

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO
ESTRUCTURAL DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE Y
MEZCLAS ASFÁLTICAS EMULSIONADAS EN LOS PAVIMENTOS**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: TRANSPORTES

AUTORES: Br. ARANGURI LINARES, JUAN JOSE SEGUNDO
Br. VALVERDE VILLACORTA, HRISTO AUGUSTO

ASESOR: Ing. RODRIGUEZ RAMOS, MAMERTO

TRUJILLO - PERÚ

2018

N° DE REGISTRO:

ACREDITACIONES

TÍTULO: “Análisis comparativo del comportamiento estructural de mezclas asfálticas en caliente y mezclas asfálticas emulsionadas en los pavimentos”

AUTORES: Br. Aranguri Linares Juan José Segundo.
Br. Valverde Villacorta, Hristo Augusto.

APROBADO POR:

Ing. Rolando Ochoa Zevallos
PRESIDENTE
N° CIP 9133

Ing. Guillermo Cabanillas Quiroz
SECRETARIO
N° CIP 17902

Ing. Juan Paul Henríquez Ulloa
VOCAL
N° CIP 118101

Ing. Mamerto Rodríguez Ramos
ASESOR
N° CIP 3689

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del Jurado:

Dando cumplimiento y conforme a las normas establecidas en el Reglamento de Grados y Títulos y Reglamento de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada Antenor Orrego, para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, se pone a vuestra consideración el Informe del Trabajo de Investigación Titulado “**Análisis comparativo del comportamiento estructural de mezclas asfálticas en caliente y mezclas asfálticas emulsionadas en los pavimentos**”, con la convicción de alcanzar una justa evaluación y dictamen.

Atentamente,

Trujillo, 20 de Abril del 2018.

Br. Hristo Augusto Valverde Villacorta.

Br. Juan José Aranguri Linares.

DEDICATORIA

A Dios, por haberme dado la vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante en mi formación profesional.

A mis padres: Cesar Valverde Diéguez y Juana Villacorta Arche por su apoyo, consejos, comprensión y amor; gracias a sus enseñanzas de valores y principios que me ayudaron a formarme como una persona perseverante para conseguir mis objetivos y metas trazadas. Además de enseñarme a ver en cada obstáculo la oportunidad para superarme y dar lo mejor de mí.

A mis Hermanos: Paulo Valverde Villacorta y Diego Valverde Villacorta quienes ha sido de gran ayuda en mi vida cotidiana y profesional, ya que siempre he contado con su apoyo.

A mi más grande tesoro en el cielo, Mi abuela Yolanda Diéguez Rodríguez que desde el cielo siempre me guía y por ser la bendición más grande que Dios me ha regalado; y quien se ha convertido en la razón de mi ser y me impulsa a ser mejor cada día.

Br. Hristo Augusto Valverde Villacorta

A Dios, por haberme dado la vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante en mi formación profesional.

A mis padres: Juan Aranguri y Esther Linares por su apoyo, consejos, comprensión y amor; gracias a sus enseñanzas de valores y principios que me ayudaron a formarme como una persona correcta.

A mis Hermana Marycarmen Gil quien ha sido de gran ayuda en mi vida cotidiana y profesional.

A mi novia Lurdes Risco, por su comprensión y apoyo en cada momento de mi carrera profesional.

A mi abuela Carmen Castillo, que desde el cielo siempre me guía y me ayuda a salir adelante ante cualquier obstáculo.

Br. Juan José Aranguri Linares

AGRADECIMIENTOS

A:

DIOS:

A Dios por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

PADRES:

Por todo su apoyo en cada momento de nuestra vida y en especial en nuestra formación profesional, por su apoyo moral y económico que nos permitió alcanzar esta meta.

DOCENTES:

A nuestros docentes que con sus enseñanzas y conocimiento aportaron al desarrollo de mi formación profesional y personal.

ING. MAMERTO RODRIGUEZ RAMOS

A nuestro asesor el Ing. Mamerto Rodríguez Ramos por su valiosa asesoría, colaboración y aporte brindado en el presente trabajo de investigación.

RESUMEN

“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE Y MEZCLAS ASFÁLTICAS EMULSIONADAS EN LOS PAVIMENTOS”

Por: Br. ARANGURI LINARES, JUAN JOSE SEGUNDO
Br. VALVERDE VILLACORTA, HRISTO AUGUSTO

El objetivo de estudio fue determinar el análisis comparativo del comportamiento estructural, su porcentaje óptimo y su diseño de mezcla asfáltica en caliente y frío elaboradas con cemento asfáltico PEN 60/70, asfalto líquido RC-250 y los agregados proveniente de la cantera Bauner, estas son las que determinan mediante el método Marshall, en la ciudad de Trujillo – La Libertad, obteniendo a través de métodos de ensayos en laboratorios de mecánicas de suelos y pavimentos con mezclas asfálticas en caliente y en frío, para facilitar el procesamiento de dichos ensayos se utilizó, tablas, gráficos, imágenes, etc. Además, con el apoyo de normas y parámetros propuestos por el MTC, ASSHTO y ASTM respectivamente.

En este trabajo se realizó con los agregados de la cantera Bauner ubicada en la carretera panamericana norte kilómetro 570.5 en el Milagro-Trujillo. Según los análisis de los resultados de ensayos mediante el método Marshall el porcentaje óptimo de mezcla asfáltica en caliente empleando cemento asfáltico PEN 60/70 tiene un valor de 5.47% con un diseño de 30% de agregado grueso y 70% de agregado fino. En el resultado realizado también con el método Marshall de mezcla asfáltica en frío su porcentaje óptimo empleado asfalto líquido RC-250 tiene un valor de 6.63% con un diseño de 30% de agregado grueso y 70% de agregado fino. De acuerdo con el comportamiento de estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente tenemos como resultado de 10.19 kN (1039.09 Kg) y para una mezcla asfáltica en Frío tiene un valor de 8.17 kN (833.11 Kg), estos resultados cumplen las especificaciones para un tránsito pesado de carpeta y base, según mencionados por el instituto de asfalto americano para el diseño Marshall.

Palabra Clave: Comportamiento Estructural, Pavimento.

ABSTRACT

The objective of the study was to determine the comparative analysis of the structural behavior, its optimum percentage and its hot and cold mix asphalt design made with asphalt cement PEN 60/70, liquid asphalt RC-250 and the aggregates coming from the Bauner quarry. are those determined by the Marshall method, in the city of Trujillo - La Libertad, obtaining through testing methods in soil and pavement mechanics laboratories with asphalt mixtures in hot and cold, to facilitate the processing of such tests. used, tables, graphics, images, etc. In addition, with the support of standards and parameters proposed by the MTC, ASSHTO and ASTM respectively.

In this work, it was carried out with the aggregates of the Bauner quarry located on the Panamerican highway north kilometer 570.5 in the Milagro-Trujillo. According to the analysis of the test results by the Marshall method, the optimum percentage of hot asphalt mix using asphalt cement PEN 60/70 has a value of 5.47% with a design of 30% coarse aggregate and 70% fine aggregate. In the result also done with the Marshall method of cold asphalt mixing, its optimum percentage used asphalt liquid RC-250 has a value of 6.63% with a design of 30% coarse aggregate and 70% fine aggregate. According to the stability behavior of the hot asphalt mix we have 10.19 kN (1039.09 Kg) and for an asphalt mix in Frio it has a value of 8.17 kN (833.11 Kg), these results meet the specifications for heavy traffic of folder and base, as mentioned by the American asphalt institute for Marshall design.

Keyword: Structural Behavior, Pavements.

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	<i>i</i>
DEDICATORIA	<i>ii</i>
AGRADECIMIENTOS	<i>iii</i>
RESUMEN	<i>iv</i>
ABSTRACT	<i>v</i>
ÍNDICE	<i>vi</i>
ÍNDICE DE TABLAS	<i>viii</i>
ÍNDICE DE GRÁFICOS	<i>xi</i>
1. INTRODUCCIÓN	<i>1</i>
1.1. Planteamiento del Problema	<i>2</i>
1.2. Formulación del Problema.....	<i>3</i>
1.3. Formulación de la Hipótesis.....	<i>3</i>
1.4. Objetivos de Estudio	<i>3</i>
1.4.1. Objetivo General.....	<i>3</i>
1.4.2. Objetivos Específicos.....	<i>3</i>
1.5. Justificación del Estudio	<i>4</i>
2. MARCO TEÓRICO	<i>6</i>
2.1. Antecedentes de la Investigación	<i>7</i>
2.2. Fundamentación teórica de la investigación.....	<i>8</i>
2.2.1. Pavimento.....	<i>8</i>
2.2.2. Agregado	<i>8</i>
2.2.2.1. Fuentes de Agregados.....	<i>9</i>
2.2.2.1.1. Agregados Naturales	<i>9</i>
2.2.2.1.2. Agregados Procesados	<i>10</i>
2.2.2.1.3. Agregados Sintéticos.....	<i>11</i>
2.2.2.2. Propiedades del agregado y su evaluación	<i>11</i>
2.2.3. Asfalto	<i>19</i>
2.2.3.1. Definición.....	<i>19</i>
2.2.3.2. Propiedades físicas del asfalto.....	<i>20</i>
2.2.3.3. Comportamiento ante Variaciones Térmicas	<i>21</i>
2.2.3.4. Usos más comunes de asfalto.....	<i>23</i>
2.2.3.5. Tipos de asfalto.....	<i>24</i>
2.2.3.5.1. Cemento asfáltico	<i>24</i>
2.2.3.5.2. Asfaltos Diluidos	<i>28</i>
2.2.4. Mezclas Asfálticas	<i>33</i>
2.2.4.1. Introducción	<i>33</i>
2.2.4.2. Características y comportamiento de la mezcla.....	<i>33</i>
2.2.4.3. Propiedades consideradas en el diseño de mezclas	<i>37</i>
2.3. Definiciones	<i>45</i>
3. MATERIAL Y MÉTODOS	<i>47</i>

3.1. Material	48
3.1.1. Población	48
3.1.2. Muestra	48
3.1.3. Unidad de Análisis	48
3.2. Metodología	48
3.2.1. Tipo de Investigación	48
3.2.2. Diseño de Investigación	48
3.2.3. Variables de Estudio y Operacionalización	49
3.2.4. Instrumentos de recolección de datos	50
3.2.5. Procedimientos y análisis de datos	50
3.2.6. Técnicas de análisis de datos	50
3.2.7. Procedimientos	52
3.2.7.1. ENSAYOS DE AGREGADOS	52
3.2.7.1.1. Agregado Grueso y Agregado Fino	52
3.2.7.2. METODO DE DISEÑO MARSHALL EN MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE	65
3.2.7.2.1. Método Marshall	65
3.2.7.2.2. Procedimiento de ensayo, tabulacion de datos y cálculos	65
3.2.7.3. MÉTODO DE DISEÑO MARSHALL EN MEZCLA ASFÁLTICA EN FRIO ..	85
3.2.7.3.1. Método Marshall	85
3.2.7.3.2. Procedimiento de ensayo, tabulacion de datos y cálculos	85
3.2.7.4. ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS	105
3.2.7.4.1. Mezcla asfáltica en caliente	105
3.2.7.4.2. Mezcla asfáltica en frio	106
4. RESULTADOS	107
5. CONCLUSIONES.....	111
6. RECOMENDACIONES	112
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
ANEXOS	114

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 1: ENSAYO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS	13
TABLA N° 2: MEZCLA EN CALIENTE	26
TABLA N° 3: ESPECIFICACIONES DEL CEMENTO ASFALTICO CLASIFICADO POR PENETRACIÓN	27
TABLA N° 4: ESPECIFICACIONES DEL CEMENTO ASFALTICO CLASIFICADO POR VISCOSIDAD	28
TABLA N° 5: REQUISITOS PARA CUTBACKS DE CURADO RÁPIDO	29
TABLA N° 6: REQUISITOS PARA CUTBACKS DE CURADO MEDIO	30
TABLA N° 7: ESPECIFICACIONES DE CALIDAD PARA CUTBACKS DE CURADO MEDIO Y RÁPIDO QUE PRODUCE PETROPERÚ.	31
TABLA N° 8: SE MUESTRAN LOS ENSAYOS DE CALIDAD QUE SE REALIZAN AL CEMENTO ASFALTICO, ASFALTICO LÍQUIDO Y ASFALTO EMULSIONADO.	32
TABLA N° 9: CAUSAS Y EFECTOS DE ESTABILIDAD EN EL PAVIMENTO	39
TABLA N° 10: CAUSAS Y EFECTOS DE UN POCO DURABILIDAD	40
TABLA N° 11: CAUSAS Y EFECTOS DE LA IMPERMEABILIDAD	41
TABLA N° 12: CAUSAS Y EFECTOS DE PROBLEMAS EN LA TRABAJABILIDAD	42
TABLA N° 13: CAUSAS Y EFECTOS DE UNA MALA RESISTENCIA A LA FATIGA	43
TABLA N° 14: CAUSAS Y EFECTOS DE UNA MALA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO	44
TABLA N° 15: DEFINICIÓN OPERACIONAL	49
TABLA N° 16: TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS	50
TABLA N° 17: RESULTADO DE ABRASIÓN CON LA MAQUINA LOS ÁNGELES	54
TABLA N° 18: RESULTADO DE PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS	55
TABLA N° 19: RESULTADO DE DURABILIDAD	57
TABLA N° 20: RESULTADO DE CARAS FRACTURAS	58
TABLA N° 21: RESULTADO DE SALES SOLUBLES	59
TABLA N° 22: RESULTADO DE ABSORCIÓN	60
TABLA N° 23: TEMPERATURA PARA MEZCLA DEL MATERIAL BITUMINOSO	61
TABLA N° 24: RESULTADO DE ADHERENCIA	61
TABLA N° 25: RESULTADOS DE ÍNDICE DE DURABILIDAD	62
TABLA N° 26: RESULTADOS DE EQUIVALENTE DE ARENA	63
TABLA N° 27: RESULTADOS DE ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO	64
TABLA N° 28: TAMICES A UTILIZAR PARA LA SEPARACIÓN DE LAS PARTÍCULAS	66
TABLA N° 29: GRADACION PARA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE (MAC)	66
TABLA N° 30: GRADACION DE LAS MUESTRAS DE AGREGADO GRUESO Y FINO	67
TABLA N° 31: CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO	69
TABLA N° 32: PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO, FINO Y CEMENTO ASFALTICO	69
TABLA N° 33: CANTIDAD DE MATERIAL EN GRAMOS PARA INCLUIR EN LA MEZCLA	70
TABLA N° 34: PESO DE MATERIALES PARA LA ELABORACION DE ESPECÍMENES	70

TABLA N° 35: PESO SECO Y ALTURAS DE ESPECIMENES	71
TABLA N° 36: RESULTADOS DE PESO AL AIRE, PESO SUMERGIDO Y PESO SATURADO DE LOS ESPECÍMENES	73
TABLA N° 37: FACTORES DE ESTABILIDAD DE CORRELACIÓN	75
TABLA N° 38: RESULTADOS DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS	76
TABLA N° 39: RESULTADOS DE PESO ESPECÍFICO “BULK” DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS.....	77
TABLA N° 40: RESULTADOS DE PESO ESPECÍFICO “BULK” MULTIPLICADO POR LA DENSIDAD ESPECIFICA DEL AGUA EN LIBRAS POR PIE CUBICO EN LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS	77
TABLA N° 41: RESULTADOS DEL PESO ESPECÍFICO MÁXIMO TEÓRICO DE LAS MUESTRAS.....	78
TABLA N° 42: RESULTADOS DEL PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL ASFALTO EN LAS MUESTRAS.....	79
TABLA N° 43: RESULTADOS DEL PORCENTAJE DE VOLUMEN QUE OCUPA EL AGREGADO EN LA MUESTRA	79
TABLA N° 44: RESULTADOS DEL PORCENTAJE DE VOLUMEN QUE OCUPA EL AGREGADO EN LA MUESTRA	79
TABLA N° 45: RESULTADOS DEL PORCENTAJE DE VOLUMEN DE ASFALTO EFECTIVO EN LA MUESTRA .	80
TABLA N° 46: RESULTADOS DEL PORCENTAJE DE VACÍOS EN LOS AGREGADO MINERALES EN LA MUESTRA	80
TABLA N° 47: RESULTADOS DEL PORCENTAJE DE VACÍOS EN LOS AGREGADO MINERALES EN LA MUESTRA	81
TABLA N° 48: RESULTADOS DEL ENSAYO	81
TABLA N° 49: GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO	86
TABLA N° 50: GRADACION PARA MEZCLA ASFALTICA EN FRIO (MAF)	86
TABLA N° 51: GRADACION DE LAS MUESTRAS DE AGREGADO GRUESO Y FINO	87
TABLA N° 52: CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO	88
TABLA N° 53: PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO, FINO Y ASFALTO LIQUIDO	89
TABLA N° 54: CANTIDAD DE MATERIAL EN GRAMOS PARA INCLUIR EN LA MEZCLA.....	89
TABLA N° 55: PESO DE MATERIALES PARA LA ELABORACION DE ESPECÍMENES.....	90
TABLA N° 56: PESO SECO Y ALTURAS DE ESPECIMENES	91
TABLA N° 57: RESULTADOS DE PESO AL AIRE, PESO SUMERGIDO Y PESO SATURADO DE LOS ESPECÍMENES	93
TABLA N° 58: FACTORES DE ESTABILIDAD DE CORRELACIÓN	95
TABLA N° 59: RESULTADOS DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS	96
TABLA N° 60: RESULTADOS DE PESO ESPECÍFICO “BULK” DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS.....	97
TABLA N° 61: RESULTADOS DE PESO ESPECÍFICO “BULK” MULTIPLICADO POR LA DENSIDAD ESPECIFICA DEL AGUA EN LIBRAS POR PIE CUBICO EN LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS	97
TABLA N° 62: RESULTADOS DEL PESO ESPECÍFICO MÁXIMO TEÓRICO DE LAS MUESTRAS.....	98
TABLA N° 63: RESULTADOS DEL PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL ASFALTO EN LAS MUESTRAS.....	99
TABLA N° 64: RESULTADOS DEL PORCENTAJE DE VOLUMEN QUE OCUPA EL AGREGADO EN LA MUESTRA	99

TABLA N° 65: RESULTADOS DEL PORCENTAJE DE VOLUMEN QUE OCUPA EL AGREGADO EN LA MUESTRA	100
TABLA N° 66: RESULTADOS DEL PORCENTAJE DE VOLUMEN DE ASFALTO EFECTIVO EN LA MUESTRA	100
TABLA N° 67: RESULTADOS DEL PORCENTAJE DE VACÍOS EN LOS AGREGADO MINERALES EN LA MUESTRA	101
TABLA N° 68: RESULTADOS DEL PORCENTAJE DE VACÍOS EN LOS AGREGADO MINERALES EN LA MUESTRA	101
TABLA N° 69: RESULTADOS DEL ENSAYO	102
TABLA N° 70: ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO PARA PRODUCCIÓN CON CEMENTO ASFALTICO	105
TABLA N° 71: ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO PARA PRODUCCIÓN CON DILUIDO	106

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO N° 1: COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO.....	22
GRÁFICO N° 2: ILUSTRACIÓN DEL VMA EN UNA PROBETA DE MEZCLA COMPACTADA	35
GRÁFICO N° 3: UBICACIÓN DE LA CANTERA BAUNER	52
GRÁFICO N° 4: MAQUINA DEGASSTE DE LOS ÁNGELES	54
GRÁFICO N° 5: MUESTRA – GRAVA ¾”	55
GRÁFICO N° 6: ESQUEMA DE UNA PARTICULA FRACTURADA CON UNA CARA FRACTURADA	58
GRÁFICO N° 7: CURVA GRANULOMETRICA	67
GRÁFICO N° 8: PESO ESPECIFICO VS % C.A.....	82
GRÁFICO N° 9: ESTABILIDAD VS % C.A.....	82
GRÁFICO N° 10: FLUJO VS % C.A.....	83
GRÁFICO N° 11: % VACIOS CON AIRE EN LA MEZCLA TOTAL VS % C.A.	83
GRÁFICO N° 12: % VACIOS EN LOS AGREGADOS MINERALES VS % C.A.	84
GRÁFICO N° 13: CURVA GRANULOMETRICA	87
GRÁFICO N° 14: PESO ESPECIFICO VS % A.L.	102
GRÁFICO N° 15: ESTABILIDAD VS % A.L.	103
GRÁFICO N° 16: FLUJO VS % A.L.	103
GRÁFICO N° 17: % VACIOS CON AIRE EN LA MEZCLA TOTAL VS % A.L.	104
GRÁFICO N° 18: % VACIOS EN LOS AGREGADOS MINERALES VS % A.L.	104

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

Desde el principio de la historia, el hombre, en la necesidad por mantener un estado de vida óptimo, ha creado vías de comunicación para permitir la conexión de un sitio con otro. Actualmente, el planeta se encuentra interconectado por un importante sistema de carreteras y autopistas; para ello anualmente en el mundo, se construyen miles de kilómetros de vías pavimentadas con mezclas asfálticas en caliente, desde grandes autopistas múltiples a vías rurales de un solo carril.

Por más de 100 años, las mezclas asfálticas o mezclas de concreto asfáltico han sido uno de los materiales mayormente utilizados en la construcción del sistema vial; es por ello que los institutos viales conjuntamente con ingenieros, han realizado investigaciones para brindar métodos de diseño que reúnan condiciones de excelente calidad

Se ha verificado que la carpeta asfáltica construidas en las carreteras, avenidas y calles en la ciudad de Trujillo, vienen presentando fallas de diverso tipo, como: fisuras, grietas tipo piel de cocodrilo, desprendimiento, ahuellamientos, hundimientos y otros, que afectan la calidad de tránsito. Como fuente tenemos por informe periodístico de La Republica. (22 de abril del 2013). En Trujillo, pistas están “dinamitadas” en calles y avenidas. Trujillo, Perú. La Republica.

El incremento de tráfico en los últimos años está ocasionando que los pavimentos existentes, sobre todo aquellos que tienen más años de uso, han sobrepasado las condiciones para las cuales fueron diseñados, por ello se evidencia que se están reduciendo su vida útil.

En la ciudad de Trujillo se presenta un cambio en las condiciones de medio ambiente que se traduce en lluvias en épocas de verano, que esto genera el deterioro prematuro de las calles de la ciudad de Trujillo.

La acción conjunta del tráfico y medio ambiente sobre la superficie de rodadura incrementa los niveles de deterioro observándose desprendimiento de material superficial debido a la acción abrasiva de los neumáticos sobre la superficie de rodadura mostrando una débil adherencia entre el material asfáltico y el material inerte o agregado lo cual incrementa el deterioro de las calles; Como fuente tenemos por informe periodístico Valle Chicama (13 de marzo del 2016). Calles de Trujillo se hundes por redes de agua y desagüe obsoletos. Trujillo, Perú. Vallechicama.com.

Es por ello que para mitigar estos problemas usualmente se utilizan diversos métodos y ensayos para la mejora. Por ello se planteó realizar esta investigación particular de dos mezclas asfálticas en caliente y frío, utilizando agregados de nuestra localidad. **(Fuente: Análisis comparativo del diseño de un pavimento flexible entre una mezcla asfáltica en frío y una mezcla asfáltica en caliente considerando la cantera el paraíso S.A.C en la ciudad de Trujillo, Ruiz García Santiago y Ruiz Rodríguez Milagros - 2014).**

1.2. Formulación del Problema

¿En qué medida el análisis comparativo de mezclas asfálticas en caliente y emulsionadas, utilizando agregados de la cantera Bauner, influye en la calidad y resistencia en un diseño de mezcla asfáltica?

1.3. Formulación de la Hipótesis

De acuerdo al análisis se determinará cuál de las mezclas asfálticas, utilizando agregados de la cantera Bauner, es el más recomendable para la calidad constructiva de pavimentos flexibles.

1.4. Objetivos de Estudio

1.4.1. Objetivo General

Determinar el análisis comparativo de mezclas asfálticas en caliente y mezclas asfálticas emulsionadas en los pavimentos, utilizando agregados de la cantera Bauner, ubicada en la carretera panamericana norte km 570.5 el Milagro - Trujillo.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar las características físicas-mecánicas de los materiales de agregados de la cantera Bauner, teniendo en cuenta las normas MTC.
- Realizar los ensayos de laboratorio para poder determinar el diseño de una mezcla asfáltica en caliente y una mezcla asfáltica emulsionada por la Metodología Marshall.

- Determinar las ventajas económicas comparativas en la preparación de una mezcla asfáltica en caliente y mezcla asfáltica emulsionadas.

1.5. Justificación del Estudio

a) Importancia de la investigación

Es necesario fundamentar a través de estudios basados en las características técnicas y económicas de cada sistema constructivo, y que a su vez permita evaluar los costos iniciales de construcción, como de mantenimientos y fundamentar en el que se deje claro los planteamientos que demuestren que la alternativa seleccionada sea la que brinde mejores resultados al principio y a lo largo de su vida de diseño.

Actualmente la tecnología de los pavimentos se ha desarrollado a tal grado de constituir un campo de nuevas especializaciones, por ello, se hace necesario condensar en un mismo documento los aspectos y parámetros de diseño que se deben tomar en cuenta para el diseño de estructuras de pavimento, con el fin de contribuir con la difusión de los conocimientos que se han adquirido en nuestro medio sobre el tema se espera que este documento venga a llenar ese vacío y sirva como herramienta técnica, de tal manera que satisfaga la demanda de los investigadores y de esta manera les sirva en la toma de decisiones basada en el análisis comparativo que se plasma en la investigación.

Académica

Este proyecto se justifica académicamente porque nos permite aplicar conocimientos, procedimientos y metodologías aprendidas en el curso de pavimentos para así realizar el estudio y evaluación de mezclas asfálticas en caliente, comparadas con mezclas asfálticas en frío en cuestión de costos, procesos constructivos y mantenimiento.

Técnicamente

Este proyecto se justifica técnicamente en la necesidad de experimentar con materiales propios de nuestra localidad y métodos para mezclas asfálticas en

pavimentos, para poder determinar el análisis comparativo que trae consigo la aplicación de estos, así como establecer cual factible vendría a ser su práctica en obra; todo esto siguiendo los procedimientos dispuestos por la normativa peruana AASHTO, ASTM y MTC.

Social

Este proyecto se justifica socialmente porque contribuye a atenuar el impacto ambiental producido por las mezclas asfálticas en pavimentos, así como reducir y contribuir a poder llevar a cabo proyectos de pavimentación más económicos especialmente para nuestra zona y mejorar la calidad de vida para nuestra población.

b) Viabilidad de la Investigación

Se utilizarán ensayos específicos para verificar que mezcla se desarrolla mejor en un pavimento, se usara el laboratorio de suelos de la UPAO para ensayos básicos y un laboratorio en pavimentos; además de las herramientas computacionales que utilizaremos y estén al alcance de nuestras posibilidades para el desarrollo de todo el proceso de investigación.

➤ Limitaciones del estudio

Una de nuestras mayores limitaciones de cara al desarrollo de nuestro proyecto vendría a ser:

- La falta de equipos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad Privada Antenor Orrego.

(Fuente: Manual de ensayos de materiales – MTC 2016)

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

Habiendo realizado una pesquisa bibliográfica a nivel nacional e internacional vía web, se encontró información relevante relacionada al tema de la investigación, de lo cual se destaca lo siguiente:

En una tesis investigada para el aporte al desarrollo de nuestro proyecto de tesis se propuso como objetivo elaborar un control de calidad de las mezclas asfálticas en caliente y templadas. El estudio concluyó que las mezclas asfálticas tibias son aquellas que producen una temperatura menor que las mezclas en caliente y se pretende reducir la viscosidad del asfalto hasta lograr una adecuada adherencia de los agregados, en cuanto a los beneficios de utilizar mezclas tibias en el medio ambiente; cabe resaltar que al calentar menos asfalto para elaborar la mezcla asfáltica ahorramos el consumo de combustible reduciendo emisiones de diversos gases. **(Méndez Olvera, S. (2013) “Control de Calidad de las Mezclas Asfálticas en Caliente y Templadas”.**

Por otro lado, revisando los antecedentes nacionales se encontró una tesis donde se propuso realizar un estudio comparativo entre mezclas asfálticas con diluido RC-250 y emulsión. De sus resultados se puede observar el desarrollo de la tecnología de las emulsiones asfálticas y de sus procesos de aplicación a nivel mundial que han dado como resultado la sustitución de los asfaltos diluidos por emulsiones, en la mayoría de los casos en que aquellos se utilizan. Esta tesis aporta en el trabajo de investigación la utilización del uso de emulsión asfáltica ya que presenta ventajas técnicas, económicas, de seguridad y protección ambiental frente a los diluidos. **(Rolando Franco, F (2002) “Estudio Comparativo entre Mezclas Asfálticas con Diluido RC-250 y Emulsión”**

Investigando los antecedentes locales se encontró un a tesis donde se desarrolla el análisis comparativo del diseño de un pavimento flexible entre una mezcla asfáltica en frío y una mezcla asfáltica en caliente considerando la cantara el Paraíso S.A.C. El aporte principal al trabajo de investigación es en la metodología a utilizar ya que concluyen que las mezclas en frío son una excelente opción para realizar trabajos de bacheos y para la rehabilitación o construcción de viales secundarios. También se

comprobó la falta de documentación en el país, al hallar solo normas y experiencias extranjeras con los ligantes asfálticos y agregados disponibles. (Ruiz García, S. y Ruiz Rodríguez, M., (2014) “**Análisis Comparativo del diseño de un pavimento flexible entre una mezcla asfáltica en frío y una mezcla asfáltica en caliente considerando la cantera el Paraíso S.A.C en la ciudad de Trujillo**”.

2.2. Fundamentación teórica de la investigación

2.2.1. Pavimento

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales que se diseñan y constituyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados.

Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que la carga repetida del tránsito le trasmite durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento. **(Montejo, A. (2006) Ingeniería de pavimentos (Tercera ed.) Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Pág.3).**

2.2.2. Agregado

El agregado, también conocido como material granular o agregado mineral, es cualquier mineral duro e inerte usado, en forma de partículas graduadas o fragmentos, como parte de un pavimento de mezcla asfáltica. Los agregados típicos incluyen arena, grava, piedra triturada, escoria y polvo de roca. El agregado constituye entre el 90 y el 95 por ciento, en peso, y entre el 75 y el 85 por ciento, en volumen, de la mayoría de las estructuras de pavimento. El comportamiento de un pavimento se ve altamente influenciado por la selección apropiada del agregado, debido a que el agregado mismo proporciona la mayoría de las características de capacidad portante.

2.2.2.1. Fuentes de Agregados

Los agregados usados en el pavimento asfáltico se clasifican, generalmente, de acuerdo a su origen. Estos incluyen: agregados naturales, agregados procesados y agregados sintéticos o artificiales.

2.2.2.1.1. Agregados Naturales

Los agregados naturales son aquellos que son usados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento. Ellos están constituidos por partículas producidas mediante procesos naturales de erosión y de gradación, tales como la acción del viento, el agua, el movimiento del hielo y los químicos. La forma de las partículas individuales es producto de los agentes que actúan sobre ellas. Los glaciares, por ejemplo, usualmente producen rocas y guijarros redondeados y las corrientes de agua producen partículas lisas y redondeadas.

Los principales tipos de agregado natural usados en la construcción de pavimentos son la grava y la arena. La grava se define, usualmente, como partículas de un tamaño igual o mayor que 6.35mm (1/4 pulgada). La arena se define como partículas de un tamaño menor que 6.35mm, pero mayor que 0.075mm (No.200). Las partículas de un tamaño menor que 0.075mm son conocidas como relleno mineral (filler), el cual consiste principalmente de limo y arcilla.

Las gravas y las arenas son clasificadas, además, de acuerdo a su origen. Los materiales producidos en canteras abiertas y usados sin ningún procesamiento adicional son conocidos como materiales en bruto y los materiales de la ribera de los ríos son conocidos como materiales de canteras de ríos.

Los depósitos de gravas varían ampliamente en composición, pero usualmente contienen alguna cantidad de arena y limo. Los depósitos de arena también contienen, comúnmente, alguna cantidad de arcilla y limo. Las arenas de playa están compuestas de partículas de tamaño regularmente uniforme, mientras que las arenas de río contienen proporciones grandes de grava, limo y arcilla.

2.2.2.1.2. Agregados Procesados

Los agregados procesados son aquellos que han sido triturados y tamizados antes de ser usados. Existen dos fuentes principales de agregados procesados: las gravas naturales que son trituradas para volverlas más apropiadas para pavimentos de mezcla asfáltica y los fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes que deben ser reducidos en tamaño antes de ser usados en la pavimentación.

La roca es triturada por tres razones: para cambiar la textura superficial de las partículas de lisa a rugosa, para cambiar la forma de la partícula de redonda a angular y para reducir y mejorar la distribución y el rango (graduación) de los tamaños de las partículas. El propósito principal de la trituración, en el caso de los fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes, es reducir las piedras a un tamaño que sea manejable. Sin embargo, los cambios en la textura superficial, y en la forma de las partículas, son también muy importantes.

El tamizado de los materiales, después de triturarlos, da como resultado una granulometría con cierto rango de tamaño de partícula. Un factor importante en la construcción de pavimentos de buena calidad consiste en mantener graduaciones específicas de agregados. Sin embargo, por razones económicas, el material triturado es usado tal y como sale del triturador, con muy poco o ningún tamizado. Un control adecuado de las operaciones de triturado determina si la graduación resultante del agregado cumple, o no, con los requisitos de la obra.

El agregado triturado, sin tamizar, es conocido como agregado triturado sin cribar, y es usado satisfactoriamente en muchos proyectos de construcción de pavimentos. Sin embargo, es esencial garantizar que la operación de triturado sea continuamente supervisada para poder producir un agregado que cumpla con las especificaciones.

Según esta clasificación; se puede decir que la arena (agregado fino) y grava (agregado grueso) de la cantera Bauner S.A.C.; ubicado en la panamericana norte km 570.5 el Milagro-Trujillo se clasificar como un agregado procesado.

2.2.2.1.3. Agregados Sintéticos

Los agregados sintéticos o artificiales no existen en la naturaleza. Ellos son el producto del procesamiento físico o químico de materiales. Algunos son subproductos de procesos industriales de producción como el refinamiento de metales. Otros son producidos mediante el procesamiento de materias primas, para ser usados específicamente como agregado.

El producto secundario más comúnmente usado es la escoria de alto horno. Es una sustancia no metálica que brota a la superficie del hierro fundido durante el proceso de reducción. Una vez que es removida de la superficie del hierro, la escoria es transformada en pequeñas partículas templándola inmediatamente en agua, o triturándola una vez que se ha enfriado.

Los agregados sintéticos manufacturados son relativamente nuevos en la industria de la pavimentación. Ellos son producidos al quemar arcilla, arcilla esquistosa, tierra diatomácea procesada, vidrio volcánico, escoria y otros materiales. Los productos finales son típicamente livianos y tienen una resistencia muy alta al desgaste.

2.2.2.2. Propiedades del agregado y su evaluación

En un pavimento densamente graduado de mezcla asfáltica, el agregado conforma el 90 a 95 por ciento, en peso, de la mezcla de pavimentación. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor crítico en el comportamiento del pavimento. Sin embargo, además de la calidad, se aplican otros criterios que forman parte de la selección de un agregado en una obra de pavimentación. Estos criterios incluyen el costo y la disponibilidad del agregado. Aún más, un agregado que cumple con los requisitos de costo y disponibilidad deberá poseer también ciertas propiedades para poder ser considerado apropiado para pavimento asfáltico de buena calidad. Estas propiedades son:

- A. Graduación y tamaño máximo de partícula**
- B. Limpieza**
- C. Dureza**
- D. Forma de partícula**
- E. Textura de la superficie**
- F. Capacidad de absorción**

G. Peso específico

H. Afinidad con el asfalto

Algunas de estas propiedades se pueden determinar mediante ensayos de laboratorio, otras por simple inspección. Estos ensayos, según la American Standar Testing Methods (ASTM) y el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), que son las normas tomadas como referencia para esta tesis.

A. Gradación y tamaño máximo de partícula

Todas las especificaciones de pavimento asfáltico requieren que las partículas de agregado estén dentro de un cierto margen de tamaños y que cada tamaño de partículas esté presente en ciertas proporciones (huso granulométrico). Esta distribución de varios tamaños de partículas dentro del agregado es comúnmente llamada graduación del agregado o graduación de la mezcla. Es necesario entender cómo se mide el tamaño de partículas y la graduación para determinar si la granulometría del agregado cumple o no con las especificaciones.

- **Tamaño máximo de partícula**

El tamaño de las partículas más grandes en la muestra debe ser determinado, debido a que las especificaciones hablan de un tamaño máximo de partículas para cada agregado usado. Existen dos formas de designar tamaños máximos de partículas.

- **Tamaño máximo nominal de partícula**

Designado como el tamiz más grande que el primer tamiz que retiene más del 10 por ciento de las partículas de agregado, en una serie normal de tamices.

- **Tamaño máximo de partícula**

Designado como un tamiz más grande que el tamaño máximo nominal de partícula. Típicamente, este es el tamiz más pequeño por el cual pasa el 100 por ciento de las partículas de agregado.

Una mezcla de pavimentación se clasifica de acuerdo a su tamaño máximo o a su tamaño máximo nominal.

Tabla N° 1: Ensayo para evaluar las propiedades de los agregados

Propiedad	Ensayo	Norma
Graduación y Tamaño máximo	Análisis granulométrico Por tamizado	ASTM D-421
Limpieza	Equivalente De arena	ASTM D-2419
Dureza	Abrasión por la Máquina de Los Angeles	ASTM C-131
Capacidad de absorción y Peso específico	Gravedad específica y Absorción	ASTM C-127 ASTM C-128
Afinidad con el Asfalto	Ensayo de adherencia Agregado grueso	ASTM D-1664
Afinidad con el Asfalto	Riedel Weber (Agregado fino)	D.E.E.MA-8

Fuente: Manual de ensayos de materiales MTC-2016

➤ **Granulometría del agregado**

La granulometría de partículas es determinada por un análisis de tamices (o granulometría) efectuado sobre las muestras de agregado. El análisis de tamices consiste en pasar la muestra por una serie de tamices, cada uno de los cuales tiene aberturas de un tamaño específico. Los tamices están denominados de acuerdo al tamaño de sus aberturas. Las partículas gruesas quedan atrapadas en los tamices superiores; las partículas de tamaño medio pasan a través de los tamices medianos y las partículas finas pasan a través de los tamices inferiores.

La granulometría del agregado, o graduación de la mezcla, tiene en cuenta el porcentaje (en peso) total de muestra que pasa por cada uno de los tamices. La granulometría es determinada al calcular el peso del contenido de cada tamiz, después de haber efectuado el análisis de tamices. Luego se resta el peso del contenido de cada tamiz del peso total de la muestra.

Los concretos asfálticos son clasificados de acuerdo a los porcentajes de partículas de agregado que contienen.

Ciertos términos son usados al hacer referencia a las fracciones de agregado, con el propósito de ayudar a la descripción de las mismas. Estos son:

- Agregado grueso, material retenido por el tamiz de 2.36mm (No.8).
- Agregado fino, material que pasa el tamiz de 2.36mm (No.8).

- Relleno mineral, fracciones de agregado fino que pasan el tamiz de 0.60mm (No.30).
- Polvo mineral, fracciones de agregado fino que pasan el tamiz de 0.075mm (No.200).

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

B. Limpieza

Las especificaciones de obra generalmente ponen un límite a los tipos y cantidades de materiales indeseables (vegetación, arcilla esquistosa, partículas blandas, terrones de arcilla, etc) en el agregado. Las cantidades excesivas de estos materiales pueden afectar desfavorablemente el comportamiento del pavimento.

La limpieza del agregado puede determinarse, usualmente, mediante inspección visual, pero un tamizado por lavado (donde el peso de la muestra de agregado antes de ser lavada es comparado con su peso después de ser lavada) proporciona una medida exacta del porcentaje de material indeseable más fino que 0.075mm (No.200). El ensayo de equivalente arena (ASTM D-2419) es un método para determinar la proporción indeseable de polvo fino y arcilla en la fracción de agregado que pasa el tamiz de 4.75mm (No.4).

C. Dureza

Los agregados deben ser capaces de resistir la abrasión (desgaste irreversible) y degradación durante la producción, colocación y compactación de la mezcla de pavimentación y durante la vida de servicio del pavimento. Los agregados que están en, o cerca de, la superficie, deben ser más duros (tener más resistencia) que los agregados usados en las capas inferiores de la estructura del pavimento. Esto se debe a que las capas superficiales reciben los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de las cargas de tránsito.

El ensayo de abrasión por la máquina de Los Angeles (ASTM C-131) mide la resistencia de un agregado al desgaste y a la abrasión.

D. Forma de partícula

La forma de la partícula afecta la trabajabilidad de la mezcla de pavimentación durante su colocación, así como la cantidad de fuerza necesaria para compactar la mezcla a la densidad requerida. La forma de la partícula también afecta la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida útil.

Las partículas irregulares y angulares generalmente resisten el desplazamiento (movimiento) en el pavimento, debido a que tienden a entrelazarse cuando son compactadas. El mejor entrelazamiento generalmente se da con partículas de bordes puntiagudos y de forma cúbica, producidas, casi siempre, por trituración.

Muchas de las mezclas asfálticas de pavimentación contienen partículas angulares y redondas. Las partículas gruesas (grandes) de agregado proporcionan la resistencia en el pavimento y provienen generalmente de piedra o grava triturada. Las partículas finas de agregado suministran la trabajabilidad necesaria en la mezcla y provienen generalmente de arenas naturales.

E. Textura de la superficie

La textura superficial de las partículas de agregado es otro factor que determina no sólo la trabajabilidad y resistencia final de la mezcla de pavimentación, sino también las características de resistencia al

deslizamiento en la superficie del pavimento. Algunos consideran que la textura superficial es más importante que la forma de la partícula. Una textura áspera, como la del papel lija, aumenta la resistencia en el pavimento debido a que evita que las partículas se muevan unas respecto a otras, y a la vez provee un coeficiente alto de fricción superficial que hace que el movimiento del tránsito sea más seguro.

Adicionalmente, las películas de asfalto se adhieren más fácilmente a las superficies rugosas que a las superficies lisas. Las gravas naturales son frecuentemente trituradas durante su procesamiento, debido a que generalmente contienen superficies lisas. El trituramiento produce texturas superficiales rugosas en las caras fracturadas, así como cambios en la forma de la partícula.

No existe un método directo para evaluar la textura superficial. Es tan sólo una característica, como la forma de la partícula, que está reflejada en los ensayos de resistencia y en la trabajabilidad de la mezcla durante la construcción.

F. Capacidad de absorción

Todos los agregados son porosos, algunos más que otros. La cantidad de líquido que un agregado absorbe cuando es sumergido en un baño determina su porosidad.

La capacidad de un agregado de absorber agua (o asfalto) es un elemento importante de información. Si un agregado es altamente absorbente, entonces continuará absorbiendo asfalto después del mezclado inicial, dejando así menos asfalto en su superficie para ligar las demás partículas de agregado. Debido a esto, un agregado poroso requiere cantidades mucho mayores de asfalto que las que requieren un agregado menos poroso.

Los agregados altamente porosos y absorbentes no son normalmente usados, a menos de que posean otras características que los haga deseables, a pesar de su alta capacidad de absorción. Algunos ejemplos de dichos materiales son la escoria de alto horno y ciertos agregados sintéticos. Estos materiales son altamente porosos, pero también son livianos en peso y poseen alta resistencia al desgaste.

G. Peso específico

El peso específico de un agregado es la proporción entre el peso de un volumen dado de agregado y el peso de un volumen igual de agua. El peso específico es una forma de expresar las características de peso y volumen de los materiales. Estas características son especialmente importantes en la producción de mezclas de pavimentación debido a que el agregado y el asfalto son proporcionados, en la mezcla, de acuerdo al peso.

Una tonelada de agregado de bajo peso específico tiene un volumen mayor (ocupa más espacio) que una tonelada de agregado con un peso específico más alto. Por consiguiente, para poder cubrir todas las partículas de agregado, más asfalto debe ser adicionado a una tonelada de agregado con bajo peso específico (mayor volumen) que a una tonelada de agregado con un peso específico más alto (menos volumen).

Otra razón importante por la cual es necesario conocer el peso específico de los agregados usados es que este ayuda en el cálculo del porcentaje de vacíos de aire (espacios de aire) de las mezclas compactadas. Todas las mezclas de pavimentación deben incluir un cierto porcentaje (en volumen) de vacíos o espacios de aire, como será explicado más adelante. Estos espacios desempeñan una labor importante en el pavimento terminado. La única manera de calcular el porcentaje de vacíos de aire en un volumen dado de mezcla de pavimentación es midiendo el peso específico de una muestra de la mezcla y luego restando de su valor, los pesos específicos del agregado y asfalto que conforman la mezcla.

El resultado es una indicación del volumen de vacíos de aire en la muestra. Todos los agregados son, hasta cierto punto, porosos. Se han desarrollado tres tipos de peso específico para tener en cuenta la porosidad del agregado, debido a que esta afecta la cantidad de asfalto que se requiere para cubrir las partículas de agregado y también el porcentaje de vacíos de aire en la mezcla final. Estos tres tipos son:

- Peso específico total
- Peso específico aparente
- Peso específico efectivo

El peso específico total de una muestra incluye todos los poros de la muestra.

El peso específico aparente no incluye, como parte del volumen de la muestra, los poros y espacios capilares que se llenarían de agua al mojar la muestra.

El peso específico efectivo excluye, del volumen de la muestra, todos los poros y espacios capilares que absorben asfalto.

El peso específico total asume que los poros que absorben agua no absorben asfalto. El peso específico aparente asume que todos los poros que son permeables al agua absorben asfalto. Ninguna de estas suposiciones, excepto en casos muy raros, es verdadera. Por lo tanto, el peso específico efectivo, el cual discrimina entre poros permeables al agua y poros permeables al asfalto, es el que más se acerca al valor correcto que debe ser usado en los cálculos de mezclas asfálticas.

H. Afinidad con el asfalto

La afinidad de un agregado con el asfalto es la tendencia del agregado a aceptar y retener una capa de asfalto. Las calizas, las dolomitas y las rocas traqueanas tienen alta afinidad con el asfalto y son conocidas como hidrofóbicas (repelen el agua) porque resisten los esfuerzos del agua por separar el asfalto de sus superficies.

Los agregados hidrofílicos (atraen el agua) tienen poca afinidad con el asfalto. Por consiguiente, tienden a separarse de las películas de asfalto cuando son expuestos al agua. Los agregados silíceos (e.g. cuarcita y algunos granitos) son ejemplos de agregados susceptibles al desprendimiento y deben ser usados con precaución.

No es muy claro por qué los agregados hidrofóbicos e hidrofílicos se comportan de tal manera. A pesar de esto, existen varios ensayos para determinar su afinidad con el asfalto y su tendencia al desprendimiento. En uno de estos ensayos, la mezcla de agregado-asfalto, sin compactar, es sumergida en agua y las partículas cubiertas son observadas visualmente. En otro ensayo comúnmente conocido como ensayo de inmersión-compresión, dos muestras de mezclas son preparadas y una es sumergida en agua. Posteriormente, ambas son ensayadas para determinar sus resistencias.

La diferencia en resistencia es considerada un indicativo de la susceptibilidad del agregado al desprendimiento.

Principios de construcción de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente. Serie de manuales No. 22 (MS-22), pag.36-54.

2.2.3. Asfalto

2.2.3.1. Definición

ASTM lo define como un material cementante, de color oscuro y de consistencia variable, cuya rigidez depende de la temperatura en que se encuentre. A temperatura ambiente el asfalto es sólido a semisólido, y cuando su temperatura se eleva se vuelve líquido, esta condición permite que los agregados sean cubiertos completamente, durante la mezcla.

El asfalto es un material negro, cementante, que varía ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido (sólido blando), a temperaturas ambientales normales. Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual permite cubrir las partículas del agregado durante la producción de mezcla en caliente.

El asfalto usado en pavimentación, generalmente llamado cemento asfáltico, es un material viscoso y pegajoso. Se adhiere fácilmente a las partículas de agregado en un pavimento. El cemento asfáltico es un excelente material impermeabilizante y no es afectado por los ácidos, los álcalis (bases) o sales. Esto significa que un pavimento de concreto asfáltico construido adecuadamente es impermeable y resistente a muchos tipos de daños químicos.

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

Asphalt Institute. Principios de la construcción de mezclas asfálticas en caliente. Serie de manuales No. 22 (MS.22). Pág. 10-11.

2.2.3.2. Propiedades físicas del asfalto

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

A. Durabilidad

Es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento. Es una propiedad juzgada principalmente a través del comportamiento del pavimento, y por consiguiente es difícil de definir solamente en términos de las propiedades del asfalto.

Esto se debe a que el comportamiento del pavimento está afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en construcción y otras variables que incluyen la misma durabilidad del asfalto.

B. Adhesión y Cohesión

La adhesión es la capacidad del asfalto para adherirse o pegarse al agregado en la mezcla de pavimentación. La cohesión es la capacidad del asfalto de mantener firmemente, en su puesto, las partículas de agregado en el pavimento terminado. No existe un ensayo directo sobre el asfalto el cual mida estas propiedades. Sin embargo, sí es posible medir la adherencia de un asfalto con un agregado específico. Esta es una propiedad muy importante en una mezcla asfáltica por lo que se discutirá más adelante con más detalle.

C. Susceptibilidad a la Temperatura

Todos los asfaltos son termoplásticos; esto es, se vuelven más duros (más viscosos) a medida que su temperatura disminuye, y más blandos (menos viscosos) a medida que su temperatura aumenta. Esta característica se conoce como susceptibilidad a la temperatura y es una de las propiedades más valiosas en un asfalto. La susceptibilidad a la temperatura varía entre asfaltos de petróleos de diferente origen, aún si los asfaltos tienen el mismo grado de consistencia.

Es muy importante conocer la susceptibilidad a la temperatura del asfalto que va a ser utilizado pues ella indica la temperatura adecuada a la cual

se debe mezclar el asfalto con el agregado, y la temperatura a la cual se debe compactar la mezcla sobre la base de la carretera.

Es de vital importancia que un asfalto sea susceptible a la temperatura puesto que debe tener suficiente fluidez para que pueda cubrir las partículas de agregado durante el mezclado y así permitir que estas partículas se desplacen unas respecto a otras durante la compactación. Luego deberá volverse lo suficientemente viscoso, a temperaturas ambientales normales, para mantener unidas las partículas de agregado.

D. Endurecimiento y Envejecimiento

Los asfaltos tienden a endurecerse en la mezcla asfáltica durante la construcción, y también en el pavimento terminado. Este endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación (el asfalto combinándose con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas y en películas delgadas de asfalto (como la película que recubre las partículas de agregado).

No todos los asfaltos se endurecen a la misma velocidad cuando son calentados en películas delgadas. Por lo tanto, cada asfalto debe ser ensayado por separado para poder determinar sus características de envejecimiento, y así poder ajustar las técnicas constructivas para minimizar el endurecimiento. Estos ajustes incluyen mezclar el asfalto con el agregado a la temperatura más baja posible y durante el tiempo más corto que pueda obtenerse en la práctica.

El endurecimiento del asfalto continua después de la construcción. Una vez más, las causas principales son la oxidación y la polimerización. Estos procesos pueden ser retardados si se mantiene, en el pavimento terminado, una cantidad pequeña de vacíos (de aire) interconectados, junto con una capa gruesa de asfalto cubriendo las partículas de agregado.

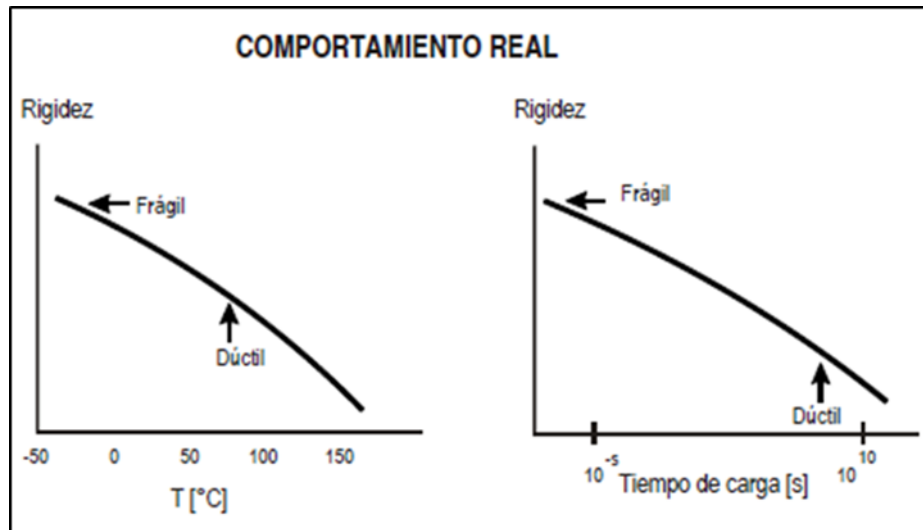
Asphalt Institute. Principios de la construcción de mezclas asfálticas en caliente. Serie de manuales No. 22 (MS.22). Pág. 17-21).

2.2.3.3. Comportamiento ante Variaciones Térmicas

La naturaleza del asfalto es visco elástico, esto quiere decir que su comportamiento depende de la temperatura y el tiempo de aplicación de la carga. El asfalto a altas temperaturas tiene menor rigidez, típico durante la

temperatura de mezcla(135°C). A medida que la temperatura desciende el asfalto se vuelve más rígido. A temperaturas muy bajas es asfalto puede agrietarse porque se vuelve frágil y quebradizo.

Gráfico N° 1: Comportamiento del Asfalto



Fuente: Instituto de Asfalto

A. Comportamiento a altas temperaturas

En climas cálidos (El oriente del Perú, épocas de verano) o sometido a cargas de tráfico lentas (Intersecciones, tramos en pendientes), el cemento asfáltico se comporta como un líquido viscoso, dejando que el agregado soporte las cargas cíclicas. Con esta condición la estructura granular de la mezcla asfáltica cumple un papel muy importante. El asfalto solo es el aglutinante.

Por definición, la viscosidad es la característica física del material que describe la resistencia de los líquidos a fluir. Si el flujo del cemento asfáltico en caliente es lento puede ser observado microscópicamente como capas adyacentes de moléculas deslizándose unas sobre otras. La resistencia o fricción entre capas se relaciona a la velocidad relativa de deslizamiento.

B. Comportamiento a bajas temperaturas

En climas fríos o bajo aplicaciones de carga rápida, el cemento asfáltico se comporta como un sólido elástico. Los sólidos elásticos son como ligas porque cuando cesa la carga que los deforma, regresan a su posición original.

Si el material se esfuerza más allá de su capacidad, el sólido elástico puede romperse. Los agrietamientos por bajas temperaturas algunas veces ocurren en los pavimentos cuando están sometidos a climas fríos (Conococha, Ticello). En estos casos, las cargas aplicadas producen esfuerzos internos que se acumulan en el pavimento asfáltico que tenderá a contraerse mientras su movimiento es restringido por las capas inferiores.

C. Comportamiento a temperaturas intermedias

En estos climas el asfalto muestra características de líquido viscoso y sólido elástico. A estas temperaturas, el asfalto es un excelente material adhesivo usado en pavimentación.

Cuando se calienta el asfalto actúa como un lubricante, permitiendo mezclarse con el agregado, cubrirlo y compactarse formando una superficie lisa y densa. Tan pronto como se enfría, el asfalto actúa manteniendo juntos los agregados en la matriz sólida. En esta etapa el comportamiento del asfalto es visco elástico, es decir, tiene características elásticas y viscosas, dependiendo de la temperatura y velocidad de aplicación de carga.

2.2.3.4. Usos más comunes de asfalto

- A. Concreto asfáltico:** Es una mezcla en caliente, de alta calidad y perfectamente controlada, de cemento asfáltico y agregados de buena calidad bien gradados, que se debe compactar perfectamente para formar una masa densa y uniforme.
- B. Sello negro de asfalto:** Es una aplicación ligera de emulsión asfáltica de rotura lenta diluida en agua. Se utiliza para renovar superficies asfálticas viejas y para sellar grietas y pequeños vacíos de la superficie.
- C. Carpeta asfáltica de nivelación:** Es una capa (mezcla de agregado y asfalto) de espesor variable utilizada para eliminar irregularidades de la superficie existente antes de cubrirla con un tratamiento nuevo o con una carpeta de recubrimiento.
- D. Carpeta asfáltica de recubrimiento:** Consiste en una o más capas asfálticas aplicada sobre el pavimento existente. La carpeta de recubrimiento generalmente consiste de una carpeta de nivelación para

corregir las irregularidades del pavimento viejo, seguida por una o varias carpetas de grosor uniforme, hasta obtener el espesor total necesario.

- E. Pavimentos Asfálticos:** Son pavimentos compuestos por una capa superficial de agregado mineral recubierto y aglomerado con cemento asfáltico, colocada sobre superficies de apoyo, tales como bases asfálticas, piedra triturada o grava; o sobre un pavimento de concreto de cemento Portland de ladrillo o bloques.
- F. Capas de imprimación asfálticas:** Se llama así a la aplicación de un asfalto líquido de baja viscosidad a una superficie absorbente. Se suele utilizar para preparar una base no tratada que vaya a ser recubierta con una carpeta asfáltica.
- G. Capa de sello asfáltico:** Es un tratamiento superficial que consiste en la aplicación de una capa delgada de asfalto para impermeabilizar y mejorar la textura de la carpeta asfáltica superficial.

2.2.3.5. Tipos de asfalto

Dos tipos de asfaltos están disponibles para las operaciones de diseño de mezcla que vamos a utilizar con el cemento asfáltico y asfalto diluido.

2.2.3.5.1. Cemento asfáltico

Se define como betún o bitumen a las “mezclas de hidrocarburos de origen natural o pirógeno, o de ambos tipos, frecuentemente acompañadas por sus derivados no metálicos, los cuales pueden ser gaseosos, líquidos, semi-sólidos y que son completamente solubles en bisulfuro de carbono”. Los betunes o bitúmenes empleados en la construcción de carreteras son de dos tipos a saber: Asfaltos y alquitranes.

El asfalto es un material aglomerante de color que varía de pardo oscuro a negro, de consistencia sólida, semisólida o líquida, cuyos constituyentes predominantes son betunes que se dan en la naturaleza o que se obtienen en la destilación del petróleo y el cual entra en proporciones variables en la constitución de la mayor parte de los crudos de petróleo. El asfalto es un producto cuyo empleo data de la antigüedad y fue usado de muchas formas en Mesopotamia, Siria, Egipto, etc., con fines de impermeabilización, mastic de unión entre los elementos de construcción, momificación, etc., incluso reservorios y piscinas fueron

impermeabilizados con asfalto. **Según Lynch (como se citó en Arroyo y Rodríguez, 2010, p.31)**

La ASTM define a los asfaltos como “materiales aglomerantes sólidos o semi-sólidos de color que varía de negro a pardo oscuro y que se licuan gradualmente al calentarse, cuyos constituyentes predominantes son betunes que se dan en la naturaleza en forma sólida o semi-sólida o se obtienen de la destilación del petróleo, o combinaciones de estos entre sí o con el petróleo o productos derivados de estas combinaciones.

El asfalto es un material negro, cementante, que varía ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido (sólido blando), a temperaturas ambientales normales. Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual le permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de mezcla en caliente. Durante el primer proceso de separación en la mayoría de las refinerías se obtienen 5 productos que pueden ser clasificados como sigue:

➤ **Base Parafínica**

Aquellos en los cuales el material restante, después de la destilación de los constituyentes más volátiles, es principalmente parafina.

➤ **Base Asfáltica**

La porción pesada del Asfalto.

En su porción más pesada presentan una mezcla de parafina y asfalto. En pavimentación los asfaltos comúnmente usados son los cementos asfálticos y los asfaltos líquidos.

El cemento asfáltico es un asfalto refinado, o una combinación de asfalto refinado y aceite fluidificante; de consistencia apropiada para pavimentación. Los materiales clasificados como asfalto de penetración 40-50, 60-70, 85- 100, 120-150 y 200-300. El número indica el grado de dureza del material; a mayor penetración más blando el asfalto.

2.2.3.5.1.1. Cemento Asfáltico PEN 60/70

Esta especificación se refiere al suministro de cemento asfáltico en el sitio de colocación de mezclas asfálticas en caliente, en el que se utilice este material.

A) Material bituminoso

El material por suministrar será cemento asfáltico clasificado por grado de penetración o por viscosidad de acuerdo con las características del proyecto.

Los materiales por suministrar generan emisiones debido al proceso de calentamiento, por lo que se recomienda ubicar los tanques que contienen dichos elementos en zonas alejadas de centros urbanos o asentamientos humanos con el propósito de que dichas emisiones no afecten la salud de las personas. En caso de que los materiales sean vertidos accidentalmente, deberán recogerse incluyendo el suelo contaminado y colocarlos en las áreas de disposición de desechos que hayan sido autorizados por la autoridad correspondiente o donde el Supervisor estime conveniente.

B) Cemento Asfáltico

El cemento asfáltico a emplear en las mezclas asfálticas elaboradas en caliente será clasificado por penetración, o por viscosidad absoluta. Su empleo será según las características climáticas de la región y las condiciones de operación de la vía, tal como lo indica la Tabla N° 1, las consideraciones del Proyecto y las indicaciones del Supervisor.

Tabla N° 2: Mezcla en caliente

Temperatura Media Anual			
24 °C o más	24 °C - 15 °C	35 °C - 5 °C	Menos de 5 °C
40 – 50 o			
60 – 70 o	60-70	85 –100	Asfalto Modificado
Modificado		120 - 150	

Fuente: Principios de construcción de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente. Serie de manuales No. 22 (MS-22).

➤ **Tipo de cemento asfáltico clasificado según penetración**

Los requisitos de calidad del cemento asfáltico son los que establecen en las Tablas N°02 y N°03

El cemento asfáltico debe presentar un aspecto homogéneo, libre de agua y no formar espuma cuando es calentado a temperatura de 175°C.

El cemento asfáltico podrá modificarse mediante la adición de activantes rejuvenecedores, polímeros, asfaltos naturales o cualquier otro producto sancionado por la experiencia. En tales casos, las especificaciones que deberán cumplir tanto el ligante modificado como las mezclas asfálticas resultantes. La dosificación y dispersión homogénea del producto de adición deberán tener la aprobación del supervisor. **Según Provias Nacional (2010). Estudio definitivo de mantenimiento periódico de la red vial nacional, sector: Sullana – Aguas Verdes. Recuperado <http://www.proviasnac.gob.pe/>**

Tabla N° 3: Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración

Características	Ensayo	Grado de Penetración							
		40 - 50		60 - 70		85 - 100		120 - 150	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Penetración 25°C, 100 g, 5s, 0.1 mm	MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150
Punto de Inflamación COC, °C	MTC E 312	232	-	232	-	232	-	232	-
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	MTC E 306	100	-	100	-	100	-	100	-
Solubilidad en Tricloroetileno, % masa	MTC E 302	99	-	99	-	99	-	99	-
Susceptibilidad Térmica	MTC E 316								
Ensayo de Película Delgada en Horno, 3.2 mm, 163°C, 5 hrs.		-	0,8	-	0,8	-	1,0	-	1,5
* Pérdida de masa, %	MTC E 304	55	-	52	-	47	-	42	-
* Penetración del residuo, % de la penetración original									
* Ductilidad del residuo, 25°C, 5 cm/min, cm	MTC E 306	-	-	50	-	75	-	100	-
Índice de Susceptibilidad Térmica		-1,0	+1,0	-1,0	+1,0	-1,0	+1,0	-1,0	+1,0
Ensayo de la Mancha con solvente	MTC E 314								
Heptano – Xileno 20% (opcional)		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	

Fuente: Principios de construcción de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente. Serie de manuales No. 22 (MS-22).

Tabla N° 4: Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por viscosidad

Características	Ensayo	Grado de Viscosidad			
		AC-5	AC-10	AC-20	AC-40
Viscosidad Absoluta 60°C, Pa.s (Poises)	MTC E 308	50 ± 5 (500 ± 100)	100 ± 20 (1000 ± 200)	200 ± 40 (2000 ± 400)	400 ± 80 (4000 ± 800)
Viscosidad Cinemática, 135°C mm ² /s, mínimo	E 301	100 MTC	150	210	300
Penetración 25°C, 100 gr. 5s mínimo	MTC E 304	120	70	40	20
Punto de Inflamación COC, °C, mínimo	MTC E 303	177	219	232	232
Solubilidad en Tricloroetileno % masa, mínimo	MTC E 302	99	99	99	99
Susceptibilidad Termina Ensayo de Película Delgada en Horno	MTC E 316				
		200	400	800	1600
* Viscosidad Absoluta, 60°C, Pa.s (Poises) máximo	MTC E 304	(2000)	(4000)	(8000)	(16000)
* Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm. Mínimo	MTC E 306	100	50	20	10
Ensayo de la mancha con solvente Heptano-xileno (opcional)	MTC E 314	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

Fuente: Principios de construcción de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente. Serie de manuales No. 22 (MS-22).

2.2.3.5.2. Asfaltos Diluidos

Para disolver el cemento asfáltico se usan solventes de petróleo, conocidos también como diluyentes o destilados. Si el solvente para diluir el asfalto es altamente volátil, entonces se evaporará rápidamente. Por el contrario, los de baja volatilidad lo hacen más despacio. Por lo tanto, basándose en la velocidad relativa de evaporación, se puede dividir a los asfaltos diluidos en tres tipos:

- A. Curado rápido (RC):** Constituido por cemento asfáltico y un diluyente liviano de alta volatilidad, generalmente con un punto de ebullición de rango similar a la nafta o gasolina.
- B. Curado Medio (MC):** Constituido por cemento asfáltico y un diluyente mediano de volatilidad media, generalmente en el orden del punto de ebullición del kerosene.

A. Curado Lento (SC): Constituido por cemento asfáltico y aceites de baja volatilidad (generalmente diésel u otros gases aceitosos).

➤ **Especificaciones y ensayos para asfaltos diluidos**

Los asfaltos diluidos se clasifican según su tipo y grado. Los tipos RC, MC y SC, indican la velocidad relativa de evaporación del solvente y los grados, 70, 250, 800, 3000, la viscosidad cinemática mínima permitida a 60°C en centistokes. El valor máximo admisible de viscosidad para cada grado es dos veces el valor mínimo permitido. Un stoke es el cociente entre la viscosidad dinámica o absoluta (medida en poises) y la densidad, ambas a la misma temperatura.

Los grados más viscosos de los tres tipos de asfalto (RC-3000, MC-3000 y SC-3000) son sólo un poco menos viscosos que el cemento asfáltico de menor grado de viscosidad (AC-2.5). Los asfaltos diluidos de menor viscosidad (RC-70, MC-70 y SC-70) pueden ser vertidos con facilidad a temperatura ambiente (25°C). Tienen la misma consistencia que la crema de leche.

Las especificaciones para SC, MC y RC, se da en ASTM D2026, ASTM D2027 y ASTM D2028, respectivamente, se muestra en las tablas N° 5 y 6. Así mismo los Cutbacks de curado medio y rápido producidos por Petroperú están especificaciones en la tabla N° 7 y 8.

Tabla N° 5: Requisitos para Cutbacks de curado rápido

Ensayo	RC-70	RC-250	RC-800	RC-3000
Viscosidad cinemática a 140 °F (60 °C), cSt	70-140	250-500	800-1600	3000-6000
Punto de inflamación (copa-abierta) °F (°C), mínimo	-	80(27)	80(27)	80(27)
Residuo de destilación a 680°F (360 °C), porcentaje por volumen, mínimo	55	65	75	80
Ensayos sobre residuo de destilación:				
Viscosidad a 140 °F (60 °C), P	600-2400	600-2400	600-2400	600-2400
Ductilidad en 77 °F (25 °C), cm, mínimo	100	100	100	100

Fuente: National center for asphalt technology, 1996.

Tabla N° 6: Requisitos para Cutbacks de curado medio

Ensayo	MC-30	MC-70	MC-250	MC-800	MC-3000
Viscosidad cinemática a 140 °F (60 °C), cSt	30-60	70-140	250-500	800-1600	3000-6000
Punto de inflamación (copa-abierta) °F (°C), mínimo	100(38)	100(38)	150(66)	150(66)	150(66)
Residuo de destilación a 680°F (360 °C), porcentaje por volumen, mínimo	50	55	67	75	80
Ensayos sobre residuo de destilación:					
Viscosidad a 140°F (60 °C), P	300-1200	300-1200	300-1200	300-1200	300-1200
Ductilidad en 77°F (25 °C), cm, mínimo	100	100	100	100	100

Fuente: National center for asphalt technology, 1996.

Tabla N° 7: Especificaciones de calidad para Cutbacks de curado medio y rápido que produce Petroperú.

Características	Métodos de prueba		Especificación AASHTO M82 y ASTM D2027 MC-30		Especificación AASHTO M81 y ASTM D2028			
	AASHTO	ASTM	Min.	Máx.	RC-70	Min.	Máx.	RC-250
Fluidez								
*Viscosidad Cinemática a 60°C St	T201	D2170	30	60		70	140	500
Volatilidad								
Punto de inflamación TAG. Copa abierta, °C	T79	D3143	38					27
Destilación	T78	D402						
% Volumen Total Destilado hasta 380°C, % Vol.								
*a 190°C						10		
*a 225°C						50		35
*a 260°C			40	70		70		60
*a 316°C			75	93		85		80
*Residuo de destilación a 360°C, %Vol. por diferencia			50			55		65
Pruebas sobre el residuo de la destilación								
Penetración a 25°C, 100gr., 5s. 0.1 mm	T49	D5	120	250		80	120	120
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min., cm	T51	D113	100			100		100
Solubilidad en Tricloroetileno, % masa	T44	D2042	99			99		99
Adherencia								
Revestimiento-desprendimiento, mezcla agregado-Bitúmen, %			95			95		95
Ensayo de la mancha con solvente Heptano-Xileno 20% Contaminantes	T102		NEGATIVO		NEGATIVO		NEGATIVO	
Contenido de agua, % volumen	T55	D95		0.2			0.2	0.2
Requerimiento General Asfaltos Líquidos: El asfalto debe presentar un aspecto homogéneo y sin grumos antes de ser usado y no debe formar espuma cuando se calienta a la temperatura de aplicación.								

Fuente: National center for asphalt technology, 1996.

Tabla N° 8: Se muestran los ensayos de calidad que se realizan al cemento asfáltico, asfáltico líquido y asfalto emulsionado.

NORMA	AASHTO	ASTM
CEMENTO ASFALTICO		
Penetración	T49	D5
Viscosidad	T201	D1170
Punto de Inflamación	T48	D92
Prueba de Película Fina	T179	D1754
Ductilidad	T51	D113
Solubilidad	T44	D4
Gravedad Específica	T43	D70
Punto de Ablandamiento	T53	D36
ASFALTO LIQUIDO DE CURADO RAPIDO Y MEDIO		
Viscosidad	T201	D2170
Punto de Inflamación	T79	D1310
Destilación	T78	D402
Prueba sobre Residuo		
Agua en Asfalto	T55	D95
Gravedad Específica	T43	D70
ASFALTO LIQUIDO DE CURADO LENTO		
Viscosidad	T201	D2170
Punto de Inflamación	T48	D92
Destilación	T78	D402
Prueba de Flotación	T50	D139
Residuo de Asfalto de 100 de Penetración	T58	D243
Ductilidad	T51	D113
Solubilidad	T44	D4
Agua en Asfalto	T55	D95
Gravedad Específica	T43	D70
ASFALTO EMULSIONADO		
Viscosidad	T59	D244
Residuo de Destilación	T59	D244
Asentamiento	T59	D244
Desemulsibilidad	T59	D244
Prueba de Tamiz	T59	D244
Mezcla de Cemento	T59	D244
Prueba sobre el Residuo		
Prueba de Recubrimiento		D244 - 61T
Prueba de carga de Partícula	T59A	D244
Pruba de pH	T200	E70
Aceite Destilado	T59	D244
Gravedad Específica	T43	D70
Análisis de tamiz seco, agregado grueso y fino	T27	C136
Análisis de tamiz seco, Relleno de Mineral	T37	D546
Abrasión	T96	C131
Prueba de Resonancia	T104	C88
Gravedad Específica - Agregado grueso	T85	C29
Gravedad Específica - Agregado fino	T84	C128
Peso Unitario	T19	C29
Humedad		

Fuente: National center for asphalt technology, 1996.

2.2.4. Mezclas Asfálticas

2.2.4.1. Introducción

En una mezcla asfáltica de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas. Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y eventualmente, el desempeño de la misma como pavimento terminado. Existen dos métodos de diseño comúnmente utilizados para determinar las proporciones apropiadas de asfalto y agregado en una mezcla asfáltica en caliente. Ellos son el Método Marshall (AASHTO T245 o ASTM D15559) y el Método Hveen (AASHTO T246 y T247 o ASTM D1560 y D1561).

Cada método contiene características y ventajas singulares y cualquiera de ellos puede ser usado con resultados satisfactorios. En nuestro medio el método comúnmente utilizado es el Método Marshall. No existe un método de diseño universalmente aceptado para mezclas con asfaltos diluidos y emulsionados; pero casi todos aquellos en uso emplean partes o modificaciones de los métodos arriba mencionados.

Para mezclas emulsión asfáltica-agregado, el Instituto del Asfalto presenta dos métodos, el primero es el Método de la División de la Costa Pacífica de Estados Unidos, basado en el procedimiento Hveem más una prueba de módulo de Rebote (resilient). El segundo es el Método de Illinois, basado en un procedimiento de diseño de mezcla Marshall modificado y una prueba de durabilidad húmeda.

Este último método de diseño es el empleado por los laboratorios de pavimentos en la capital (únicos existentes en Perú).

2.2.4.2. Características y comportamiento de la mezcla

Una muestra de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado hacia cuatro características de la mezcla, y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla. Las cuatro características son:

- Densidad de la mezcla
- Vacíos de aire, o simplemente vacíos
- Vacíos en el agregado mineral

- Contenido de asfalto

Manual de Mezclas Asfálticas en Frío (Serie MC-14, año 1977) – Instituto del Asfalto y Manual de mezclas asfálticas con emulsión – Instituto del Asfalto.

A. Densidad

La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de mezcla). La densidad es una característica muy importante debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero.

En las pruebas y el análisis de mezclas, la densidad de la muestra compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3) o libras por pie cúbico (lb/ft^3). La densidad es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1000 kg/m^3 ó 62.416 lb/ft^3). La densidad obtenida en el laboratorio se convierte en la densidad patrón y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es o no la adecuada.

Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio. Esto se debe a que muy rara vez la compactación in-situ logra las densidades que se obtienen usando los métodos normalizados de compactación de laboratorio.

B. Vacíos de aire, o simplemente vacíos

Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios a donde pueda fluir el asfalto durante esta compactación adicional.

La durabilidad de un pavimento asfáltico está en función del contenido de vacíos. La razón de esto es que cuando menor sea la cantidad de vacíos, menor va a ser la permeabilidad de la mezcla. Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes, a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y el aire y causar deterioro. Por otro lado, un

contenido demasiado bajo de vacíos puede producir exudación de asfalto; una condición en donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie.

La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. Entre más alta la densidad, menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla, y viceversa.

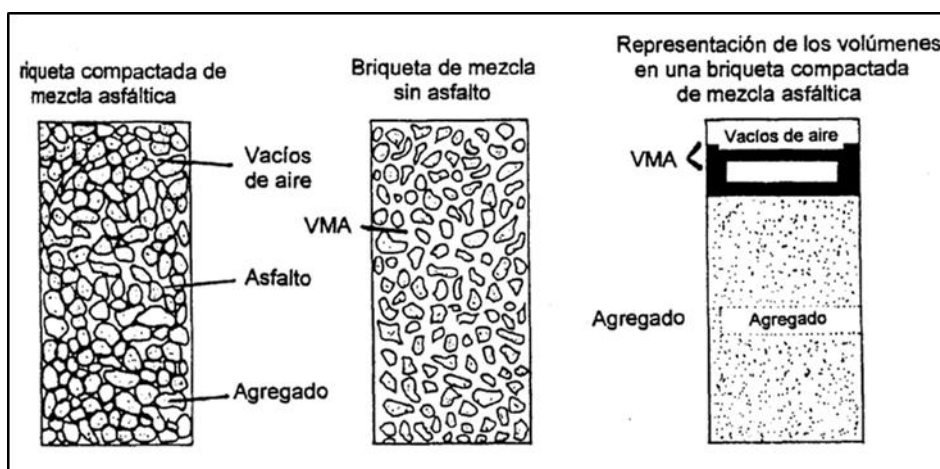
C. Vacíos en el agregado mineral

Los vacíos en el agregado mineral (VMA) son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.

El VMA representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (todo el asfalto menos la porción que se pierde, por absorción, en el agregado) y el volumen de vacíos necesario en la mezcla. En el gráfico N° 2 se ilustra el concepto de VMA. Los valores requeridos se muestran.

Para que pueda lograrse un espesor durable de película de asfalto, se deben tener valores mínimos de VMA. Un aumento en la densidad de la gradación del agregado, hasta el punto donde se obtenga valores de VMA por debajo del mínimo especificado, puede resultar en película delgadas de asfalto y en mezclas de bajo durabilidad y apariencia seca. Por lo tanto, es contraproducente y perjudicial, para la calidad del pavimento, disminuir el VMA para economizar en el contenido de asfalto.

Gráfico N° 2: Ilustración del VMA en una probeta de mezcla compactada



Fuente: Principios de construcción de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente. Serie de manuales No. 22 (MS-22).

D. Contenido de asfalto

La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio, y luego controlada con precisión en la obra.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte de las características del agregado, tales como granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total y mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir uniformemente todas las partículas. Por otro lado, las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total.

La relación entre el área superficial del agregado y el contenido óptimo de asfalto es mayor cuando hay relleno mineral (fracciones muy finas de agregado que pasan a través del tamiz No. 200). Los pequeños incrementos en la cantidad de relleno mineral, pueden absorber, literalmente, gran parte del contenido de asfalto, resultando en una mezcla inestable y seca. Las pequeñas disminuciones tienen el efecto contrario: poco relleno mineral resulta en una mezcla muy rica (húmeda). Cualquier variación en el contenido de relleno mineral causa cambios en las propiedades de la mezcla haciéndola variar de seca a húmeda. Si una mezcla contiene poco, o demasiado, relleno mineral, cualquier ajuste arbitrario para corregir la situación, probablemente la empeorará. En vez de hacer ajustes arbitrarios, se deberá efectuar un muestreo y unas pruebas apropiadas para determinar las causas de las variaciones y, si es necesario, establecer otro diseño de mezcla.

La capacidad de absorción (habilidad para absorber asfalto) del agregado usado en la mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto. Esto se debe a que se tiene que agregar suficiente asfalto a la mezcla para permitir la absorción y para que además se puedan cubrir las partículas con una película adecuada de asfalto. En general, se habla de dos tipos de asfalto cuando se refieren al asfalto absorbido y al no absorbido: contenido total de asfalto y contenido efectivo de asfalto.

El contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre las superficies de los agregados. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto.

La capacidad de absorción de un agregado es, obviamente, una característica importante en la definición del contenido de asfalto en una mezcla. Generalmente se conoce la capacidad de absorción de las fuentes comunes de agregado, pero es necesario efectuar ensayos cuidadosos cuando son usadas fuentes nuevas.

2.2.4.3. Propiedades consideradas en el diseño de mezclas

Las buenas mezclas asfálticas trabajan bien debido a que son diseñadas, producidas y colocadas de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas. Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas asfálticas. Estas incluyen la estabilidad, la durabilidad, la impermeabilidad, la trabajabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento.

El objetivo primordial del procedimiento de diseño de mezclas es el de garantizar que la mezcla de pavimentación posea cada una de estas propiedades.

A. Estabilidad

La estabilidad de un asfalto es su capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y su 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 sólo 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 la 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 directamente con 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 incrementos 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 pérdidas de fricción entre partículas. Existen muchas causas y efectos asociados con una estabilidad insuficiente en el pavimento.

Tabla N° 9: Causas y efectos de estabilidad en el pavimento

ESTABILIDAD BAJA	
Causas	Efectos
Exceso de asfalto en la mezcla	Ondulaciones, ahuellamiento 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 con o sin pocas, superficies trituradas	Ahuellamiento y canalización

Fuente: Principios de construcción de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente. Serie de manuales No. 22 (MS-22).

B. Durabilidad

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

Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada de tres formas. Primero: usando la mayor cantidad posible de asfalto; segundo, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación y tercero, diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.

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

Una graduación densa de agregado firme, duro y resistente a la separación, contribuye de tres maneras a la durabilidad del pavimento

Una graduación densa proporciona un contacto más cercano entre las partículas de agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla

Un agregado firme y duro resiste la desintegración bajo las cargas del tránsito. Un agregado resistente a la separación resiste la acción del agua

y el tránsito, las cuales tienden a separar la película de asfalto de las partículas de agregado, conduciendo a la desintegración del pavimento. La resistencia de una mezcla a la separación puede ser mejorada, bajo ciertas condiciones, mediante el uso de compuestos adhesivos o rellenos minerales como la cal hidratada.

La intrusión de aire y agua en el pavimento puede minimizarse si se diseña y compacta la mezcla para darle al pavimento la máxima impermeabilidad posible. Existen muchas causas y efectos asociados con una poca durabilidad del pavimento.

Tabla N° 10: Causas y efectos de un poco durabilidad

POCÁ DURABILIDAD	
Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado
Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración
Agregados susceptibles al agua (hidrofilicos)	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado o desintegrado

Fuente: Principios de construcción de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente. Serie de manuales No. 22 (MS-22).

C. Impermeabilidad

La impermeabilidad de un pavimento asfáltico es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relacionan con impermeabilidad. Aunque el contenido de vacíos es una indicación del paso potencial de aire y agua a través de un pavimento, la naturaleza de estos vacíos es más importante que su cantidad.

El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos, sin importar si están o no conectados, y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento. Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad. Esto es aceptable siempre y cuando la

permeabilidad esté dentro de los límites especificados. La Tabla N° 10 cita ciertas causas y efectos relacionados con valores bajos de impermeabilidad para pavimentos asfálticos de graduación densa.

Tabla N° 11: Causas y efectos de la impermeabilidad

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

Fuente: Principios de construcción de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente. Serie de manuales No. 22 (MS-22).

D. Trabajabilidad

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

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

Un contenido demasiado alto de relleno mineral también puede afectar la trabajabilidad. Puede ocasionar que la mezcla se vuelva muy viscosa, haciendo difícil su compactación.

La trabajabilidad es especialmente importante en sitios donde se requiere colocar y rastrillar a mano cantidades considerables de mezcla, como por

ejemplo alrededor de tapas de alcantarillado, curvas pronunciadas y otros obstáculos similares. Las mezclas que son fácilmente trabajables o deformables se conocen como mezclas tiernas. Las mezclas tiernas son demasiado inestables para ser colocadas y compactadas apropiadamente. Usualmente son el producto de una falta de relleno mineral, demasiada arena de tamaño mediano, partículas lisas y redondeadas de agregado y/o demasiada humedad en la mezcla.

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

Tabla N° 12: Causas y efectos de problemas en la trabajabilidad

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

Fuente: Principios de construcción de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente. Serie de manuales No. 22 (MS-22).

E. Flexibilidad

Flexibilidad es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante, sin agrietarse.

La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las subrasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden (por expansión del suelo).

Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada de bajo

contenido de asfalto. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de los mismos.

F. Resistencia a la fatiga

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo cargas de tránsito. Investigaciones han demostrado que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento disminuye. En este caso, el período de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga será menor. Así mismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga.

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

Tabla N° 13: Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga

MALA RESISTENCIA A LA FATIGA	
Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga
Alto porcentaje de vacíos	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Falta de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga

Fuente: Principios de construcción de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente. Serie de manuales No. 22 (MS-22).

G. Resistencia al deslizamiento

Es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie está mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento,

el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento (hydroplaning). La resistencia al deslizamiento se mide en el terreno con una rueda normalizada bajo condiciones controladas de humedad en la superficie del pavimento y a una velocidad de 65 km/hr. Una superficie áspera y rugosa de pavimento tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa. La mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un agregado de textura áspera, en una mezcla de gradación abierta y con tamaño máximo de 9.5mm (3/8 pulgada) a 12.5mm (1/2 pulgada). Además de tener una superficie áspera, los agregados deben resistir el pulimiento (alisamiento) bajo el tránsito. Los agregados calcáreos son más susceptibles al pulimiento que los agregados silíceos. Las mezclas inestables que tienden a deformarse o a exudar (flujo de asfalto a la superficie) presentan problemas graves de resistencia al deslizamiento.

Tabla N° 14: Causas y efectos de una mala resistencia al deslizamiento

POCA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO	
Causas	Efectos
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento
Agregado mal graduado o con mala textuta	Pavimento liso, posibilidad de hidropneumático
Agregado pulido en la mezcla	Poca resistencia al deslizamiento

Fuente: Principios de construcción de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente. Serie de manuales No. 22 (MS-22).

2.3. Definiciones

Se tomarán en cuenta indicadores de acuerdo a su comportamiento estructural de la mezcla asfáltica en caliente y emulsionada, también las propiedades fundamentales de una mezcla asfáltica.

➤ **ASFALTO:** El asfalto es un componente natural de la mayor parte de los petróleos, en los que existe en disolución. El petróleo crudo se destila para separar sus diversas fracciones y recuperar el asfalto. Procesos similares producidos naturalmente han dado lugar a yacimientos naturales de asfalto. **Manual del Asfalto – The Asphalt Institute pag.21**

➤ **ASFALTO PEN 60/70:** llamado también asfalto de petróleo, asfalto para carreteras, es el material por excelencia para la pavimentación, en virtud de sus propiedades y características. Es un material altamente cementante, termoplástico, repelente al agua y es resistente al ataque de la mayoría de los ácidos, álcalis y sales. Brindando propiedades de impermeabilidad, flexibilidad y durabilidad aun en presencia de los diferentes agentes al externo tales como el clima, la altura, la temperatura ambiental y condiciones severas. **Company Asphalt (CA) - Tecnología de Asfaltos.**

➤ **ASFALTO RC-250:** también se llama asfalto líquido de curado rápido (RC), es una mezcla de asfalto de penetración con un destilado de petróleo muy volátil, del tipo de gasolina, que imparten a los asfaltos diluidos sus distintos tiempos de corte o curado. se trata de productos líquidos a temperatura ambiente y que se aplican en frío. El número de 250 asociados con el nombre indica la viscosidad cinemática permisible en CST a 60°C (144°F), la viscosidad del producto depende del tipo de asfalto de penetración, de la volatilidad del solvente y de la proporción de los componentes. son recomendados con demostrados y excelentes resultados. **Company Asphalt (CA) - Tecnología de Asfaltos.**

➤ **MEZCLA ASFALTICA:** Es una combinación de asfalto y agregados minerales pétreos, compuestos de piedra, arena y finos que pasan la malla #200. El asfalto actúa como el material ligante o cohesionante.

- **MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE:** Se fabrican con asfaltos a unas 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 enfrie al entrar en contacto con ellos. **Principios de construcción de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente MS-Nº 22.**

- **MEZCLA ASFALTICA EN FRIO:** 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. **Principios de construcción de pavimentos de mezclas asfálticas en frio MS-Nº 14.**

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Material

3.1.1. Población

El estudio y análisis va a ir en beneficio de la población, usuario y principalmente para los habitantes de la ciudad de Trujillo.

3.1.2. Muestra

La muestra será el número de briquetas (30 briquetas) realizadas mediante el método de diseño Marshall para el diseño de mezclas asfálticas en caliente y frío.

3.1.3. Unidad de Análisis

Cada uno de los especímenes del ensayo en laboratorio.

3.2. Metodología

3.2.1. Tipo de Investigación

Descriptiva, porque busca mostrar características de los agregados de la cantera y además su diseño de dos mezclas asfálticas para un mejoramiento de construcción.

3.2.2. Diseño de Investigación

Por la Clase: De Laboratorio

- Lo que realizaremos inicialmente será recopilar antecedentes sobre mezclas asfálticas en caliente y emulsionadas.
- Luego se analizará todas las posibilidades para obtener una mezcla asfáltica adecuada y óptima.
- Posteriormente se realizará muestras en laboratorio.
- Luego se aplicará lo analizado en las mezclas asfálticas (en caliente y frío).
- Luego con ayuda del asesor se validará el proyecto y se concluirá si es que el diseño planteado es el correcto.
- Posteriormente y en caso fuera aprobado el anteproyecto, se iniciará el proyecto con los pasos debidos, correspondientes a este tipo de obras.
- Por último, el proyecto de tesis será observado y corregido a través de un juicio de expertos.

3.2.3. Variables de Estudio y Operacionalización

➤ **Variable independiente:**

Mezclas Asfálticas.

➤ **Variable Dependiente:**

Comportamiento Estructural

➤ **Definición Operacional**

Tabla N° 15: Definición Operacional

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADOR	INSTRUMENTO
COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL	El comportamiento estructural del pavimento de concreto está asociado a la capacidad estructural que tiene para soportar o resistir las sollicitaciones de carga al que estará sometido durante su período de vida útil; ya que las cargas de los vehículos pesados producen una pérdida lenta y progresiva de la capacidad de soporte de la estructura del pavimento.	Una muestra de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado hacia tres características de la mezcla, y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla	RESISTENCIA	TRANSITO LIVIANO CARPETA Y BASE	Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall (MTC E 504)
				Minimo = 3375 N	
				TRANSITO MEDIANO CARPETA Y BASE	
				Minimo = 5328 N	
			TRANSITO PESADO CARPETA Y BASE	Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall (MTC E 504)	
			Minimo = 8006 N		
			VALORES MINIMOS EN AGREGADO MINERAL (%)		
			TAMIZ N#8 = 21%		
			TAMIZ N#4 = 28%		
			TAMIZ 3/8" = 16%		
TAMIZ 1/2" = 15%					
TAMIZ 3/4" = 14%					
TAMIZ 1" = 13%					
TAMIZ 1 1/2" = 12%					
TAMIZ 2" = 11.5%					
CONTENIDO DE ASFALTO	Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall (MTC E 504)				
EN CALIENTE					
MIN= 5% - MAX= 6%					
EN FRIO					
MIN = 5.5 % - MAX = 7%					
VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADOR	INSTRUMENTO
MEZCLAS ASFALTICAS	Una mezcla asfáltica en una combinación de asfalto y agregados compuestos de piedra, arena y finos que pasan la malla # 200. El asfalto actúa como el material ligante o cohesionante. Debido a sus propiedades es el material más común en los proyectos de construcción para pavimentos de carreteras, aeropuertos, etc.	En una mezcla asfáltica de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas. Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y eventualmente, el desempeño de la misma como pavimento terminado	EN CALIENTE	Como es de conocimiento general, un concreto asfáltico en caliente convencional es una mezcla de áridos gruesos y finos de alta calidad con cemento asfáltico, densamente graduada. Los áridos y el cemento asfáltico, calentados individualmente entre 150 y 180°C, son mezclados en planta, aplicados con máquinas terminadoras y compactados en caliente.	Metodo Marshall
			FRIO	A diferencia de la en caliente, la emulsionada se realiza a una temperatura de 60° C, este valor es constante.	

Fuente: Elaboración Propia

3.2.4. Instrumentos de recolección de datos

Se van a realizar ensayos en los laboratorios de la Universidad Nacional de Trujillo y Huertas Ingenieros S.A.C., para su respectivo análisis de los materiales. El trabajo de campo solo se realizará el acoplo de materiales de agregado fino y grueso en la cantera mencionada anteriormente.

3.2.5. Procedimientos y análisis de datos

Para el procesamiento de datos se utilizarán los siguientes programas:

SOFTWARE:

- **MICROSOFT EXCEL:** Se prestará para hacer las hojas de cálculos para el diseño de cada tipo de mezcla asfáltica.
- **MICROSOFT WORD:** Se usará para la edición del informe de la investigación.

3.2.6. Técnicas de análisis de datos

Se realizará estudio de mezclas asfálticas con fines de pavimentación; haciendo uso de laboratorios y de esta manera poder realizar un próspero proyecto.

También se realizará ensayos de agregados, posteriormente el ensayo de diseño de mezclas asfálticas y por último ensayo Marshall, donde se determinará la estabilidad, flujo, peso específico bulk, vacíos de aire y vacíos de agregado mineral, en caliente y frío, para después obtenido los resultados finalizar con un cuadro comparativo en la tabla N° 15 donde se determinará el análisis comparativo de mezclas asfálticas en caliente y en frío.

Tabla N° 16: Técnicas de análisis de datos

TECNICAS	INSTRUMENTOS	USOS
Ensayo de agregados	Laboratorio de Mecanica de Suelos	Los agregados deben cumplir con los requerimientos que se utilizaran para los ensayos, ya que con ellos desarrollaremos el diseño de mezclas asfálticas en caliente y en frío.

Ensayo de diseño de mezclas asfálticas	Laboratorio de Pavimentos	Mediante los resultados obtenido de los ensayos de agregado fino y grueso que cumplen con los requisitos del MTC. Determinar en forma cuantitativa el contenido de optimo de asfalto, agregado grueso y agregado para mezclas en caliente y en frio.
Metodo Marshall	Aparato Marshall	Determinar a partir de la prepracion y compactacion de especimenes de mezcla bituminosa para pavimentacion, de altura nominal de 64 mm y 102 mm de diametro, el diseño de una mezcla asfaltica y calcular sus diferentes parametros de comportamiento.

Fuente: Elaboración Propia

3.2.7. Procedimientos

3.2.7.1. ENSAYOS DE AGREGADOS

3.2.7.1.1. Agregado Grueso y Agregado Fino

Los agregados deben tener las características necesarias para cumplir con las especificaciones técnicas para los ensayos en el diseño de mezcla asfáltica.

Para esto se han tomado las muestras prudentes de la cantera Bauner, ubicado en la carretera panamericana norte km 570.5 el Milagro-Trujillo y se clasifica como un agregado procesado.

Con la finalidad de demostrar que los agregados gruesos y finos de dicha cantera cumplen con los requisitos y parámetros para ser empleadas en el diseño de mezclas asfálticas.

Gráfico N° 3: Ubicación de la cantera Bauner



Fuente: Google Earth

3.2.7.1.1.1. Ensayos para agregado grueso y fino

A. Ensayo de abrasión de Los Angeles MTC E 207

El método consiste en analizar granulométricamente un agregado grueso, para preparar una muestra de ensayo que será sometida a abrasión en la máquina de Los Ángeles para luego expresar la pérdida de material o desgaste como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra con respecto a su masa inicial.

Nos brinda un indicador de la calidad de los agregados, especialmente usados para la elaboración de hormigón.

Este ensayo establece un procedimiento para agregados gruesos tamaños más pequeños que 37,5 mm (1 1/2 plg) que permite la determinación de la resistencia a la degradación utilizando la máquina de ensayo de Los Ángeles.

➤ **Procedimiento:**

- Se separa 1 kg de la muestra obtenida de la Cantera Bauner - Milagro - Trujillo.
- Se lavará la muestra
- La muestra y la carga abrasiva correspondiente se colocan en la máquina de Los Ángeles, y se hace girar el cilindro a una velocidad comprendida entre 30-33 rpm, el número de total de vueltas deberá ser de 500.
- Una vez cumplido el número de vueltas, se procederá a retirar el material del cilindro y a separar el agregado fino y el grueso por el tamiz #12.
- En caso el agregado grueso este con polvo y costras el lavarlo no hará una pérdida mayor al 0.2% del peso de la muestra original.
- El resultado del ensayo (% desgaste) recibe el nombre de coeficiente de desgaste de Los Ángeles. Se calcula así:

Ecuacion N° 1:

$$\% \text{Desgaste} = 100 * (P1 - P2) / P1$$

P1= Peso de la muestra seca antes del ensayo

P2= Peso de la muestra seca después del ensayo, previo lavado sobre el tamiz de 1.70 mm (N° 12).

Gráfico N° 4: Maquina degasste de Los Angeles



➤ **Resultados del ensayo:**

Tabla N° 17: Resultado de abrasión con la maquina Los Angeles

TMN = $\frac{3}{4}$ "	P inicial = 5000 gr	La muestra presenta un % desgaste de abrasión de: 4.26 %
Gradación = "B"	P final = 4787 gr	

Fuente: Elaboración Propia

B. Ensayo de partículas chatas y alargadas ASTM 4791

Para esta prueba la dimensión promedio se entiende como el tamaño medio entre las dos aberturas 1" a $\frac{3}{4}$, $\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ ", $\frac{1}{2}$ " a $\frac{3}{4}$ ", etc. Entre las que los agregados son retenidos al ser tamizados.

El ensayo de índice de aplanamiento y de alargamiento arroja estimaciones importantes para la clasificar a un determinado agregado como material adecuado y no para conformar capas granulares.

Se denomina partícula chata cuando la relación ancho-espesor es mayor de $\frac{1}{3}$ y alargada cuando la relación largo-ancho es mayor de $\frac{1}{3}$.

➤ **Procedimiento:**

- Se reduce el material por cuarteo.
- Se tamiza el material por las mallas indicadas y se determina el peso retenido entre las dos mallas consecutivas.
- Se separa el material retenido en cada malla.

- Se utilizan las plantillas para determinar su aplanamiento y/o alargamiento.
- Las muestras clasifican con un calibrador de alargamiento y aplanamiento.

Gráfico N° 5: Muestra – Grava ¾”



➤ **Resultados del ensayo:**

Tabla N° 18: Resultado de partículas chatas y alargadas

PARTICULAS CHATAS				
TAMAÑO	PESO RETENIDO	GRADACION	PARTICULAS CHATAS	PROMEDIO PARTICULAS CHATAS
¾” – ½”	921	66.5	10.8	0.78
½” – 3/8”	465	33.5	0	0
TOTAL promedio				0.78%
PARTICULAS ALARGADAS				
TAMAÑO	PESO RETENIDO	GRADACION	PARTICULAS ALARGADAS	PROMEDIO PARTICULAS ALARGADAS
¾” – ½”	921	66.5	0	0
½” – 3/8”	465	33.5	0	0
TOTAL promedio				0

Fuente: Elaboración Propia

C. Ensayo de durabilidad (al sulfato de magnesio) MTC E 209

Es el porcentaje de pérdida de un material en una mezcla desagregada durante el ensayo de durabilidad de los áridos sometidos al ataque con sulfatos de sodio o sulfatos de magnesio. Este ensayo estima la resistencia del agregado al deterioro por acción de los agentes climáticos durante la vida útil de la obra. Puede aplicarse tanto en agregado grueso como fino.

El ensayo se realiza exponiendo una muestra de agregado a ciclos alternativos de daño de inmersión en una solución de sulfato de sodio o magnesio y secado en horno. Una inmersión y un secado se consideran un ciclo de durabilidad. Durante la fase de secado, las sales precipitan en los vacíos del agregado.

En la reinversión las sales se rehidratan y ejercen fuerzas de expansión internas que simulan las fuerzas de expansión de la agua congelada. El resultado del ensayo es el porcentaje total de pérdida de peso sobre varios tamices para un número requerido de ciclos. Los valores máximos de pérdida son aproximadamente de 10 a 20% para cinco ciclos de inmersión-secado.

➤ Procedimiento:

- La muestra se tamiza por la malla N° 4 y se trabaja con el material retenido en este tamiz.
- El material lavado y seco se coloca en los recipientes por separado (los recipientes son 7, preestablecidos para un agregado grueso).
- Si el material comprendido entre los tamices es menor de 5% estas no intervienen en el ensayo. Su correspondiente pérdida será el promedio de la pérdida superior o inferior.
- El material será sumergido en el sulfato de sodio por espacio de 16 a 18 horas cubriendo al agregado totalmente.
- Retiran la muestra de la solución y secan en el horno a 110°C.
- Colocar nuevamente solución hasta completar 5 ciclos.
- Al término lavar la muestra hasta eliminar los sulfatos y secar a 110°C para verificar los pesos en los mismos tamices de ensayo.

Ecuacion N° 2:

$$\% \text{Pérdida corregida} = (\text{Escalonado original} \times \% \text{Pérdida}) / 100$$

Para la granulometría general:

Ecuacion N° 3:

$$\text{Resultado} = \Sigma \% \text{Pérdida corregida}$$

➤ Resultados del ensayo:

Tabla N° 19: Resultado de durabilidad

Agregado Grueso							
Abertura malla		N° Tarro	Peso de la fractura de ensayo (gr)		Pérdida total (%)	Gradacion original (%)	Pérdida corregida (%)
Pasa	Retenido		Antes	Despues			
1 1/2"	1"						
1"	3/4"						
3/4"	1/2"	122	672.1				
1/2"	3/8"	384	331.1	919.8	8.3	41	3.4
3/8"	N° 4	156	300.7	263.2	12.5	59	7.38
Pérdida Total (%)							10.78
Agregado Fino							
Abertura malla		N° Tarro	Peso de la fractura de ensayo (gr)		Pérdida total (%)	Gradacion original (%)	Pérdida corregida (%)
Pasa	Retenido		Antes	Despues			
3/8"	N° 4						
N° 4	N° 8	499	100	88	12	10	2.67
N° 8	N° 16	497	100	85.2	14.8	14	4.6
N° 16	N° 30	17	100	82.8	17.2	11	4.2
N° 30	N° 50	20	100	97.1	12.9	10	2.87
Pérdida Total (%)							14.34

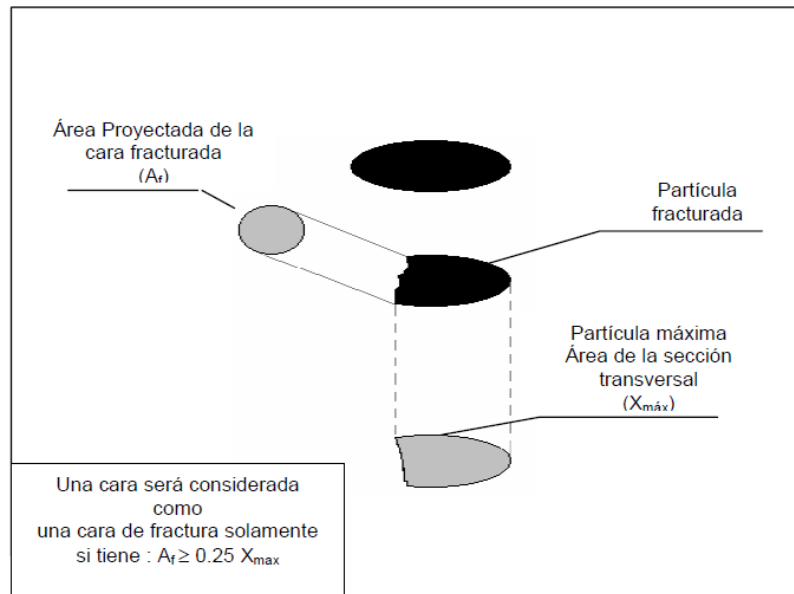
Fuente: Elaboración Propia

D. Ensayo de caras fracturadas MTC E 210

Este ensayo se hace con el fin de poder mirar que porcentaje de agregados cumplen con el propósito de maximizar la resistencia al esfuerzo cortante con el incremento de la fricción entre las partículas, teniendo en cuenta que también brinda estabilidad, fricción y textura a los agregados utilizados.

Se dice que una partícula está fracturada cuando presenta al menos una cara fracturada mecánicamente y el área fracturada es mayor que el 25% del área total. En la construcción de carreteras, es primordial que los agregados a utilizar sean partículas angulosas y con textura superficial tal, que ofrezcan un entramamiento y mayor fricción para aumentar la resistencia del pavimento. Se necesita que el porcentaje de caras fracturadas existente en la muestra de agregado sea superior al 50% del peso total de la muestra.

Gráfico N° 6: Esquema de una partícula fracturada con una cara fracturada



➤ **Procedimiento:**

- Lavar la muestra sobre la malla designada y remover cualquier fino y secar.
- Determinar la masa de la muestra con una aproximación de 0.1%.
- Extender la muestra seca sobre una superficie plana, limpia y lo suficientemente grande como para permitir una inspección.
- Verificar si la partícula alcanza o cumple el criterio de fractura.
- Si la cara constituye al menos $\frac{1}{4}$ de la máxima sección transversal, considerarla como cara fracturada.
- Determinar el porcentaje de la muestra que corresponde a partículas fracturadas.

➤ **Resultados del ensayo:**

Tabla N° 20: Resultado de caras fracturas

TAMAÑO	# PARTICULAS TOTAL	# PARTICULAS FRACTURADAS	% CARAS FRACTURADAS
1" – ¾"	102	10	9.8
¾" – ½"	250	17	6.8
½" - 3/8"	383	21	5.5
		TOTAL prom	7.40%

Fuente: Elaboración Propia

E. Ensayo de sales solubles MTC E 219

Este ensayo se realiza con el procedimiento analítico de cristalización para determinar el contenido de cloruros y sulfatos, solubles en agua, de los agregados pétreos empleados en bases estabilizadas y mezclas asfálticas.

Una muestra de agregado pétreo se somete a continuos lavados con agua destilada a la temperatura de ebullición, hasta la extracción total de las sales. La presencia de éstas se detecta mediante reactivos químicos que, al menor indicio de sales, forman precipitados fácilmente visibles. Del agua total de lavado se toma una alícuota y se procede a cristalizar para determinar la cantidad de sales presentes.

➤ **Procedimiento:**

- Secar la muestra en el horno a 110 ± 5 °C.
- Colocar la muestra en un vaso de precipitado.
- Luego agregue agua destilada en volumen suficiente para cubrir unos 3 cm sobre el nivel de la muestra.
- Calentar hasta el proceso de ebullición.
- Agitar por un periodo de 10 min.
- Decantar mínimo 10 min hasta que el líquido se aprecie transparente y transvase el líquido
- Finalmente secar el material y observar el grado de perdida.

➤ **Resultados del ensayo:**

Tabla N° 21: Resultado de sales solubles

IDENTIFICACION	SALES SOLUBLES (%)
Agregado Grueso - Piedra Chancada	0.316
Agregado Fino - Arena Gruesa	0.263

Fuente: Elaboración Propia

F. Ensayo de absorcion MTC E 206 – E 205

Es el incremento de la masa del agregado debido al agua en los poros del material, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje de la masa seca.

El agregado se considera como “seco” cuando se ha mantenido a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por suficiente tiempo para remover toda el agua no combinada.

➤ **Procedimiento:**

- Tamizar por la malla N° 4 y dejar sumergidas las muestras durante 24 horas.
- Transcurrido el tiempo, lavar hasta sacar finos existentes.
- Hacer un secado superficial para así pasar a sumergir en una canastilla para determinar su peso.
- Luego de haber sumergido llevar al horno la muestra para secar $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Finalmente pesar la muestra seca.

➤ **Resultados del ensayo:**

Tabla N° 22: Resultado de absorción

MUESTRA	PESO SECO (gr)	PESO SATURADO (gr)	PESO SUMERGIDO (gr)	ABSORCION (%)
Agregado Grueso	1030.7	1042.4	650.4	1.14
Agregado Fino	298	300	199.2	0.67

Fuente: Elaboración Propia

G. Ensayo de adherencia MTC E 517

Determinación del grado de cubrimiento de las partículas de agregado en una mezcla bituminosa basándose en el porcentaje de partículas de agregado grueso que quedan completamente recubiertas por el ligante bituminoso.

La determinación de este porcentaje para varios tiempos de mezclado puede ser usado para establecer el tiempo de mezclado mínimo requerido para producir un cubrimiento satisfactorio del agregado para un conjunto de condiciones dadas.

➤ **Procedimiento:**

- Tamizar el agregado grueso por las mallas 3/8” y 1/4”.
- Se lava la muestra retenida en la malla 1/4” con agua destilada para eliminar los finos y se lleva a secar en horno a la temperatura 110°C hasta que mantenga un peso constante.

- Calentar el agregado y bitumen a la temperatura de mezcla.
- Pesar 100 ± 1 gr del agregado y meterlo en un recipiente de porcelana. Para el caso 3 (ver tabla N° 15) incorporar a los agregados 2 ml de agua destilada, mezclas hasta que las partículas estén completamente humedecidas. Pesar el recipiente con el agregado.
- Incorporar en el recipiente de porcelana, que aún se encuentra en la balanza la cantidad de material bituminoso.
- Con una espátula caliente se mezcla vigorosamente hasta que el agregado quede totalmente revestido con el material bituminoso.
- La mezcla se vierte en un recipiente de vidrio de 500 ml de capacidad y se lleva al horno por espacio de 2 horas a la temperatura indicada en la tabla N° 22 para ser curado.
- Transcurrido el tiempo se retira el recipiente del horno, se remezcla con la espátula mientras la mezcla enfría a temperatura ambiente.
- Incorporar aproximadamente 400 ml de agua destilada a 25°C.

Tabla N° 23: Temperatura para mezcla del material bituminoso

Material	Temperatura (°C)
Asfalto Liquido, grado 30 y 70	Temp. Ambiente
Asfalto Liquido 250 (RC-250)	35±3
Asfalto Liquido grado 800	52±3
Asfalto Liquido grado 3000	68±3
Alquitrán grados RT-1, RT-2, RT-3	60±3
Alquitrán grados RTCB-5, RTCB-6	60±3
Alquitrán grados RT-4, RT-5, RT-6	71±3
Alquitrán grados RT-7, RT-8, RT-9	93±3
Cementos Asfálticos 40-50 PEN, 60-70 PEN, 85-100 PEN	142±3

Fuente: Ensayo de adherencia ASTM D-1664

➤ **Resultados del ensayo:**

Tabla N° 24: Resultado de adherencia

ESTADO	RESULTADO
Recubrimiento (%)	95%
Adherencia (%)	95%

Fuente: Elaboración Propia

H. Ensayo de índice de durabilidad MTC E 214

Determinar la durabilidad de agregados. El índice de durabilidad es un valor que muestra la resistencia relativa de un agregado para producir finos dañinos, del tipo arcilloso, cuando se somete a los métodos de degradación mecánica.

Fue desarrollado para permitir la precalificación de los agregados, propuestos para uso en la construcción de vías. Básicamente, el ensayo establece una resistencia de los agregados a generar finos, cuando son agitados en presencia de agua. Procedimientos de ensayo separado y diferente son usados para evaluar las porciones gruesas y finas del material.

➤ Resultados del ensayo:

Tabla N° 25: Resultados de índice de durabilidad

MUESTRA	MASA (gr)	L total DE SEDIMENTOS	Dc (%)
Agregado Grueso	2500	10.2 mm	87
Agregado Fino	500	20.3 mm	79

Fuente: Elaboración Propia

I. Ensayo de equivalente de arena MTC E 114

Este ensayo consiste en determinar el grado de contaminación que tiene las arenas ya que estas solo pueden estar como 50% como mínimo.

En el caso de tener el valor mínimo es debido q que tiene un contenido de finos en exceso lo cual es perjudicial para la mezcla. Y si por razones de tener la cantera en zonas de rio el material estará con un valor de aproximadamente 80% eso cumple con el mínimo, pero ese material tendría que ser analizado con mucho cuidado ya que esta demasiada limpia y con pocos finos fuera de lo normal.

➤ Procedimiento:

- Separar 5 kg de muestra
- Tamizar por la malla N° 4.
- Se toma una muestra con su humedad intermedia con pesos de la muestra por cada tubo de ensayo.

- Realizar una combinación de agua con una solución stock (Cloruro de Calcio – CaCl₂) en relación de 4 litros de agua por 8 ml de CaCl₂.
- Llenar los tubos con la combinación preparada anteriormente hasta un nivel de 4 ml, luego adicionar el agregado.
- Agitar los tubos durante 20 minutos.
- Finalmente tomar las medidas.

➤ **Resultados del ensayo:**

Tabla N° 26: Resultados de equivalente de arena

Ensayo	M-1	M-2
Lectura del nivel de muestra + agua	250	250
Lectura del nivel de arena	228.4	229.1
SE (%)	91.36%	91.64%
Promedio	91.50%	

Fuente: Elaboración Propia

J. Ensayo de índice de plasticidad malla N° 200 - MTC E 111

En el caso de estos agregados no muestran un índice plástico ya que sus finos son areniscas y no tienen un grado de plasticidad por lo cual en los ensayos realizados se obtuvo que el agregado sea no plástico (NP).

K. Ensayo de índice de plasticidad malla N° 40 - MTC E 111

En el caso de estos agregados no muestran un índice plástico ya que sus finos son areniscas y no tienen un grado de plasticidad por lo cual en los ensayos realizados se obtuvo que el agregado sea no plástico (NP).

L. Ensayo de angularidad del agregado fino MTC E 222

Se define como angularidad del agregado fino al porcentaje de vacíos con aire presente en las partículas menores de 2,36 (tamiz N° 8) levemente compactadas.

➤ **Procedimiento:**

- Compactar en tres capas las fracciones individuales de una muestra volumen del molde es de 2800 cm³.
- Cada capa se compacta con 100 golpes de 900 gr a 950 gr. La cual sirve para determinar el porcentaje de vacíos.

➤ **Resultados del ensayo:**

Tabla N° 27: Resultados de angularidad del agregado fino

METODO DE ENSAYO	PESO ESPECIFICO BULK BASE SECA (g/cm³)	VACIOS SIN COMPACTAR (%)
C	2.69	39

Fuente: Elaboración Propia

3.2.7.2. METODO DE DISEÑO MARSHALL EN MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

3.2.7.2.1. Método Marshall

Es un experimento de laboratorio dirigida al diseño de una adecuada mezcla asfáltica por medio del análisis de su estabilidad, fluencia, densidad y vacíos de aire.

Una de las virtudes del Método Marshall es la importancia que se asigna a las propiedades densidad/vacíos del material asfáltico. Este análisis garantiza que las importantes proporciones volumétricas de los componentes de la mezcla estén dentro de rangos adecuados para asegurar una mezcla, estén dentro de rangos adecuados para asegurar una mezcla durable.

Una de sus desventajas es el método de compactación de laboratorio por impacto el cual no simula la densificación de la mezcla que ocurre bajo tránsito en un pavimento real.

Los elementos para el ensayo Marshall, incluye molde de compactación especial de 4 pulgadas de diámetro y 3 pulgadas de altura con su collar de extensión, martillo de compactación con una zapata circular de 3 y 7/8 de pulgada, pedestal de compactación firmemente anclado al piso, prensa de ensayo y mordaza para ensayo con sus guías.

3.2.7.2.2. Procedimiento de ensayo, tabulacion de datos y cálculos

3.2.7.2.2.1. Preparacion de agregados

Se determinó la granulometría del agregado a partir de los requisitos de graduación dados por el MTC. La graduación para mezclas asfálticas en caliente elegida es MAC-1.

La combinación en proporciones exactas de los agregados debe dar como resultado una granulometría que se encuentre dentro de los rangos especificados por el MTC. Estos cálculos se realizaron con la elaboración de un pequeño programa desarrollado en Microsoft Excel y los resultados obtenidos en las siguientes tablas.

Tabla N° 28: Tamices a utilizar para la separación de las partículas

AGREGADO GRUESO				
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
3/4"	936.20	31.21	31.21	68.79
1/2"	1191.10	39.70	70.91	29.09
3/8"	748.40	24.95	95.86	4.14
N° 4	112.80	3.76	99.62	0.38
FONDO	11.50	0.38	100.00	0.00
TOTAL	3000	100.00		100.00

AGREGADO FINO				
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
N° 4	1215.00	40.50	40.50	59.90
N° 10	570.00	19.00	59.50	40.50
N° 40	552.00	18.40	77.90	22.10
N° 80	236.00	7.87	85.77	14.23
N° 200	267.00	8.90	94.67	5.33
FONDO	160.00	5.33	100.00	0.00
TOTAL	3000	100.00		100.00

Fuente: Elaboracion propia

A. Gradacion para mezcla asfáltica en caliente (MAC)

La gradacion de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) deberá responder algunos de los husos granulométricos, especificados en la tabla N° 28. Alternativamente pueden emplearse las gradaciones especificadas en la ASTM D3515 e Instituto de Asfalto.

Tabla N° 29: Gradacion para mezcla asfáltica en caliente (MAC)

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC -1	MAC-2	MAC-3
25,0 mm (1")	100		
19,0 mm (3/4")	80-100	100	
12,5 mm (1/2")	67-85	80-100	
9,5 mm (3/8")	60-77	70-88	100
4,75 mm (N.° 4)	43-54	51-68	65-87
2,00 mm (N.° 10)	29-45	38-52	43-61
425 µm (N.° 40)	14-25	17-28	16-29
180 µm (N.° 80)	8-17	8-17	9-19
75 µm (N.° 200)	4-8	4-8	5-10

Fuente: Manual de carreteras – pavimento de concreto asfáltico en caliente EG-2013

Tabla N° 30: Gradacion de las muestras de agregado grueso y fino

GRANULOMETRIA DE MATERIALES											
	TAMAÑO DE TAMIZ	% USADO	Tamaño de tamiz - Porcentaje que pasa								
			1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº20
PIEDRA 3/4"	1" a Nº 4	100	100	68.79	29.09	4.14	0.38				
ARENA GRUESA	Nº 4 a Nº 200	100	100	100	100	100	59.9	40.5	22.1	14.2	5.33
GRADACION COMBINADA PARA LA MEZCLA											
	TAMAÑO DE TAMIZ	% USADO	Tamaño de tamiz - Porcentaje que pasa								
			1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº20
PIEDRA 3/4"	1" a Nº 4	30%	30%	20.637	8.727	1.242	0.114				
ARENA GRUESA	Nº 4 a Nº 200	70%	70%	70	70	70	41.93	28.35	15.47	9.96	3.73
MEZCLA			100	90.64	78.73	71.24	42.04	28.35	15.47	9.96	3.73
ESPECIFICACION MAC 1			100	80 – 100	67 – 85	60 – 77	43 – 54	29 – 45	14 – 25	8 – 17	4 – 8

Fuente: Elaboracion propia

➤ **Resumen de ensayo**

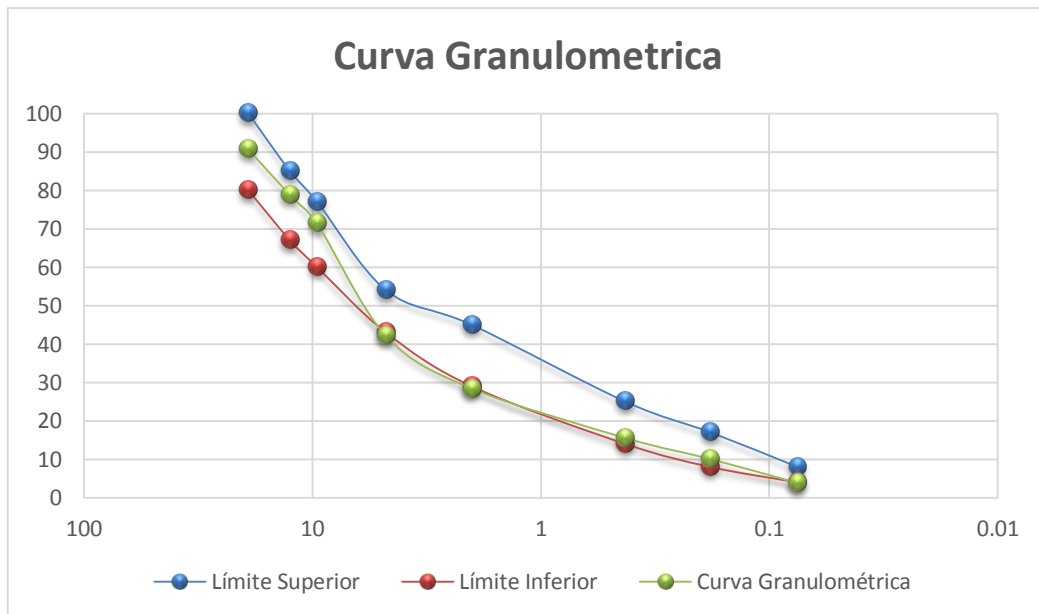
Proporciones de mezcla de agregados

- Piedra Chancada ¾" (Cantera Bauner) : 30 %
- Arena Gruesa (Cantera Bauner) : 69%
- Filler : 1%

Proporciones en la mezcla resultante

- Agregado Grueso : 30%
- Agregado Fino : 70%

Gráfico N° 7: Curva granulometrica



Fuente: Elaboracion propia

3.2.7.2.2.2. Estimacion del contenido optimo de asfalto

Una vez determinada la proporción exacta de los agregados el paso siguiente es encontrar el contenido óptimo de asfalto en la mezcla asfáltica.

El procedimiento es el siguiente:

$$P = (0.035 \times a) + (0.045 \times b) + (k \times c) + f$$

Donde:

- P: Contenido estimado de asfalto como porcentaje del peso de la mezcla.
- a: Porcentaje del agregado retenido en el tamiz de 2.36 mm.
- b: Porcentaje del agregado que pasa el tamiz de 2.36 mm y es retenido en el tamiz de 75 mm.
- c: Porcentaje del agregado que pasa el tamiz de 75 mm.
- K:

Valor de K	Rango de "c"
0.15	11 % - 15%
0.18	6% - 10%
0.20	Menos de 5 %

- F: 0 % a 2% de acuerdo con la absorcion de los agregados. En ausencia de datos F= 0.7%. **(Fuente: Instituto del asfalto moderno).**

$$P = (0.035 \times 55.33) + (0.045 \times 39.33) + (0.2 \times 5.33) + 0.7$$

$$P = 5.47 \%$$

- De acuerdo a la granulometría de los agregados se prepara una serie de tres especímenes, por lo menos, para cada contenido de asfalto. Se considerará una variación de asfalto de 0.5% cada vez y se necesitarán tantas mezclas para que se tengan dos por encima y dos por debajo del óptimo.

Tabla N° 31: Contenido optimo de asfalto

CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO	6.47	%
	5.97	
	5.47	
	4.97	
	4.47	
AGREGADO	94.53	%

Fuente: Elaboracion propia

3.2.7.2.2.3. Determinación de la temperatura de mezcla y compactación

La temperatura a la cual debe calentarse el cemento asfáltico para producir viscosidades Saybolt – Furol de 85 ± 10 y 140 ± 15 segundos, debe establecerse como la de mezcla con los agregados y compactación respectivamente. Debe evitarse un calentamiento excesivo del cemento asfáltico, el cual trae como consecuencia su endurecimiento.

3.2.7.2.2.4. Preparación de las mezclas

La experiencia ha demostrado que las mezclas de agregados y cemento asfáltico de 1200 gramos de peso permiten obtener muestras compactadas de 2.5 ± 0.01 pulgadas de altura. Por lo tanto, para elaborar cada probeta se mezclarán las cantidades necesarias de cada fracción de agregados y cemento asfáltico para alcanzar dicho peso.

- Como en los 1200 gramos habrá un 5.47% de cemento asfáltico PEN 60/70, el 94.53% lo componen los agregados pétreos y, por ende, se empleará un 94.53% de cada fracción:

Tabla N° 32: Porcentaje de agregado grueso, fino y cemento asfáltico

% AGREGADO GRUESO CON RESPECTO A LA MEZCLA TOTAL	$30 \times 0.945 =$	28.36
% AGREGADO FINO CON RESPECTO A LA MEZCLA TOTAL	$70 \times 0.945 =$	66.17
% CEMENTO ASFÁLTICO CON RESPECTO A LA MEZCLA TOTAL	5.47	5.47
% TOTAL		100

Fuente: Elaboracion propia

- Como la mezcla ha de pesar 1200 gramos la cantidad por incluir en ella de cada una de los materiales disponibles se determina aplicando los anteriores porcentajes así:

Tabla N° 33: Cantidad de material en gramos para incluir en la mezcla

AGREGADO GRUESO	1200 x 0.2836 =	340.31	gramos
AGREGADO FINO	1200 x 0.6617 =	794.05	gramos
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	1200 x 0.0547 =	65.64	gramos
TOTAL		1200	gramos

Fuente: Elaboración propia

- En la bandeja de mezcla deberá colocarse la cantidad indicada de cada fracción de agregado a la temperatura especificada, mezclándose estas rápidamente y abriéndose un cráter dentro del cual se añade la cantidad calculada de cemento asfáltico, también a la temperatura especificada (140°C).
- Este procedimiento se repite para las otras dos muestras que se van a preparar con el mismo porcentaje de cemento asfáltico.

Tabla N° 34: Peso de materiales para la elaboración de especímenes.

% Cemento Asfáltico	4.47	4.97	5.47	5.97	6.47
Peso del cemento asfáltico PEN 60/70	53.64 gr	59.64 gr	65.64 gr	71.64 gr	77.64 gr
Peso del agregado fino	802.45 gr	798.25 gr	794.05 gr	789.85 gr	785.65 gr
Peso del agregado grueso	343.91 gr	342.11 gr	340.31 gr	338.51 gr	336.71 gr

Fuente: Elaboración propia

3.2.7.2.2.5. Comparación de las mezclas

- Antes de colocar la mezcla dentro del molde tanto este como el pisón de compactación deben limpiarse con gasolina o kerosene y colocarse a estufa entre 100°C y 150°C por unos 30 minutos.
- Al retirarlo de la estufa, se arma el molde, se le coloca en su base una hoja circular a la medida del molde, previamente armado con aceite, colocando de manera rápida dentro de él, la mezcla de 1200 gramos, la cual debe emparejarse con una espátula o cuchillo pequeño caliente.
- A continuación, se sujeta el molde con el aro de ajuste que se tiene para tal efecto, se coloca en el pedestal de compactación, se apoya sobre la mezcla la zapata del pisón y se aplican 75 golpes a caída libre y cuidado que el vástago del pisón se mantenga siempre vertical.
- Terminada la aplicación del número de golpes requerido, se retira el molde del dispositivo de ajuste, se le quita la placa de base y el collar

de extensión, se invierte el molde y se vuelve a montar el dispositivo, aplicando el mismo número de golpes a la que ahora es la cara superior de la muestra.

- Se retira el molde del pedestal, se le quita el collar y la base y se deja enfriar a la temperatura ambiente.
- Se le coloca al molde el collar de extensión y se saca de él la probeta compactada, al cual debe identificarse marcándola en cada cara con una crayola.
- Se pesa la probeta y se mide su espesor.
- Finalmente, se coloca la probeta sobre una superficie lisa y bien ventilada durante toda la noche.

Tabla N° 35: Peso seco y alturas de especímenes

% CONTENIDO DE ASFALTO	ESPECIMEN	PESO SECO (W_a) (gramos)	Altura (h) (cm)
6.47	A	1267.20	7.20
	B	1297.20	7.10
	C	1202.40	7.00
5.97	A	1280.10	7.05
	B	1186.20	7.11
	C	1292.40	7.10
5.47	A	1273.10	7.12
	B	1274.20	7.02
	C	1278.40	7.20
4.97	A	1252.20	7.10
	B	1248.80	7.05
	C	1254.90	7.09
4.47	A	1280.80	7.1
	B	1269.90	7.00
	C	1272.80	7.01

Fuente: Elaboración propia

3.2.7.2.2.6. Ensayo de probetas compactadas

En el método de ensayo Marshall, cada muestra compactada se somete a los siguientes ensayos en el orden indicado.

- Determinación del peso específico” bulk”
- Ensayo de estabilidad y flujo
- Análisis de la densidad y vacíos

A. Determinación del peso específico “bulk”

El peso específico “bulk” de una probeta compactada es la relación entre su peso en el aire y su volumen incluyendo los vacíos permeables. Como la probeta tiene una textura superficial densa e impermeable, su peso específico “bulk” se determina mediante la expresión.

Ecuación N° 4:

$$G_b = W_a / (W_{ss} - W_w)$$

Donde:

W_a = Peso de la probeta seca en el aire.

W_w = Peso de la probeta en el agua.

Ecuación N° 5:

$$W_w = W_{wc} - W_c$$

Donde:

W_{wc} = Peso de la probeta en el agua más la canasta.

W_c = Peso de la canasta = 1018 gr.

W_{ss} = Peso en el aire de la probeta saturada y superficialmente seca.

➤ Espécimen A

$$W_a = 1273.10 \text{ gr.}$$

$$W_{ss} = 1118 \text{ gr.}$$

$$W_w = 1650.20 - 1018 = 632.20 \text{ gr.}$$

$$G_b = 1273.10 / (1118 - 632.20) = 2.62$$

➤ Espécimen B

$$W_a = 1274.20 \text{ gr.}$$

$$W_{ss} = 1194.30 \text{ gr.}$$

$$W_w = 1688.10 - 1018 = 670.10 \text{ gr.}$$

$$G_b = 1274.20 / (1194.30 - 670.10) = 2.43$$

➤ **Especimen C**

$$W_a = 1278.40 \text{ gr.}$$

$$W_{ss} = 1204.90 \text{ gr.}$$

$$W_w = 1660.4 - 1018 = 642.40 \text{ gr.}$$

$$G_b = 1278.40 / (1204.90 - 642.40) = 2.27$$

Una vez preparados los 15 especímenes se pesaron al aire y en agua, estos valores se muestran en la Tabla N° 36.

Tabla N° 36: Resultados de peso al aire, peso sumergido y peso saturado de los especímenes

% CONTENIDO DE ASFALTO	ESPECIMEN	PESO SECO (W _a) (gramos)	PESO SUMERGIDO (W _w) (gramos)	PESO SATURADO (W _{ss}) (gramos)	Altura (h) (cm)
6.47	A	1267.20	687.20	1189.90	7.20
	B	1297.20	670.40	1195.80	7.10
	C	1202.40	640.20	1153.40	7.00
5.97	A	1280.10	660.20	1187.30	7.05
	B	1186.20	680.70	1187.00	7.11
	C	1292.40	682.20	1187.90	7.10
5.47	A	1273.10	632.20	1118.00	7.12
	B	1274.20	670.10	1194.30	7.02
	C	1278.40	642.40	1204.90	7.20
4.97	A	1252.20	630.20	1175.20	7.10
	B	1248.80	642.80	1092.60	7.05
	C	1254.90	641.10	1201.40	7.09
4.47	A	1280.80	642.10	1210.00	7.1
	B	1269.90	648.10	1203.50	7.00
	C	1272.80	657.90	1117.80	7.01
PESO CANASTA	1018	gramos			

Fuente: Elaboracion propia

B. Ensayo de estabilidad y flujo

El procedimiento que se describe a continuación, es aplicable a todas las probetas compactadas.

- Se lleva la probeta a un baño de agua a 60 a 1°C durante un lapso de 30 a 40 minutos.
- Se limpia cuidadosamente la superficie interior de la mordaza de prueba y se lubrican las barras guías con una delgada película de aceite, de manera que el segmento superior el anillo deslice libremente. Si se usa un anillo para medir la carga aplicada, debe controlarse que su dial este bien fijo y en cero cuando no haya carga.

- Estando listo el aparato de carga Marshall para el ensayo, se saca la probeta del agua y se seca rápida y cuidadosamente su superficie.
- Se coloca la probeta en la mordaza inferior de prueba y se centra. Luego se ajusta el anillo superior en posición y se centra el conjunto en el mecanismo de carga. A continuación, se coloca el medidor de flujo sobre la barra – guía marcada y se lleva su aguja a cero.
- Se aplica carga a la probeta a una velocidad de 2 pulgadas/minuto hasta que ocurra la falla. El punto de falla se define mediante la máxima lectura en el dial de carga. El número de kilo-newtons correspondiente a esta lectura se anota como ESTABILIDAD MARSHALL.
- Mientras se está aplicando carga, se mantiene el medidor de flujo firmemente en posición sobre la barra guía y se retira cuando ocurra la carga máxima. La lectura en el dial en este instante se denomina FLUJO y se expresa en centésimas de pulgada.
- El procedimiento completo desde que se saca la probeta del baño de agua hasta que falla en la máquina, no debe tardar más de 30 segundos.

➤ **Espécimen A**

Carga = 12.55 KN = Estabilidad

Deflexión:

$L_i = 2 \frac{1}{100}''$

$L_f = 12.98 \frac{1}{100}''$

$L = 10.98 \frac{1}{100}'' = \text{Flujo}$

➤ **Espécimen B**

Carga = 12.45 KN = Estabilidad

Deflexión:

$L_i = 2 \frac{1}{100}''$

$L_f = 13.21 \frac{1}{100}''$

$L = 11.21 \frac{1}{100}'' = \text{Flujo}$

➤ **Espécimen C**

Carga = 11.83 KN = Estabilidad

Deflexión:

$L_i = 2 \frac{1}{100}''$

$L_f = 13.95 \frac{1}{100}''$

$L = 11.95 \frac{1}{100}'' = \text{Flujo}$

- El flujo promedio de las probetas es: 11.38 pulg.
- La estabilidad promedio de las probetas es: 12.28 KN, el cual debe multiplicarse por un factor de corrección.

Tabla N° 37: Factores de estabilidad de correlación

Volumen del espécimen, cm ^{3B}	Espesor del espécimen ^a		Razón de la Correlación
	mm	Pulg	
200 - 213	25,4	1,00 (1)	5,56
214 - 225	27	1,06 (1 1/16)	5
226 - 237	28,6	1,12 (1 1/8)	4,55
238 - 250	30,2	1,19 (1 3/16)	4,17
251 - 264	31,8	1,25 (1 1/4)	3,85
265 - 276	33,3	1,31 (1 5/16)	3,57
277 - 289	34,9	1,38 (1 3/8)	3,33
290 - 301	36,5	1,44 (1 7/16)	3,03
302 - 316	38,1	1,50 (1 1/2)	2,78
317 - 328	39,7	1,56 (1 9/16)	2,5
329 - 340	41,3	1,62 (1 5/8)	2,27
341 - 353	42,9	1,69 (1 11/16)	2,08
354 - 367	44,4	1,75 (1 3/4)	1,92
368 - 379	46	1,81 (1 13/16)	1,79
380 - 392	47,6	1,88 (1 7/8)	1,67
393 - 405	49,2	1,94 (1 15/16)	1,56
406 - 420	50,8	2,00 (2)	1,47
421 - 431	52,4	2,06 (2 1/16)	1,39
432 - 443	54	2,12 (2 1/8)	1,32
444 - 456	55,6	2,19 (2 3/16)	1,25
457 - 470	57,2	2,25 (2 1/4)	1,19
471 - 482	58,7	2,31 (2 5/16)	1,14
483 - 495	60,3	2,38 (2 3/8)	1,09
496 - 508	61,9	2,44 (2 7/16)	1,04
509 - 522	63,5	2,50 (2 1/2)	1
523 - 535	65,1	2,56 (2 9/16)	0,96
536 - 546	66,7	2,62 (2 5/8)	0,93
547 - 559	68,3	2,69 (2 11/16)	0,89
560 - 573	69,8	2,75 (2 3/4)	0,86
574 - 585	71,4	2,81 (2 13/16)	0,83
586 - 598	73	2,88 (2 7/8)	0,81
599 - 610	74,6	2,94 (2 15/16)	0,78
611 - 626	76,2	3,00 (3)	0,76

Fuente: Manual de ensayo de materiales, ensayo marshall MTC E 504

- El espesor promedio de las probetas es 7.11 cm. = 7.14 cm. (2 13/16'') y por lo tanto el factor de corrección es 0.83.
- Entonces la estabilidad es: 12.28 x 0.83 = 10.19 KN.

- Finalmente, los 15 especímenes fueron ensayados en el aparato Marshall, encontrándose su estabilidad y flujo.

Tabla N° 38: Resultados de estabilidad y flujo de los especímenes ensayados

% AGREGADO	% DE ASFALTO	ESPECIMEN	ESTABILIDAD (KN)	FLUJO (0.01")/(0.25 mm)	ALTURAS (cm)	PROMEDIO DE ESTABILIDAD	PROMEDIO DE ALTURA	ESTABILIDAD CORREGIDA	PROMEDIO DEL FLUJO
93.53	6.47	A	13.5	14.32	7.20	12.23	7.10	10.15	12.28
		B	12.39	14.54	7.10				
		C	10.81	13.98	7.00				
94.03	5.97	A	11.81	13.74	7.05	12.30	7.09	10.21	11.73
		B	13.35	14.35	7.11				
		C	11.75	13.11	7.10				
94.53	5.47	A	12.55	12.98	7.12	12.28	7.11	10.19	11.38
		B	12.45	13.21	7.02				
		C	11.83	13.95	7.20				
95.03	4.97	A	11.81	13.26	7.10	12.05	7.08	10.00	11.15
		B	12.83	13.05	7.05				
		C	11.51	13.13	7.09				
95.53	4.47	A	11.77	13.43	7.1	11.71	7.04	9.72	11.02
		B	12.38	12.28	7.00				
		C	10.98	13.34	7.01				

Fuente: Elaboracion propia

C. Análisis de la densidad y vacíos

Al terminar los ensayos de estabilidad y flujo, debe realizarse un análisis de la densidad y vacíos para cada serie de muestra en la forma siguiente:

- Se promedian los pesos específicos “bulk” de todas las probetas elaboradas con el mismo porcentaje de asfalto, descartando las que se alejen demasiado del promedio. Este valor promedio, multiplica por 62.4 es la densidad específica del agua en libras por pie cubico, permite obtener la densidad en sistema inglés.
- Para él % del contenido de asfalto 5.47; tenemos el peso específico “bulk” promedio.

Peso Específico “Bulk” promedio:

$$G_b = ((2.62+2.43+2.27)) /3= 2.441 \text{ gr/cm}^3$$

$$G_b = 2.441 \times 62.4 = 152.34 \text{ lb/ft}^3$$

Tabla N° 39: Resultados de peso específico “bulk” de los especímenes ensayados

% CONTENIDO DE ASFALTO	ESPECIMEN	PESO ESPECÍFICO BULK (Gb) (gr/cm3)
6.47	A	2.52
	B	2.47
	C	2.34
5.97	A	2.43
	B	2.34
	C	2.56
5.47	A	2.62
	B	2.43
	C	2.27
4.97	A	2.30
	B	2.78
	C	2.24
4.47	A	2.26
	B	2.29
	C	2.77

Fuente: Elaboracion propia

Tabla N° 40: Resultados de peso específico “bulk” multiplicado por la densidad específica del agua en libras por pie cubico en los especímenes ensayados

% CONTENIDO DE ASFALTO	PESO ESPECÍFICO BULK		
	Gb		
6.47	Gb	2.444	gr/cm3
	Gb	152.52	lb/ft3
5.97	Gb	2.442	gr/cm3
	Gb	152.40	lb/ft3
5.47	Gb	2.441	gr/cm3
	Gb	152.34	lb/ft3
4.97	Gb	2.438	gr/cm3
	Gb	152.12	lb/ft3
4.47	Gb	2.436	gr/cm3
	Gb	152.03	lb/ft3

Fuente: Elaboracion propia

- Se calcula el peso específico promedio del agregado total, mediante la expresión.

Ecuación N° 6:

$$G_{agr} = 100 / (P1/G1) + (P2/G2) + (P3/G3) + \dots$$

Donde:

P1, P2, P3 = Porcentaje en peso de cada una de las fracciones de material que intervienen en el total del agregado.

G1, G2, G3 = Pesos específicos de los materiales a los que corresponden las fracciones anteriores mencionadas.

Los pesos específicos son los siguientes:

Para el agregado fino = 2.692

Para el agregado grueso = 2.593

$$\mathbf{Gagr} = 100 / (70/2.692 + 30/2.593) = 2.662$$

- Se calcula el peso específico máximo teórico de la muestra para cada porcentaje de asfalto, el cual corresponde al que teóricamente se obtendría si fuera posible comprimir la muestra hasta obtener una más de asfalto y agregados carente de vacíos con aire. Este valor se calcula de la siguiente manera:

$$\mathbf{Gmt} = 100 / ((\% \text{ agregados}) / \mathbf{Gagr} + (\% \text{ cemento asfáltico}) / \mathbf{Gasf})$$

$$\mathbf{Gmt} = 100 / ((94.53/2.662) + (5.47/1.02)) = 2.45$$

Tabla N° 41: Resultados del peso específico máximo teórico de las muestras

Muestra 1	Gmt	2.41	%
Muestra 2	Gmt	2.43	%
Muestra 3	Gmt	2.45	%
Muestra 4	Gmt	2.46	%
Muestra 5	Gmt	2.48	%

Fuente: Elaboracion propia

El peso específico de asfalto, se calculó mediante la siguiente fórmula:

Ecuación N° 7:

$$\mathbf{Gasf} = ((C-A)) / ((B-A)-(D-C))$$

Donde:

A = Peso del picnómetro = 23.1 gr.

B = Peso del picnómetro + agua baño maría = 47.6 gr.

C = Peso del picnómetro + asfalto = 28.7 gr.

D = Peso del picnómetro + asfalto + agua destilada = 47.7 gr.

$$\mathbf{Gasf} = ((28.7-23.1)) / ((47.6-23.1)-(47.7-28.7)) = 1.02$$

- Se calcula el porcentaje de absorción de asfalto por eso del agregado seco, mediante la fórmula:

Ecuación N° 8:

$$\mathbf{Aa} = ((Gmm-Gmt)) / ((Gmm \times Gmt \times \% \text{ agregados})) \times 1000$$

Donde:

Gmm = Gravedad específica teórica máxima de la mezcla. Datos básicos para muestras de mezclas asfálticas (ASTM D2041).

$$\mathbf{Gmm} = 2.535$$

$$\mathbf{Aa} = ((2.535-2.45)) / ((2.535 \times 2.45 \times 94.53)) \times 1000 = 0.15\%$$

Tabla N° 42: Resultados del porcentaje de absorción del asfalto en las muestras

Muestra 1	Aa	0.22	%
Muestra 2	Aa	0.19	%
Muestra 3	Aa	0.15	%
Muestra 4	Aa	0.12	%
Muestra 5	Aa	0.09	%

Fuente: Elaboracion propia

- Se determina el porcentaje en volumen de que ocupa el agregado con respecto al volumen total de la probeta.

Ecuación N° 9:

$$V_{agr} = ((\% \text{ agregado} \times G_b)) / G_{agr}$$

$$V_{agr} = (94.53 \times 2.441) / 2.662 = 86.70 \%$$

Tabla N° 43: Resultados del porcentaje de volumen que ocupa el agregado en la muestra

Muestra 1	V _{agr}	85.89	%
Muestra 2	V _{agr}	86.27	%
Muestra 3	V _{agr}	86.70	%
Muestra 4	V _{agr}	87.05	%
Muestra 5	V _{agr}	87.44	%

Fuente: Elaboracion propia

- Se calcula el porcentaje de vacíos con aire con respecto al volumen total de la probeta.

Ecuación N° 10:

$$V_v = (1 - (G_b / G_{mm})) \times 100$$

$$V_v = (1 - (2.441 / 2.535)) \times 100 = 3.71 \%$$

Tabla N° 44: Resultados del porcentaje de volumen que ocupa el agregado en la muestra

Muestra 1	V _v	3.59	%
Muestra 2	V _v	3.67	%
Muestra 3	V _v	3.71	%
Muestra 4	V _v	3.83	%
Muestra 5	V _v	3.91	%

Fuente: Elaboracion propia

- Se calcula el volumen de asfalto efectivo como porcentaje del volumen total de la probeta.

Ecuación N° 11:

$$Vae = 100 - (Vagr + Vv)$$

$$Vae = 100 - (86.70 + 3.71) = 9.59 \%$$

Tabla N° 45: Resultados del porcentaje de volumen de asfalto efectivo en la muestra

Muestra 1	Vae	10.52	%
Muestra 2	Vae	10.06	%
Muestra 3	Vae	9.59	%
Muestra 4	Vae	9.12	%
Muestra 5	Vae	8.66	%

Fuente: Elaboracion propia

- Se determina el porcentaje de vacíos en los agregados minerales en la mezcla compactada.

Ecuación N° 12:

$$VMA = 100 - Vagr$$

$$VMA = 100 - 86.70 = 13.30 \%$$

Tabla N° 46: Resultados del porcentaje de vacíos en los agregado minerales en la muestra

Muestra 1	VMA	14.11	%
Muestra 2	VMA	13.73	%
Muestra 3	VMA	13.30	%
Muestra 4	VMA	12.95	%
Muestra 5	VMA	12.56	%

Fuente: Elaboracion propia

- Se determina el contenido de asfalto efectivo con respecto al peso de la mezcla.

Ecuación N° 13:

$$Ae = \% \text{ cemasañadido} - ((Aa \times \% \text{ Agregados}) / 100)$$

$$Ae = 5.47 - ((0.15 \times 94.53) / 100) = 5.33 \%$$

Tabla N° 47: Resultados del porcentaje de vacíos en los agregado minerales en la muestra

Muestra 1	Ae	6.27	%
Muestra 2	Ae	5.80	%
Muestra 3	Ae	5.33	%
Muestra 4	Ae	4.86	%
Muestra 5	Ae	4.39	%

Fuente: Elaboracion propia

3.2.7.2.2.7. Interpretación de resultados

Se bene dibujar gráficos que establezcan las siguientes relaciones:

- Densidad vs % Cemento Asfaltico.
- Estabilidad vs % Cemento Asfaltico.
- Flujo vs % Cemento Asfaltico.
- % Vacíos de aire en la mezcla total vs % Cemento Asfaltico.
- % Vacíos en los agregados minerales vs % Cemento Asfaltico.

Cabe anotar que se graficara con los resultados de todas las muestras, los cuales son:

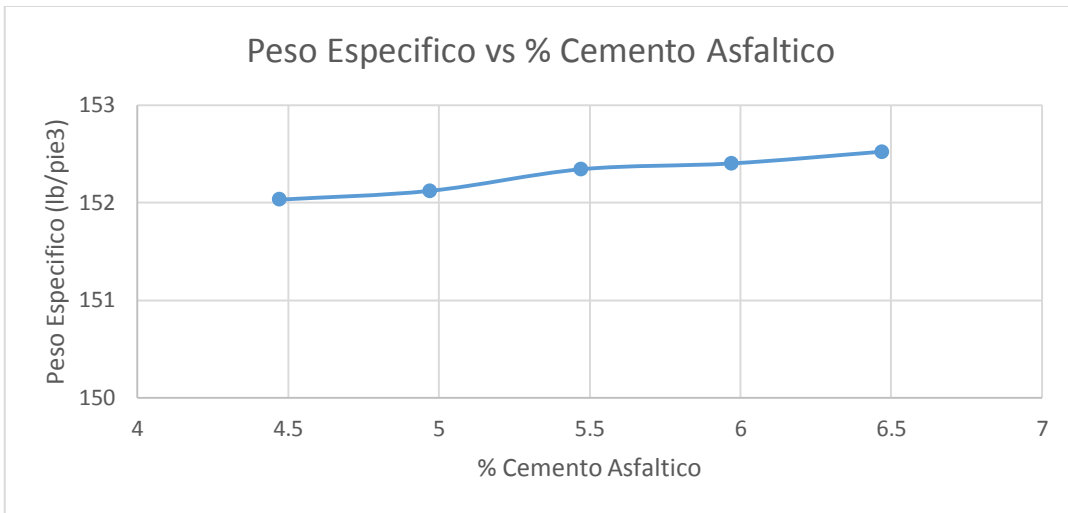
Tabla N° 48: Resultados del ensayo

	% Agregado	% C.A.	Peso Especifico (Lb/pie3)	Estabilidad (KN)	Flujo (0.01")	Vv (%)	VMA (%)
Muestra 1	93.53	6.47	152.52	10.15	12.28	3.59	14.11
Muestra 2	94.03	5.97	152.40	10.21	11.73	3.67	13.73
Muestra 3	94.53	5.47	152.34	10.19	11.38	3.71	13.30
Muestra 4	95.03	4.97	152.12	10.00	11.15	3.83	12.95
Muestra 5	95.53	4.47	152.03	9.72	11.02	3.91	12.56

Fuente: Elaboracion propia

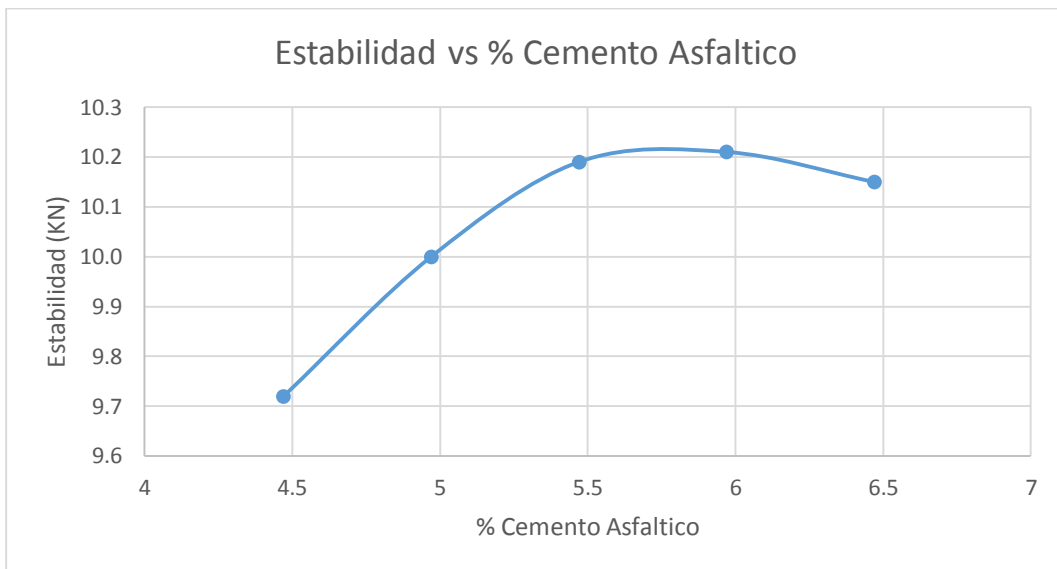
A continuación, se muestran los gráficos de las anteriores relaciones:

Gráfico N° 8: *Peso Especifico vs % C.A.*



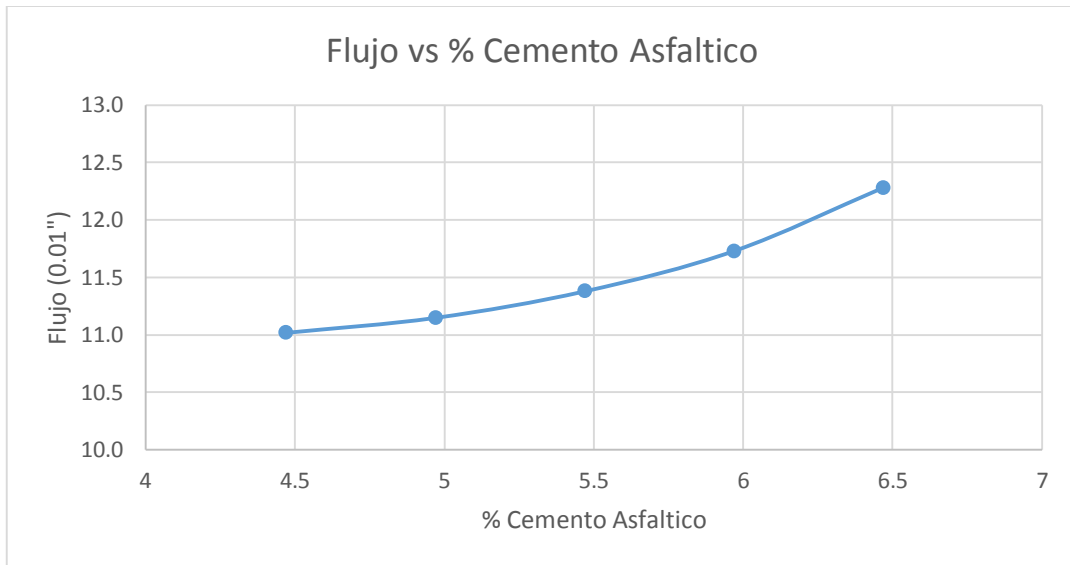
Fuente: Elaboracion propia

Gráfico N° 9: *Estabilidad vs % C.A.*



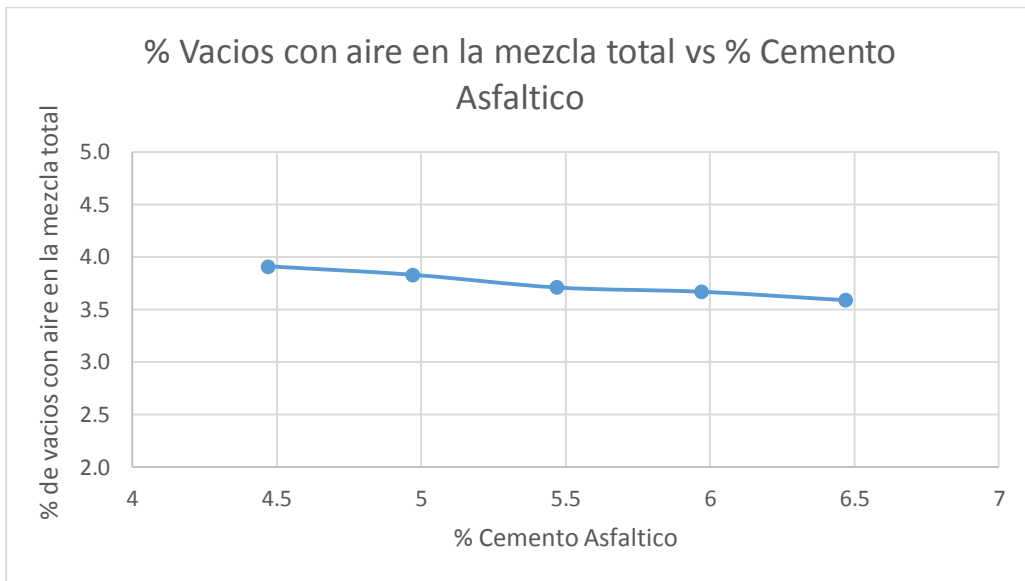
Fuente: Elaboracion propia

Gráfico N° 10: Flujo vs % C.A.



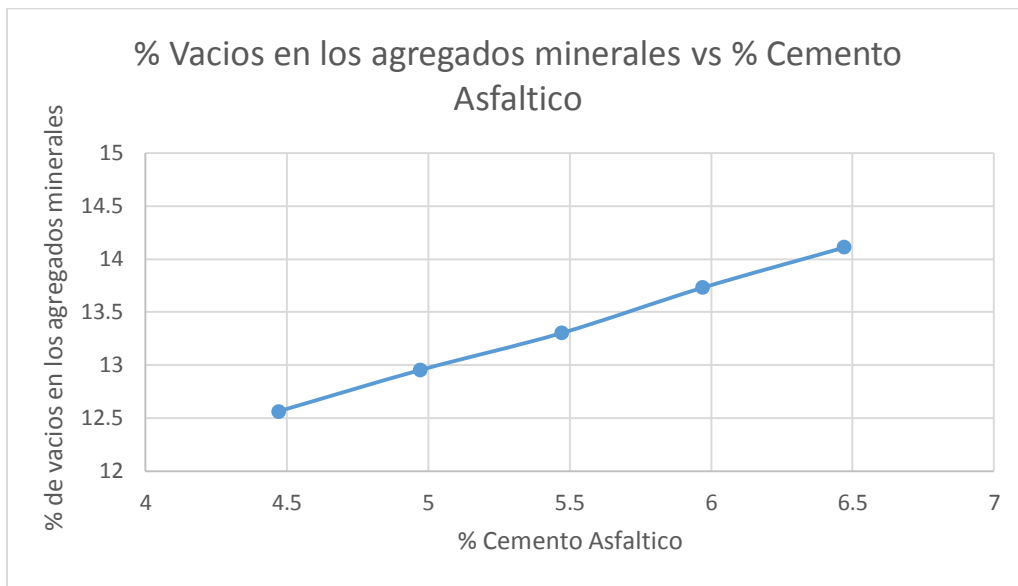
Fuente: Elaboracion propia

Gráfico N° 11: % Vacios con aire en la mezcla total vs % C.A.



Fuente: Elaboracion propia

Gráfico N° 12: % Vacios en los agregados minerales vs % C.A.



Fuente: Elaboracion propia

3.2.7.3. MÉTODO DE DISEÑO MARSHALL EN MEZCLA ASFÁLTICA EN FRIO

3.2.7.3.1. Método Marshall

El concepto del Método Marshall en el diseño de mezclas para pavimentación fue formulado por Bruce Marshall. El método original únicamente es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación, que contenga agregados con un tamaño máximo de 25mm. El método Marshall es necesario modificarlo para emplearlo con mezclas en frío, como es el caso de las emulsiones asfálticas, tanto para laboratorio o control de campo. Una de las virtudes del Método Marshall es la importancia que se asigna a las propiedades densidad y vacíos del material asfáltico.

Este análisis garantiza que las importantes proporciones volumétricas de los componentes de la mezcla estén dentro de rangos adecuados para asegurar una mezcla, estén dentro de rangos adecuados para asegurar una mezcla durable. Una de sus desventajas es el método de compactación de laboratorio por impacto el cual no simula la densificación de la mezcla que ocurre bajo tránsito en un pavimento real.

Los elementos para el ensayo Marshall, incluye molde de compactación especial de 4 pulgadas de diámetro y 3 pulgadas de altura con su collar de extensión, martillo de compactación con una zapata circular de 3 y 7/8 de pulgada, pedestal de compactación firmemente anclado al piso, prensa de ensayo y mordaza para ensayo con sus guías.

3.2.7.3.2. Procedimiento de ensayo, tabulacion de datos y cálculos

3.2.7.3.2.1. Preparacion de agregados

Se determinó la granulometría del agregado a partir de los requisitos de graduación dados por el MTC. La graduación para mezclas asfálticas en frío elegida es MAC-1.

La combinación en proporciones exactas de los agregados debe dar como resultado una granulometría que se encuentre dentro de los rangos especificados por el MTC. Estos cálculos se realizaron con la elaboración de un pequeño programa desarrollado en Microsoft Excel y los resultados obtenidos en las siguientes tablas.

Tabla N° 49: Granulometría del agregado

AGREGADO GRUESO				
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
3/4"	908.2	30.27	30.27	69.73
1/2"	1195	39.83	70.11	29.89
3/8"	760.2	25.34	95.45	4.55
Nº 4	124.1	4.14	99.58	0.42
FONDO	12.5	0.42	100.00	0.00
TOTAL	3000	100.00		100.00
AGREGADO FINO				
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
Nº 4	928	30.93	30.93	69.07
Nº 8	540	18.00	48.93	51.07
Nº 10	80	2.67	51.60	48.40
Nº 40	618	20.60	72.20	27.80
Nº 80	350	11.67	83.87	16.13
Nº 200	324	10.80	94.67	5.33
FONDO	160	5.33	100.00	0.00
TOTAL	3000	100.00		100.00

Fuente: Elaboracion propia

A. Gradacion para mezcla asfaltica en frio (MAF)

La gradacion de la mezcla asfáltica en frio (MAF) deberá responder algunos de los husos granulométricos, especificados en la tabla N° 49. Alternativamente pueden emplearse las gradaciones especificadas en la ASTM D3515 e Instituto de Asfalto.

Tabla N° 50: Gradacion para mezcla asfaltica en frio (MAF)

Tamiz	Porcentaje que pasa
	MAF - 1
25,0 mm (1")	100
19,0 mm (3/4")	95-100
12,5 mm (1/2")	75-90
9,5 mm (3/8")	65-85
4,75 mm (Nº 4)	50-70
2,00 mm (Nº 10)	35-50
425 um (Nº 40)	20-30
75 um (Nº 200)	0-3

Fuente: Manual de carreteras – pavimento de concreto asfaltico en frio EG-2013

Tabla N° 51: Gradacion de las muestras de agregado grueso y fino

GRANULOMETRIA DE MATERIALES											
	TAMAÑO DE TAMIZ	% USADO	Tamaño de tamiz - Porcentaje que pasa								
			1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
PIEDRA 3/4"	1" a Nº 4	100	100	69.73	29.89	4.55	0.42				
ARENA GRUESA	Nº 4 a Nº 200	100	100	100	100	100	69.07	48.4	27.8	16.13	5.33
GRADACION COMBINAA PARA LA MEZCLA											
	TAMAÑO DE TAMIZ	% USADO	Tamaño de tamiz - Porcentaje que pasa								
			1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
PIEDRA 3/4"	1" a Nº 4	30%	30%	20.919	8.967	1.365	0.126				
ARENA GRUESA	Nº 4 a Nº 200	70%	70%	70	70	70	48.349	33.88	19.46	11.291	3.731
MEZCLA			100	90.92	78.97	71.37	48.48	33.88	19.46	11.29	3.73
ESPECIFICACION PARA EN FRIO			100	95-100	75-90	65-85	50-70	35-50	20-30	8 a 17	0-3

Fuente: Elaboracion propia

➤ **Resumen de ensayo**

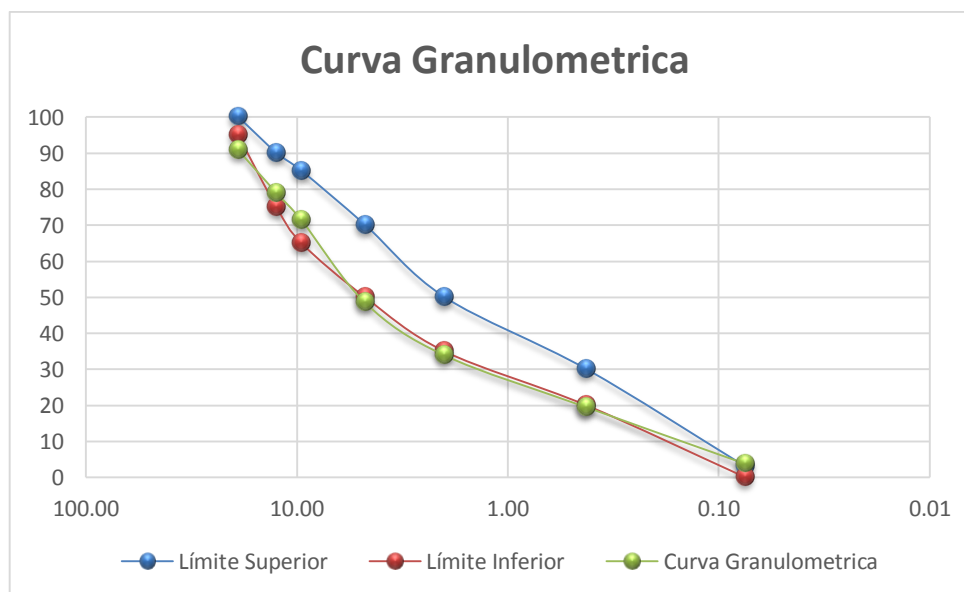
Proporciones de mezcla de agregados

- Piedra Chancada 3/4" (Cantera Bauner) : 30 %
- Arena Gruesa (Cantera Bauner) : 69%
- Filler : 1%

Proporciones en la mezcla resultante

- Agregado Grueso : 30%
- Agregado Fino : 70%

Gráfico N° 13: Curva granulometrica



Fuente: Elaboracion propia

3.2.7.3.2.2. Estimacion del contenido optimo de asfalto

Una vez determinada la proporción exacta de los agregados el paso siguiente es encontrar el contenido óptimo de asfalto en la mezcla asfáltica. El procedimiento es el siguiente:

$$P = ((0.05 \times A) + (0.10 \times B) + (0.50 \times C)) \times 0.7$$

Donde:

P: Porcentaje por peso de asfalto emulsionado, basado en el peso seco del agregado.

A: Porcentaje del agregado retenido en el tamiz de 2.36 mm (N° 8).

B: Porcentaje del agregado que pasa el tamiz de 2.36 mm (N° 8) y es retenido en el tamiz de 75 mm (N° 200).

C: Porcentaje del agregado que pasa el tamiz de 75 mm (N° 200).

(Fuente: Instituto del asfalto moderno)

$$P = (0.05 \times 48.93) + (0.10 \times 43.60) + (0.50 \times 5.33) + 0.7$$

$$P = 6.63 \%$$

De acuerdo a la granulometría de los agregados se prepara una serie de tres especímenes, por lo menos, para cada contenido de asfalto. Se considerará una variación de asfalto de 0.5% cada vez y se necesitarán tantas mezclas para que se tengan dos por encima y dos por debajo del óptimo.

Tabla N° 52: Contenido optimo de asfalto

CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO	7.63	%
	7.13	
	6.63	
	6.13	
	5.63	
AGREGADO	93.37	%

Fuente: Elaboracion propia

3.2.7.3.2.3. Determinación de la temperatura de mezcla y compactación

La temperatura a la cual debe calentarse el asfalto para producir una mezcla compacta es de 60° como máximo debe establecerse como la de mezcla con los agregados y compactación respectivamente. Debe evitarse

un calentamiento excesivo, el cual trae como consecuencia su endurecimiento.

3.2.7.3.2.4. Preparación de las mezclas

La experiencia ha demostrado que las mezclas de agregados y cemento asfáltico de 1200 gramos de peso permiten obtener muestras compactadas de 2.5 ± 0.01 pulgadas de altura. Por lo tanto, para elaborar cada probeta se mezclarán las cantidades necesarias de cada fracción de agregados y asfalto para alcanzar dicho peso

Como en los 1200 gramos habrá un 6.63% de asfalto RC-250, el 93.37% lo componen los agregados pétreos y, por ende, se empleará un 93.37% de cada fracción:

Tabla N° 53: Porcentaje de agregado grueso, fino y asfalto líquido

% AGREGADO GRUESO CON RESPECTO A LA MEZCLA TOTAL	$30 \times 0.9337 =$	28.01
% AGREGADO FINO CON RESPECTO A LA MEZCLA TOTAL	$70 \times 0.9337 =$	65.36
% ASFALTO CON RESPECTO A LA MEZCLA TOTAL	6.63	6.63
% TOTAL		100

Fuente: Elaboración propia

Como la mezcla ha de pesar 1200 gramos la cantidad por incluir en ella de cada una de los materiales disponibles se determina aplicando los anteriores porcentajes así:

Tabla N° 54: Cantidad de material en gramos para incluir en la mezcla

AGREGADO GRUESO	$1200 \times 0.2801 =$	336.13	gramos
AGREGADO FINO	$1200 \times 0.6536 =$	784.31	gramos
ASFALTO RC-250	$1200 \times 0.0663 =$	79.56	gramos
TOTAL		1200	gramos

Fuente: Elaboración propia

En la bandeja de mezcla deberá colocarse la cantidad indicada de cada fracción de agregado a la temperatura especificada, mezclándose estas rápidamente y abriéndose un cráter dentro del cual se añade la cantidad calculada de asfalto líquido, también a la temperatura especificada (60°C).

Este procedimiento se repite para las otras dos muestras que se van a preparar con el mismo porcentaje de asfalto líquido.

Tabla N° 55: Peso de materiales para la elaboración de especímenes.

% Asfalto Líquido	5.63	6.13	6.63	7.13	7.63
Peso del asfalto RC-250	67.57 gr	73.56 gr	79.56 gr	85.56 gr	91.56 gr
Peso del agregado fino	792.71 gr	788.51 gr	784.31 gr	780.11 gr	775.91 gr
Peso del agregado grueso	339.73 gr	73.56 gr	336.13 gr	334.33 gr	332.53 gr

Fuente: Elaboración propia

3.2.7.3.2.5. Comparación de las mezclas

- Antes de colocar la mezcla dentro del molde tanto este como el pisón de compactación deben limpiarse con gasolina o kerosene y clocarse a estufa entre 100°C y 150°C por unos 30 minutos.
- Al retirarlo de la estufa, se arma el molde, se le coloca en su base una hoja circular a la medida del molde, previamente armado con aceite, colocando de manera rápida dentro de él, la mezcla de 1200 gramos, la cual debe emparejarse con una espátula o cuchillo pequeño caliente.
- A continuación, se sujeta el molde con el aro de ajuste que se tiene para tal efecto, se coloca en el pedestal de compactación, se apoya sobre la mezcla la zapata del pisón y se aplican 75 golpes a caída libre y cuidado que el vástago del pisón se mantenga siempre vertical.
- Terminada la aplicación del número de golpes requerido, se retira el molde del dispositivo de ajuste, se le quita la placa de base y el collar de extensión, se invierte el molde y se vuelve a montar el dispositivo, aplicando el mismo número de golpes a la que ahora es la cara superior de la muestra.
- Se retira el molde del pedestal, se le quita el collar y la base y se deja enfriar a la temperatura ambiente.
- Se le coloca al molde el collar de extensión y se saca de él la probeta compactada, al cual debe identificarse marcándola en cada cara con una crayola.
- Se pesa la probeta y se mide su espesor.
- Finalmente, se coloca la probeta sobre una superficie lisa y bien ventilada durante toda la noche.

Tabla N° 56: Peso seco y alturas de especímenes

% CONTENIDO DE ASFALTO	ESPECIMEN	PESO SECO (Wa) (gramos)	Altura (h) (cm)
7.63	A	1262.30	6.50
	B	1263.40	6.41
	C	1266.20	6.33
7.13	A	1252.30	6.42
	B	1250.30	6.50
	C	1251.10	6.32
6.63	A	1256.20	6.31
	B	1258.35	6.44
	C	1259.10	6.32
6.13	A	1283.20	6.40
	B	1281.60	6.45
	C	1286.00	6.30
5.63	A	1278.40	6.31
	B	1281.10	6.42
	C	1283.60	6.53

Fuente: Elaboracion propia

3.2.7.3.2.6. Ensayo de probetas compactada

En el método de ensayo Marshall, cada muestra compactada se somete a los siguientes ensayos en el orden indicado

- Determinación del peso específico “bulk”
- Ensayo de estabilidad y flujo
- Análisis de la densidad y vacíos

A. Determinación del peso específico “bulk”

El peso específico “bulk” de una probeta compactada es la relación entre su peso en el aire y su volumen incluyendo los vacíos permeables.

Como la probeta tiene una textura superficial densa e impermeable, su peso específico “bulk” se determina mediante la expresión.

Ecuación N° 14:

$$G_b = W_a / (W_{ss} - W_w)$$

Donde:

W_a = Peso de la probeta seca en el aire.

W_w = Peso de la probeta en el agua.

Ecuación N° 15:

$$W_w = W_{wc} - W_c$$

Donde:

W_{wc} = Peso de la probeta en el agua más la canasta.

W_c = Peso de la canasta = 1018 gr.

W_{ss} = Peso en el aire de la probeta saturada y superficialmente seca.

➤ **Espécimen A:**

$$W_a = 1256.20 \text{ gr.}$$

$$W_{ss} = 1188.70 \text{ gr.}$$

$$W_w = 1677.10 - 1018 = 659.10 \text{ gr.}$$

$$G_b = 1256.20 / (1188.70 - 659.10) = 2.37$$

➤ **Espécimen B**

$$W_a = 1258.35 \text{ gr.}$$

$$W_{ss} = 1166.90 \text{ gr.}$$

$$W_w = 1680 - 1018 = 662 \text{ gr.}$$

$$G_b = 1258.36 / (1166.90 - 662) = 2.49$$

➤ **Espécimen C**

$$W_a = 1259.10 \text{ gr.}$$

$$W_{ss} = 1178 \text{ gr.}$$

$$W_w = 1680.40 - 1018 = 662.40 \text{ gr.}$$

$$G_b = 1259.10 / (1178 - 662.40) = 2.44$$

Una vez preparados los 15 especímenes se pesaron al aire y en agua, estos valores se muestran en la Tabla N° 57.

Tabla N° 57: Resultados de peso al aire, peso sumergido y peso saturado de los especímenes

% CONTENIDO DE ASFALTO	ESPECIMEN	PESO SECO (Wa) (gramos)	PESO SUMERGIDO(Ww) (gramos)	PESO SATURADO (Wss) (gramos)	Altura (h) (cm)
7.63	A	1262.30	677.00	1195.40	6.50
	B	1263.40	678.00	1197.00	6.41
	C	1266.20	681.90	1199.60	6.33
7.13	A	1252.30	667.10	1200.20	6.42
	B	1250.30	668.20	1197.60	6.50
	C	1251.10	670.00	1151.70	6.32
6.63	A	1256.20	659.10	1188.70	6.31
	B	1258.35	662.00	1166.90	6.44
	C	1259.10	662.40	1178.00	6.32
6.13	A	1283.20	667.00	1199.40	6.40
	B	1281.60	666.00	1185.50	6.45
	C	1286.00	665.20	1196.70	6.30
5.63	A	1278.40	652.00	1141.20	6.31
	B	1281.10	648.00	1196.60	6.42
	C	1283.60	649.00	1197.50	6.53
PESO CANASTA	1018	gramos			

Fuente: Elaboracion propia

B. Ensayo de estabilidad y flujo

- El procedimiento que se describe a continuación, es aplicable a todas las probetas compactadas.
- Se lleva la probeta a un baño de agua a 60 a 1°C durante un lapso de 30 a 40 minutos.
- Se limpia cuidadosamente la superficie interior de la mordaza de prueba y se lubrican las barras guías con una delgada película de aceite, de manera que el segmento superior el anillo deslice libremente. Si se usa un anillo para medir la carga aplicada, debe controlarse que su dial este bien fijo y en cero cuando no haya carga
- Estando listo el aparato de carga Marshall para el ensayo, se saca la probeta del agua y se seca rápida y cuidadosamente su superficie.
- Se coloca la probeta en la mordaza inferior de prueba y se centra. Luego se ajusta el anillo superior en posición y se centra el conjunto en el mecanismo de carga. A continuación, se coloca el medidor de flujo sobre la barra – guía marcada y se lleva su aguja a cero.
- Se aplica carga a la probeta a una velocidad de 2 pulgadas/minuto hasta que ocurra la falla. El punto de falla se define mediante la máxima lectura en el dial de carga. El número de kilo-newtons correspondiente a esta lectura se anota como ESTABILIDAD MARSHALL.

- Mientras se está aplicando carga, se mantiene el medidor de flujo firmemente en posición sobre la barra guía y se retira cuando ocurra la carga máxima. La lectura en el dial en este instante se denomina FLUJO y se expresa en centésimas de pulgada.
- El procedimiento completo desde que se saca la probeta del baño de agua hasta que falla en la máquina, no debe tardar más de 30 segundos.

➤ **Espécimen A**

Carga = 8.15 KN = Estabilidad

Deflexión:

$L_i = 2 \frac{1}{100}''$

$L_f = 11.76 \frac{1}{100}''$

$L = 9.76 \frac{1}{100}'' = \text{Flujo}$

➤ **Espécimen B**

Carga = 8.23 KN = Estabilidad

Deflexión:

$L_i = 2 \frac{1}{100}''$

$L_f = 11.96 \frac{1}{100}''$

$L = 9.96 \frac{1}{100}'' = \text{Flujo}$

➤ **Espécimen C**

Carga = 8.13 KN = Estabilidad

Deflexión:

$L_i = 2 \frac{1}{100}''$

$L_f = 11.78 \frac{1}{100}$

$L = 9.78 \frac{1}{100}'' = \text{Flujo}$

El flujo promedio de las probetas es: 9.83 pulg.

La estabilidad promedio de las probetas es: 8.17 KN, el cual debe multiplicarse por un factor de corrección.

Tabla N° 58: Factores de estabilidad de correlación

Volumen del espécimen, cm ^{3B}	Espesor del espécimen ^a		Razón de la Correlación
	mm	Pulg	
200 - 213	25,4	1,00 (1)	5,56
214 - 225	27	1,06 (1 1/16)	5
226 - 237	28,6	1,12 (1 1/8)	4,55
238 - 250	30,2	1,19 (1 3/16)	4,17
251 - 264	31,8	1,25 (1 1/4)	3,85
265 - 276	33,3	1,31 (1 5/16)	3,57
277 - 289	34,9	1,38 (1 3/8)	3,33
290 - 301	36,5	1,44 (1 7/16)	3,03
302 - 316	38,1	1,50 (1 1/2)	2,78
317 - 328	39,7	1,56 (1 9/16)	2,5
329 - 340	41,3	1,62 (1 5/8)	2,27
341 - 353	42,9	1,69 (1 11/16)	2,08
354 - 367	44,4	1,75 (1 3/4)	1,92
368 - 379	46	1,81 (1 13/16)	1,79
380 - 392	47,6	1,88 (1 7/8)	1,67
393 - 405	49,2	1,94 (1 15/16)	1,56
406 - 420	50,8	2,00 (2)	1,47
421 - 431	52,4	2,06 (2 1/16)	1,39
432 - 443	54	2,12 (2 1/8)	1,32
444 - 456	55,6	2,19 (2 3/16)	1,25
457 - 470	57,2	2,25 (2 1/4)	1,19
471 - 482	58,7	2,31 (2 5/16)	1,14
483 - 495	60,3	2,38 (2 3/8)	1,09
496 - 508	61,9	2,44 (2 7/16)	1,04
509 - 522	63,5	2,50 (2 1/2)	1
523 - 535	65,1	2,56 (2 9/16)	0,96
536 - 546	66,7	2,62 (2 5/8)	0,93
547 - 559	68,3	2,69 (2 11/16)	0,89
560 - 573	69,8	2,75 (2 3/4)	0,86
574 - 585	71,4	2,81 (2 13/16)	0,83
586 - 598	73	2,88 (2 7/8)	0,81
599 - 610	74,6	2,94 (2 15/16)	0,78
611 - 626	76,2	3,00 (3)	0,76

Fuente: Manual de ensayo de materiales, ensayo marshall MTC E 504

El espesor promedio de las probetas es 6.36 cm. = 6.35 cm. (2 1/2")
y por lo tanto el factor de corrección es 1.

Entonces la estabilidad es: 8.17 x 1= 8.17 KN.

Finalmente, los 15 especímenes fueron ensayados en el aparato Marshall, encontrándose su estabilidad y flujo.

Tabla N° 59: Resultados de estabilidad y flujo de los especímenes ensayados

% AGREGADO	% DE ASFALTO	ESPECIMEN	ESTABILIDAD (KN)	FLUJO (0.01") (0.25 mm)	ALTURAS (cm)	PROMEDIO DE ESTABILIDAD	PROMEDIO DE ALTURA	ESTABILIDAD CORREGIDA	PROMEDIO DEL FLUJO
92.37	7.63	A	8.17	12.26	6.50	8.16	6.41	8.16	10.34
		B	8.42	12.35	6.41				
		C	7.89	12.41	6.33				
92.87	7.13	A	9.41	11.91	6.42	8.20	6.41	8.20	10.02
		B	7.65	12.15	6.50				
		C	7.53	12.01	6.32				
93.37	6.63	A	8.15	11.76	6.31	8.17	6.36	8.17	9.83
		B	8.23	11.96	6.44				
		C	8.13	11.78	6.32				
93.87	6.13	A	7.76	11.68	6.40	8.02	6.38	8.02	9.68
		B	8.53	11.77	6.45				
		C	7.77	11.59	6.30				
94.37	5.63	A	7.91	11.63	6.31	7.83	6.42	7.83	9.61
		B	6.6	11.54	6.42				
		C	8.98	11.65	6.53				

Fuente: Elaboracion propia

C. Análisis de la densidad y vacíos

Al terminar los ensayos de estabilidad y flujo, debe realizarse un análisis de la densidad y vacíos para cada serie de muestra en la forma siguiente:

Se promedian los pesos específicos “bulk” de todas las probetas elaboradas con el mismo porcentaje de asfalto, descartando las que se alejen demasiado del promedio. Este valor promedio, multiplica por 62.4 es la densidad específica del agua en libras por pie cubico, permite obtener la densidad en sistema inglés.

Para él % del contenido de asfalto 5.47; tenemos el peso específico “bulk” promedio.

Peso Específico “bulk” promedio:

$$G_b = ((2.37+2.49+2.44)) / 3 = 2.435 \text{ gr/cm}^3$$

$$G_b = 2.435 \times 62.4 = 151.97 \text{ lb/ft}^3$$

Tabla N° 60: Resultados de peso específico “bulk” de los especímenes ensayados

% CONTENIDO DE ASFALTO	ESPECIMEN	PESO ESPECÍFICO BULK (Gb) (gr/cm ³)
7.63	A	2.43
	B	2.43
	C	2.45
7.13	A	2.35
	B	2.36
	C	2.60
6.63	A	2.37
	B	2.49
	C	2.44
6.13	A	2.41
	B	2.47
	C	2.42
5.63	A	2.61
	B	2.34
	C	2.34

Fuente: Elaboracion propia

Tabla N° 61: Resultados de peso específico “bulk” multiplicado por la densidad específica del agua en libras por pie cubico en los especímenes ensayados

% CONTENIDO DE ASFALTO	PESO ESPECÍFICO BULK		
	Gb		
7.63	Gb	2.438	gr/cm ³
	Gb	152.15	lb/ft ³
7.13	Gb	2.436	gr/cm ³
	Gb	152.01	lb/ft ³
6.63	Gb	2.435	gr/cm ³
	Gb	151.97	lb/ft ³
6.13	Gb	2.432	gr/cm ³
	Gb	151.77	lb/ft ³
5.63	Gb	2.430	gr/cm ³
	Gb	151.60	lb/ft ³

Fuente: Elaboracion propia

Se calcula el peso específico promedio del agregado total, mediante la expresión.

Ecuación N° 16:

$$G_{agr} = 100 / (P1/G1) + (P2/G2) + (P3/G3) + \dots$$

Donde:

P1, P2, P3 = Porcentaje en peso de cada una de las fracciones de material que intervienen en el total del agregado.

G1, G2, G3 = Pesos específicos de los materiales a los que corresponden las fracciones anteriores mencionadas.

Los pesos específicos son los siguientes:

Para el agregado fino = 2.692

Para el agregado grueso = 2.593

$$\mathbf{Gagr} = 100 / (70/2.692+30/2.593) = 2.662$$

Se calcula el peso específico máximo teórico de la muestra para cada porcentaje de asfalto, el cual corresponde al que teóricamente se obtendría si fuera posible comprimir la muestra hasta obtener una más de asfalto y agregados carente de vacíos con aire. Este valor se calcula de la siguiente manera:

$$\mathbf{Gmt} = 100 / ((\% \text{ agregados}) / \mathbf{Gagr} + (\% \text{ cemento asfáltico}) / \mathbf{Gasf})$$

$$\mathbf{Gmt} = 100 / ((93.37/2.662) + (6.63/0.95)) = 2.38$$

Tabla N° 62: Resultados del peso específico máximo teórico de las muestras

Muestra 1	Gmt	2.34	%
Muestra 2	Gmt	2.36	%
Muestra 3	Gmt	2.38	%
Muestra 4	Gmt	2.40	%
Muestra 5	Gmt	2.42	%

Fuente: Elaboracion propia

El peso específico de asfalto, se calculó mediante la siguiente fórmula:

Ecuación N° 17:

$$\mathbf{Gasf} = ((C-A)) / ((B-A)-(D-C))$$

Donde:

A = Peso del picnómetro = 23.1 gr.

B = Peso del picnómetro + agua baño maría = 47.8 gr.

C = Peso del picnómetro + asfalto = 28.5 gr.

D = Peso del picnómetro + asfalto + agua destilada = 47.5 gr.

$$\mathbf{Gasf} = ((28.5-23.1)) / ((47.8-23.1)-(47.5-28.5)) = 0.95$$

Se calcula el porcentaje de absorción de asfalto por eso del agregado seco, mediante la fórmula:

Ecuación N° 18:

$$Aa = ((Gmm-Gmt))/((Gmm \times Gmt \times \% \text{ agregados})) \times 1000$$

Donde:

Gmm = Gravedad específica teórica máxima de la mezcla. Datos básicos para muestras de mezclas asfálticas (ASTM D2041).

$$Gmm = 2.535$$

$$Aa = ((2.535-2.38)) / ((2.535 \times 2.38 \times 93.37)) \times 1000 = 0.28\%$$

Tabla N° 63: Resultados del porcentaje de absorción del asfalto en las muestras

Muestra 1	Aa	0.36	%
Muestra 2	Aa	0.32	%
Muestra 3	Aa	0.28	%
Muestra 4	Aa	0.24	%
Muestra 5	Aa	0.21	%

Fuente: Elaboracion propia

Se determina el porcentaje en volumen de que ocupa el agregado con respecto al volumen total de la probeta.

Ecuación N° 19:

$$Vagr = ((\% \text{ agregado} \times Gb)) / Gagr$$

$$Vagr = (93.37 \times 2.435) / 2.662 = 85.42 \%$$

Tabla N° 64: Resultados del porcentaje de volumen que ocupa el agregado en la muestra

Muestra 1	Vagr	84.61	%
Muestra 2	Vagr	85.00	%
Muestra 3	Vagr	85.42	%
Muestra 4	Vagr	85.78	%
Muestra 5	Vagr	86.16	%

Fuente: Elaboracion propia

Se calcula el porcentaje de vacíos con aire con respecto al volumen total de la probeta.

Ecuación N° 20:

$$Vv = (1 - (Gb/Gmm)) \times 100$$

$$Vv = (1 - (2.435/2.535)) \times 100 = 3.94 \%$$

Tabla N° 65: Resultados del porcentaje de volumen que ocupa el agregado en la muestra

Muestra 1	Vv	3.83	%
Muestra 2	Vv	3.91	%
Muestra 3	Vv	3.94	%
Muestra 4	Vv	4.06	%
Muestra 5	Vv	4.14	%

Fuente: Elaboracion propia

Se calcula el volumen de asfalto efectivo como porcentaje del volumen total de la probeta.

Ecuación N° 21:

$$Vae = 100 - (Vagr + Vv)$$

$$Vae = 100 - (85.42 + 3.94) = 10.63 \%$$

Tabla N° 66: Resultados del porcentaje de volumen de asfalto efectivo en la muestra

Muestra 1	Vae	11.56	%
Muestra 2	Vae	11.09	%
Muestra 3	Vae	10.63	%
Muestra 4	Vae	10.16	%
Muestra 5	Vae	9.70	%

Fuente: Elaboracion propia

Se determina el porcentaje de vacíos en los agregados minerales en la mezcla compactada.

Ecuación N° 22:

$$VMA = 100 - Vagr$$

$$VMA = 100 - 85.42 = 14.58 \%$$

Tabla N° 67: Resultados del porcentaje de vacíos en los agregado minerales en la muestra

Muestra 1	VMA	15.39	%
Muestra 2	VMA	15.00	%
Muestra 3	VMA	14.58	%
Muestra 4	VMA	14.22	%
Muestra 5	VMA	13.84	%

Fuente: Elaboracion propia

Se determina el contenido de asfalto efectivo con respecto al peso de la mezcla.

Ecuacion N° 23:

$$Ae = \% \text{ asfliqañadido} - ((Aa \times \% \text{ Agregados}) / 100)$$

$$Ae = 6.63 - ((0.28 \times 93.37) / 100) = 6.37 \%$$

Tabla N° 68: Resultados del porcentaje de vacíos en los agregado minerales en la muestra

Muestra 1	Ae	7.30	%
Muestra 2	Ae	6.83	%
Muestra 3	Ae	6.37	%
Muestra 4	Ae	5.90	%
Muestra 5	Ae	5.43	%

Fuente: Elaboracion propia

3.2.7.3.2.7. Interpretación de resultados

Se bene dibujar gráficos que establezcan las siguientes relaciones:

- Densidad vs % Asfalto Liquido.
- Estabilidad vs % Asfalto Liquido.
- Flujo vs % Asfalto Liquido.
- % Vacíos de aire en la mezcla total vs % Asfalto Liquido.
- % Vacíos en los agregados minerales vs % Asfalto Liquido.

Cabe anotar que se graficara con los resultados de todas las muestras, los cuales son:

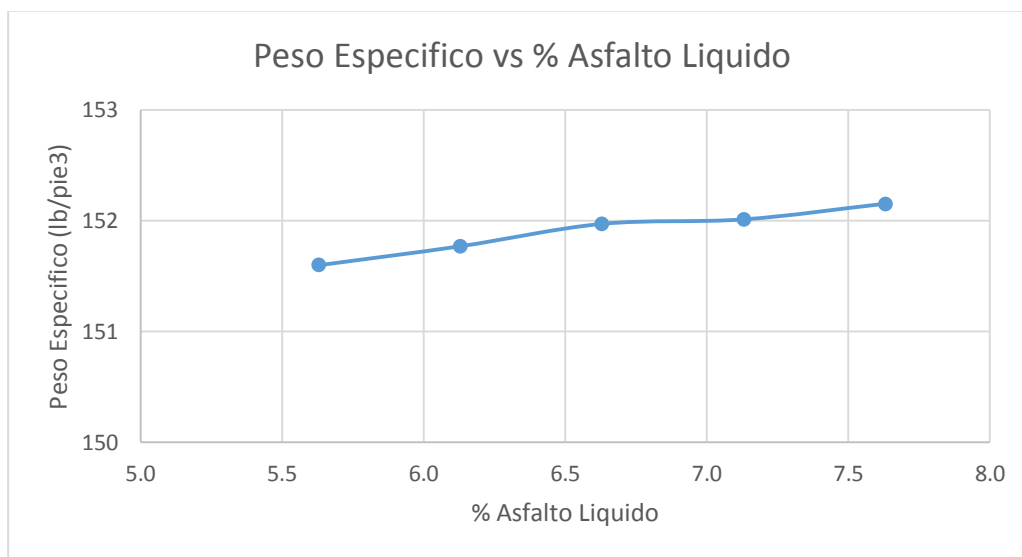
Tabla N° 69: Resultados del ensayo

	% Agregado	% A.L.	Peso Especifico (Lb/pie3)	Estabilidad (KN)	Flujo (0.01")	Vv (%)	VMA (%)
Muestra 1	92.37	7.63	152.15	8.16	10.34	3.83	15.39
Muestra 2	92.87	7.13	152.01	8.20	10.02	3.91	15.00
Muestra 3	93.37	6.63	151.97	8.17	9.83	3.94	14.58
Muestra 4	93.87	6.13	151.77	8.02	9.68	4.06	14.22
Muestra 5	94.37	5.63	151.60	7.83	9.61	4.14	13.84

Fuente: Elaboracion propia

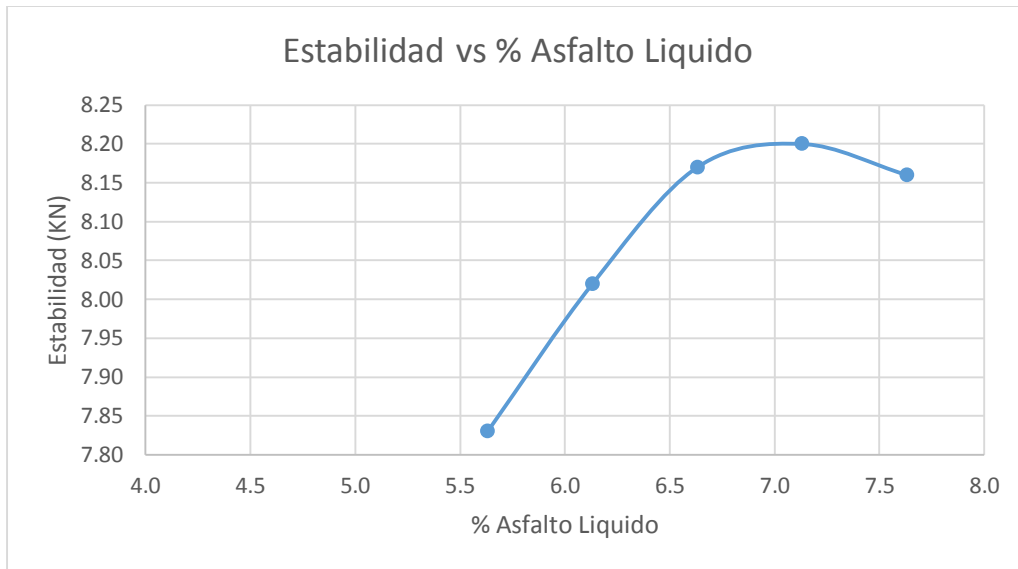
A continuación, se muestran los gráficos de las anteriores relaciones:

Gráfico N° 14: Peso Especifico vs % A.L.



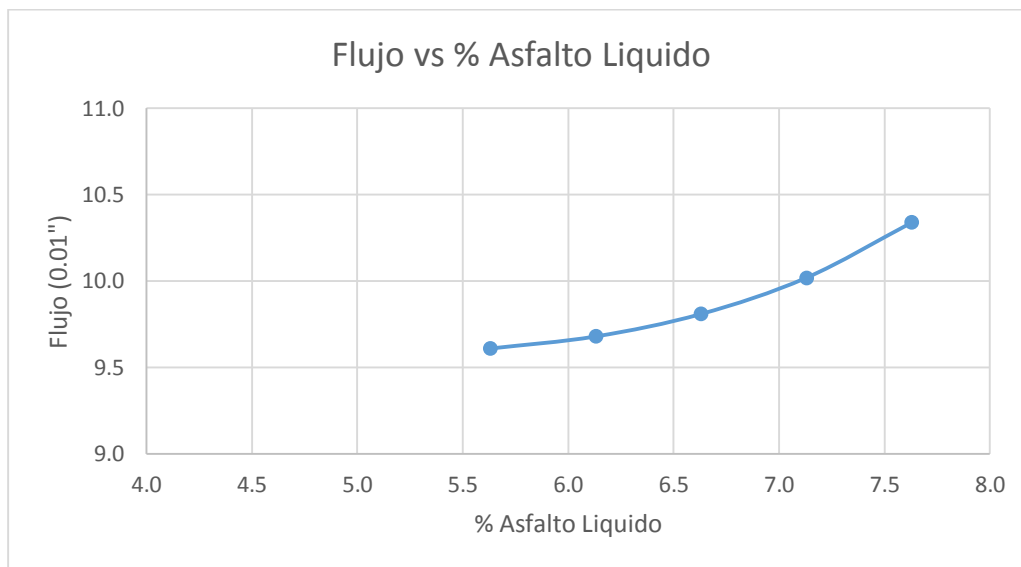
Fuente: Elaboracion propia

Gráfico N° 15: Estabilidad vs % A.L.



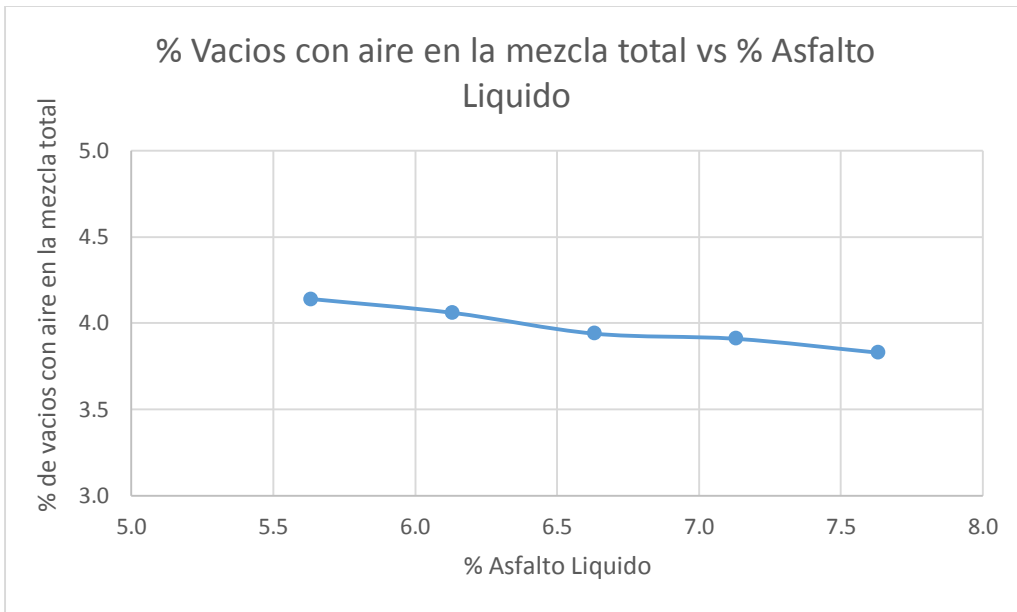
Fuente: Elaboracion propia

Gráfico N° 16: Flujo vs % A.L.



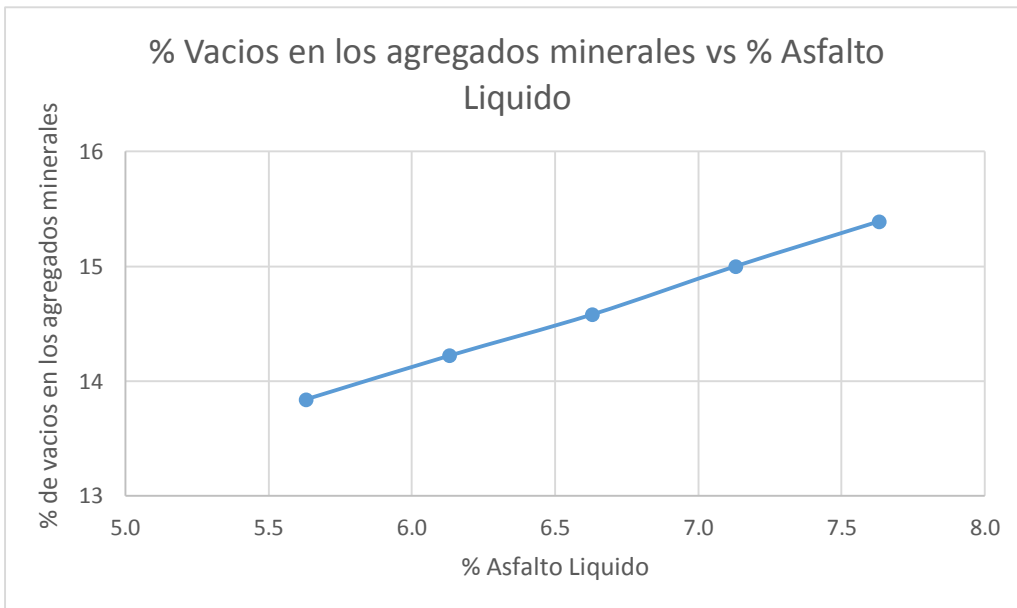
Fuente: Elaboracion propia

Gráfico N° 17: % Vacios con aire en la mezcla total vs % A.L.



Fuente: Elaboracion propia

Gráfico N° 18: % Vacios en los agregados minerales vs % A.L.



Fuente: Elaboracion propia

3.2.7.4. ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

➤ Ventajas económicas

Para demostrar estas ventajas, se ha elaborado un análisis de costos unitarios para la partida de producción. Según las Tablas N° 70 y 71, el costo de producción por metro cúbico de mezcla asfáltica con cemento asfáltico es aproximadamente 87.3% mayor que el costo unitario de producción de mezcla con diluido.

De esta comparación inicial se podría concluir que las carpetas asfálticas con diluido resultan más económicas. Sin embargo, esto es válido si se les compara tan sólo como inversión inicial, lo cual no debería ser el elemento de juicio de mayor contundencia al elegir entre una u otra, como sucede en la actualidad, ya que al mediano y largo plazo las carpetas asfálticas con cemento asfáltico resultan mucho más convenientes debido a su mayor durabilidad y mejor funcionalidad.

La experiencia ha demostrado que las carpetas fabricadas de una mezcla asfáltica con cemento asfáltico tienen un período de vida de 5 a 10 años. Por otro lado, en nuestra región las carpetas asfálticas con diluido, en el mejor de los casos, tienen una vida útil de 2 años.

3.2.7.4.1. Mezcla asfáltica en caliente

Tabla N° 70: Análisis de costo unitario para producción con cemento asfáltico

Partida: Produccion de mezcla asfaltica PEN 60/70				Costo unitario soles por: m3 322.09		
Rendimiento: 60.00 m3/día						
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	Subtotal
Mano de Obra						
CAPATAZ	HH	0.1000	0.0133	19.18	0.26	
OPERARIO	HH	1.0000	0.1333	14.75	1.97	
OFICIAL	HH	1.0000	0.1333	12.80	1.71	
PEON	HH	3.0000	0.4000	11.58	4.63	8.56
Materiales						
PIEDRA CHANCADA 3/4"	M3		0.8000	30.00	24.00	
ARENA GRUESA	M3		0.6500	20.00	13.00	
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	GAL		30.0000	7.10	213.00	
ADITIVO MEJORADOR ADHERENCIA	GAL		0.3000	13.95	4.19	
CALENTADOR DE ACEITE	HM		0.0169	31.70	0.54	
FILLER (CAL HIDRATADA)	KG		42.1000	0.88	37.05	291.77
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	8.56	0.43	
CARGADOR FRONTAL	HM	1.0000	0.1333	160.00	21.33	21.76

Fuente: Elaboracion propia

3.2.7.4.2. Mezcla asfáltica en frío

Tabla N° 71: Análisis de costo unitario para producción con diluido

Partida: Producción de mezcla asfáltica RC-250				Costo unitario soles por: m ³		281.11
Rendimiento: 100 m ³ /día						
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	Subtotal
Mano de Obra						
CAPATAZ	HH	0.1000	0.0080	19.18	0.15	
OPERARIO	HH	1.0000	0.0800	14.75	1.18	
OFICIAL		1.0000	0.0800	12.80	1.02	
PEON	HH	3.0000	0.2400	11.58	2.78	5.14
Materiales						
PIEDRA CHANCADA 3/4"	M3		0.8000	30.00	24.00	
ARENA GRUESA	M3		0.6500	20.00	13.00	
ASFALTO LIQUIDO RC-250	GAL		28.0000	7.90	221.20	
ADITIVO MEJORADOR ADHERENCIA			0.3000	13.95	4.19	
CALENTADOR DE ACEITE	HM		0.0169	31.70	0.54	262.92
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	5.14	0.26	
CARGADOR FRONTAL	HM	1.0000	0.0800	160.00	12.80	13.06

Fuente: Elaboración propia

Los costos totales:

Para el Cemento Asfáltico PEN 60/70

S/. 322.09 nuevos soles m³

Para el Asfalto Líquido RC-250

S/. 281.11 nuevos soles m³

4. RESULTADOS

➤ **Análisis y Resultados**

En este capítulo daremos a conocer los resultados obtenidos durante el proceso de la investigación, estos se deducirán de los ensayos realizados en laboratorio, los cuales nos dan valores suficientes para dar solución a los objetivos planteados en la tesis.

Los resultados son dados a conocer por medio de un resumen informativo, los cuales pueden ser por tablas y/o plantillas de informe, los cuales son llenados con los datos obtenidos en laboratorio o mediante el cálculo de alguna fórmula si así lo requiere.

Para la interpretación de resultados tuvimos en cuenta los valores del Manual de ensayos de Materiales (EM-2000) del Ministerio de Transporte y Comunicaciones. En la presente investigación se emplearon normas, criterios y especificaciones para el diseño de mezclas asfálticas del Manual de Especificaciones Técnicas para la Construcción de Carreteras y también del Instituto de Asfalto.

➤ **Características de los agregados**

Para cumplir con el objetivo trazado en la investigación, se realizó la recolección de agregados de la cantera Bauner SAC. Conseguimos estos agregados de la misma pila de material de dicha cantera, en lo cual solicitamos arena gruesa y piedra $\frac{3}{4}$ " para fines de la investigación.

En seguida las llevamos al laboratorio de control de calidad de la Universidad Privada Antenor Orrego, Universidad Nacional de Trujillo y Huertas Ingenieros S.A.C., donde se procedió a realizar los ensayos convenientes a los agregados según Norma.

Se pudo observar que la Tabla N° 10 y N°11 en el ensayo de granulometría, se pudo determinar que con la malla $\frac{3}{4}$ " pasa 68.79% y de la malla $\frac{1}{2}$ " pasa un 29.09 % donde se pudo determinar que cumple con los parámetros de una piedra de $\frac{3}{4}$ " según la MTC.

En el ensayo de Abrasión de la máquina de los Ángeles, utilizamos agregado grueso de la cantera Bauner en el cual obtuvimos una resistencia a la abrasión de 4.26 % (ver Tabla N° 17), este resultado cumple con los parámetros establecidos por la MTC, que para <3000 msnm es un 40 % máximo.

Para el ensayo de las partículas chatas y alargadas obtuvimos un 0.78% de partículas chatas y un 0% de partículas alargadas (ver tabla N^a18), estos resultados cumplen con los parámetros establecidos en la norma ASTM 4791.

Al desarrollar el ensayo de Durabilidad de Sulfato de Magnesio, se obtuvo que en el agregado grueso tuvo una pérdida corregida de 10.78% y en el agregado fino una pérdida de 14.34%, estos valores cumplen con los parámetros dados por la MTC E 209, ya que para el agregado grueso y fino se debe tener un 18% máx. y NP para < 3000 msnm. (ver tabla N^a 19)

En el ensayo de caras fracturadas para agregado grueso se pudo determinar un 7.48% de caras fracturadas (Ver tabla N^o20), y se encuentra dentro de los parámetros establecidos por la MTC E 210.

En el ensayo de sales solubles en agregados tenemos como resultado un 0.316 % de agregado grueso y 0.263% de agregado fino, estos valores están dentro de los 0.5 % máx. que establece como parámetro la MTC E 219. (VER TABLA N^a 21)

Para el ensayo de absorción en agregado grueso y fino se obtuvo como resultados 1.14 % y 0.67% respectivamente, donde se determinó que está dentro de los rangos establecidos por la MTC E 205 y 206. (ver tabla N^a22)

En el ensayo de adherencia, donde se mezcla la piedra, la arena y el PEN 60/70 o RC-250 obtuvimos un 95% de adherencia y 95% de recubrimiento (ver tabla N^a24), estos valores están dentro del rango establecido por la MTC E 517.

Para el ensayo de Índice de Durabilidad, el cual es uno de los más importantes en el desarrollo de la investigación se obtuvo un 87% para agregado grueso y 79% de agregado fino (ver tabla N^a 25), estos valores cumplen con los parámetros establecidos por MTC E214 con un 35% max. < 3000 msnm.

Para el ensayo de Equivalente de Arena, observamos que en la Tabla N^o 26 tiene un porcentaje de 91.50 %, por lo tanto se indica que para un tráfico en ejes equivalentes de >3-30(millones), debe satisfacer por lo menos un 50% por ende, se afirma que el agregado cumple con los parámetros establecidos.

Para el ensayo de Índice de Plásticas N^o 200 y N^o 40, no obtuvimos ningún valor por motivo que no presentan índice de plasticidad porque los finos son areniscas y no presentan grado de plasticidad, por lo tanto, se dice que son NP (NO PLASTICOS)

En el ensayo de Angularidad del agregado fino tenemos como resultado de 39 % (Ver tabla N^a 27) este resultado cumple con los parámetros establecidos por MTC E 222 con un 30% máx. < 3000 msnm.

➤ **Determinación de diseño Marshall en Mezcla Asfáltica en Caliente**

De acuerdo a los ensayos realizados en el capítulo 3, el agregado fino y grueso presentan una buena adherencia con el PEN 60/70 como mencionamos párrafos arriba. Por lo tanto, de las curvas de diseño (Grafica N^o8 – N^o12) podemos mencionar lo siguiente.

El porcentaje de VMA (VACIOS DE AGREGADO MINERAL) aumenta de acuerdo al aumento de porcentaje de asfalto (Ver Grafica N^o 12)

El peso específico aumenta de acuerdo al porcentaje de asfalto hasta llegar a su máximo contenido de asfalto de 6.47%, esta tendencia suele formar una parábola en la gráfica. (Ver Grafica N^o8)

En la curva Flujo vs Contenido de Asfalto presenta un aumento cada vez que aumenta el porcentaje de asfalto (Ver Grafica N^o 10)

De forma general podemos observar que las gráficas mantienen un comportamiento típico. Teniendo en consideración que se realizó un diseño de mezclas para tránsito pesado, por ende, podemos resaltar lo siguiente:

El valor de la estabilidad vs el contenido óptimo de asfalto de 5.47 % se obtuvo un valor de 10.19 KN. Teniendo un incremento de 26.43 % mayor que lo establecido por la norma del Instituto de Asfalto; por lo tanto, este diseño de mezcla se recomienda para la construcción de vías en la ciudad de Trujillo.

Para nuestro contenido óptimo de asfalto de 5.47 % obtuvimos un VMA de 13.30 %, siendo el mínimo 13% según Norma, eso nos indica que se encuentra dentro de los parámetros establecidos. (Ver Tabla N^a 48)

Para el Flujo se obtuvo un valor de 11.38 % con el porcentaje óptimo de 5.47 %, asumiendo que se encuentra dentro del rango establecido por la norma que es de 8-15%.

En resumen, se tiene características y adherencia de los agregados de la cantera Bauner que son útiles para un diseño de mezcla en caliente utilizando PEN 60/70 de tránsito pesado y una conducta favorable para la construcción y durabilidad del mismo.

➤ **Determinación de Diseño Marshall en mezcla asfáltica en frío**

De las gráficas N° 14 a la N° 18 de diseño podemos determinar el contenido óptimo de asfalto, y deducir lo siguiente:

Para el peso específico y la estabilidad aumentan de acuerdo al incremento de porcentaje de asfalto, y esto lleva a formar una parábola para ambas (Ver graficas N° 14 y N° 15)

Teniendo en cuenta que el diseño de la mezcla asfáltica en frío es para un tránsito pesado, podemos deducir lo siguiente:

Para el contenido óptimo de asfalto de 6.63%, se obtuvo una estabilidad 8.17 KN (Ver Tabla N^a 69). Este valor se incrementó un 1.36 % de acuerdo a lo establecido en la norma del Instituto de Asfalto que es de 8.06 KN.

Para el Flujo se obtuvo un valor de 9.83 % (Ver Tabla N^a 69) de acuerdo al contenido óptimo de asfalto que es de 6.63%, y se establece dentro del rango dado por el Instituto de Asfalto.

Para el contenido óptimo de asfalto de 6.63%, el porcentaje de vacíos de agregado mineral es de 14.58%, y cumplen con los rangos establecidos.

5. CONCLUSIONES

- Se determinó que los agregados de la cantera Bauner S.A. presentan características físicas angulares y/o alargadas, ya que estos son formados naturalmente o triturados de piedra de cantera, estos tienen una resistencia al desgaste de 4.26 %. De acuerdo a los estudios realizados a los agregados de la cantera Bauner S.A., se determinó que cumplen con las especificaciones dadas por la norma MTC y se encuentran dentro de los parámetros establecidos y su máxima resistencia es de 40 % para ≤ 3000 msnm según la MTC E207.
- Según los ensayos de laboratorio por la metodología Marshall, el porcentaje de asfalto óptimo para un diseño de mezcla asfáltica en caliente se ha determinado es de 5.47 % con un cemento asfáltico PEN 60/70, con 30% de agregado grueso y 70% de agregado fino. A diferencia de la mezcla asfáltica en frío con asfalto líquido RC-250, se obtuvo un porcentaje óptimo de asfalto en 6.63 %, considerando el mismo porcentaje de agregado grueso y fino como en la mezcla en caliente.
- El comportamiento de estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente con su óptimo contenido de asfalto 5.47% tiene un valor de 10.19 kN (10.39.09 Kg) y en el diseño de mezcla asfáltica en frío con su óptimo contenido de asfalto 6.63% tiene un valor de 8.17 kN (833.11 Kg). Estos resultados cumplen según las especificaciones del instituto del asfalto para el diseño Marshall.
- En las ventajas económicas, de mezclas asfálticas efectuadas se obtuvo que el análisis de costo en producción de una mezcla asfáltica en frío con asfalto RC-250 es S/. 281.11 por m³ en planta y el costo de una mezcla asfáltica en caliente con PEN 60/70 es S/. 322.09 por m³ en planta, es decir el costo de la mezcla asfáltica en frío es de 87.3% del costo de una mezcla en caliente.

6. RECOMENDACIONES

- Este proyecto debería ser comprobado en algún tramo de la ciudad de Trujillo para que permita verificar en campo su funcionamiento y el desarrollo de las propiedades de mezclas asfálticas obtenidas en laboratorio.
- Es necesario realizar una revisión de los ensayos de laboratorio que se utilizan para el diseño y caracterización del desempeño de estas mezclas asfálticas, tanto para los componentes, como para las combinaciones de estos.
- Para la reparación de deterioro, como roturas de la superficie, se podrán utilizar las mezclas en frío, seleccionando la que más se adapte a las características del deterioro. Debido a estas razones es importante profundizar en el conocimiento de esta tecnología, en sus posibles usos y especificaciones para poder aplicarla correctamente en nuestra ciudad.
- El usuario determinará la conveniencia de utilizar cualquiera de las mezclas, en función a sus perspectivas de empleo en una obra determinada.
- Es necesario que se realicen investigaciones similares, orientadas a universidades que auspicien a los tesisistas y contribuyan con la divulgación de los resultados, por la gran importancia de crear normas y procedimientos nacionales que faciliten a la introducción de mezclas asfálticas en frío como alternativas en nuestra localidad.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Rico, A., Y Del Castillo, H. (1999).** *La ingeniería de suelos en las vías terrestres.* (2da ed.). México D. F.: Limusa.
- Rico Rodríguez, A. (2004)** *Ingeniería de pavimentos.* (Tomo 2.) Evaluación estructural, obras de mejoramiento. Colombia. Editorial: ECOE.
- Montejo, A. (2006)** *Ingeniería de pavimentos: Fundamentos, estudios básicos y diseño.* (3raed.). Universidad Católica de Colombia.
- Minaya Gonzales, S. y Ordoñez Huamán, A. (2006).** *Diseño moderno de pavimentos asfálticos.* (2° . Ed.). Perú, Distribuido por ICG.
- Montiel Mancilla, A. (2003).** *Evaluación de compatibilidad de mezclas asfálticas, utilizando agregados de la cantera san Martin con cemento asfáltico PEN 60/70 y emulsión asfáltica CSS-1HP.* (Tesis para obtener el grado académico de maestro en transportes y conservación vial). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo.
- Hernández, R., Fernández, C. (2010).** *Metodología de la investigación.* (5° . Ed.). Editorial Mc Graw-Hill.
- Freddy E., Rolando F. (2002).** *Estudio comparativo entre mezclas asfálticas con diluido RC-250 y emulsión.* (Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil). Universidad de Piura, Piura.
- Ruiz García, S., Ruiz Rodríguez, M. (2014).** *Análisis comparativo del diseño de un pavimento flexible entre una mezcla asfáltica en frio y una mezcla asfáltica en caliente considerando la cantera el paraíso S.A.C. en la ciudad de Trujillo.* (Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo.
- Traducido por el doctor: Manual Velázquez, Ing. Caminos (1996).** *Manual del asfalto - The asphalt institute. Manual básico de emulsión MS-N^o 19, Mezclas asfálticas en caliente MS-N^o 22, Mezclas asfálticas en frio MS-N^o 14.* Urmo ediciones. España.
- Ministerio De Transportes Y Comunicaciones (2013)** *Manual de Carreteras - Especificaciones técnicas generales para la construcción EG-2013.*
- Ministerio De Transportes Y Comunicaciones (2016)** *Manual de ensayos de materiales.*

<http://transparencia.mtc.gob.pe/manualdeensayosdemateriales.pdf>

ANEXOS

Fotografía: Agregados de la cantera Bauner S.A.C. ubicado en la panamericana norte km 570.5 el Milagro-Trujillo.



Fotografía: Ensayo de granulometría.



Fotografía: Preparación de la mezcla.



Fotografía: Martillo de compactación de los especímenes.



Fotografía: Especímenes del ensayo.



Fotografía: Baño de agua (baño maría).



Fotografía: Equipo Marshall



Fotografía: Ensayo Marshall



Fotografía: Criterios del instituto del Asfalto (U.S.A.) para el Diseño Marshall.

CURSO DE VIAS DE COMUNICACIÓN

Criterios del Instituto del Asfalto (U.S.A.) para el Diseño Marshall.

Criterios para mezcla del Método Marshall	Tránsito liviano Carpeta y Base		Tránsito Mediano Carpeta y Base		Tránsito Pesado Carpeta y Base	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Compactación, número de golpes en cada cara de la probeta.	35		50		75	
Estabilidad N.	3336		5338		8006	
(lb)	(750)		(1200)		(1800)	
Flujo, 0.25 mm. (0.01 plg.)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA)	(Ver tabla adjunta.)					
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA)	70	80	65	78	65	75

NOTAS:

1. Todos los criterios y no solo la estabilidad, deben ser considerados al diseñar una mezcla asfáltica de pavimentación. Las mezclas asfálticas en caliente de base que no cumplan estos criterios, cuando se ensayan a 60°C, se consideran satisfactorias si cumplen los criterios cuando se ensayan a 38°C, y si se colocan a 100 mm o más por debajo de la superficie. Esta recomendación se aplica solamente a las regiones que tengan una variedad de condiciones climáticas similar a la que prevalece en casi todas las regiones de Estados Unidos. En las regiones que tengan condiciones climáticas más extremas puede ser necesario usar temperaturas más bajas de ensayo.
2. Clasificación del tránsito:
 - Liviano. Condiciones del tránsito que resultan en un EAL de diseño $> 10^4$
 - Mediano. Condiciones del tránsito que resultan en un EAL de diseño entre 10^4 y 10^6
 - Pesado. Condiciones del tránsito que resultan en un EAL de diseño $> 10^6$
3. Los esfuerzos de compactación en el laboratorio deberán aproximarse a la densidad máxima obtenida en el pavimento bajo el tránsito.
4. Los valores de fluencia se refieren al punto en donde la carga comienza a disminuir.
5. Cuando se esté calculando el porcentaje de vacíos, deberá permitirse cierta tolerancia en porción de cemento asfáltico perdida por absorción en las partículas de agregado.
6. El porcentaje de vacíos en el agregado mineral debe ser calculado con base en el peso específico total ASTM del agregado.

PORCENTAJE MÍNIMO DE VMA

TAMAÑO MÁXIMO En mm. Porcentaje		VMA MÍNIMO, POR CIENTO Vacíos de Diseño, por ciento 3		
mm	In.	3.0	4.0	5.0
1.18	N° 16	21.5	22.5	23.5
2.36	N° 8	19.0	20.0	21.0
4.75	N° 4	16.0	17.0	18.0
9.50	3/8	14.0	15.0	16.0
12.50	1/2	13.0	14.0	15.0
19.00	3/4	12.0	13.0	14.0
25.00	1.0	11.0	12.0	13.0
37.50	1.5	10.0	11.0	12.0
50	2.0	9.5	10.5	11.5
63	2.5	9.0	10.0	11.0

1 Especificación Normal para Tamaños de Tamices usados en Pruebas, ASTM E 11 (AASSTO M 92)

2 El tamaño máximo nominal de partícula es un tamaño más grande que el primer tamiz que retiene más de 10 % de material.

3 Interpole el VMA mínimo para los valores de vacíos de diseño que se encuentren entre los que están citados.

Fotografía: Informe de ensayo asfalto liquido RC-250.

PETROLEOS DEL PERU PETROPERU S.A.
LABORATORIO DE REFINERIA TALARA






Peruanos trabajando por el desarrollo del País

INFORME DE ENSAYO

PRODUCTO: PETROPERU ASFALTO LIQUIDO RC-250

REF-LAB-5267-2017

CARRO TANQUE: P2T - 837		FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 16/09/2017			
TANQUE DE DESPACHO: 406		FECHA DE REPORTE: 30/09/2017			
CLIENTE: VGK EJECUTORES CONTRATISTA GENERALES S.A.C.		DIRECCION DEL CLIENTE : TUMBES			
Código de la Muestra : 200106504-17		OTRA INFORMACION DE LA MUESTRA: Despacho coordinado por con Unidad Plantas Norte y la Unidad de SSII-Especialidades			
Cantidad de muestra: 700 mL					
Tipo de Envase : VIDRIO					
ENSAYO		Unidad	METODO ASTM u OTRO	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES MINIMO MAXIMO
FLUIDEZ					
Densidad a 15.6 °C		°API	D1298-12b	16,0	Reportar
Viscosidad cinematica a 60°C		cSt	D2170-01a(2006)	371	250 500
VOLATILIDAD					
Punto de Inflamación TAG, copa abierta		°C	D3143-98	40	27
DESTILACION					
a 190°C		%V	D402-02		--
a 225°C		%V		74,0	35
a 260°C		%V		86,0	60
a 316°C		%V		95,0	80
Residuo de destilación a 360°C, por diferencia		%V		78,0	65
Pruebas sobre el residuo de la destilación:					
Penetración del residuo a 25°C, 100 gr. 5s o		0.1 mm	D5-06e1	117	80 120
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min		cm	D113-99	> 150	100
Solubilidad en Tricloroetileno		%masa	D2042-01	99,5	99,0
CONTENIDO DE AGUA		%V	D95-05e1	0,0	-- 0,2
OBSERVACIONES :					
1.- Los resultados corresponden solo a la muestra analizada.					
2.- Gravedad Especifica a 16,0 °C = 0,9593					
3.- Codigo de muestra = 200107549-17					
PREPARADO POR: Nombre: Función: Firma:		APROBADO POR: Nombre: Función: Firma:			
 		 MANUEL ACEVEDO B. FICHA N° 01755 RESPONSABLE TURNO LABORATORIO REFINERIA TALARA			

RTLAB-FT-36, Versión: 02

FIN DE INFORME

Pág 1/1



**PETROLEOS DEL PERU PETROPERU S.A.
LABORATORIO DE REFINERIA TALARA**

Peruanos trabajando por el desarrollo del País

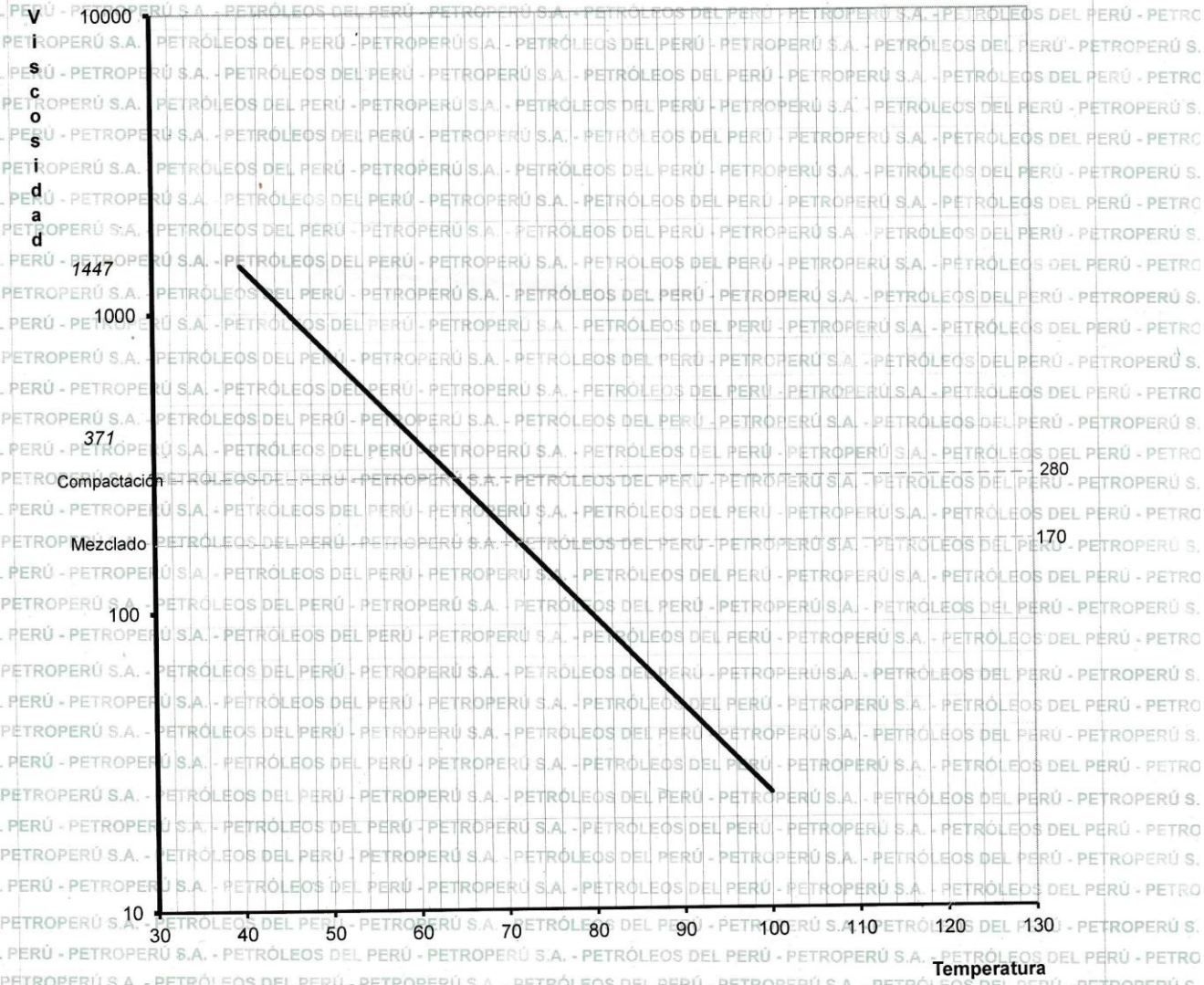
PETROLEOS DEL PERU - PETROPERU S.A.

PRODUCTO : PETROPERU ASFALTO LIQUIDO RC - 250

Laboratorio de Refineria Talara

Carta Viscosidad - Temperatura Asfalto Liquido RC - 250

PRODUCTO DE DESPACHO	
FECHA	30/09/2017
TANQUE DE REFINERIA	406
CLIENTE:	VGK EJECUTORES CONTRATISTA GENERALES SAC.
DESTINO:	TUMBES



PETROLEOS DEL PERU PETROPERU S.A.
LABORATORIO DE REFINERIA TALARA



Peruanos trabajando por el desarrollo del País.

INFORME DE ENSAYO

PRODUCTO : PETROPERU ASFALTO SOLIDO 60/70 PEN

RFTL-LAB-2521-2018

CARRO TANQUE: T7J - 825 / TAP - 973		FECHA RECEPCION MUESTRA: 18/03/2018			
TANQUE DE DESPACHO 468		FECHA DE REPORTE: 10/04/2018			
CLIENTE: EMPRESA DE SERVICIOS & LOGISTICA TRANSNACIONALES		DIRECCION DEL CLIENTE: TRUJILLO			
Código de la Muestra: 200125437-18		OTRA INFORMACION DE LA MUESTRA: Despacho coordinado por Unidad Plantas Norte y la unidad de SSII-Especialidades			
Cantidad de muestra: 700 ml					
Tipo de Envase: Vidrio					
ENSAYO		METODO		ESPECIFICACIONES	
		ASTM u OTRO		MINIMO MAXIMO	
PENETRACION					
A 25°C, 100 g, 5s		D5-06e1		64 60A 70	
VOLATILIDAD					
Punto de Inflamación Cleveland, copa abierta		D92-05a		300 232 --	
Gravedad específica a 15,6/15,6°C		D70-03		1.01130 REPORTAR	
DUCTILIDAD					
A 25°C, 5 cm/min		D113-99		> 150 100 --	
SOLUBILIDAD					
En tricloroetileno		D2042-01		99.7 99.0	
Prueba de calentamiento sobre película fina, 3.2 mm, 163°C, 5 horas:		D1754-02			
Perdida por calentamiento		D1754-02		0.24 -- 0.8	
Penetración retenida, del original		D5-06e1		67.0 52+ 67.0	
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min		D-113-99		70 50	
Índice de susceptibilidad térmica		Norma francesa		-0.76 -1.0 +1.0	
FLUIDEZ					
Viscosidad cinemática a 100°C		D2170-01a(2006)		3538 REPORTAR	
Viscosidad cinemática a 135°C		D2170-01a(2006)		350 200 --	
ADHERENCIA					
Revestimiento-desprendimiento, mezcla agregado-bitumen,		D3625-96(2005)		+95 REPORTAR	
Prueba desprendimiento del agua		D 3625-96(2005)		Pasa REPORTAR	
PUNTO DE ABLANDAMIENTO		D36-06		50.0 REPORTAR	
PRUEBA DE LA MANCHA (OLIENSIS) 30%		AASHTO T-102-83(04)		NEGATIVO REPORTAR	
XILENO					
OBSERVACIONES :					
1. Los resultados corresponden a la muestra analizada.					
2. Gravedad API @ 15,6 °C: 8.4					
3. Código de muestra de chequeo: 200125376-18					
PREPARADO POR:		APROBADO POR:			
NOMBRE:		NOMBRE:			
FUNCION:		FUNCION:			
FIRMA:		FIRMA:			
RTLAB-FT-36, Versión: 02		LABORATORIO REFINERIA			

Pág 1/1

Prolongación Av. "G"-2 (Área Administrativa) Talara - Piura - Perú
 Telfs.: (51)73-284200 Anexo: 3310
 Fax: (51)73-284265

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN AUTORIZACIÓN DE PETROPERU S.A.

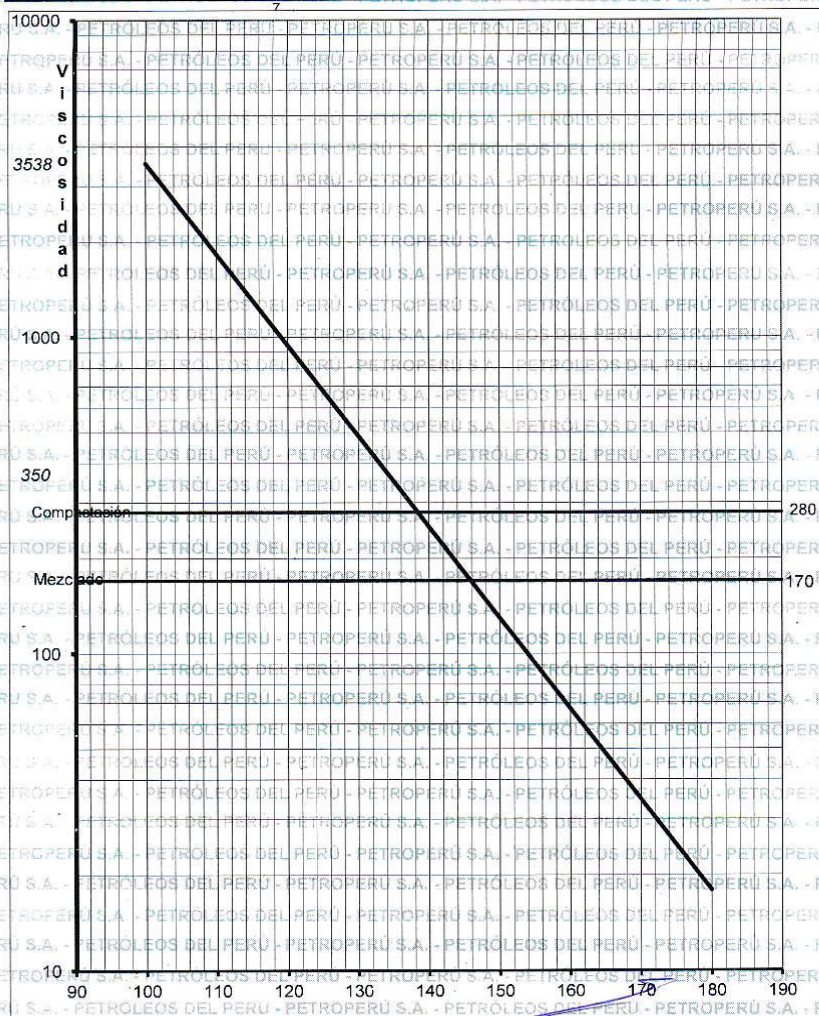
**PETROLEOS DEL PERU PETROPERU S.A.
LABORATORIO DE REFINERIA TALARA**



PETROPERU
Peruanos trabajando por el desarrollo del País.

**PETROLEOS DEL PERU - PETROPERU S.A.
PRODUCTO : PETROPERU ASFALTO SOLIDO 60/70 PEN**

FECHA:	10/04/2018
TANQUE REFINERIA:	468
CLIENTE:	EMPRESA DE SERVICIOS & LOGISTICA TRANSNACIONALES
DESTINO:	TRUJILLO



BERNARDO JIMENEZ S.
RESPONSABLE TURNO
LABORATORIO DE REFINERIA

Prolongación Av. "G"-2 (Área Administrativa) Talara - Piura - Perú
Telfs.: (51)73-284200 Anexo: 3310
Fax: (51)73-284265
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN AUTORIZACIÓN DE PETROPERU S.A.

FE DE ERRATAS

Título

DICE: ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE Y MEZCLAS ASFÁLTICAS EMULSIONADAS EN LOS PAVIMENTOS

DEBE DECIR: ANALISIS COMPARATIVO DE MEZCLAS ASFALTICAS, UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA BAUNER CON CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70 Y ASFALTO LIQUIDO RC-250