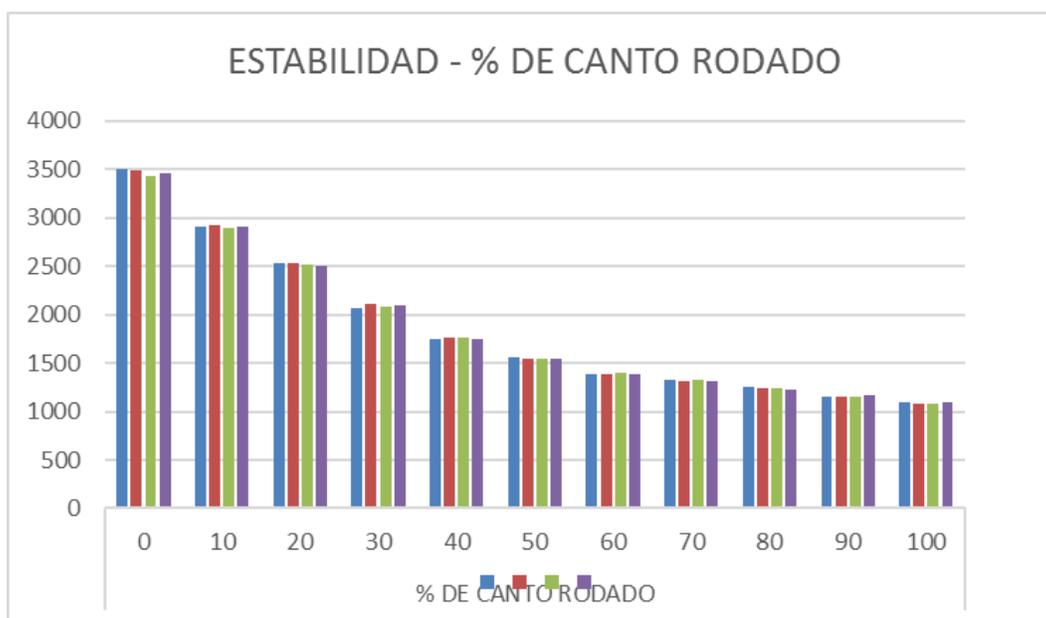


**Figura 18 Porcentaje de canto rodado viable**

Como podemos observar en la figura 18 la estabilidad mínima aceptable es de 815 kg, sacando de estos conceptos podemos constatar que el porcentaje máximo de canto rodado sería un 17% aproximadamente.

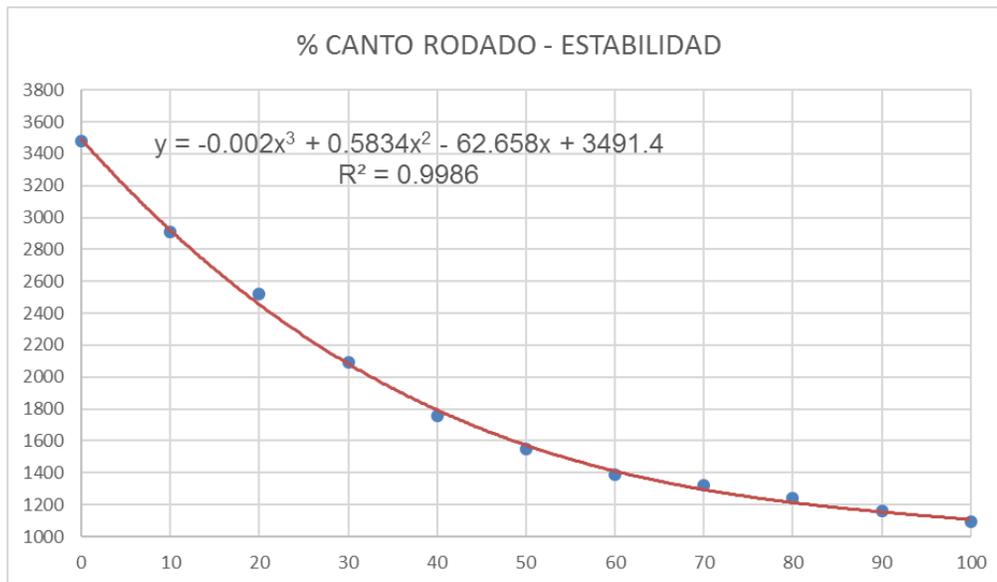
#### 4.5. RESULTADO DEL PORCENTAJE MAXIMO DE CANTO RODADO SEGÚN CONTENIDO OPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO Y RELACION FLUJO - ESTABILIDAD.

A continuación, mostraremos las 4 probetas que se realizaron y ensayaron con un porcentaje de agregado grueso en peso de la mezcla > N°4 (canto rodado) de 00% a 100% y de agregado grueso en peso de la mezcla > N°4 (chancado) de 100% a 0.00%.



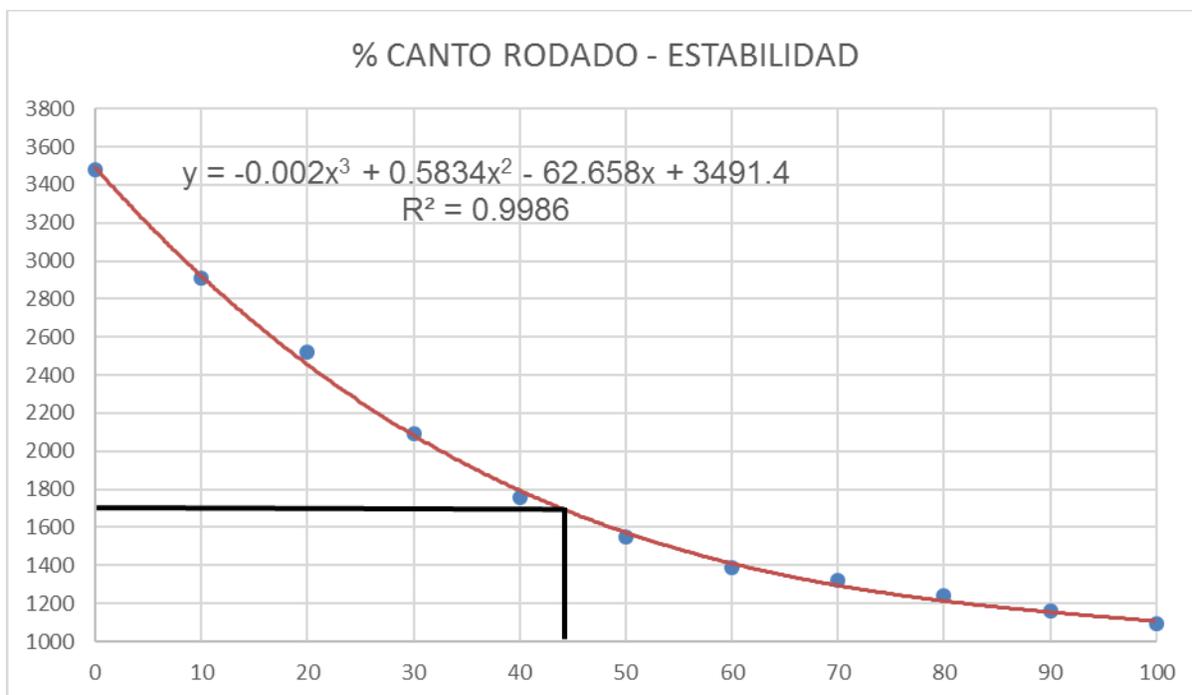
**Figura 19 Estabilidad según % de canto rodado**

Como observamos en la figura 19 las muestras realizadas se encuentran relativamente cercanas en la estabilidad según el porcentaje de canto rodado, observamos picos de 3500 kg/cm y bajos de hasta 1100 kg/cm.



**Figura 20 Grafica Estabilidad - Porcentaje de canto rodado**

En la figura 20 mostramos la curva generada según los promedios de estabildades para así poder obtener hasta que porcentaje de canto rodado es viable utilizar en la carpeta asfáltica. También observamos la ecuación de la curva generada por una regresión polinómica.



**Figura 21 Porcentaje de canto rodado viable**

Como podemos observar en la figura 21 la estabilidad mínima aceptable es de 1700 kg/cm, sacando de estos conceptos podemos constatar que el porcentaje máximo de canto rodado sería un 44% aproximadamente.

## **CAPITULO V**

### **PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS**

#### **5.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS GENERAL**

Afecta el canto rodado de río sin triturar en la estabilidad de las mezclas asfálticas en la ciudad de Huancayo 2017.

Como pudimos observar y analizar en esta investigación canto rodado de río sin triturar si afecta en la estabilidad ya que al aumentar el porcentaje de canto rodado de río sin triturar la estabilidad disminuye y baja hasta valores de 446 kg cuando el mínimo es 815 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 canto rodado de río sin triturar influye en el peso específico de las mezclas asfálticas.

En la investigación se pudo constatar que la diferencia de pesos específicos en cada variación de porcentaje de canto rodado de río sin triturar es mínima variando así un máximo de 1 gramo por centímetro cúbico.

- b) El canto rodado de río sin triturar interviene en el volumen de vacíos de las mezclas asfálticas.

El volumen de vacíos en la presente investigación varía también en una cantidad mínima siendo así, pudimos constatar que hubo una variación máxima de 0.5% en todas las variaciones de canto rodado de río sin triturar.

- c) El canto rodado de río sin triturar afecta en el flujo de la mezcla asfáltica.

Esta hipótesis es verdad debido a que el canto rodado de río sin triturar afecta al flujo de la mezcla asfáltica en forma lineal según el porcentaje que varía poco a poco, pudimos constatar que varía desde 3 hasta 4. Son directamente proporcionales el flujo con la cantidad de canto rodado de río sin triturar.

## CAPITULO VI

### 6.1. CONCLUSIONES

- Mediante la investigación se pudo conocer el efecto del canto rodado de río sin triturar en la estabilidad de carpeta asfáltica la cual nos permitió hacer una conjetura de que mediante la **estabilidad** nos da un máximo de 17% de canto rodado de río sin triturar.
- Mediante la investigación se pudo conocer el efecto del canto rodado de río sin triturar en la estabilidad de carpeta asfáltica la cual nos permitió hacer una conjetura de que mediante el **flujo** nos da un máximo de 92% de canto rodado de río sin triturar.
- Mediante la investigación se pudo conocer el efecto del canto rodado de río sin triturar en la estabilidad de carpeta asfáltica la cual nos permitió hacer una conjetura de que mediante la relación **estabilidad – flujo** nos da un máximo de 44% de canto rodado de río sin triturar.
- De estas conclusiones podremos optar por tomar la mejor opción, pero solo en el aspecto estabilidad y relación estabilidad – flujo, ya que el flujo es algo de menor importancia contando que en la investigación el flujo es óptimo en casi todo el rango de porcentaje.
- Entonces se saca una conclusión que mientras sean carreteras de tráfico se puede llegar a utilizar la relación estabilidad – flujo, pero si el tráfico es moderado solo utilizar la parte de estabilidad.
- Esta investigación no puede ser usada para vías con un tráfico elevado, debido a que en una vía importante es necesario solo usar los ítems nombrados en los diferentes manuales, donde no se considera canto rodado de río sin triturar.

## 6.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la Municipalidad Provincial de Huancayo y a las municipalidades aplicar los estudios realizados, ya que podría ser una alternativa novedosa.
- Se recomienda aplicar estos cálculos en carreteras de bajo tráfico vehicular, debido a que en carreteras importantes se debe de evitar usar canto rodado debido a que puede causar efectos no esperados.
- Se puede aplicar este diseño para poder ahorrar en los costos, debido a que el material procesado es mucho más costoso que el canto rodado, logrando así un ahorro en el costo del proyecto.

## FUENTES DE INFORMACIÓN

- [1] **Loría Guillermo (2009)**. Evaluación de asfaltos modificados en laboratorio con distintos polímeros. Costa Rica. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Lanamme UCR).
- [2] **Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013)**. Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras EG 2013. Perú
- [3] **Asphalt Institute MS-22**. Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente.
- [4] **Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013)**. Manual De Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia Y Pavimentos.
- [5] **Dr. Roberto Hernandez Sampieri, Dr. Carlos Fernández Collado, Dra. María del Pilar Baptista Lucio**. Metodología de la Investigación, quinta edición 2010
- [6] **O. Rebollo; R. González y G. Botasso** Determinación Del Porcentaje De Ligante Óptimo, En Mezclas Asfálticas Abiertas.
- [7] **Monica Andrea Bautista Sanchez** Características Del Asfalto En El Comportamiento De Mezclas Asfálticas Mdc-2 Del Invias.
- [8] **Revista de la Universidad EAFIT**, Colombia (2006).
- [9] **Ing. Henry A. Vergara B.** - “DISEÑO DIRECTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES”.
- [10] **Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia**. Cambios En Las Propiedades Dinámicas De Una Mezcla Asfáltica Por Energía De Compactación Y Variación En La Granulometría.

## TESIS

- [1] **Bonilla H.** Análisis del Sistema de Transporte Publico en la Ciudad de Huancayo. Tesis de pregrado. Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Perú, 2006.
- [2] **Ramírez. G.** Análisis para la determinación del nivel de servicio y demora en intersecciones viales semaforizadas. Tesis Maestría. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Perú, 2004.
- [3] **Esquivel, W.** Elementos de diseño y planeamiento de intersecciones urbanas. Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Perú, 2011.

## DIARIOS

- [1] **Atencio, R.** Vía Expresa solución al transporte en Huancayo. Diario Correo, p. 10. Enero 2014.

## **ANEXOS**