



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y**

**URBANISMO**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA**

**CIVIL**

**UTILIZACIÓN DE FIBRAS DE POLIETILENO DE  
BOTELLAS DE PLÁSTICO PARA SU APLICACIÓN EN EL  
DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ECOLÓGICAS EN  
FRÍO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO  
EN INGENIERÍA CIVIL**

**Autor:**

Bach. BALLENA TAPIA, Chrystian José

**Pimentel, 29 de noviembre del 2016**

**UTILIZACIÓN DE FIBRAS DE POLIETILENO DE BOTELLAS DE PLÁSTICO  
PARA SU APLICACIÓN EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS  
ECOLÓGICAS EN FRÍO**

---

Ing. Zuloaga Cachay, José Fortunato  
**Asesor metodólogo**

---

Ing. Ruiz Saavedra, Nepton David.  
**Asesor especialista**

---

MSc. Coronado Zuloeta, Omar  
**Presidente del jurado de tesis**

---

Ing. Marín Bardales Humberto  
**Secretario del jurado de tesis**

---

Ing. Ruiz Saavedra Nepton David.  
**Vocal**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a Dios, a mis padres José Guillermo Ballena Díaz y Marcela Tapia Caruajulca, a cada uno de mis familiares, a Sheylla Vanessa Barrantes Alberca quien me ha dado su apoyo incondicional, a mis amigos y a todas las personas que han hecho que este proyecto se realice.

## **AGRADECIMIENTO**

A DIOS, por guiarme por el camino correcto para alcanzar mis metas trazadas, por hacerme mantener la fe, la fuerza y serenidad en todo momento, conservarnos con salud y valor durante todo el curso de mi vida.

A cada uno de mis familiares y personas cercanas por brindarme su apoyo incondicional en el transcurso de mi desarrollo profesional.

Al ing. Nepton David Ruiz Saavedra por la ayuda y apoyo en el transcurso de la investigación.

A cada uno de los ingenieros de la UNIVERSIDAD SEÑOR SE SIPAN, por brindarnos en el transcurso de nuestra carrera profesional los conocimientos, para poder contribuir con mi desarrollo profesional y así poder aplicarlo en el desarrollo del Perú.

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
INDICE .....	V
INDICE DE FIGURAS.....	IX
INDICE DE TABLAS.....	XI
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT .....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVI
<b>CAPITULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	
1.1. Situación problemática .....	19
1.1.1. A nivel internacional .....	19
1.1.2. A nivel nacional.....	20
1.1.3. A nivel Regional.....	20
1.2. Formulación del problema.....	20
1.3. Delimitación de la investigación .....	20
1.4. Justificación e Importancia.....	21
1.4.1. Justificación tecnológica.....	21
1.4.2. Justificación Ambiental .....	21
1.4.3. Justificación social.....	21
1.4.4. Justificación económica.....	21
1.5. Limitaciones de la investigación.....	22
1.6. Objetivos .....	22
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	
2.1. Antecedentes de estudio.....	23
2.2. Bases teórico científicas.....	25
2.2.1. Asfalto - Emulsiones .....	25
2.2.1.1. Generalidades.....	25
2.2.1.2. Origen y naturaleza del asfalto.....	27
2.2.1.3. Clasificación y grados del asfalto.....	29
2.2.1.4. Historia de las emulsiones asfálticas.....	29
2.2.1.5. Usos de la emulsión asfálticas .....	30
2.2.1.6. Usos generales de las emulsiones según el tiempo de ruptura.....	30

2.2.1.7.	Factores que afectan la elección de la emulsión.....	32
2.2.1.8.	Composición de las emulsiones asfálticas .....	32
2.2.1.9.	Componentes de la emulsión .....	33
2.2.1.10.	Variables que afectan la calidad y el rendimiento de la emulsión .....	34
2.2.1.11.	Clasificación de las emulsiones asfálticas.....	34
2.2.1.12.	Aplicaciones de las emulsiones .....	35
2.2.1.13.	Dosificaciones .....	35
2.2.2.	Especificaciones y ensayos para emulsiones asfálticas .....	35
2.2.3.	Agregados pétreos .....	37
2.2.3.1.	Generalidades.....	37
2.2.3.2.	Características de agregados.....	37
2.2.3.3.	Tipos de agregados pétreos .....	43
2.2.3.4.	Clasificación del agregado pétreo de acuerdo a su tamaño.....	45
2.2.4.	Mezclas asfálticas .....	50
2.2.4.1.	Generalidades.....	50
2.2.4.2.	Características y comportamiento de la mezcla.....	50
2.2.4.3.	Propiedades consideradas en las mezclas Asfálticas.....	52
2.2.4.4.	Cualidades funcionales del pavimento con mezclas asfálticas en frío en condiciones de servicio .....	57
2.2.4.5.	Mezclas con emulsión asfáltica.....	57
2.2.4.6.	Diseño de mezclas .....	58
2.2.4.7.	Agregados en la mezcla asfáltica con emulsión.....	58
2.2.4.8.	Mezclas con emulsión en planta (en frío) .....	59
2.2.4.8.1.	Plantas de Mezclado.....	59
2.2.4.8.2.	Colocación y Compactación .....	60
2.2.4.8.3.	Precauciones para la colocación de mezclas asfálticas en frío .....	60
2.2.5.	POLIMERO.....	62
2.3.	Definición de términos básicos.....	65
<b>CAPÍTULO III: MARCO METODOLOGICO .....</b>		
3.1.	Tipo y diseño de la investigación .....	70
3.1.1.	Tipo de investigación .....	70
3.1.2.	Diseño de la investigación .....	70
3.2.	Población y muestra.....	70
3.2.1.	Población .....	70

3.2.2.	Muestra .....	70
3.3.	Hipótesis .....	71
3.4.	Variables e indicadores .....	71
3.4.1.	Variable independiente .....	71
3.4.2.	Variable dependiente .....	71
3.4.3.	Operacionalización de las variables .....	71
3.5.	Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	72
3.5.1.	Métodos de investigación .....	72
3.5.2.	Técnicas de recolección de información .....	73
3.5.3.	Descripción de los instrumentos utilizados.....	73
3.6.	Procedimientos para la recolección de datos .....	74
3.6.1.	Procedimientos .....	74
3.6.2.	Diagrama de Flujo .....	75
3.6.3.	Descripción de procesos.....	75
3.6.3.1.	Determinar la calidad de los agregados.....	75
3.6.3.2.	Diseñar la mezcla asfáltica en frío.....	100
3.6.3.3.	Elaborar la mezcla asfáltica con fibra de polietileno añadido.....	103
3.6.3.4.	Obtener las características de mezclas asfálticas en frío .....	104
3.6.3.5.	Comparar los datos obtenidos de las mezclas asfálticas en frío con fibra de polietileno y las mezclas asfálticas convencionales.....	107
3.7.	Análisis estadístico e interpretación de datos.....	107
3.7.1.	Enfoque cualitativo .....	107
3.7.2.	Enfoque cuantitativo .....	107
3.8.	Criterio ético .....	108
3.8.1.	Ética de la recolección de datos .....	108
3.8.2.	Código ético profesional .....	108
3.9.	Criterio de rigor científico .....	108
3.9.1.	Fiabilidad .....	108
<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS .....</b>		
4.1.	Resultados.....	110
4.1.1.	Determinar las características de la fibra de polietileno.....	110
4.1.1.1.	Análisis granulométrico del polietileno .....	110
4.1.2.	Características de los materiales (Agregado grueso y Agregado fino) usados para la elaboración de la mezcla asfáltica con fibra de polietileno.....	112
4.1.2.1.	Resultados de agregados gruesos .....	112

4.1.2.1.1.	Análisis granulométrico de agregado grueso.....	113
4.1.2.1.2.	Peso específico y absorción de agregados gruesos .....	114
4.1.2.1.3.	(L.A.) de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm – 1 ½” .....	114
4.1.2.1.4.	Peso Unitario suelto y compactado de agregado grueso .....	116
4.1.2.1.5.	Cantidad de Caras Fracturadas .....	117
4.1.2.1.6.	Partículas Chatas y Alargadas .....	118
4.1.2.2.	Resultados de agregados fino.....	119
4.1.2.2.1.	Análisis granulométrico de agregado fino (MTC E 204 – 2000 y ASTM D422) 119	
4.1.2.2.2.	Peso específico y absorción de agregados finos. (MTC E 205 – 200 Y ASTM C 128).....	120
4.1.3.	Diseño de la mezcla asfáltica en frío por el método de las áreas.....	122
4.1.4.	Elaboración de las mezclas asfálticas en frío. ....	126
4.1.5.	Obtener las características mezclas asfálticas en frío.....	127
4.1.5.1.	Mezcla convencional.....	127
4.1.5.2.	Mezcla con fibra de polietileno: .....	133
<b>CAPÍTULO V: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN .....</b>		
<b>CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		
6.1.	Conclusiones.....	146
6.2.	Recomendaciones .....	148
REFERENCIAS:.....		150
Anexos .....		152



## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 01:** Proceso típico de refinación.
- Figura 02:** Máquinas para el ensayo de abrasión.
- Figura 03:** Curvas que dan el índice asfáltico por unidad de área.
- Figura 04:** Curva granulométrica polietileno 1.
- Figura 05:** Curva granulométrica polietileno 2.
- Figura 06:** Curva granulométrica polietileno 3.
- Figura 07:** Fibras de Polietileno.
- Figura 08:** Curva granulométrica del agregado grueso.
- Figura 09:** Tamizado del Agregado.
- Figura 10:** Peso de muestra 2500gr  $\Phi=3/4"$  más muestra 2500gr  $\Phi=1/2"$  en el tambor.
- Figura 11:** Máquina de ensayo de abrasión los ángeles.
- Figura 12:** Curva granulométrica del agregado fino.
- Figura 13:** Curvas que dan el índice asfáltico por unidad de área.
- Figura 14:** Determinación de la mezcla de agregados.
- Figura 15:** Curva granulométrica de la mezcla de agregados.
- Figura 16:** Resultados de la estabilidad Marshall para el tránsito pesado.
- Figura 17:** Resultados de la estabilidad Marshall para el tránsito medio.
- Figura 18:** Resultados de la estabilidad Marshall para el tránsito liviano.
- Figura 19:** Resultados del flujo Marshall para el tránsito pesado.
- Figura 20:** Resultados del flujo Marshall para el tránsito medio.
- Figura 21:** Resultados del flujo Marshall para el tránsito liviano.

**Figura 22:** Cálculo de  $\phi$  y Altura de los Especímenes Para Encontrar el Factor de Corrección.

**Figura 23:** Resultados de la estabilidad Marshall para el tránsito pesado más 5% de fibra de polietileno.

**Figura 24:** Resultados de la estabilidad Marshall para el tránsito pesado más 5% de fibra de polietileno.

## ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1:** Historia del asfalto.

**Tabla 2:** Usos principales de emulsiones asfálticas.

**Tabla 3:** Especificaciones y ensayos para emulsiones asfálticas.

**Tabla 4:** Gradación de para mezclas asfálticas en frío.

**Tabla 5:** Ensayos para evaluar las propiedades de los agregados.

**Tabla 6:** Requisitos de los agregados para pavimentos asfálticos en frío

**Tabla 7:** Requisitos de los agregados para pavimentos asfálticos en frío

**Tabla 8:** Criterios para el diseño de mezcla de agregados – emulsión asfáltica

**Tabla 9:** Requerimientos para mezclas densas en frío

**Tabla 10:** Valores bibliográficos de las propiedades para polietileno de alta y baja densidad.

**Tabla 11:** Peso mínimo de la muestra de ensayo.

**Tabla 12:** Cantidad mínima de la muestra

**Tabla 13:** Peso promedio de las esferas.

**Tabla 14:** Peso y granulometría de la muestra ensayos.

**Tabla 15:** Peso mínimo de la muestra. Chatas y alargadas

**Tabla 16:** Gradaciones para mezclas densas en frío.

**Tabla 17:** Requisitos para mezcla de concreto bituminoso.

**Tabla 18:** Criterios de diseño de mezcla de agregados – emulsión Asfáltica.

**Tabla 19:** Ensayo de Abrasión Los Ángeles.

**Tabla 20:** Cotejo de resultados abrasión.

**Tabla 21:** Peso unitario suelto agregado grueso.

**Tabla 22:** Peso unitario compactado agregado grueso cantera “TRES TOMAS”.

**Tabla 23:** Cantidad de Caras Fracturadas.

**Tabla 24:** Partículas chatas y alargadas.

**Tabla 25:** Peso específico y absorción de agregados finos.

**Tabla 26:** Peso unitario suelto agregado fino cantera “TRES TOMAS”.

**Tabla 27:** Peso unitario compactado agregado fino cantera “TRES TOMAS”.

**Tabla 28:** Cantidad de asfalto según diseño de áreas equivalente.

**Tabla 29:** Cantidad de agregado según diseño.

**Tabla 30:** Cantidad de agregados de una briqueta.

**Tabla 31:** Especificaciones Marshall.

**Tabla 32:** Resultado de estabilidad Marshall del tránsito pesado agregado normal.

**Tabla 33:** Resultado de estabilidad Marshall del tránsito medio agregado normal.

**Tabla 34:** Resultado de estabilidad Marshall del tránsito liviano agregado normal.

**Tabla 35:** Resultado de flujo Marshall del tránsito pesado agregado normal.

**Tabla 36:** Resultado de flujo Marshall del tránsito medio agregado normal.

**Tabla 37:** Resultado de flujo Marshall del tránsito liviano agregado normal.

**Tabla 38:** Peso específico de las muestras.

**Tabla 39:** Porcentaje de vacíos de la muestra.

**Tabla 40:** Resultados de estabilidad Marshall tránsito pesado.

**Tabla 41:** Resultados de estabilidad Marshall tránsito medio.

**Tabla 42:** Resultados de estabilidad Marshall tránsito liviano.

**Tabla 43:** Resultado de estabilidad Marshall del tránsito pesado más 5% de fibra de polietileno.

**Tabla 44:** Resultado de flujo Marshall del tránsito pesado más 5% de fibra de polietileno.

**Tabla 45:** Peso específico bulk de las muestras con polietileno.

**Tabla 46:** Tránsito pesado.

**Tabla 47:** Tránsito mediano.

**Tabla 48:** Tránsito liviano.

**Tabla 49:** Datos obtenidos de los ensayos.

**Tabla 50:** Cuadro de costos.

## RESUMEN

Esta investigación experimental tubo como estudio dar a conocer la aplicación de la fibra de polietileno reciclado de botellas de plástico y su aplicación en una mezcla asfáltica en frio, la problemática que existe es que el pavimento no llega a cumplir su vida útil por los esfuerzos a los que está sometido por tal motivo se estudia a los pavimentos modificados. El objetivo es analizar el efecto que acusa la fibra de polietileno añadido a una mezcla asfáltica en frio en las propiedades físico-mecánicas del asfalto y a su vez cumpla con las exigencias de estabilidad y flujo para pavimentos flexibles presentes en la norma del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Estabilidad, Flujo, Porcentaje de vacíos, etc.). En esta investigación propuestas se utilizó fibra de polietileno triturado (PET) como un componente inorgánico añadido a la mezcla asfáltica en frio, así poder compararla con una mezcla convencional, esta nueva mezcla de asfalto en frio, se encuentra dentro de los rangos permisibles de Estabilidad y Flujo. En la realización de las briquetas se tuvo una población de 126 briquetas, se comenzó añadiendo PET de 3 tipos de tamaño máximo en porcentajes de 1,2,3,5,7,10 respectivamente con el PET, para después ser compactada para los 3 tipos de tránsitos estudiados (Liviano, Medio y Pesado). El porcentaje óptimo de PET de esta investigación solo funciono para el tránsito pesado en un porcentaje óptimo de: 5.00%.

### Palabras Clave

Emulsión, Ensayo Marshall, Mezclas asfálticas en frio, Método de las áreas, Polímero

## ABSTRACT

This experimental research tube as a study unveil the application of polyethylene fiber recycled plastic bottles and their application in a cold asphalt mixture, the problem that exists is that the pavement does not reach its useful life by the efforts to The ones that are subjected for this reason are studied to the modified pavements. The objective is to analyze the effect of the polyethylene fiber added to a cold asphalt mixture on the physical and mechanical properties of the asphalt and in turn comply with the stability and flow requirements for flexible pavements present in the Ministry of Transport and Communications (Stability, Flow, Percentage of gaps, etc.). In this research, we used crushed polyethylene fiber (PET) as an inorganic component added to the cold asphalt mixture, so that it can be compared to a conventional mixture, this new cold asphalt blend, is within the permissible stability range And Flow. In the briquettes production, a population of 126 briquettes was created, adding PET of 3 types of maximum size in percentages of 1,2,3,5,7,10 respectively with PET, to be then compacted for the 3 Types of transits studied (Light, Medium and Heavy). The optimal percentage of PET of this research only worked for the heavy traffic in an optimal percentage of: 5.00%.

### Keywords

Emulsion, Marshall test, Mescal's cold asphalt, Method of area's, Polymer.

## INTRODUCCIÓN

La fibra de polietileno es un residuo que se forman a partir de la trituración de las botellas de plástico, la cual una parte del polietileno en el país es reciclada pero gran parte no presentan utilización alguna después de ser usada, siendo tratados como desechos, contaminando cada vez más nuestro ecosistema por su lenta descomposición y degradación.

En nuestro país no cuenta con planes para el tratamiento de dicho residuo, aunque si existen recicladoras independientes no llegan a reciclar la totalidad del residuo, existe poca conciencia sobre el reciclaje de dicho producto por lo que el presente informe intenta encontrar una solución razonable que se le puede brindar a dicho producto y así poder contribuir con el medio ambiente y con el desarrollo vial.



## **CAPÍTULO I**

# **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

## CAPÍTULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1. Situación problemática

#### 1.1.1. A nivel internacional

Las estructuras viales son prioridad fundamental de la sociedad y de la economía de un territorio, son el medio principal de comunicación y transacción de bienes y servicios, entre dos o más puntos. Un mal estado de estas recaería fuertemente como problemática para la comunidad y su desarrollo.

En Colombia la mayor parte de la red vial está constituida por pavimentos flexibles, debido a que estos permiten mayores deformaciones sin rotura y además son más económicos que otros tipos de pavimentos. No obstante, estos pavimentos presentan otros inconvenientes principalmente generados por las fuertes variaciones de temperatura, las precipitaciones, la erosión, las corrientes de agua, la creciente demanda del tráfico en las vías, y la capacidad portante del suelo que soporta la infraestructura vial, entre otros.

Los pavimentos flexibles están conformados por una capa asfáltica, la cual es el producto obtenido de la adición y mezclado uniforme de un cemento asfáltico en un agregado granular. Estas mezclas son conocidas como mezclas asfálticas y según el procedimiento de mezclado se pueden clasificar en mezclas densas en caliente y mezclas densas en frío.

Por lo anterior, y por muchas otras causas la cantidad de vías en excelente estado del territorio colombiano son muy pocas, debido a que los pavimentos muchas veces trabajan en condiciones extremas de diseño, y terminan por hacer fallar el pavimento antes del periodo para el cual se diseñó. Por consiguiente, para solucionar estos problemas se han realizado diversas investigaciones que buscan mejorar las capacidades físico – mecánicas de las mezclas asfálticas, adicionado a su composición polímeros o materiales de reciclaje que aumenten sus capacidades de resistencia y durabilidad, y sean amigables con el medio ambiente.

A lo largo de dichas investigaciones se han planteado soluciones para que el comportamiento del asfalto mejore; que además de cumplir con sus funciones básicas de diseño, también aporte a mitigar los impactos y sea amigable con el medio ambiente incorporando a su composición materiales reciclados, como lo pueden ser: cauchos, cueros, plásticos, escoria, PVC, entre otros. (Clavijo Rey, 2014)

### **1.1.2. A nivel nacional**

Cuando se inició el gobierno del presidente Ollanta Humala, el 54% de la Red Vial Nacional (RVN) estaba pavimentada. Hoy, dos años y medio después, el porcentaje ha pasado a 60%, pero aún falta un 40% por concluir.

Se estima que hasta julio de 2016 la RVN estará representada por 25 387 kilómetros de carreteras. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

Este diagrama muestra solamente las vías longitudinales que unen grandes distancias, hay muchos más tramos de carreteras que son trochas que faltan asfaltarse; así el 90% a nivel departamental y el 98% en la red vecinal no están pavimentados.

Existe un alto el porcentaje de vías sin asfalto en nuestro país, lo cual para llevar a cabo todo lo planificado por Provías está generando un gran consumo de asfalto, el mismo que no se encuentra registrado en cantidades.

### **1.1.3. A nivel Regional**

Un grupo de especialistas del Colegio de Ingenieros de Lambayeque constató que las pistas recientemente pavimentadas en el centro de Chiclayo se siguen rajando y, por ello, tendrían que volver a ser parchadas.

El decano de dicha institución, Ciro Salazar, refirió que estas vías inauguradas hace solo dos meses, no durarán ni un año porque los materiales que se están empleando son de mala calidad.

El gerente de Infraestructura de la comuna de Chiclayo, Carlos Mendoza, por su parte, afirmó que los trabajos aún no concluyen y la constructora que ejecuta la obra “está resanando los paños dañados”. (Perú21, 2014)

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cómo mejora las propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica en frío al incorporar la fibra de polietileno?

## **1.3. Delimitación de la investigación**

Este trabajo se desarrolló empleando Polietileno obtenido de las botellas de plástico trituradas (PET) proporcionadas por recicladora local en distintas

granulometrías y además agregados provenientes de la planta de asfalto “La Pluma” del gobierno Regional de Lambayeque y agregado de la cantera tres tomas. La emulsión a usar será catiónica de rotura lenta CSS-1H. Así mismo los ensayos fueron realizados en los laboratorios de la Universidad Señor de Sipán por un periodo de 02 meses.

## **1.4. Justificación e Importancia**

### **1.4.1. Justificación tecnológica**

Conocer nuevas tendencias en la construcción de pavimentos en frío mejorándolos con las propiedades que nos brinda el polietileno así mejorar las propiedades físico-químicas del pavimento en frío.

### **1.4.2. Justificación Ambiental**

Reducir la explotación masiva de los materiales utilizados en la construcción, optimizando la dosificación de los materiales utilizados en la obtención de pavimento en frío, mejorando las propiedades de este, tal que se refleje en la calidad del pavimento. Al utilizar material reciclado se contribuye a la descontaminación ambiental.

### **1.4.3. Justificación social**

Brindar un aporte al diseño del pavimento en frío con adiciones de fibra de polietileno. Al conocer la influencia de la fibra sobre las propiedades del pavimento. Porque se puede obtener un producto de mejor calidad, que al poseer un producto reciclado se puede contribuir a la descontaminación del ambiente, a lo largo del tiempo.

### **1.4.4. Justificación económica**

Mantener las vías (carreteras) libres de baches grietas y fisuras con el asfalto modificado con polietileno en frío, se incrementaría el comercio entre ciudades de manera más rápida y eficiente por lo cual mejora la calidad de vida  
Incremento e impacto en el comercio, y la producción al tener vías en buen estado

esto hará más rápido el traslado de los mismos.

### **1.5. Limitaciones de la investigación**

Esta investigación estuvo orientada para poder utilizar un material de reciclaje, como botellas plásticas trituradas para la fabricación de mezcla asfáltica en frío con emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta, algo que se debe tener en cuenta es que en la zona en donde se aplique esta tecnología tengan fácil obtención u acceso a este tipo de residuo triturado como en nuestro caso que existen recicladoras que venden este producto en nuestra región Lambayeque.

Ésta investigación tuvo por finalidad establecer conclusiones, parámetros útiles para ser aplicadas en nuestro departamento.

El autor en su condición de estudiante se encontró en una limitación de recursos financieros, así como en disponibilidad de material y ensayos suficientes para desarrollar una investigación de mayor envergadura y que conlleve a una experimentación de un tramo piloto con circulación real de vehículos.

### **1.6. Objetivos**

#### **Objetivo general**

Analizar el efecto que acusa la fibra de polietileno añadido a una mezcla asfáltica en frío en las propiedades físico-mecánicas del asfalto y a su vez cumpla con las exigencias de estabilidad y flujo para pavimentos flexibles presentes en la norma del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

#### **Objetivos Específicos**

- a) Realizar un diseño de mezcla en el cual se utilice asfalto en frío sin fibras de polietileno que será patrón de comparación con la mezcla que si contenga fibra.
- b) Realizar un diseño de mezcla en el cual se utilice asfalto en frío y la fibra de polietileno.
- c) Evaluar las propiedades físico-mecánicas del asfalto en frío con fibras de polietileno y sin fibra de polietileno para poder compararlos con la norma y establecer las limitaciones.

## **CAPÍTULO II**

# **MARCO TEÓRICO**

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de estudio

#### A Nivel Internacional

Reyes & Troncoso (2005), en su investigación en Colombia, titulada: “Comportamiento mecánico y dinámico de una mezcla asfáltica con adición de fibras”. En su artículo refieren el análisis experimental en el laboratorio, del efecto de la adición de fibras de polietileno por vía seca (reemplazo de material granular por fibra) sobre las propiedades mecánicas y dinámicas de una mezcla.

Inicialmente se caracteriza el material granular y asfalto, se realiza el diseño de la mezcla asfáltica de granulometría y asfalto de acuerdo con la metodología Marshall; se evalúa el efecto de fibras sobre las propiedades mecánicas mediante la evaluación de la estabilidad y fluencia, y dinámicamente por su valor de deformación permanente y modulo dinámico.

Los resultados obtenidos muestran un efecto positivo de las fibras en la modificación de la mezcla asfáltica. El modulo dinámico aumenta en un 45% promedio en un porcentaje de adición de 0.60%; la deformación permanente disminuye en 27.6% para una adición de fibras de 0.60% y 48.8% para la adición de fibras de 0.75%, respectivamente. Este comportamiento refleja otra alternativa eficaz para mejorar la mezcla asfáltica, aumentando la resistencia a la disgregación por efecto abrasivo del tráfico y retardando el inicio y propagación del agrietamiento por ahuellamiento.

Marín (2004), en su investigación en México, titulada: “Asfaltos modificados y pruebas de laboratorio para caracterizarlos”. Indica que, para su análisis, fabricó en laboratorio una serie de 21 probetas para cada mezcla asfáltica con diferente tipo de tránsito. La caracterización consistió en la obtención de la desviación estándar, coeficiente de variación de los parámetros, densidad aparente y vacíos en la mezcla asfáltica de forma convencional y modificada, adicionándole fibras de polietileno.

Los resultados obtenidos para el parámetro de densidad aparente muestran una variación entre 0.0042 y 0.0086, y para el parámetro de vacíos en la mezcla asfáltica el mismo cociente varía entre 0.0137 y 0.0416. Con esto se puede afirmar que la desviación muestral del proceso de fabricación es para cada caso menor del 0.86% y 4.16% del valor promedio obtenido. En la fabricación de las probetas se observó la diferencia al elaborarlas con las mezclas asfálticas convencionales y las mezclas

asfálticas modificadas con 3%, 4% y 5% de fibras de polietileno, logrando el incremento de resistencia de las carpetas asfálticas frente a los factores que aceleran su deterioro, cambios climáticos y agua, y proporcionando grandes ventajas económicas en comparación con los métodos tradicionales.

Preciado & Sierra (2013), en su investigación en Colombia, titulada: “Utilización de fibras desechas de procesos industriales como estabilizador de mezclas asfálticas”. Utilizaron mezclas tipo SMA (Stone Mastic Asphalt), mezclas asfálticas de gradación discontinua desarrolladas para maximizar la resistencia al ahuellamiento y la durabilidad. Esta mezcla está compuesta de dos partes un esqueleto de agregados gruesos y un mastic rico en asfalto; sin embargo, estas dos partes hacen que la mezcla asfáltica presente segregación entre los agregados y el asfalto, y como consecuencia de ello escurrimiento del mismo asfalto. Es por esto que la mezcla requiere del uso de fibras que inhiban el escurrimiento, y para ello los manuales de diseño específicos para este tipo de mezcla exigen el uso de fibras de celulosa peletizadas y premezcladas con asfalto. Este tipo de fibras actualmente no se producen en el país, por lo que su importación eleva el costo de la mezcla respecto al costo de una mezcla convencional. Bajo este argumento, se enfocó en encontrar una alternativa para reemplazar de forma eficiente la fibra de celulosa; para esto se utilizaron dos fibras producto de desechos industriales en el país, como son la fibra de polietileno y la fibra de la cáscara de coco. Estos productos, al ser desechos industriales, no generan mayores costos en la elaboración de las mezclas asfálticas tipo SMA, comparado con la mezcla SMA elaborada con fibra de celulosa. Para ello se diseñó una mezcla asfáltica de tipo SMA con fibra de celulosa peletizada premezclada con asfalto, así como también con fibras de polipropileno y coco. Estas tres mezclas fueron sometidas a pruebas de desempeño mecánico como módulo resiliente, deformación plástica, y susceptibilidad a la humedad. Los resultados obtenidos en este trabajo indicaron que las fibras producto de desechos industriales son capaces de inhibir el escurrimiento del asfalto y no alteran de forma considerable las propiedades mecánicas estudiadas de la mezcla asfáltica tipo SMA comparado con los resultados obtenidos en esta mezcla con fibra de celulosa.



## **A Nivel Nacional**

Rolando (2002), en su investigación en Piura, titulada: “Estudio comparativo entre mezclas asfálticas con diluido RC-250 y emulsión”. Hace mención que a nivel mundial los asfaltos diluidos están siendo reemplazados por el de las emulsiones asfálticas debido a las ventajas que éstas presentan. Dentro de ellas podemos mencionar las más importantes, como son económicas, ambientales y de seguridad. Ésta tesis tiene como objetivo principal hacer un estudio comparativo entre las mezclas asfálticas con diluido y las mezclas asfálticas con emulsión y verificar así las ventajas que las emulsiones asfálticas presentan. Para cumplir con dicho objetivo se realizaron ensayos en el Laboratorio de Suelos de la Universidad de Piura y en el de la empresa BITUPER en Lima. El diluido utilizado es el RC-250 y la emulsión elegida es del tipo catiónica de rotura lenta, por tener ésta una mejor afinidad con el agregado empleado, perteneciente a las canteras de Sojo y Cerromochó.

Al comparar los resultados con ambos tipos de mezcla, se llega a la conclusión de que el uso de emulsiones asfálticas en Piura sería una buena alternativa para mejorar la calidad de las carpetas asfálticas, incluida la durabilidad, que es el principal problema que aqueja a ésta ciudad.

## **A Nivel local**

No se encontraron investigaciones de este tipo de asfaltos en frío en la región Lambayeque.

## **2.2. Bases teórico científicas**

### **2.2.1. Asfalto - Emulsiones**

#### **2.2.1.1. Generalidades**

Abraham (1916), El término asfalto se deriva del vocablo acadio asphatu o asphallo, que significa dividirse, resquebrajarse. Posteriormente, fue adoptado por los griegos como adjetivo cuyo significado es estable, seguro y al verbo estabilizar o asegurar. De, donde se supone que el primer uso del asfalto en las civilizaciones antiguas es que fue utilizado en forma de cemento, para asegurar o unir objetos.

Del griego pasó al latín, después al francés (asphalte) y finalmente al inglés (asphalt). (Cruz, 2007)

Pfeiffer (1950), Desde la antigüedad hasta hoy en día, el asfalto ha sido utilizado como cemento para ligar, cubrir o impermeabilizar objetos. Es un material muy versátil, se puede decir que es el material de ingeniería más antiguo utilizado por el hombre. (Cruz, 2007)

A principios del siglo XIX el descubrimiento del asfalto refinado por medio de la destilación del petróleo crudo y el auge de la industria automovilística, dió lugar al aumento en el consumo de este. Fue utilizado como material para pavimentar caminos y otras aplicaciones. (Villar, 2000)

Ταβλα 1: Ηιστορια δελ ασφαλτο

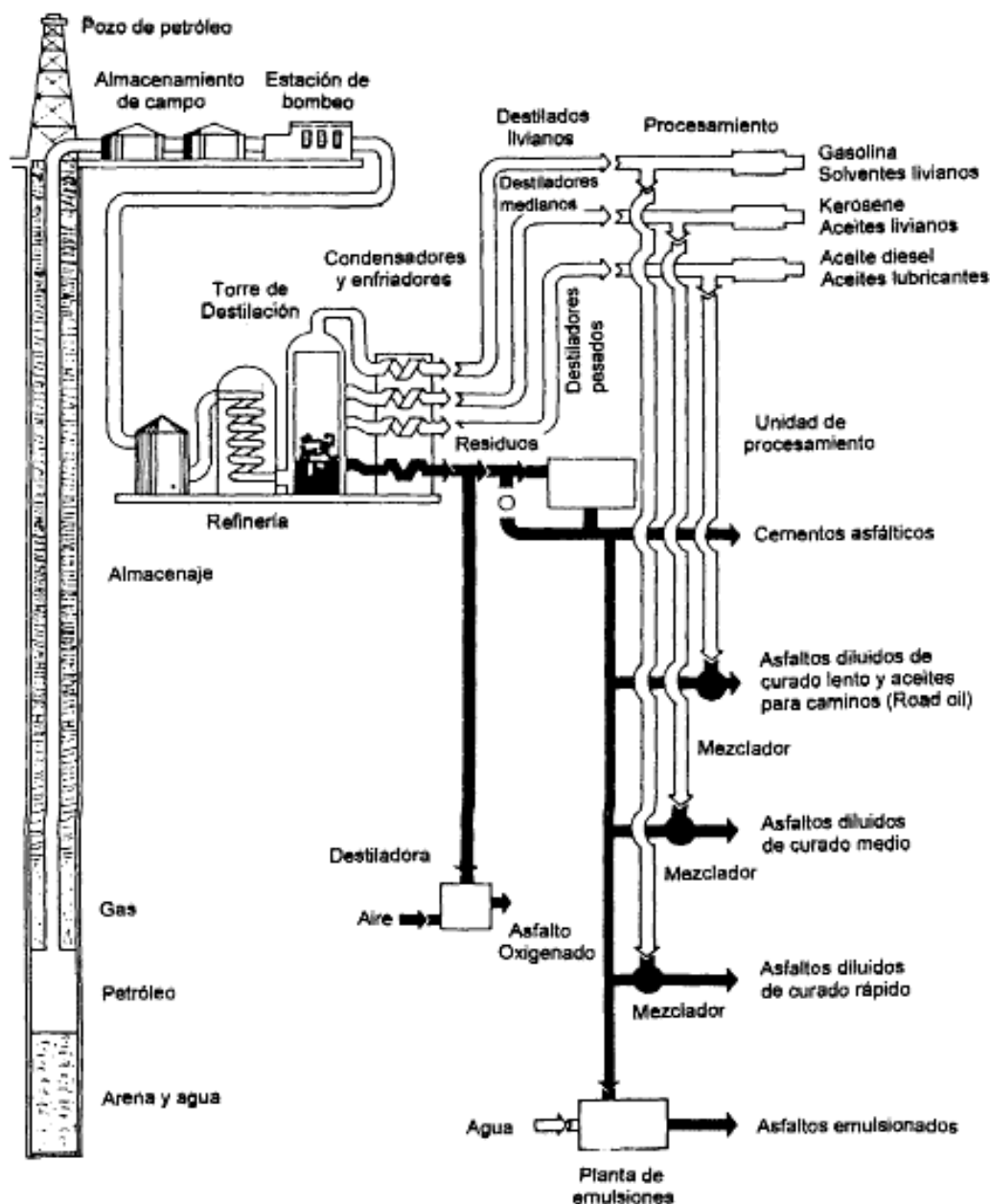
AÑO	USO
6000 a. C.	En Sumeria, se utilizaba en la industria de navegación. La torre de Babel es una de las tantas construcciones en donde se utilizó como mortero.
3200- 2600 a. C.	Utilizado por los egipcios para impermeabilizar.
2600- 540 a. C.	Excavaciones arqueológicas recientes indican el amplio uso del asfalto en Mesopotamia y el Valle del Indo como aglomerante para albañilería y construcción de carreteras y para capas de impermeabilización en estanques y depósitos de agua.
300 a. C.	Se emplea ampliamente en Egipto para embalsamamientos.
1802 d. C.	En Francia se emplea roca asfáltica para pavimentación de suelos, puentes y aceras.
1838 d. C.	En Filadelfia se emplea roca asfáltica importada en la construcción de aceras.
1870 d. C.	Construcción del primer pavimento asfáltico en Newark, Nueva Jersey por el profesor E. J. DeSmedt, químico belga.
1876 d. C.	Construcción del primer pavimento de tipo sheet asphalt en Washington D. C. con asfalto de lago importado.
1902 d. C.	En Estados Unidos se obtienen de la destilación del petróleo aproximadamente 120,000 barriles al año.

Fuente: Pfeiffer (1950)

## 2.2.1.2. Origen y naturaleza del asfalto

### a) Refinación de petróleo

Φιγυρα 01: προχεσο τή πιχο δε ρεφινάχι ρν



Fuente: Freddy Erick Rolando Franco

El crudo de petróleo es refinado por destilación. Este es un proceso en el cual las diferentes fracciones (productos) son separadas fuera del crudo por medio de

un aumento, en etapas, de la temperatura.

Las fracciones livianas se separan por destilación simple. Los destilados más pesados, usualmente llamados gasóleos, pueden ser separados solamente mediante una combinación de calor y vacío. El asfalto puede ser producido usando destilación por vacío a una temperatura aproximada de 480°C. Esta temperatura puede variar un poco, dependiendo del crudo de petróleo que se esté refinando, o del grado de asfalto que se esté produciendo.

En la figura 4, se muestra una ilustración esquemática de una refinería típica. La figura muestra el flujo de petróleo durante el proceso de refinación. (Franco, 2002)

### **b) Refinación de asfalto**

Diferentes usos requieren diferentes tipos de asfalto. Los refinadores de crudo deben tener maneras de controlar las propiedades de los asfaltos que producen para que estos cumplan ciertos requisitos. Esto se logra, usualmente, mezclando varios tipos de crudos de petróleo antes de procesarlos. El hecho de poder mezclar permite al refinador combinar crudos que contienen asfaltos de características variables, para que el producto final posea exactamente las características solicitadas por el usuario.

Existen dos procesos por los cuales puede ser producido un asfalto, después que se han combinado los crudos de petróleo: destilación por vacío y extracción con solventes.

Como se discutió anteriormente, la destilación por vacío consiste en separar el asfalto del crudo mediante la aplicación de calor y vacío. En el proceso de extracción con solvente, se remueven más gasóleos del crudo, dejando así un asfalto residual.

Una vez que los asfaltos han sido procesados, estos pueden ser mezclados entre sí, en ciertas proporciones, para producir grados intermedios de asfalto. Es así como un asfalto muy viscoso y uno menos viscoso pueden ser combinados para producir un asfalto de viscosidad intermedia.

En resumen, para producir asfaltos con características específicas, se usa el crudo de petróleo o mezclas de crudos de petróleo. El asfalto es separado de las otras fracciones del crudo por medio de destilación por vacío o extracción con

solventes.

### **2.2.1.3. Clasificación y grados del asfalto**

Los asfaltos de pavimentación pueden clasificarse bajo tres tipos generales:

- a.1) Cemento asfáltico
- a.2) Asfalto diluido (o cortado)
- a.3) Asfalto emulsionado

Los asfaltos diluidos y los emulsificadores son usados, casi por completo, en mezclas en frío y en riegos. Los cementos asfálticos, por el contrario, en mezclas en caliente y no se discutirán más por no ser tema de estudio para la presente tesis.

### **2.2.1.4. Historia de las emulsiones asfálticas**

Association, Asphalt Institute Manufaacturers (2010), Las emulsiones fueron vez a comienzos del siglo XX. Fue en los años 20 cuando su uso se generalizó a las aplicaciones viales. Inicialmente se utilizaron en aplicaciones de riego y como paliativos de polvo. El uso de las emulsiones asfálticas creció de manera relativamente lenta, limitado por el tipo de emulsiones disponibles y por la falta de concernientes sobre su correcta aplicación.

El desarrollo ininterrumpido de. Nuevos tipos y gados, sumado a equipos de construcción y prácticas mejorados, ofrece ahora una amplia gama de elección. Comúnmente cualquier necesidad vial puede ser abordada con emulsiones. La selección y el uso juiciosos pueden resultar en esencial beneficios económicos y ambientales.

Entre 1930 y mediados de 1950, hubo un lento pero firme incremento en el volumen de emulsiones utilizadas. En los años siguientes a la Segunda Guerra mundial; el volumen y las cargas de transito crecieron a tal punto que los ingenieros viales comenzaron a reducir el empleo de emulsiones asfálticas. Pero hoy en día ha habido un estable aumento en el volumen de emulsiones asfálticas utilizadas.

### 2.2.1.5. Usos de la emulsión asfálticas

Ταβλα 2: Υοοο πρινηχιπαλεο δε εμυλσιονεο αοφ(λιταοο

USOS PRINCIPALES DE EMULSIONES ASFÁLTICAS		
TRATAMIENTO SUPERFICIALES	RECICLADO DE ASFALTO	OTRAS APLICACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ RIEGO PULVERIZADA</li> <li>✓ SELLADO CON ARENA</li> <li>✓ LECHADAS</li> <li>✓ MICRO AGLOMERADO</li> <li>✓ CAPE SEAL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ FRIO IN SITU</li> <li>✓ FUIL DEPTH</li> <li>✓ CALIENTE IN SITU</li> <li>✓ EN PLANTA CENTRAL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ESTABILIZACIÓN DE SUELOS Y BASES</li> <li>✓ RIEGO DE LIGA</li> <li>✓ BACHEO Y MANTENIMIENTO</li> <li>✓ PALIATIVOS DE POLVO</li> <li>✓ RIEGO DE IMPRIMACIÓN</li> <li>✓ SELLADO DE FISURA</li> <li>✓ RECUBRIMIENTO DE PROTECCIÓN</li> </ul>

Fuente: Association, asphalt institute manufaacturers

### 2.2.1.6. Usos generales de las emulsiones según el tiempo de ruptura

Cada grado de emulsión asfáltica ha sido diseñado para usos específicos. Aquí son descritos en forma general.

#### a) Emulsiones de Rotura Rápida

Los grados de rotura rápida se han diseñado para reaccionar rápidamente con el agregado y revertir de la condición de emulsión a la de asfalto. Se usan

principalmente para aplicaciones de riego, como tratamientos superficiales, sellados con arena y tratamientos de superficie. Los grados RS-2, y CRS-2 (de rotura rápida) son de alta viscosidad para evitar el escurrimiento. Versiones de esas emulsiones modificadas con polímeros son usadas rutinariamente cuando se requiere una rápida adhesión, como el caso de áreas de intenso tráfico,, cuando el control de tráfico es mínimo cuando hay cargas pesadas.

### **b) Emulsiones de Rotura Media**

Las emulsiones de rotura media se diseñan para ser mezcladas con agregados graduados. Debido a que estos grados de emulsiones se formulan para no romper inmediatamente después del contacto con el agregado, ellos se pueden utilizarse para recibir una amplia variedad de agregados graduados. Las mezclas con emulsiones de rotura media pueden mantenerse trabajables para lapsos que van de algunos minutos a varios meses según la formulación.

Las mezclas se elaboran en mezcladora y planta ambulante o, en el campo.

Emulsión de rotura media son MS-2, CMS-2 y HFMS-2.

### **c) Emulsiones de Rotura Lenta**

Los grados de rotura lenta se diseñan para lograr mezclas estables. Se emplean con granulometrías cerradas con alto porcentaje de finos. A los grados de rotura lenta corresponden prolongados periodos de trabajabilidad para asegurar una buena mezcla con agregados de granulometría cerrada. Todos los grados de rotura lenta tienen baja viscosidad, que puede ser más reducida con la incorporación de agua. Diluidos, estos grados pueden también ser usados para sellos de liga, riego pulverizado y come paliativos de polvo.

La coalescencia de las partículas de asfalto de las emulsiones de rotura lenta. Depende básicamente de la evaporación del agua. Las emulsiones de rotura lenta en aplicaciones para: bases de granulometría cerrada, estabilización de suelos, carpetas asfálticas y algunos reciclados sellados con lechadas asfálticas (slurry seal). Las emulsiones de rotura lenta modificadas con polímeros pueden ser utilizadas cuando se requieren una estabilidad adicional de la mezcla.



### **2.2.1.7. Factores que afectan la elección de la emulsión**

Las condiciones climáticas previstas para la etapa constructiva. Las condiciones durante dicha etapa deberían imponer la elección del grado, el diseño de la mezcla o tataranieto y la selección de la maquinaria de construcción.

Tipo de agregado, granulometría y disponibilidad

- a) Disponibilidad de los equipos.
- b) Ubicación geográfica. Las distancias de transporte y en algunos casos, la disponibilidad de agua son consideraciones de importancia.
- c) Control de tráfico. En el área de trabajo,
- d) Consideraciones ambientales.

### **2.2.1.8. Composición de las emulsiones asfálticas**

Una emulsión asfáltica consiste de tres ingredientes básicos: asfalto, agua y un agente emulsivo. En algunas ocasiones, la emulsión puede contener otros aditivos, como estabilizantes, mejoradores de recubrimiento, mejoradores de adherencia, o agentes de control de rotura.

Es bien sabido que el agua y el asfalto no se mezclan, excepto condiciones cuidadosamente controladas, utilizando equipos de especialización y aditivos químicos. Mezclar agua y asfalto es una tarea similar a la del mecánico que intenta lavar, solo con agua, sus manos engrasadas. Solo con detergente. O con un agente jabonoso la grasa puede ser exitosamente removida. Las partículas de jabón rodean a los glóbulos de grasa, rompen la tensión superficial que los mantiene unidos, y permiten que sean eliminados.

Algunos de los principios físicos y químicos se aplican a la formulación, producción y uso de emulsiones asfálticas. El objetivo es lograr una dispersión estable del cemento asfáltico en el agua - suficientemente estable para ser bombeado. Almacenada durante tiempo prolongado, y mezclada. Más aun, las emulsiones deben "romper" rápidamente tras entrar en contacto con el agregado en un mezclador, o tras ser distribuida sobre la cancha - "rotura" es la separación



del agua del asfalto. Al curar el residuo asfáltico conserva toda la capacidad adhesiva, la durabilidad, y resistencia al agua propias del cemento asfáltico con el cual fue elaborado.

### **2.2.1.9. Componentes de la emulsión**

Estos están constituidos por los siguientes:

#### **a) Asfalto**

El cemento asfáltico es el elemento básico de la emulsión asfáltica y, en la mayoría de los casos, constituye entre un 50 y un 75% de la emulsión.

Algunas propiedades del cemento asfáltico si afectan significativamente la emulsión final. Sin embargo, no hay una correlación exacta entre las propiedades del asfalto y la facilidad con que el asfalto puede ser emulsionado. Si bien la dureza de la base de cemento asfáltico puede variar, la mayoría de las emulsiones es hecha con asfaltos con un rango de penetraciones 60-250.

La compatibilidad química entre el agente emulsivo y el cemento asfalto es esencial para la producción de una emulsión estable.

El asfalto proviene principalmente de le refinado del crudo de petróleo, El asfalto está compuesto básicamente de grandes moléculas de hidrocarburos. Por esta razón, sobre la producción de emulsiones asfálticas se realizan constantemente controles de calidad. Cada fabricante de emulsiones tiene sus propias formulaciones y técnicas de producción.

#### **b) Agua**

El segundo componente en una emulsión asfáltica es el agua. Su contribución a las propiedades deseadas en el producto final, no puede ser minimizada. El agua puede contener minerales u otros elementos que afectan la producción de emulsiones asfálticas estables. Consecuentemente, el agua potable puede no ser adecuada para las emulsiones asfálticas debido a impurezas sean en solución o en suspensión coloidal.

#### **c) Agentes emulsivos**

Las propiedades de emulsiones de las mezclas asfálticas que dependen de gran medida en los agentes utilizados como emulsivos. EL emulsivo es un agente de tensión - activo o surfactante. El agente emulsivo mantiene las gotitas de asfalto

en suspensión estable y controla el tiempo de rotura. Es también el factor determinante en la clasificación de las emulsiones como aniónicas, catiónicas o no iónicas.

#### **2.2.1.10. Variables que afectan la calidad y el rendimiento de la emulsión**

Hay muchos factores que afectan la producción, almacenamiento, uso, y rendimiento de una emulsión asfáltica.

Entre las variables de importancia tenemos:

- Propiedades químicas de la base de cemento afásico
- Dureza y porcentaje de la base de cemento asfáltico
- Tamaño de las partículas de asfalto en la emulsión
- Tipo y concentración del agente emulsivo
- Condiciones de elaboración, tales como temperatura, presión, y esfuerzo para separar las partículas de asfalto
- Carga iónica en las partículas de emulsión
- Orden en que se agregan los elementos
- Tipo de equipo empleado en la elaboración de la emulsión.
- Propiedades del agente emulsivo
- Adición de modificadores químicos o de polímeros
- Calidad del agua (dureza del agua).

#### **2.2.1.11. Clasificación de las emulsiones asfálticas**

Las emulsiones asfálticas se clasifican en tres categorías: aniónicas, catiónica y no iónica. En la práctica, las dos primeras son las más ampliamente utilizadas en la construcción y mantenimiento de carreteras. Las no iónicas pueden ganar en importancia a medida que la tecnología de emulsiones avanza. Las denominaciones aniónicas y catiónica se refieren a las cargas eléctricas que rodean a las partículas de asfalto. Este sistema de identificación se basa en una ley de electricidad básica - las cargas iguales se repelen y las cargas opuestas se atraen.

Cuando una corriente eléctrica circula a través de un líquido en la que están sumergidos dos polos (un ánodo y un cátodo). El ánodo se carga positivamente y el

cátodo se carga negativamente. Si una corriente eléctrica pasa a través de una emulsión que contiene partículas de asfalto cargadas negativamente, estas migrarán al ánodo. De aquí el nombre de emulsión aniónicas.

A la inversa, en el caso de emulsiones con partículas de asfalto cargadas positivamente, dichas partículas migrarán hacia el cátodo; se trata de una emulsión catiónica.

#### **2.2.1.12. Aplicaciones de las emulsiones**

Se utiliza básicamente para hacer mezcla en frío, ya sea en sitio, en cancha o en planta. El agregado pétreo no puede tener una humedad superior al 1,5% al ser mezclado con este producto.

#### **2.2.1.13. Dosificaciones**

Dependiendo de la banda granulométrica que se utiliza, las dosificaciones varían entre el 4% y 6% en peso referido al agregado pétreo.

### **2.2.2. Especificaciones y ensayos para emulsiones asfálticas**

Debido a la variedad de usos de las emulsiones asfálticas, se les fabrica con distintas viscosidades de cemento asfáltico base y diferentes roturas. AASHTO y ASTM adoptaron especificaciones para emulsiones asfálticas catiónicas y aniónicas (ver Tabla 6). Hay tres tipos normalizados de emulsiones aniónicas: rotura rápida (RS), rotura media (MS), y rotura lenta (SS). Para las catiónicas se dispone de los mismos tipos, designados como CRS, CMS y CSS que pueden tener una letra "h", a continuación, que especifica que la emulsión se ha hecho con un cemento asfáltico base más viscoso.

Ταβλα 3: Εσπεχιφιχαχιονεσ ψ ενσαψοσ παρα εμυλσιονεσ ασφ(λιτασ

Ensayo descrito en: AASHTO T59 ASTM D224	Tipo y No. de especificación					
	Aniónicas			Catiónicas		
	AASHTO M140 ASTM D977			AASHTO M008 ASTM D2397		
	RS	MS	SS	CRS	CMS	CSS
Viscosidad Saybolt Furol	X	X	X	X	X	X
Sedimentación	X	X	X	X	X	X
Estabilidad para almacenamiento	X	X	X	X	X	X
Clasificación	---	---	---	X	---	---
Desemulsión	X	---	---	X	---	---
Recubrimiento y resistencia al agua	---	X	---	---	X	---
Carga de partículas	---	---	---	X	X	X
Mezcla con cemento	---	---	X	---	---	X
Ensayo de tamiz	X	X	X	X	X	X
Destilación	X	X	X	X	X	X
Penetración	X	X	X	X	X	X
Ductilidad	X	X	X	X	X	X
Solubilidad en tricloroetileno	X	X	X	X	X	X

Fuente: ASSOCIATION, ASPHALT INSTITUTE MANUFACTURERS

### Aplicaciones de las emulsiones

Si bien el uso de las emulsiones asfálticas en las obras viales es un tema ya bastante tratado en la literatura. Se considera importante insistir en detalles como el estudio de los materiales. Métodos de dosificación y procedimientos constructivos. Que son decisivos para la obtención de los fines perseguidos.

En líneas generales, las aplicaciones de las distintas emulsiones catiónicas pueden resumirse en la Tabla 7.

Además, se pueden clasificar cada uno de los trabajos viales mencionados en este cuadro, como sigue:

- A. Riegos bituminosos (Paliativo de polvo, De imprimación, De liga, De curado, En negro)
- B. Revestimientos bituminosos superficiales (Tratamientos, De sellado Simples, Dobles y Triples, Lechadas asfálticas Slurry Seal)
- C. Mezclas en frío tipo concreto

## D. Estabilización bituminosa de suelos

### 2.2.3. Agregados pétreos

#### 2.2.3.1. Generalidades

Ramirez (2010), Se puede definir como agregados pétreos al material compuesto por uno o varios minerales como resultado final de los diferentes procesos geológicos. Los agregados pétreos son materiales granulares inertes que se emplean en los firmes de las carreteras con o sin adición de elementos activos y con granulometrías adecuadas; se utilizan para la fabricación de productos artificiales resistentes, mediante su mezcla con materiales aglomerantes de activación hidráulica (cementos, cales, etc.) o con ligantes asfálticos.

Estos materiales granulares se dividen en dos clases: grueso y fino; denominándose así el fino a las arenas y grueso a las gravas.

#### 2.2.3.2. Características de agregados.

Independientemente del tipo de mezcla asfáltica, las siguientes propiedades son deseables en los agregados que la constituyen:

##### a) Granulometría y tamaño adecuado

Una de las características más importantes de los agregados que afecta la estabilidad y la trabajabilidad de las mezclas es la granulometría.

De acuerdo con esta los materiales pueden clasificarse en:

##### a.1) Densamente gradados

Son agregados que contienen cantidades adecuadas de todos los tamaños, de grueso a fino, proporcionados de tal forma de obtener una mezcla densa con pocos vacíos. Las mezclas densamente gradadas tienen un gran número de puntos de contacto entre partículas, que pueden dar una alta resistencia friccional y reducir la posibilidad de trituración de las partículas en los puntos de contacto como el contenido de vacíos es bajo son poco permeables.

##### a.1.1) Granulometrías abiertas

Son materiales con una gradación incompleta, que contienen menos finos que las densas. El número de puntos de contacto es menor que en éstas y por ello los esfuerzos entre las partículas son superiores.

### a.1.2) Granulometrías Discontinuas.

Son agregados que presentan discontinuidades o saltos en su gradación.

### a.1.3) Granulometrías Uniformes

Estos materiales están constituidos por agregados de prácticamente un tamaño; y son generalmente utilizados en sellos y tratamientos superficiales.

Ταβλα 4: Γραδαχι (ν δε παρα μεζχλασ ασφ(λιτασ εν φρίο

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA		
Normal	Altemo	MDF-1	MDF-2	MDF-3
7,5mm	1 1/2"	100	-	-
25,0 mm	1"	80-95	100	-
19,0 mm	3/4"	-	80-95	100
12,5 mm	1/2"	62-77	-	-
9,5 mm	3/8"	-	60-75	-
4,75 mm	N.º 4	45-60	47-62	50-65
2,36 mm	N.º 8	35-50	35-50	35-50
300 μm	N.º 50	13-23	13-23	13-23
75 μm	N.º 200	3-8	3-8	3-8

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013)

### b) 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:

- a) Peso específico total
- b) Peso específico aparente, y
- c) 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.

### **c) Resistencia y durabilidad**

Los agregados deben ser lo suficientemente estables ante los efectos de manipuleo y compactación en las etapas de construcción y ante los esfuerzos impuestos por las cargas en el período de acción bajo el tráfico.

Estos tienden a triturar y a degradar las partículas. La habilidad de un material para mantener su granulometría original ante ellos, se define como resistencia.

El ensayo que se utiliza para medir la resistencia de los agregados a estos efectos y esfuerzos es el de Resistencia del agregado a la degradación por abrasión e impacto por medio de la máquina de los Ángeles.

Deben ser resistentes a la disgregabilidad, es decir a la acción química que produce la rotura y degradación de las partículas, lo cual normalmente sucede y acelera en la presencia de agua.

El efecto de la disgregación es menos severo en mezclas asfálticas que en los agregados no tratados, ya que la película de ligante protege al agregado y minimiza el proceso. La durabilidad de los materiales se evalúa,

### **d) Forma de las partículas**

La estabilidad de las mezclas depende en un grado muy alto, de la trabazón de los agregados. Las mayores estabilidades se alcanzan cuando las partículas tienen forma cúbica u octaédrica, es decir “angular”, debido a que oponen mayor resistencia a su desplazamiento ante el efecto de una carga. En las mezclas con granulometría continua la angularidad de las partículas finas es más importante que para la de las gruesas, debido al mayor número de puntos de contacto que logran la trabazón.

Las partículas alargadas o planas son indeseables, ya que aun cuando



resisten el manipuleo, tienden a romperse y degradarse bajo los efectos de la compactación y del tráfico; por esta razón las normas limitan su contenido a porcentajes bajos.

Los agregados con partículas de forma redondeada son de más fácil compactación, con lo que se logran, aparentemente mayores zonas de contacto entre las mismas. Obteniéndose mayor estabilidad, pero debido a su forma, son muy susceptibles a “rodar” o desplazarse al ser sometidas al tráfico, es decir a largo plazo tienden a deformarse.

### **e) Textura superficial**

Se considera que la textura superficial (rugosidad) de los agregados es el principal contribuyente en la resistencia de las mezclas asfálticas a su deformación (llamada estabilidad), debido a la fricción que se desarrolla entre las diversas partículas como consecuencia del grado de textura que presentan los granos.

La textura es más importante que la angularidad del agregado en la estabilidad de una mezcla, lo cual se atribuye que, entre las partículas, más que “puntos de contacto” existen “zonas de contacto” y por ello, mientras más rugosa es su superficie más difícil es el desplazamiento de una sobre otra. Adicionalmente, una superficie pulida presenta poca habilidad para mantener la película de asfalto adherida al agregado.

Cuando una grava se tritura, alcanza una mayor estabilidad, no sólo por la angularidad que se logra en las partículas, sino por la microrugosidad que tienen las caras fracturadas.

### **f) Porosidad**

Se define como la propiedad de absorción de asfalto que tienen los agregados. Es conveniente que estos sean algo poroso, para que el asfalto “penetre” dentro de ellos y se adhiera mecánicamente a las partículas, lo cual ayuda a evitar el desplazamiento de las mismas ante el efecto de las cargas, y a la pérdida de ella ante la presencia y efecto del agua.

Los agregados muy porosos, sin embargo, al absorber mucho asfalto,

requieren contenidos muy elevados de ligante para mantener su contenido efectivo, lo cual puede resultar antieconómico.

### **g) Adherencia**

Es la propiedad de un agregado para mantener sobre él la película de asfalto añadida. Depende no sólo del agregado, su textura y composición química, también en parte importante del asfalto en sí. Para que una mezcla sea durable, debe existir una buena adherencia entre el agregado y el asfalto, para que se evite la separación de la película de asfalto en presencia de agua.

Los materiales hidrófobos, aquellos que repelen la humedad, son los que mejor adherencia tienen con el asfalto y son de naturaleza básica, como las calizas.

### **h) Limpieza**

Los agregados gruesos deben estar limpios, sin partículas de polvo o arcillas que los recubran, ya que esto afecta negativamente la efectiva adherencia del asfalto.

El agregado fino no debe contener cantidades perjudiciales de arcillas, o de tamaños excesivamente pequeños. Este requisito se controla mediante el ensayo de equivalente de Arena (AST D-2419), cuya ejecución es un requisito indispensable si se quiere obtener una mezcla asfáltica adecuada.

### **i) 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 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 (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 y 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.

Ταβλα 5: Ενσασοσ παρα εσαλυαρ λασ προπιεδαδεσ δε λοσ αγρεγαδοσ

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

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013)

### **2.2.3.3. Tipos de agregados pétreos**

Castillo (2010), El tipo de agregado pétreo se puede determinar, de acuerdo a la procedencia y a la técnica empleada para su aprovechamiento, se pueden clasificar en los siguientes tipos:

#### **a) Agregados Naturales**

Son aquellos que se utilizan solamente después de una modificación de su distribución de tamaño para adaptarse a las exigencias según su disposición final.

## **b) Agregados de Trituración**

Son aquellos que se obtienen de la trituración de diferentes rocas de cantera de las granulometrías de rechazo de los agregados naturales. Se incluyen todos los materiales de cantera cuyas propiedades físicas sean adecuadas.

## **c) Agregados Artificiales**

Son los subproductos de procesos industriales, como ciertas escorias o materiales procedentes de demoliciones, utilizables y reciclables.

## **d) Agregados Marginales**

Los agregados marginales engloban a todos los materiales que no cumplen alguna de las especificaciones vigentes.

Desde un punto de vista práctico, los agregados se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- d.1. Agregados calizos.
- d.2. Agregados silíceos.
- d.3. Agregados ígneos y metamórficos.

### **d.1. Agregados Calizos**

Es un material muy común, abundante y económica en los procesos de trituración, se emplea generalmente en todas las capas de los firmes, exceptuándose en algunas ocasiones como agregado grueso en las capas de rodadura, debido a la facilidad que tiene de pulimentarse en condiciones de servicio, su carácter es básico, presenta por lo regular menores problemas de adhesividad, es decir, de afinidad con los ligantes asfálticos. En mezclas asfálticas se utiliza para mejorar esta característica cuando se emplean además otro tipo de agregados, más duros, pero también más ácidos (silíceos, pórfidos, entre otros).

### **d.2. Agregados Silíceos**

Los agregados silíceos procedentes de trituración de gravas naturales es otro material de amplia utilización en las todas capas de los firmes. Se extraen de yacimientos granulares, en los que las partículas de mayor tamaño se separan por cribado y a partir de ellas por machaqueos sucesivos, se obtienen fracciones de menor tamaño, con una angulosidad tanto mayor cuantas más caras de fractura presenten. Pueden no aportar una suficiente adhesividad con los ligantes asfálticos,

sin embargo, si el material obtenido tiene un elevado contenido de sílice y de caras de fractura, sus características mecánicas y su rozamiento interno proporcionan un esqueleto mineral bueno para utilizarlo incluso en mezclas asfálticas sometidas a la acción directa del tráfico.

### **d.3. Agregados Ígneos y Metamórficos**

Son materiales que por sus características resultan muy adecuados para utilizarlos como agregado grueso en las capas de rodadura.

Pueden incluirse en este grupo los basaltos, gabros, pórfidos, granitos, cuarcitas, etc. Sus cualidades para resistir al pulido los hacen idóneos para garantizar la textura superficial necesaria en un periodo de tiempo, incluso con tráficos muy intensos.

En este grupo tan amplio, los agregados de naturaleza más ácida pueden presentar una deficiente adhesividad con los ligantes asfálticos, pero en la mayoría de los casos el problema se puede resolver con activantes que son sustancias que tienen la misión específica de mejorar la adhesividad con los ligantes, o también el problema se resuelve empleando emulsiones adecuadas y en el caso de mezclas asfálticas, con el empleo de finos de naturaleza básica y un polvo mineral adecuado.

#### **2.2.3.4. Clasificación del agregado pétreo de acuerdo a su tamaño**

##### **a) Agregado grueso**

Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como agregado grueso, a la parte del agregado pétreo total que queda retenido en el tamiz #4. Y según la normativa Europea UNE-EN 933-2., se define como agregado grueso, a la parte del agregado pétreo total que queda retenido en el tamiz 2 mm.

##### **b) Agregado fino.**

Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como agregado fino, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz #4 y queda retenido en el tamiz #200. Y según la normativa Europea UNE-EN 933-2, se define como agregado fino, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz 2 mm. y queda retenido en el tamiz 0.063 mm.

### **c) Polvo mineral (Filler)**

Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como polvo mineral, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz #200. Y según la normativa Europea UNE-EN 933- 2., se define como polvo mineral, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz 0.063 mm.

El filler o polvo mineral de aportación es un producto comercial de naturaleza pulverulenta (cemento normalmente o cenizas volantes de central térmica) o un polvo en general calizo, especialmente preparado para utilizarlo en mástico para mezclas asfálticas.

Cuando se trata de un producto comercial, se garantiza perfectamente su control y se conocen sus propiedades tanto físicas como químicas y su futuro comportamiento en la mezcla.

Cuando se utiliza el otro tipo de filler, (de recuperación), que es aquel que se obtiene de las plantas asfálticas, no se sabe exactamente cuáles son sus componentes y en ocasiones varía su composición con el tiempo y puede estar o no, dentro de las normativas, debido a que es un residuo.

#### **c.1. Agregados pétreos y polvo mineral**

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013), Los agregados pétreos y el filler mineral empleados para la ejecución de cualquier tratamiento o mezcla deberán poseer una naturaleza tal que, al aplicársele una capa del material asfáltico, ésta no se desprenda por la acción del agua y del tránsito. Sólo se admitirá el empleo de agregados con características hidrófilas, si se añade algún aditivo de comprobada eficacia para proporcionar una adecuada adherencia.

Para efecto de las presentes especificaciones, se denominará agregado grueso a la porción de agregado retenido en el tamiz de 4,75 mm (N.º 4); agregado fino a la porción comprendida entre los tamices de 4,75 mm y 75 µm (N.º 4 y N.º 200) y polvo mineral o llenante la que pase el tamiz de 75 µm (N.º 200).

Para ellos en los agregados pétreos no serán susceptibles de ningún tipo de meteorización o alteración fisicoquímica apreciable bajo las condiciones más desfavorables que se puedan dar en la zona de empleo. Tampoco podrán dar

origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras o a otras capas del pavimento, o contaminar corrientes de agua.

El equivalente de arena que se exige en la Tabla N° 06, será el del agregado finalmente obtenido, mediante la combinación de las distintas fracciones, según las proporciones determinadas en la fórmula de trabajo. En caso que no se cumpla el valor mínimo señalado en la Tabla N° 06, el agregado se aceptará si su equivalente de arena es superior a 40% y, simultáneamente, el índice de azul de metileno, es inferior a 10.

El agregado fino deberá proceder en su totalidad de la trituración de piedra de cantera o de grava natural, o parcialmente de fuentes naturales de arena.

La proporción en masa de arena natural no podrá exceder del 15% de la masa total del agregado combinado, cuando sean vías de alto tránsito, ni exceder del 25% para tránsitos de menor intensidad.

En todo caso, la proporción en masa de agregado fino no triturado no podrá exceder la del agregado fino triturado.

El filler mineral podrá proceder de la trituración de los agregados o aportarse como producto comercial o especialmente preparado para este fin. La proporción de filler mineral de aporte se fijará en las especificaciones del Proyecto.

La mezcla de agregados grueso y fino y filler mineral, se deberá ajustar a alguna de las gradaciones indicadas en la Tabla N° 15.

Las determinaciones se efectuarán de acuerdo con la norma de ensayo MTC E 204.

Ταβλα 6: Ρεθυσιστος δε λος αγρεγαδος παρα πασιμεντος ασφ(λιχος εν φρ)ο

	Ensayo	Requerimiento								
		Bajo tránsito			Tránsito medio			Alto tránsito		
		Agregado grueso	Agregado fino	Gradación combinada	Agregado grueso	Agregado fino	Gradación combinada	Agregado grueso	Agregado fino	Gradación combinada
Desgaste de Los Ángeles	MTC E 207	25% máx. (rodadura) 35% máx.. (intermedia)			25% máx. (rodadura) 35% máx.. (intermedio y base)			25% máx. (rodadura) 35% máx.. (intermedio y base)		
Desgaste Micro-Deval	ASTM D 7428				25% máx. (rodadura) 35% máx.. (intermedia y base)			25% máx. (rodadura) 35% máx.. (intermedia y base)		
10% de finos (KN)	Seco							110 min (rodadura) 90 min (intermedia) 75 min (base)		
	Relación Húmedo/seco							75% min		
Pérdidas en ensayos de solidez	Sulfato de sodio	MTC E 209	12% máx.	12% máx.		12% máx.	12% máx.		12% máx.	12% máx.
	Sulfato de magnesio		18% máx.	18% máx.		18% máx.	18% máx.		18% máx.	18% máx.
Partículas fracturadas mecánicamente (agregado grueso) % mínimo 1 cara/2 caras	MTC E 210	75/- (rodadura) 60/- (intermedia)			75/60 (rodadura) 75/- (intermedia) 60/- (base)			85/70 (rodadura) 75/- (intermedia) 60/- (base)		

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones



Ταβλα 7: Ρεθυισιτος δε λος αγρεγαδος παρα πασιμεντος ασφ(λιτιχος εν φρ)ο

	Ensayo	Requerimiento								
		Bajo tránsito			Tránsito medio			Alto tránsito		
		Agregado grueso	Agregado fino	Gradación combinada	Agregado grueso	Agregado fino	Gradación combinada	Agregado grueso	Agregado fino	Gradación combinada
Angularidad (Agregado fino)	ASTM D 1252		40% min (rodadura) 35% min (intermedia)			45% min (rodadura) 40% min (intermedia) 35% min (base)			45% min (rodadura) 40% min (intermedia) 35% (base)	
Coeficiente de pulimento acelerado	UNE 146130	0,45 min (rodadura)			0,45 min (rodadura)			0,45 min. (rodadura)		
Partículas planas y alargadas	MTC E 221	10% máx.			10% máx.			10% máx.		
I.P.	MTC E 111			N.P.			N.P.			N.P.
Equivalente de arena	MTC E 114			50% mín.			50% mín.			50% mín.
Contenido de impurezas (Agregado grueso)	UNE 14613	0,5% máx.			0,5% máx.			0,5% máx.		
Adhesividad				75 % mín.						75% mín.
Resistencia conservada inm-comp										

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

## **2.2.4. Mezclas asfálticas**

### **2.2.4.1. Generalidades**

Sierra (2008), Las mezclas asfálticas están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonado. Se producen en centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y compactan.

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

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

En nuestro medio el método comúnmente utilizado es el Método Marshall. No existe un método de diseño universalmente aceptado para mezclas con asfaltos diluidos o emulsionados.

### **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:

- a) Densidad de la mezcla.
- b) Vacíos de aire, o simplemente vacíos.
- c) Vacíos en el agregado mineral.
- d) Contenido de asfalto.

A continuación de hablar de cada una de las características:

### **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 ( $\text{kg/m}^3$ ) o libras por pie cúbico ( $\text{lb/ft}^3$ ). La densidad es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua ( $1000 \text{ kg/m}^3$  o  $62.416 \text{ lb/ft}^3$ ). 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.

#### **2.2.4.3. Propiedades consideradas en las mezclas Asfálticas**

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 ahuellamiento (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.

## **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. Por supuesto, se debe dejar un cierto porcentaje de vacíos en el pavimento para permitir la expansión del asfalto en los tiempos cálidos.

Una graduación densa de agregado firme, duro 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.

### **c) Impermeabilidad**

La impermeabilidad de un pavimento asfáltico es la resistencia al paso de aire y 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.

### **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.

La Tabla N° 12 cita algunas causas y efectos relacionados con la trabajabilidad de mezclas de pavimentación.

#### **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.

#### **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 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.

#### **2.2.4.4. Cualidades funcionales del pavimento con mezclas asfálticas en frío en condiciones de servicio**

- 1) La adherencia del neumático al firme.
- 2) Las proyecciones de agua en tiempo de lluvia.
- 3) El desgaste de los neumáticos.
- 4) El ruido en el exterior y en el interior del vehículo.
- 5) La comodidad y estabilidad en marcha.
- 6) Las cargas dinámicas del tráfico.
- 7) La resistencia a la rodadura (consumo de carburante).
- 8) El envejecimiento de los vehículos.
- 9) Las propiedades ópticas.

#### **2.2.4.5. Mezclas con emulsión asfáltica**

Hay 3 tipos de mezclas de emulsión asfáltica y agregados: de granulometría cerrada, con arena, y de granulometría abierta.

a) Las mezclas de granulometría cerrada. - están compuestas de agregados graduados desde el máximo tamaño hasta, inclusive, material pasante el tamiz 75 mm (N° 200). Incluyen una amplia variedad de tipos y granulometrías de agregados, y pueden ser empleadas para todos los tipos de aplicaciones en pavimentos. Las

mezclas emulsión se elaboran, con emulsiones asfálticas, arenas de río, arenas y gravas pobremente graduadas y arenas de dunas.

b) Las mezclas con arena. - están generalmente limitadas a arenas finas limpias y arenas limosas con bajo contenido de arcilla. Elaboradas con los adecuados grados de emulsiones las mezclas con arena han tenido un buen comportamiento como sub-bases y bases, para estas mezclas, las emulsiones típicamente empleadas son de rotura lenta y de rotura media de alta micro flotación, preferentemente con grados de mayor dureza.

c) Con granulometría abierta. - elaboramos mezclas de alto porcentaje de vacíos a través de los cuales drena el agua. Estas mezclas han sido utilizadas muy exitosamente tanto para bases como para carpeta de rodamiento Debido a la relativa sencillez del equipo de planta necesario y a los altos volúmenes de producción posible, estas mezclas son económicamente atractivas cuando se requiere una mezcla de alta calidad para tráfico pesado.

#### **2.2.4.6. Diseño de mezclas**

Para las mezclas de agregado. - emulsión es necesario un diseño esencialmente preparar en el laboratorio mezclas de prueba para determinar el grado y porcentaje de emulsión y las propiedades de trabajabilidad, estabilidad y resistencia del sistema. Debería determinarse la susceptibilidad de la mezcla con emulsión por agua.

En la decisión para seleccionar un tipo y grado de emulsión deben considerarse no solo las características del agregado, sino también las del residuo de asfalto — base dura o blanda, contenido de solvente, modificación con polímeros- y la velocidad de curado de la emulsión (rotura media o lenta).

#### **2.2.4.7. Agregados en la mezcla asfáltica con emulsión**

Para logran en cualquier mezcla con emulsión, buenas propiedades y una

buena performance, las Características del agregado son muy importantes. Agregados. Constituyen un 90 a 95% del peso de una mezcla con emulsión. Una amplia variedad de tipos y granulometrías de agregados puede ser usada exitosamente con mezclas con emulsiones. La Tabla N° 24. Muestra algunas de las granulometrías típicas según el M.T.C (cerradas, abiertas y densas).

La composición mineral del agregado puede tener una significativa influencia en las mezclas asfálticas.

#### **2.2.4.8. Mezclas con emulsión en planta (en frío)**

La planta de emulsión central a fija permite la producción de mezclas de muy alta calidad, debido a un más preciso control de los materiales. Este método de mezclas ofrece algunas ventajas en relación a las mezclas asfálticas en caliente:

- a) Economía. - Altos volúmenes de producción se combinan con movilidad y bajo costo de capital en equipos. El método de mezclado se adapta idealmente a proyectos en lugares remotos.
- b) Baja contaminación. - Si bien existe la posibilidad de que haya un poco de polvo proveniente de las pilas de almacenamiento v del transporte, las emisiones originadas en la producción de mezclas fría en planta central, transporte, extendido y compactación son muy bajas.
- c) Seguridad. - En áreas de alto riesgo de fuego, tales como bosques y pampas, la probabilidad de incendios es muy reducida, debido a que no hay quemadores secadores ni llama.

##### **2.2.4.8.1. Plantas de Mezclado**

La producción de mezclas en frío de alta calidad requiere una operación bien controlada. El montaje de una planta central de mezclas frías puede variar en función de la calidad requerida y del tipo de mezcla. Sin embargo y como mínimo:

- 1) Se recomienda que la planta tenga una mezcladora de doble eje.
- 2) El acopio requiere de un tanque para el almacenamiento de la emulsión.
- 3) Bombas con medidores para emulsión y agua, y las cañerías, válvulas y barras de

riego para ellas.

- 4) Una o más tolvas de alimentación agregados.
- 5) Cintas transportadoras para el agregado y la mezcla y
- 6) Una fuente de energía.

#### **2.2.4.8.2. Colocación y Compactación**

Para mezclas con emulsión producidas en planta, los procedimientos constructivos son similares empleados para mezclas asfálticas en caliente. Las capas de base pueden ser extendidas con distribuido autopropulsados o inclusive con una motoniveladora. Sin embargo, para carpetas de rodamiento intenso se recomiendan las pavimentadora autopropulsadas.

En general, las mezclas frías son rígidas no tan trabajables como una mezcla asfáltica en caliente siendo las mezclas abiertas las más difíciles de colocar. Las mezclas asfálticas con emulsión producidas en planta son colocadas en capas de 4 pulg (10cm) o más, pero la compactación y el curado en capas de (2 y 3 Pulg) son más rápidos.

#### **2.2.4.8.3. Precauciones para la colocación de mezclas asfálticas en frío**

- a. Las mezclas cerradas tienen normalmente buena resistencia al daño por agua durante construcción, sin embargo, si llueve antes del curado de la mezcla, el tráfico debería ser desviado hasta lograr el curado y la necesaria compactación.
- b. El contenido de agua no debiera ser más que el necesario para dispersar adecuadamente la emulsión y lograr una buena trabajabilidad de la mezcla.
- c. Los materiales deberían mezclarse solo lo suficiente para dispersar adecuadamente la emulsión. El exceso de mezclado puede causar la rotura prematura de la emulsión. el desprendimiento del asfalto del agregado.
- d. Para un curado más rápido, colocar la mezcla en varias capas delgadas antes que en una capa gruesa.

- e. Estas mezclas no deberían ser selladas demasiado pronto. Ya que el agua atrapada y destilados de petróleo pueden causar problemas.
- f. Si el tráfico causa desprendimientos, el material suelto debería ser barrido tan pronto como fuese posible, para evitar un daño posterior a la superficie. Si el desprendimiento continuo, debería realizarse riego pulverizado sobre la superficie, con una ligera aplicación de una emisión lenta (SS 6 CSS) diluida en agua. La distribución unitaria y la cantidad de agua para el diluido pueden variare según la necesidad para evitar el levantamiento del material por el tráfico.

Ταβλα 8: Χριτεριος παρα ελ δισηο δε μεζχλα δε αγρεγαδος □ εμυσι (ν ασφ/λιτixa

Propiedades de los Ensayos	Mínimo	Máximo
Estabilidad, N (lb) a 22.2° C (72°F) Mezclas para pavimentos	2224 (500)	-
Porcentaje de Perdida de estabilidad Después de saturación de vacios e inmersión	-	50
Agregado para recubrimiento	50	-

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013)

Ταβλα 9: Ρεθυεριμιεντος παρα μεζχλασ δενσασ εν φριο

Parámetros de diseño (A)	Ensayo	Especificación
Recubrimiento (%) Capa rodadura	Visual (B)	75 min.
Resistencia Ri a 22,8 ± 3°C Cura temprana(*) Cura total y condicionamiento con humedad(**)	(C)	70 min. 78 min.
Estabilidad Marshall (kN) Mínimo a 22,2 ± 1°C Estabilidad retenida (%) (***)	AASHTO T 245	2,22 50 min.

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013)

### 2.2.5. POLIMERO

Valdivia (2008), Los polímeros son sustancias de alto peso molecular formada por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros (compuestos químicos con moléculas simples). Se forman así moléculas gigantes que toman formas diversas: cadenas en forma de escalera, cadenas unidas o termo fijas que no pueden ablandarse al ser calentadas, cadenas largas y sueltas.

Algunos modificadores poliméricos que han dado buenos resultados, se enlistan a continuación:

Homopolímeros: que tienen una sola unidad estructural (monómero).

Copolímeros: Tienen varias unidades estructurales distintas (EVA, SBS).

Elastómeros: Al estirarlos se sobrepasa la tensión de fluencia, no volviendo a su longitud original al cesar la sollicitación. Tiene deformaciones pseudo plásticas con poca elasticidad.

Hernández (2004), Ya se mencionó que el polímero es una molécula larga creada por una reacción química de muchas pequeñas moléculas, que una con otra forman largas cadenas. El primer polímero conocido por el hombre, y al cual se le dio un uso fue el látex natural, conocido como hule, (del náhuatl hollín que significa movimiento), producto del sangrado del árbol perteneciente al género de las euforbiáceas conocido como ulcuahuitl o árbol del hule (Castilloa Elástica Cervka).

A pesar de que los polímeros pueden formularse de tal manera que resulten con cualquier propiedad física, aquellos que se utilizan en la modificación de asfaltos se pueden agrupar en dos categorías principales:

**Plastómeros y elastómeros:** Los elastómeros se pueden alargar, y por su elasticidad, recobran su forma. Dichos polímeros no añaden mucha resistencia al asfalto, si éste no se encuentra estirado; una vez estirado, adquiere una gran resistencia con la propiedad de recuperar totalmente su forma inicial cuando se

liberan los esfuerzos aplicados. Algunos de los elastómeros utilizados para modificar asfaltos son: bloque de copolímeros estireno-butadieno-estireno o estireno butadieno (SBS - SB), bloque de copolímeros estireno-isopreno-estireno (SIS), látex ahulado de estireno- butadieno (SBR), látex de policloropreno, y látex de hule natural. (El látex es una emulsión de gotas microscópicas de polímero suspendidas en agua).

Los plastómeros más comunes son: el etil-vinilo-acetato (EVA), polietileno/polipropileno, y polio le finas. El lígame asfáltico y las propiedades de la mezcla pueden ser diseñadas eligiendo el polímero correcto para determinada aplicación, y asegurándose que es compatible con el asfalto base. En general, se eligen elastómeros para proporcionar una mayor resistencia y flexibilidad al pavimento, mientras que los resultados con plastómeros generan una mezcla de alta estabilidad y rigidez. Los resultados obtenidos de un proceso de modificación de asfalto dependen altamente de la concentración, peso molecular, composición química y orientación molecular del polímero, así como, de la fuente del crudo, del proceso de refinación y del grado del asfalto base que se utiliza.

La mayor diferencia cuando es modificado un asfalto con polímeros es su reología, o sus características de flujo, particularmente su susceptibilidad térmica. Por ejemplo, un AC-10 modificado con 3% de polímero SBS se convierte en un AC-20. Cuando un asfalto es modificado, la viscosidad a 60 °C cambia dramáticamente, pero las penetraciones tanto a 25 °C como a 4°C cambian tan solo pocos grados.

La modificación con polímeros causa cambios significativos en la relación esfuerzo - deformación, en la respuesta a la deformación plástica y en los parámetros de finjo tipo no-newtoniano. La capacidad de algunos polímeros para su recuperación elástica (la respuesta a la deformación) se mide monitoreando el flujo bajo la acción de una carga, y su recuperación elástica cuando la carga desaparece y añade durabilidad al asfalto. Se han desarrollado nuevas pruebas para medir estas propiedades; los cuales son más adecuados en algunos casos que los métodos convencionales (viscosidad absoluta o cinemática, punto de reblandecimiento,

penetración, etc.), ya que caracterizan las propiedades físicas de los asfaltos modificados con polímeros a altas y bajas temperaturas.

Los tipos de polímeros son entre otros:

**Copolímeros en block y otros termoplásticos:** Su característica es el contener bloques finales de estireno y bloques medios de butadieno para proporcionar "elasticidad". En este grupo están:

SB (Estireno - Butadieno)

SBS (Estireno - Butadieno - Estireno)

SIS (Estireno - Isopreno - Estireno)

SEBS (Estireno - Etileno - Butadieno - Estireno)

LDPE (Polietileno baja densidad)

ABS (AcrílonhTilo - Butadieno - Estireno)

EVA (Etü - Vinil - Acetato)

**Hules naturales y sintéticos:**

NR (Hale natural)

PBD (Polibuladieno)

PI (Poliisoprenos)

PCB (látex)

**Otros:**

Hule de llanta

Fibras (celulosa, poliéster, polipropileno, etc.)

Agentes antistriping (poliiminas)



TABLA 10: ζαλορες βιβλιογραφ(φ)ιχοσ δε λασ προπιεδαδεσ παρα πολιετιλενο δε αλτα ψ βαφα  
δενσιδαδ

Propiedad	Polietileno de alta densidad	Polietileno de baja densidad
Peso Molecular [g/gmol]	200.000-400.000	100.000-300.000
Densidad [gr/cm <sup>3</sup> ]	0,94-0,97	0,91-0,94
Resistencia a la Tracción [MPa]	21	38
Módulo de Young [MPa]	1000	250
Elongación [%]	130	800
Temperatura de Transición Vítrea [°C]	-80	-125
Temperatura de Fusión [°C]	130-140	105-115

Fuente: González (2013)

### 2.3. Definición de términos básicos

**Absorción:** Fenómeno en el que un cuerpo penetra en el ámbito de otro.

**Ácidos:** Sustancia capaz de aceptar la participación de un solo par de electrones de la base para formar un enlace coordinativo. Se dividen en hidrácidos, compuestos binarios (hidrógeno y un no metal) y oxácidos, compuesto ternario (hidrógeno, oxígeno y un no metal).

**Adherencia:** Acción y efecto de adherir o pegarse una cosa a otra. Atracción existente entre las superficies en contacto de dos cuerpos diferentes.

**Adsorción:** Adhesión o concentración de sustancias disueltas en la superficie de un líquido o alrededor de cuerpos pulverulentos.

**Aglomerante:** Cuerpo que se encuentra integrado en la reunión de otro o más cuerpos o sustancias.

**Agregado.** - Material granular duro, de composición mineralógica como la arena, la grava, la roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

**Agregado fino.** - Agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (# 4).

**Agregado grueso.** - Agregado retenido en el tamiz de 4.75 mm (# 4).

**Ahuellamiento.** - Surcos que se desarrollan en el pavimento, en los carriles de las ruedas. Pueden ser resultado de una consolidación por movimiento lateral de una o

más capas del pavimento bajo efectos del tráfico o, pueden ser generados por un desplazamiento de la superficie misma del pavimento. Ocurren como resultado del movimiento plástico de una mezcla que tiene muy poca estabilidad para resistir el tráfico.

**Bitumen.** - Sustancia cementante de color negro (sólida, semisólida o viscosa), natural o fabricada, compuesta principalmente de hidrocarburos de alto peso molecular, siendo típicos los asfaltos, las breas o alquitranes, los betunes y las asfálticas.

**Cemento asfáltico.** - Material cementante, de color entre carmelito oscuro y negro, en el cual los constituyentes predominantes son bitúmenes que aparecen en la naturaleza o se obtienen en el procesamiento del petróleo. El asfalto es un constituyente, en proporciones variables, de la mayoría de petróleos crudos.

**Compactación.** - Acto de comprimir un volumen dado de material en un volumen más pequeño. Generalmente la compactación se logra usando los rodillos o compactadores neumáticos.

**Deformación.** - Cualquier cambio que presente un pavimento respecto a su forma original.

**Densidad.** - Grado de solidez que puede alcanzarse en una mezcla dada. Está limitada por la eliminación total de los vacíos que se encuentran entre las partículas de la mezcla.

**Desintegración.** - Separación progresiva de las partículas del agregado en el pavimento desde la superficie hacia abajo, o desde los bordes hacia el interior. Puede ser causada por falta de compactación, construcción de una capa de rodadura muy delgada en períodos fríos, agregado sucio o desintegrable, muy poco asfalto en la mezcla o sobrecalentamiento de la mezcla asfáltica.

**Disolvente:** Que tiene la capacidad de disolver, es decir de separar o desunir las partículas de un cuerpo sólido por medio de un líquido con el cual se incorpora.

**Elastómero:** Es un polímero de cualidades particulares. Presenta una resistencia grande a la tensión deformándose, de forma proporcional al es tuerzo que genera dicho esfuerzo.

**Emulsión:** Líquido que tiene en suspensión partículas muy pequeñas. División de un líquido contenido en otro, en el que es insoluble, en partículas muy pequeñas.

**Ensayo Marshall.** - Procedimiento para obtener el contenido de asfalto y diferentes parámetros de calidad de una mezcla bituminosa.

**Estabilidad.** - Capacidad de una mezcla asfáltica de resistir deformación bajo las cargas impuestas. La estabilidad está en función de la cohesión y la fricción interna del material.

**Fibra:** Filamento alargado compuesto de células vegetales, también de compuestos inorgánicos

**Filler.** - Material proveniente por lo general de la caliza pulverizada, polvos de roca, cal hidratada, cemento Portland, y ciertos depósitos naturales de material fino, empleado en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente como relleno de vacíos, espesante de la mezcla o como mejorador de adherencia.

**Flexibilidad.** - Capacidad del pavimento asfáltico de ajustarse a los asentamientos en la fundación.

**Grietas.** - Fracturas en la superficie del pavimento asfáltico.

**Impermeabilidad.** - Capacidad de un pavimento asfáltico de resistir el paso de aire y agua dentro o a través del mismo.

**Ondulaciones.** - Deformación en el pavimento, dando origen a un movimiento plástico caracterizado por ondas en la superficie del pavimento.

**Polaridad:** Propiedad de poseer determinadas cualidades opuestas en distintos extremos. Propiedad de algunas magnitudes físicas de acumularse en distintos extremos de un cuerpo. Así, se habla de polaridad magnética (distribución de cargas magnéticas), polaridad eléctrica (cargas eléctricas).

**Polímero:** Molécula larga creada por una reacción química de muchas pequeñas moléculas, que una con otra forman largas cadenas.

**Resistencia a la fatiga.** - Capacidad de un pavimento asfáltico para resistir flexión repetida causada por cargas móviles. Entre más alto contenido de asfalto, mayor será la resistencia a la fatiga.

**Resistencia al deslizamiento.** - Propiedad de la superficie asfáltica de resistir el deslizamiento, particularmente cuando está mojado.

**Trabajabilidad.** - Facilidad con que las mezclas de pavimentación pueden ser colocadas y compactadas.

**Vacíos.** - Espacios de aire en una mezcla compactada rodeados de partículas

cubiertas de asfalto.

# **CAPÍTULO III**

## **MARCO METODOLÓGICO**

## CAPÍTULO III: MARCO METODOLOGICO

### 3.1. Tipo y diseño de la investigación

#### 3.1.1. Tipo de investigación

Cuantitativa Cuasi – Experimental

#### 3.1.2. Diseño de la investigación



- M= Medir la calidad de los materiales
- D= Diseñar la mezcla asfáltica en frío con diferentes porcentajes de fibra de polietileno.
- E= Elaborar la mezcla asfáltica con fibra de polietileno según los diseños obtenidos
- O= Obtener las características de las mezclas asfálticas en frío.
- C= Comparar los datos obtenidos de las mezclas asfálticas en frío con fibra de polietileno y mezclas asfálticas convencionales.

### 3.2. Población y muestra

#### 3.2.1. Población

Mezclas asfálticas en frío con emulsión asfáltica con distintos porcentajes de polietileno.

#### 3.2.2. Muestra

Ciento veintiséis (126) briquetas que fueron un promedio de quince briquetas por cada mezcla asfáltica.

### 3.3. Hipótesis

Hi: Mediante la adición fibra de polietileno se mejoró las propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica en frío en comparación con una convencional.

### 3.4. Variables e indicadores

#### 3.4.1. Variable independiente

Fibra de polietileno

#### 3.4.2. Variable dependiente

Mezclas asfálticas en frío.

#### 3.4.3. Operacionalización de las variables

VARIABLE	INDICADOR	MEDICIÓN	RANGO DE VARIABILIDAD	TÉCNICA	Instrumentos	
					Recojo de datos	Medición
Variable Independiente (X) fibra de polietileno	Cantidad de polietileno adicional	% en peso, % en volumen, kg / m <sup>3</sup>	1% al 30%	Observación MTC E 204 – 2000 y ASTM D422	Formato de laboratorio USS	Balanza Tamices
	Agregado fino	%	100%	Observación MTC E 204 – 2000 y ASTM D422	Formato de laboratorio USS	Balanza Tamices
	Agregado grueso	%	100%	Observación MTC E 204 – 2000 y ASTM D422	Formato de laboratorio USS	Balanza Tamices
Variable Dependiente	Densidad de la mezcla	Kg/m <sup>3</sup>	-	Observación	Formato de	Balanza

(Y)					laboratorio	
Mezclas					USS	
asfálticas en					Formato	Balanza
frio	Vacíos de aire, o simplemente vacíos	%	-	Observación	de laboratorio	
					USS	
	Estabilidad	lb	-	Observación	Formato de laboratorio	Marshall
					USS	
	fluencia	pul	-	Observación	Formato de laboratorio	Marshall
					USS	

### 3.5. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 3.5.1. Métodos de investigación

##### Deductivo

Se pudo deducir los beneficios en proporción a la utilización de fibra de polietileno; además, conociendo las características y propiedades, se estableció el porcentaje de fibra de polietileno que se añadió en la mezcla asfáltica en frío.

##### Inductivo

Se obtuvo las características y propiedades de cada mezcla asfáltica con cierto porcentaje de fibra de polietileno, determinándose la mejor mezcla asfáltica con porcentaje de fibra de polietileno y se confirmó las mejoras en sus propiedades que presenta este nuevo material.

##### Análisis

Se separó los componentes de la mezcla asfáltica en frío y el posterior se estudió cada uno de ellos a través de ensayos para determinar la contribución de los



mismos al producto final.

## **Síntesis**

Se evaluó la fibra de polietileno, las características en el comportamiento para la formación de un nuevo todo, mezclas asfálticas en frío con fibra de polietileno.

### **3.5.2. Técnicas de recolección de información**

#### **Revisión de Documentos**

Se utilizó esta técnica para revisar normas, tablas, manuales, y especificaciones, para establecer los pasos a seguir y definir el intervalo de resultados aceptables para el material en estudio.

#### **Observación**

Esta técnica nos permitió recabar datos que se registraron en el laboratorio

### **3.5.3. Descripción de los instrumentos utilizados**

#### **Guía de documentos**

Para poder llevar a cabo la recolección de información, se utilizaron procedimientos especificados en manuales y normas nacionales (manual del MTC para ensayo de materiales, NTP) y normas internacionales (ASTM Y AASHTO), estos son:

Análisis granulométrico de agregado FINO (MTC E 204 – 2000 y ASTM D422).

Análisis granulométrico de agregado GRUESO (MTC E 204 – 2000 y ASTM D422).

Peso específico y absorción de agregados fino (MTC E 205 – 200 Y ASTM C 128).

Peso específico y absorción de agregados grueso (MTC E 206 – 2000, NTP 400.021, ASTM C 127 Y AASHTO T 85).

Abrasión Los Ángeles (L.A.) de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm – 1 ½” (MTC E 207 – 2000, ASTM C 535).

Peso Unitario agregado grueso y fino (MTC E 203 – 2000).

Porcentaje de caras fracturadas en los agregados (MTC E-210-2000).

Porcentaje de partículas chatas y alargadas. (NTP 400.040)

Cantidad de material fino que pasa por el tamiz N° 200 (MTC E 202 – 2000 Y ASTM C 117).

Resistencia de las mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall seco al aire y en estado saturado, (estabilidad y flujo) (MTC E 504 – ASTM D 1559, Y AASHT 245).

Peso específico y absorción de las briquetas (MTC E 206 – 2000, NTP 400.021, ASTM C 127 Y AASSHTO T 85).

### **Guía de pruebas**

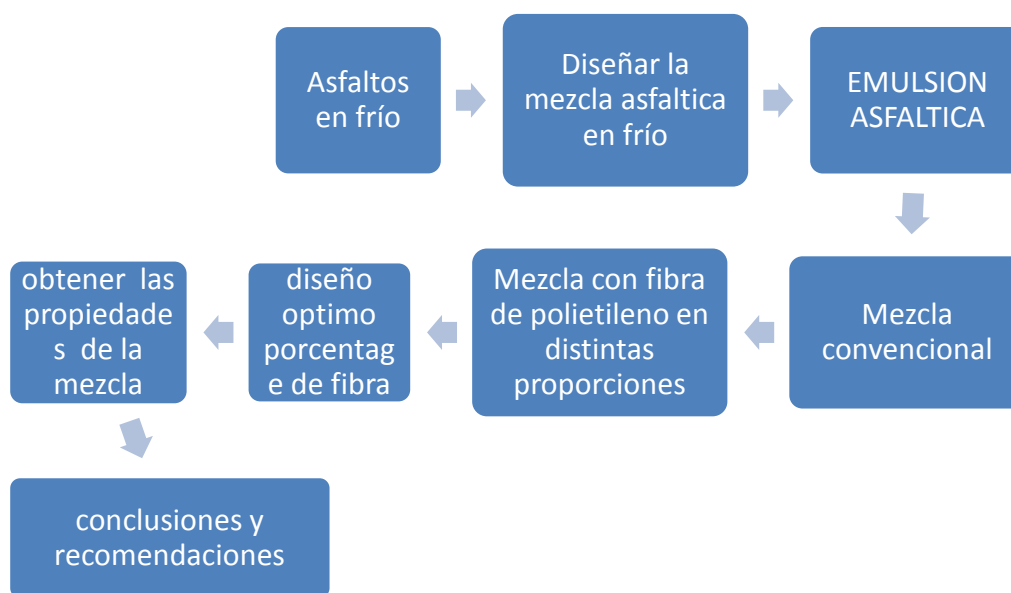
Las pruebas se llevaron a cabo en el “Laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Señor de Sipán”, el cual cuenta con los equipos necesarios y descritos en el presente trabajo, el formato de cada ensayo se muestra en la sección ANEXOS.

## **3.6. Procedimientos para la recolección de datos**

### **3.6.1. Procedimientos**

- I. Determinar la calidad de fibra de polietileno.
- II. Medir la calidad de los materiales (asfalto, agregado grueso y agregado fino) usados para la elaboración de la mezcla asfáltica en frío con fibra de polietileno.
- III. Diseñar la mezcla asfáltica en frío con diferentes porcentajes de fibra de polietileno.
- IV. Elaborar la mezcla asfáltica con fibra de polietileno según los diseños obtenidos
- V. Obtener las características de las mezclas asfálticas en frío.
- VI. Comparar los datos obtenidos de las mezclas asfálticas en frío con fibra de polietileno y mezclas asfálticas convencionales.

### 3.6.2. Diagrama de Flujo



### 3.6.3. Descripción de procesos

#### 3.6.3.1. Determinar la calidad de los agregados

##### a) Análisis granulométrico de agregado fino (MTC E 204 – 2000 y ASTM D422)

###### a.1) Aparatos

**Balanza**, con sensibilidad de por lo menos 0.1% del peso de la muestra ensayada.

**Tamices**, seleccionados de acuerdo con las especificaciones para el agregado fino.

**Horno de tamaño adecuado**, capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

###### a.2) Procedimiento

La muestra para el ensayo se obtuvo por medio de cuarteo, manual o mecánico. El agregado estuvo completamente mezclado con la suficiente humedad y se evitó la segregación y pérdida de finos. La muestra de agregado fino para el análisis granulométrico, después de secada deberá tener mínimo 300 gr. granulometría de una base de agregados se define como la distribución del tamaño de sus partículas. Séquese la muestra a una temperatura de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , hasta obtener un peso constante.

Seleccionamos el grupo de tamices adecuados para cumplir con las especificaciones del agregado fino (Tamiz 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100). Colocar los tamices en orden decreciente, por tamaño de abertura, luego efectuamos el tamizado a mano durante un periodo adecuado.

Limitar la cantidad de material en un tamiz dado, para que todas las partículas tengan la oportunidad de alcanzar las aberturas del tamiz. El peso retenido en los tamices no debe ser mayor de 7 kg/cm<sup>2</sup> de superficie tamizada.

Continuar tamizando por un periodo suficiente, de tal forma que después de terminado, no pase más del 1% de la cantidad en peso retenida en cada tamiz, durante 1 minuto de tamizado continuo a mano, realizado de la siguiente manera: tomar individualmente cada tamiz, con su tapa y un fondo que ajuste sin holgura, con la mano en una posición ligeramente inclinada. Se golpea secamente el lado del tamiz, con un movimiento hacia arriba contra la palma de la otra mano, a razón de 150 veces por minuto, girando el tamiz aproximadamente 1/6 de vuelta en cada intervalo de 25 golpes.

Determinar el peso de la muestra retenido en cada tamiz con la balanza. El peso total del material después del tamizado, debe ser comparado con el peso original de la muestra que se ensayó. Si la cantidad difiere en más del 0.3%, basado en el peso de la muestra original seca, el resultado no debe ser aceptado.

### **a.3) Cálculos**

Si la mezcla fue ensayada por el método MTC E202, inclúyase el peso del material más fino que el tamiz de 75 mm (N° 200) por lavado en los cálculos de tamizado, y úsese el total del peso de la muestra seca previamente lavada en el método mencionado, como base para calcular todos los porcentajes.

Tomando el material retenido en cada tamiz, se pesa y cada uno de estos pesos retenidos se expresa como porcentaje retenido del peso total de la muestra.

$$\text{Fórmula. \% Retenido} = \frac{\text{Peso de material retenido en tamiz} * 100}{\text{peso total de la muestra}} \dots(1)$$

Luego se van colocando los porcentajes retenidos acumulados. Se registra el porcentaje acumulado que pasa, que será simplemente:

$$\% \text{ PASA} = 100 - \% \text{ Retenido Acumulado} \dots(2)$$

Los resultados del análisis granulométrico también se pueden representar en forma gráfica y en tal caso se llaman curvas granulométricas. Esta curva deberá estar dentro de los límites establecidos en la norma.

Cuando sea requerido el módulo de finura, calcular como la suma de los porcentajes retenidos acumulados que cumplan con la relación 1:2 desde el tamiz # 100 en adelante hasta el tamaño máximo presente y dividido en 100, para este cálculo no se incluyen los tamices de 1" y ½".

## **b) Análisis granulométrico de agregado grueso (MTC E 204 – 2000 y ASTM D422)**

### **b.1) Aparatos**

**Balanza**, con sensibilidad de por lo menos 0.1% del peso de la muestra que va a ser ensayada.

**Tamices**, seleccionados de acuerdo con las especificaciones del material que va a ser ensayado.

**Estufa de tamaño adecuado**, capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

### **b.2) Muestra**

Las muestras para el ensayo se obtendrán por medio de cuarteo, manual o mecánico. El agregado debe estar completamente mezclado y tener la suficiente humedad para evitar la segregación y la pérdida de finos. La muestra para el ensayo debe tener la masa seca aproximada y consistir en una fracción completa de la operación de cuarteo. No está permitido seleccionar la muestra a un peso exacto determinado.

Las muestras de agregado grueso para el análisis granulométrico, después de secadas, deberán tener aproximadamente los siguientes pesos:

Ταβλα 11. Πεσο μί νιμο δε λα μυεστρα δε ενσαψο

Máximo tamaño nominal con aberturas cuadradas		Peso mínimo de la muestra de ensayo
mm	(Pulg)	kg
9.5	(3/8)	1
12.5	(1/2)	2
19.0	(3/4)	5
25.0	(1)	10
37.5	(1 1/2)	15
50.0	(2)	20
63.0	(2 1/2)	35
75.0	(3)	60
90.0	(3 1/2)	100
100.0	(4)	150
112.0	(4 1/2)	200
125.0	(5)	300
150.0	(6)	500

Fuente: MTC E 204 – 2000 y ASTM D422

### **b.3) Preparación de la muestra.**

Séquese la muestra a una temperatura de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , hasta obtener peso constante.

### **b.4) Procedimiento.**

Seleccíonese un grupo de tamices de tamaños adecuados para cumplir con las especificaciones del material que se va a ensayar. Colóquense los tamices en orden decreciente, por tamaño de abertura. Efectúese la operación de tamizado a mano o

por medio de un tamizador mecánico, durante un período adecuado.

Limítese la cantidad de material en un tamiz dado, de tal forma que todas las partículas tengan la oportunidad de alcanzar las aberturas del tamiz varias veces durante la operación del tamizado. Para tamices de 4.75 mm (No. 4) y mayores, el peso en kg/m<sup>2</sup> por superficie de tamizado no excederá el producto de 2.5 x abertura del tamiz (mm).

Continúese el tamizado por un período suficiente, de tal forma que después de terminado, no pase más del 1% de la cantidad en peso retenida en cada tamiz, durante un (1) minuto de tamizado continuo a mano, realizado de la siguiente manera: tómese individualmente cada tamiz, con su tapa y un fondo que ajuste sin holgura, con la mano en una posición ligeramente inclinada. Se golpea secamente el lado del tamiz, con un movimiento hacia arriba contra la palma de la otra mano, a razón de 150 veces por minuto, girando el tamiz aproximadamente 1/6 de vuelta en cada intervalo de 25 golpes. Se considerará satisfactorio el tamizado para tamaños mayores al tamiz de 4.75 mm (No. 4), cuando el total de las partículas del material sobre la malla forme una sola capa. Si el tamaño de los tamices hace impracticable el movimiento de tamizado recomendado, utilícense tamices de 203 mm (8") de diámetro para comprobar la eficiencia del tamizado.

Para partículas mayores de 75 mm (3"), el tamizado debe realizarse a mano, determinando la abertura del tamiz más pequeño por el que pasa la partícula.

Determínese el peso de la muestra retenido en cada tamiz, con una balanza que cumpla lo exigido anteriormente. El peso total del material después del tamizado, debe ser comparado con el peso original de la muestra que se ensayó. Si la cantidad difiere en más del 0.3%, basado en el peso de la muestra original seca, el resultado no debe ser aceptado.

#### **b.5) Cálculos**

Calcúlese el porcentaje que pasa, el porcentaje total retenido, o el porcentaje de las fracciones de varios tamaños, con una aproximación de 0.1%, con base en el peso total de la muestra inicial seca.

Tomando el material retenido en cada tamiz, se pesa y cada uno de estos pesos retenidos se expresa como porcentaje retenido del peso total de la muestra.

$$\text{Fórmula. \% Retenido} = \frac{\text{Peso de material retenido en tamiz} * 100}{\text{peso total de la muestra}} \dots(1)$$

Luego se van colocando los porcentajes retenidos acumulados. Se registra el porcentaje acumulado que pasa, que será simplemente:

$$\% \text{PASA} = 100 - \% \text{Retenido Acumulado} \dots(2)$$

Los resultados del análisis granulométrico también se pueden representar en forma gráfica y en tal caso se llaman curvas granulométricas. Esta curva deberá estar dentro de los límites establecidos en la norma.

### c) **Peso específico y absorción de agregados finos (MTC E 205 – 200 Y ASTM C 128)**

#### c.1) **Aparatos**

**Balanza**, con capacidad mínima de 1000 g y sensibilidad de 0.1 g.

**Matraz aforado o picnómetro**, donde se puede introducir la totalidad de la muestra y capaz de apreciar volúmenes con una exactitud de  $\pm 0.1 \text{ cm}^3$ . Su capacidad hasta el enrase será, como mínimo, un 50 por ciento mayor que el volumen ocupado por la muestra. Para los tamaños de agregados más finos puede emplearse un matraz aforado de  $500 \text{ cm}^3$  de capacidad, o un frasco de La Chatelier.

**Molde cónico**. Un tronco de cono recto, construido con una chapa metálica de 0.8 mm de espesor como mínimo, y de  $40 \pm 3 \text{ mm}$  de diámetro interior en su base menor,  $90 \pm 3 \text{ mm}$  de diámetro interior en una base mayor y  $75 \pm 3 \text{ mm}$  de altura.

**Varilla para apisonado**, metálica, recta, con un peso de  $340 \pm 15 \text{ g}$  y terminada por uno de sus extremos en una superficie circular plana para el apisonado, de  $25 \pm 3 \text{ mm}$  de diámetro.

**Bandejas de zinc**, de tamaño apropiado.

Un dispositivo que proporcione una corriente de aire caliente de velocidad moderada.

#### c.2) **Procedimiento**

Después de homogeneizar completamente la muestra y eliminar el material de tamaño superior a 4.75 mm (tamiz No. 4), se selecciona, por cuarteo, una cantidad



aproximada de 1 Kg., que se seca en el horno a 100 - 110 °C, se enfría luego al aire a la temperatura ambiente durante 1 a 3 horas. Una vez fría se pesa, repitiendo el secado hasta lograr peso constante. A continuación, se cubre la muestra completamente con agua y se la deja así sumergida durante  $24 \pm 4$  horas.

Después del período de inmersión, se decanta cuidadosamente el agua para evitar la pérdida de finos y se extiende la muestra sobre una bandeja, comenzando la operación de desecar la superficie de las partículas, dirigiendo sobre ella una corriente moderada de aire caliente, mientras se agita continuamente para que la desecación sea uniforme, y continuando el secado hasta que las partículas puedan fluir libremente.

Para fijar este punto, cuando se empiece a observar visualmente que se está aproximando el agregado a esta condición, se sujeta firmemente el molde cónico con su diámetro mayor apoyado sobre una superficie plana no absorbente, echando en su interior a través de un embudo y sin apelmazar, una cantidad de muestra suficiente, que se apisona ligeramente con 25 golpes de la varilla, levantando a continuación, con cuidado, verticalmente el molde. Si la superficie de las partículas conserva aún exceso de humedad, el cono de agregado mantendrá su forma original, por lo que se continuará agitando y secando la muestra, realizando frecuentemente la prueba del cono hasta que se produzca un primer desmoronamiento superficial, indicativo de que finalmente ha alcanzado el agregado la condición de superficie seca. El procedimiento descrito anteriormente solamente es válido cuando el desmoronamiento superficial no se produce en la primera prueba, por la falta de seguridad en el estado de humedad superficial que ello comportaría. En este caso, deberán añadirse al agregado algunos centímetros cúbicos de agua, mezclar completamente toda la muestra y dejarla tapada para evitar la evaporación durante una media hora. A continuación, se repiten de nuevo los procesos de secado y pruebas del cono, explicados anteriormente hasta determinar el estado correcto de saturado con superficie seca.

Inmediatamente, se introducen en el picnómetro previamente tarado, 500.0 g del agregado fino, preparado como se ha descrito anteriormente, y se le añade agua hasta aproximadamente un 90 por ciento de su capacidad; para eliminar el aire atrapado se rueda el picnómetro sobre una superficie plana, e incluso agitando o

invirtiéndolo si es preciso, introduciéndolo seguidamente en un baño de agua a una temperatura entre 21° y 25°C durante 1 hora, transcurrida la cual se enrasa con agua a igual temperatura, se saca del baño, se seca rápidamente su superficie y se determina su peso total (picnómetro, muestra y agua), con una aproximación de 0.1

Pueden emplearse cantidades de muestra inferiores a los 500 g especificados en el procedimiento general (aunque nunca menos de 50 g). En los casos en que se utilice una cantidad inferior a 500 g, los límites de exactitud para las pesadas y medidas deberán reducirse en las proporciones correspondientes. Si se desea, el peso de agua necesaria para el enrase final del picnómetro aforado puede determinarse volumétricamente con una bureta que aproxime 0.1 cm<sup>3</sup>. En estos casos, el peso total del picnómetro enrasado será:

$$C = 0.9975.Va + S + M \dots(1)$$

En la cual:

**C** = Peso total del picnómetro con muestra y agua hasta el enrase, en gramos.

**S** = Peso de la muestra saturada, con superficie seca, en gramos.

**Va** = Volumen de agua añadida, en cm<sup>3</sup>.

**M** = Peso del picnómetro vacío, en gramos.

Tomándose el valor 0.9975 como promedio del peso específico del agua en el intervalo de temperaturas utilizado.

Se saca el agregado fino del matraz y se deseca en el horno a 100 - 110 °C, hasta peso constante; se enfría al aire a temperatura ambiente durante 1 a 1-½ horas y se determina finalmente su peso seco.

Si no se conoce, se determinará el peso del picnómetro aforado lleno de agua hasta el enrase, sumergiéndolo en un baño de agua a la temperatura de ensayo y siguiendo en su determinación un procedimiento paralelo, respecto a tiempos de inmersión y pesadas, ya descrito anteriormente.

### **c.3) Resultados**

Llamando:

A = Peso al aire de la muestra desecada, en gramos.

B = Peso del picnómetro aforado lleno de agua, en gramos.

C = Peso total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua, en gramos.

S = Peso de la muestra saturada, con superficie seca en g.

Se calculan los pesos específicos aparente a 23/23 °C (73.4/73.4 °F), saturado superficie seca, así como la absorción, por las siguientes expresiones (se expresarán siempre las temperaturas a las cuales se hayan realizado las medidas):

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{B+S-C} \dots(2)$$

$$\text{Peso específico aparente (S. S. S.)} = \frac{A}{B+S-C} \dots(3)$$

$$\text{Peso especifica nominal} = \frac{A}{B+A-C} \dots (4)$$

$$\text{Absorción} = \frac{S-A}{A} \times 100 \dots(5)$$

Nota S.S.S. = Saturado con Superficie Seca

Cuando se usa el frasco de Le Chatelier:

R1 = Lectura inicial del nivel del agua en el frasco.

R2 = Lectura final del nivel del agua en el frasco.

S1 = Peso de la muestra saturada con superficie seca empleando el frasco de Le Chatelier (g).

Se tiene:

$$\text{Peso específico aparente a } 23/23 \text{ } ^\circ\text{C} = \frac{S_1(1[\frac{S-A}{A}])}{0.9975 (R_2-R_1)} \dots(6)$$

$$\text{Peso específico aparente (S. S. S.) a } 23/23 \text{ } ^\circ\text{C} = \frac{S_1}{0.9975 (R_2-R_1)} \dots(7)$$

#### c.4) Precisión

Se puede aplicar el siguiente criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados con un 95 por ciento de probabilidad.

Los ensayos por duplicado, realizados en un mismo laboratorio sobre una misma muestra, se considerarán satisfactorios si no difieren en más de las siguientes cantidades:

Para los pesos específicos: 0.03

Para la absorción (un solo operador): 0.45

Los ensayos realizados en un mismo laboratorio sobre una misma muestra, se considerarán satisfactorios si no difieren de su valor medio en más de las siguientes cantidades:

Para los pesos específicos:  $\pm 0.02$

Para la absorción (un solo operador):  $\pm 0.31$

**d) Peso específico y absorción de agregados gruesos (MTC E 206 – 2000, NTP 400.021, ASTM C 127 Y AASSHTO T 85)**

**d.1) Aparatos**

**Balanzas**, con capacidad igual o superior a 5000 g, según el tamaño máximo de la muestra para ensayo (Véase la tabla en el siguiente apartado), con sensibilidad de 0.5 g para pesos hasta de 5000 g, o 0.0001 veces el peso de la muestra, para pesos superiores.

**Canastillas metálicas**, como recipientes para las muestras en las pesadas sumergidas. Se dispondrá de dos tipos de canastillas metálicas, de aproximadamente igual base y altura, fabricadas con armazón de suficiente rigidez y paredes de tela metálica con malla de 3mm. Para agregados con tamaño máximo inferior a 38 mm (1 ½") se utilizarán canastillas con capacidades de 4 a 7 dm<sup>3</sup> y para tamaños superiores canastillas con capacidades de 8 a 16 dm<sup>3</sup> (litros).

**Dispositivo de suspensión**, se utilizará cualquier dispositivo que permita suspender las canastillas de la balanza, una vez sumergida.

**d.2) Preparación de la muestra**

Se comienza por mezclar completamente los agregados, cuarteándolos a continuación, hasta obtener aproximadamente la cantidad mínima necesaria para el ensayo, después de eliminar el material inferior a 4.75 mm. Las cantidades mínimas para ensayo se indican en la siguiente tabla, en función del tamaño máximo nominal del agregado.

Ταβλα 12. Χαντιδαδ μί νιμα δε λα μνεστρα

Tamaño máximo nominal		Cantidad mínima de muestra
mm	(pulg)	Kg
Hasta 12.5	1/2	2
19.0	3/4	3
25.0	1	4
37.5	1 1/2	5
50.0	2	8
63.0	2 1/2	12
75.0	3	18
90.0	3 1/2	25

Fuente: MTC E 206 – 2000, NTP 400.021, ASTM C 127 Y AASSHTO T85

Si se desea, puede fraccionarse la muestra y ensayar separadamente cada una de las fracciones; cuando la muestra contenga más de un 15 por ciento retenido en el tamiz de 38.10 mm (1 ½ "), se separará entonces siempre por este tamiz al menos en dos fracciones. Cuando se fracciona la muestra, las cantidades mínimas para ensayo de cada fracción se ajustarán, según su tamaño máximo particular a lo indicado en la tabla.

### d.3) Procedimiento

La muestra se lava inicialmente con agua hasta eliminar completamente el polvo u otras sustancias extrañas adheridas a la superficie de las partículas; se seca a continuación en una estufa a  $100^{\circ}$  -  $110^{\circ}$  °C y se enfría al aire a la temperatura ambiente durante 1 a 3 horas. Una vez fría se pesa, repitiendo el secado hasta lograr peso constante, y se sumerge en agua, también a temperatura ambiente, durante  $24 \pm 4$  horas.

Después del período de inmersión, se saca la muestra del agua y se secan las partículas rodándolas sobre un pifio absorbente de gran tamaño, hasta que se elimine el agua superficial visible, secando individualmente los fragmentos mayores. Se tomarán las precauciones necesarias para evitar cualquier evaporación de la superficie de los agregados. A continuación, se determina el peso de la muestra en el estado de saturada con superficie seca (S.S.S.). Estas y todas las pesadas subsiguientes se realizarán con una aproximación de 0.5 g para pesos hasta 5000 g y de 0.0001 veces el peso de la muestra para pesos superiores.

A continuación, se coloca la muestra en el interior de la canastilla metálica y se determina su peso sumergida en el agua, a la temperatura entre  $21^{\circ}$  y  $25^{\circ}$  °C y un peso unitario de  $0.997 \pm 0.002$  g/cm<sup>3</sup>. Se tomarán las precauciones necesarias para evitar la inclusión de aire en la muestra sumergida agitando convenientemente. La canastilla y la muestra deberán quedar completamente sumergidas durante la pesada y el hilo de suspensión será lo más delgado posible para que su inmersión no afecte a las pesadas.

Se seca entonces la muestra en horno a  $100^{\circ}$  -  $110^{\circ}$  °C, se enfría al aire a la temperatura ambiente durante 1 a 3 horas y se determina su peso seco hasta peso constante.

#### **d.4) Resultados**

Llamando:

A = Peso en el aire de la muestra seca en gramos.

B = Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca, en gramos.

C = Peso sumergido en agua de la muestra saturada, en gramos.

Se calculan los pesos específicos aparente, saturado con superficie seca y nominal, así como la absorción, por medio de las siguientes formulas:

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{B-C} \dots\dots(1)$$

$$\text{Peso específico aparente (S. S. S.)} = \frac{A}{B-C} \dots\dots(2)$$

$$\text{Peso específica nominal} = \frac{A}{A-C} \dots\dots(3)$$

$$\text{Absorción} = \frac{B-A}{A} \times 100 \dots\dots(4)$$

Nota S.S.S. = Saturado con Superficie Seca

Se expresarán siempre las temperaturas a las que se hayan determinado los pesos.

Cuando se divide la muestra total para ensayo en fracciones más pequeñas se ensayarán por separado cada una de las fracciones, calculándose sus respectivos pesos específicos y absorción a partir de las formulas anteriores.

Para obtener el verdadero valor, tanto del peso específico como de la absorción, correspondientes a la mezcla total (n fracciones), se aplican las expresiones:

$$G_{pr} = \frac{1}{\frac{P_1}{100G_1} + \frac{P_2}{100G_2} + \frac{P_n}{100G_n}} \dots\dots (5)$$

$$A = \frac{P_1A_1}{100} + \frac{P_2A_2}{100} + \frac{P_nA_n}{100} \dots\dots(6)$$

Dónde:

P1, P2... Pn= Porcentajes respectivos del peso de cada fracción con respecto al peso total de la muestra.

G1, G2... Gn= Pesos específicos (aparente, saturado con superficie seca o real, el que se esté calculando) de cada fracción de la muestra total.

A1, A2... An= Porcentajes de absorción de cada fracción de la muestra total.

Gp= Verdadero valor del peso específico correspondiente (aparente, saturado superficie seca o real) a la muestra total.

A= Valor del porcentaje de absorción de la muestra total.

#### **d.5) Precisión**

Puede seguirse el siguiente criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados con un 95 % de probabilidad.

Los ensayos por duplicado realizados en un mismo laboratorio sobre una misma muestra, se considerarán satisfactorios si no difieren en más de las siguientes cantidades:

Para los Pesos Específicos  $\pm 0.01$

Para la Absorción  $\pm 0.13$

Los ensayos realizados en un mismo laboratorio sobre una misma muestra, se considerarán satisfactorios si no difieren de su valor medio en más de las siguientes cantidades:

Para los pesos específicos:  $\pm 0.01$

Para la absorción (un solo operador):  $\pm 0.09$

**e) Abrasión Los Ángeles (L.A.) al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm – 1 ½” (MTC E 207 – 2000, ASTM C 131, AASHTO T 96)**

**e.1) Aparatos y Materiales**

**Balanza**, que permita la determinación del peso con aproximación de 1 g.

**Estufa**, que pueda mantener una temperatura uniforme de  $110 \pm 5$  °C.

Tamices.

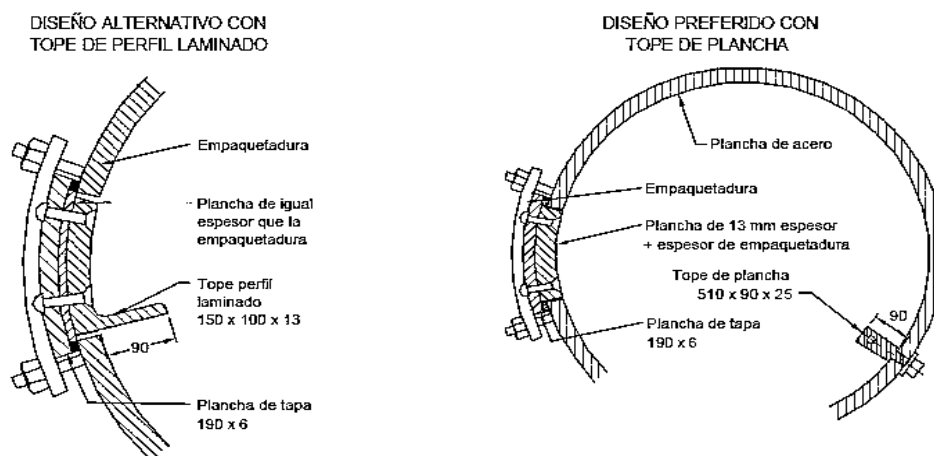
**Máquina de Los Ángeles**, la máquina para el ensayo de desgaste de Los Ángeles. Consiste en un cilindro hueco, de acero, con una longitud interior de  $508 \pm 5$  mm ( $20 \pm 0.2$ ”) y un diámetro, también interior, de  $711 \pm 5$  mm ( $28 \pm 0.2$ ”). Dicho cilindro lleva sus extremos cerrados y en el centro de cada extremo un eje, que no penetra en su interior, quedando el cilindro montado de modo que pueda girar en posición horizontal alrededor de este eje. El cilindro estará provisto de una abertura, para introducir la muestra que se desea ensayar, y un entrepaño, para conseguir la rotación de la mezcla y de la carga abrasiva. La abertura podrá cerrarse por medio de una tapa con empaquetadura que impida la salida del polvo, fijada por medio de pernos, la tapa se diseñará de manera tal que se mantenga el contorno cilíndrico interior. El entrepaño se coloca de modo que la carga no caiga sobre la tapa durante el ensayo, ni se ponga en contacto con ella en ningún momento. El entrepaño será desmontable, de acero, ocupando longitudinalmente toda una generatriz del cilindro y se proyectará

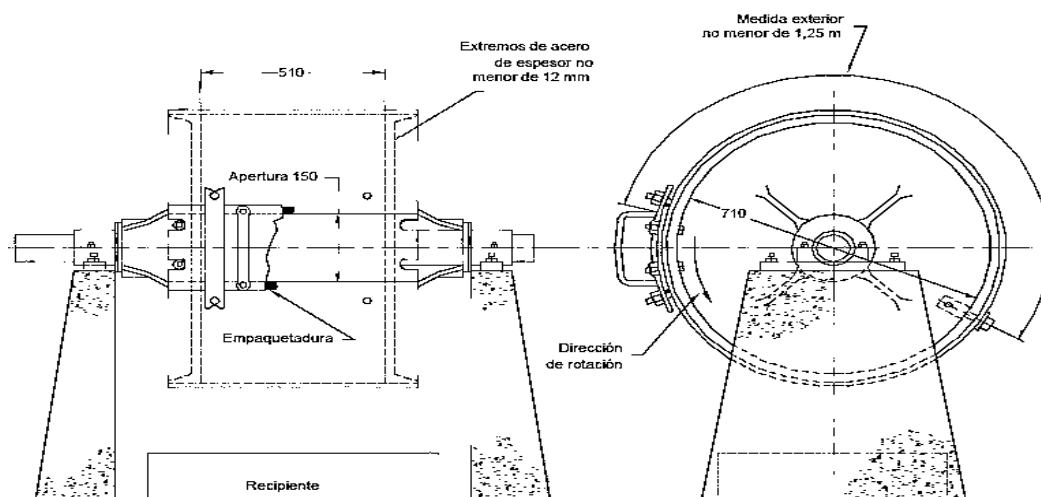


radialmente, y hacia el centro de la sección circular del cilindro, en longitud de  $89 \pm 2$  mm ( $3.5 \pm 0.1$ " ). Tendrá un espesor tal que permita montarlo por medio de pernos u otro medio apropiado de forma que quede instalado de un modo firme y rígido. La distancia del entrepaño a la abertura, medida a lo largo de la circunferencia del cilindro y en el sentido de la rotación, será mayor de 1.27 m (50").

La superficie del entrepaño de la máquina de Los Ángeles está sometida a un fuerte desgaste y al impacto de las bolas, originándose en ella un relieve a una distancia aproximadamente de 32 mm (1 1/4") desde la unión del entrepaño con la superficie interior del cilindro. Si el entrepaño está hecho de una sección angular, no solamente puede formarse este relieve, sino que aquél se puede llegar a doblar longitudinal o transversalmente y con respecto a su correcta disposición, por lo cual debe ser revisado periódicamente. Si se observa alguno de estos defectos, el entrepaño debe ser reparado o reemplazado antes de realizar nuevos ensayos. La influencia de todos estos factores sobre los resultados del ensayo no es conocida; sin embargo, para uniformar las condiciones de ensayo se recomienda eliminar el relieve formado cuando su altura sea superior a 2 mm (0.1").

Φιγυρα 02: Μ(θυινας παρα ελ ενσαγο δε αβρασι Γν





Fuente: MTC E 207 – 2000, ASTM C 131, AASHTO T 96

La máquina será accionada y contrabalanceada en forma tal, que debe mantener la velocidad periférica básicamente uniforme.

La pérdida de velocidad y el deslizamiento del mecanismo de transmisión son causa frecuente de que los resultados del ensayo no coincidan con los obtenidos en otra máquina de desgaste de Los Ángeles con velocidad periférica constante.

Carga abrasiva, la carga abrasiva consistirá en esferas de acero o de fundición, de un diámetro entre 46.38 mm (1 13/16") y 47.63 mm (1 7/8") y un peso comprendido entre 390g y 445g. La carga abrasiva dependerá de la granulometría de ensayo, A, B, C o D, según se indica en la preparación de la muestra, de acuerdo con la siguiente tabla N° 19: La carga abrasiva dependerá de la granulometría de ensayo, A, B, C o D.

Ταβλα 13: πεσο προμεδιο δε λασ εσφερασ

Granulometría de ensayo	Número de esferas	Peso total g
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: MTC E 207 – 2000, ASTM C 131, AASHTO T 96

### e.2) Preparación de la muestra

La muestra consistirá en agregado limpio por lavado y secado en horno a una temperatura constante comprendida entre 105 y 110 °C (221 a 230°F), separada por fracciones de cada tamaño y recombinadas con una de las granulometrías indicadas en la siguiente tabla. La granulometría o granulometrías elegidas serán representativas del agregado tal y como va a ser utilizado en la obra. La muestra antes de ensayada deberá ser pesada con aproximación de 1 g.

Ταβλα 14: Πεσο ψ γρανυλομετρία δε λα μυεστρα ενσαψοσ

Pasa tamiz		Retenido en tamiz		Pesos y granulometrías de la muestra para ensayos (g)			
mm	(alt.)	mm	(alt.)	A	B	C	D
37.5	(1 1/2")	-25.0	(1")	1250 ± 25			
25.0	(1")	-19.0	(3/4")	1250 ± 25			
19.0	(3/4")	-12.5	(1/2")	1250 ± 10	2500 ± 10		
12.5	(1/2")	-9.5	(3/8")	1250 ± 10	2500 ± 10		
9.5	(3/8")	-6.3	(1 1/4")			2500 ± 10	
6.3	(1 1/4")	-4.75	(Nº 4)			2500 ± 10	
4.8	(Nº 4)	-2.36	(Nº 8)				5000 ± 10
TOTALES				5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: MTC E 207 – 2000, ASTM C 131, AASHTO T 96

Cuando se triture la muestra en el laboratorio, se hará constar esto en el informe, debido a la influencia que tiene la forma de las partículas en el resultado del ensayo.

### e.3) Procedimiento

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 y 33

rpm; el número total de vueltas deberá ser 500.

La máquina deberá girar de manera uniforme para mantener una velocidad periférica prácticamente constante. Una vez cumplido el número de vueltas prescrito, se descarga el material del cilindro y se procede con una separación preliminar de la muestra ensayada, en el tamiz # 12. La fracción fina que pasa, se tamiza a continuación empleando el tamiz de 1.70 mm (Nº 12). El material más grueso que el tamiz de 1.70 mm (No. 12) se lava, se seca en el horno, a una temperatura comprendida entre 105 a 110 °C (221 a 230 °F), hasta peso constante, y se pesa con precisión de 1 g.

Cuando el agregado esté libre de costras o de polvo, puede eliminarse la exigencia del lavarlo antes y después del ensayo. La eliminación del lavado posterior, rara vez reducirá la pérdida medida, en más del 0.2% del peso de la muestra original.

#### **e.4) Resultados**

El resultado del ensayo es la diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra ensayada, expresado como tanto por ciento del peso original.

El resultado del ensayo (% desgaste) recibe el nombre de coeficiente de desgaste de Los Ángeles. Calcúlese tal valor así:

$$\% \text{ Desgaste} = 100(P_1 - P_2)/P_1 \dots (1)$$

$P_1$  = Peso muestra seca antes del ensayo.

$P_2$  = Peso muestra seca después del ensayo, previo lavado sobre tamiz de 1.70 mm (Nº 12).

#### **e.5) Precisión**

Para agregados con tamaño máximo nominal de 19 mm ( $\frac{3}{4}$ " ), con porcentajes de pérdida entre 10 y 45%, el coeficiente de variación entre resultados de varios laboratorios, es del 4.5%. Entonces resultados de dos ensayos bien ejecutados, por dos laboratorios diferentes, sobre muestras del mismo agregado grueso, no deberán diferir el uno del otro en más del 12.7% de su promedio.

El coeficiente de variación de operadores individuales, se encontró que es del 2%. Entonces, los resultados de dos ensayos bien ejecutados sobre el mismo agregado grueso, no deberán diferir, e uno del otro, en más del 5.7% de su promedio.

## **f) Peso unitario y vacíos de los agregados. (MTC E 203 – 2000)**

### **f.1) Objeto**

Establecer el método para determinar el peso unitario suelto o compacta y el porcentaje de los vacíos de los agregados, ya sean finos, gruesos o una mezcla de ambos.

### **f.2) Aparatos**

**Balanza.** Debe medir con una exactitud de 0.1% con respecto al material usado.

**Varilla compactadora de acero:** cilíndrica, de 16 mm ( 5 /8") de diámetro, con una longitud aproximada de 600 mm (24"). Un extremo debe ser semiesférico y de 8 mm de radio (5 /16").

**Recipientes.** De medida, metálicos, cilíndricos, preferiblemente provistos de agarraderas, a prueba de agua, con el fondo y bordes superiores pulidos, planos y suficientemente rígidos, para no deformarse bajo duras condiciones de trabajo. Los recipientes de 15 a 30 litros deben ir reforzados en su boca con una banda de acero de 40 mm de ancho. La capacidad del recipiente utilizado en el ensayo depende del tamaño máximo de las partículas del agregado que se va a medir, de acuerdo con los límites establecidos en la Tabla N° 1.

El espesor del metal se indica en la tabla N° 2. El borde superior será pulido plano dentro de 0,25 mm y paralelo al fondo dentro de 0,5%. La pared interior deberá ser pulida y continua.

### **f.3) Peso unitario compactado del agregado**

**Método del apisonado.** Para agregados de tamaño nominal menor o igual que 39 mm (1 1/2").

El agregado debe colocarse en el recipiente, en tres capas de igual volumen aproximadamente, hasta colmarlo.

Cada una de las capas se empareja con la mano y se apisona con 25 golpes de varilla, distribuidos uniformemente en cada capa, utilizando el extremo semiesférico de la varilla

Al apisonar la primera capa, debe evitarse que la varilla golpee el fondo del recipiente. Al apisonar las capas superiores, se aplica la fuerza necesaria para que la varilla solamente atraviese la respectiva capa.

Una vez colmado el recipiente, se enrasa la superficie con la varilla, usándola como regla, y se determina el peso del recipiente lleno, en kg (lb).

**Método del vibrado.** Para agregados de tamaño nominal, comprendido entre 39 mm (1 ½") y 100 mm (4").

El agregado debe colocarse en el recipiente, en tres capas de igual volumen aproximadamente, hasta colmarlo.

Cada una de las capas se compacta del siguiente modo: se coloca el recipiente sobre una base firme y se inclina, hasta que el borde opuesto al punto de apoyo, diste unos 50 mm (2") de la base. Luego se suelta, con lo que se produce un golpe seco y se repite la operación inclinando el recipiente por el borde opuesto. Estos golpes alternados se ejecutan 25 veces de cada lado, de modo que el número total sea 50 para cada capa y 150 para todo el conjunto.

Una vez compactada la última capa, se enrasa la superficie del agregado con una regla o con la mano, de modo que las partes salientes se compensen con las depresiones en relación con el plano de enrase, y se determina el peso en kg (lb) del recipiente lleno.

**Método de llenado con palas, lampas, cucharas grandes. Para determinar el peso unitario del agregado suelto, para agregados de tamaño nominal hasta de 100 mm (4")**

Se llena el recipiente por medio de una herramienta, de modo que el agregado se descargue de una altura no mayor de 50 mm (2"), por encima del borde hasta colmarlo. Se debe tener cuidado de que no se segreguen las partículas de las cuales se compone la muestra.

Se enrasa la superficie del agregado con una regla o con la mano, de modo que las partes salientes se compensen con las depresiones en relación con el plano de enrase y se determina el peso en kg (lb), del recipiente lleno.

## **g) Chatas y alargadas (NTP 4000.040 - ASTM D-4791)**

### **g.1) Definiciones**

Particular Chatas o Alargadas: Son aquellas partículas que tienen una relación de ancho a espesor o largo a ancho, mayor que un valor especificado.

### **g.2) Resumen del método**

Partículas individuales de agregado grueso de tamaño determinado por tamizado, son medidas para establecer las relaciones entre su ancho a espesor y su largo a ancho.

### **g.3) Significado y uso**

Las partículas chatas o alargadas pueden interferir con la consolidación y dificultar la colocación de los materiales.

Este método provee el medio para verificar si se cumple con las especificaciones que limitan tales partículas o, para determinar la forma característica del agregado grueso.

### **g.4) Aparatos**

El aparato utilizado será un equipo apropiado para ensayar las partículas de agregado para cumplir con las relaciones descritas en el capítulo 3.

Calibre Proporcional: (Tipo "PASA NO PASA"): El dispositivo mostrado en los anexos A y B es el utilizable para el método de ensayo. Consiste en una base plana con dos postes fijos y un brazo giratorio entre ellos de tal modo que las distancias entre los extremos del brazo y los postes, mantengan una relación constante. La posición del eje de giro del brazo, puede ser cambiada para dar diferentes relaciones entre las distancias. Figura n° 01 ilustrada un dispositivo que puede fijarse para la relación 1:1, 1:3 y 1:5.

Balanza: con exactitud a 0.5 % del peso de la muestra.

### g.5) Muestreo

La muestra de los agregados de efectuará de acuerdo con Norma NTP 4000.010.

La muestra total de la muestra y reducir a una cantidad apropiada para cuarteo según NTP 4000.010.

La cantidad de agregados no será de un peso predeterminado sino del resultado del cuarteo, una vez secado y conformará los minutos requeridos de acuerdo con lo indicado en la tabla N° 23:

Ταβλα 15: πεσο μί νιμο δε λα μυεστρα. Χηατασ ψ αλαργαδασ

tamaño máximo nominal malla cuadrada mm - (Pulg)	Peso mínimo de la muestra de ensayo kg - (lb)
9.5 - (3/8")	1 - (2)
12.5 - (1/2")	2 - (4)
19 - (3/4")	5 - (11)
25 - (1")	10 - (22)
37.5 - (1 1/2")	15 - (33)
50 - (2")	20 - (44)
63 - (2 1/2")	35 - (77)
75 - (3")	60 - (130)
90 - (3 1/2")	100 - (220)
100 - (4")	150 - (330)
112 - (4 1/2")	200 - (440)
125 - (5")	300 - (660)
150 - (6")	500 - (1100)

Fuente: NTP 4000.040 - ASTM D-4791

### g.6) Procedimiento

Si se requiere determinación por peso, secar la muestra al homo a peso



constante a la temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Si la determinación es por número de partículas, el secado no es necesario.

Tamizar la muestra conforme a lo especificado en la NTP 400.012. Reduzca cada fracción mayor a 9,5 mm (3/8 Pulg) en un 10 % o más de su peso original, conforme a la NTP 400.010, hasta obtener aproximadamente 100 partículas.

Ensayar cada partícula de cada fracción medida y colocarlas en uno de los tres grupos: 1) chatas, 2) alargadas y 3) ni chatas ni alargadas.

Utilizar el calibre mostrado en el anexo B como sigue:

**Ensayo de Partículas Chatas:** Ajustar la abertura entre el brazo mayor y el poste, al ancho de la partícula. La partícula es chata si su espesor pasa por la abertura menor. (Figura 2-a)

**Ensayo de Partículas Alargadas:** Ajustar la abertura mayor a la longitud de la partícula. La partícula es alargada si su ancho pasa por la abertura menor. (Figura 2-b)

Luego de la clasificación en los grupos descritos en el apartado 8.3, determinar la proporción de la muestra por cada grupo, ya sea por peso o por conteo, de acuerdo a lo requerido.

### **g.7) Cálculo**

Calcular el porcentaje de partículas chatas y alargadas, con aproximación al 1 % para cada malla mayor de 9,5 mm (3/8 Pulg).

Cuando se requiera el promedio de partículas chatas y alargadas de alguna muestra, asumir que es medida de malla no ensayada (aquella que representa menos del 10 % de la muestra) tiene el mismo porcentaje de partículas chatas y alargadas que la siguiente malla menor o la siguiente malla mayor, o utilizar el promedio de ambas mallas dado el caso.

### **g.8) Reporte**

Incluir la siguiente información:

Identificación de Agregado.

Gradación de la muestra, indicando los porcentajes retenidos en cada malla.

Numero de partículas ensayadas en cada malla.

Porcentaje calculado por número o por peso de a) Partículas Chatas, b) Partículas Alargadas y c) Total de partículas Chatas y Alargadas por cada malla ensayada.

Relación dimensional utilizada para el ensayo.

Cuando se solicite porcentajes promedio de peso basados en las proporciones reales asumidas de las diferentes mallas ensayadas. Reportar la gradación utilizada para el promedio de los pesos si difieren de 10.1.2.

### **g.9) Precisión y Desviación**

Precisión: Se determinará por experimentación.

Desviación: No se establecerá mientras no se acepte un agregado de referencia adecuado para esta determinación.

### **h) Cantidad de material fino que pasa por el tamiz N° 200 (MTC E 202 – 2000 Y ASTM C 117)**

#### **h.1) Aparatos**

**Balanza**, con sensibilidad de por lo menos 0.1% del peso de la muestra que se va a ensayar.

**Dos tamices**, siendo el menor de 75 mm (No. 200) y el otro de 1.18 mm (No. 16).

**Recipientes**. Una vasija de tamaño suficiente para mantener la muestra cubierta con agua y que permita una agitación vigorosa sin pérdida de ninguna partícula o del agua.

**Estufa**, de tamaño adecuado y capaz de mantener una temperatura constante y uniforme de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

#### **h.2) Procedimiento**

Séquese la muestra de ensayo, hasta peso constante, a una temperatura que no exceda los  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  y pésese con una precisión de 0.1%.

Después de secada y pesada, colóquese la muestra de ensayo en el recipiente y agréguese suficiente cantidad de agua para cubrirla. Agítese vigorosamente el contenido del recipiente y de inmediato viértase sobre el juego de tamices armado.

Se considera satisfactorio el uso de una cuchara grande para agitar la muestra en el agua.

Agítese con suficiente vigor para lograr la separación total de todas las partículas más finas que el tamiz de 75 mm (No. 200) y provocar la suspensión del material fino, de manera que pueda ser removido por decantación del agua de lavado. Es conveniente tener el cuidado necesario para no arrastrar las partículas más gruesas. Repítase esta operación hasta que el agua de lavado salga completamente limpia.

Devuélvase todo el material retenido en el juego de tamices a la muestra lavada. Séquese el agregado lavado hasta obtener un peso constante, a una temperatura que no exceda de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$  y pésese con una aproximación de 0.1% del peso de la muestra.

**Nota 1.** El agua empleada no debe contener detergentes, agentes dispersantes u otras sustancias de ese tipo.

**Nota 2.** Si se emplea equipo de lavado mecánico, la adición de agua, la agitación y la decantación pueden constituir un proceso continuo.

### **h.3) Cálculos**

Calcúlese la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 mm (Nº 200), por lavado, de la siguiente forma:

$$A = \frac{B-C}{B} \times 100 \dots(1)$$

Siendo:

A = Porcentaje del material fino que pasa el tamiz de 75 mm (Nº 200) por lavado.

B = Peso original de la muestra seca, en gramos.

C = Peso de la muestra seca, después de lavada, en gramos.

### **h.4) Verificación**

Cuando se desee hacer una verificación, se hará recogiendo y evaporando el agua de lavado, o pasándola por papel de filtro, el cual será subsecuentemente secado, el residuo pesado y el porcentaje calculado como sigue:

$$A = \frac{R}{B} \times 100 \dots(2)$$

Siendo:

R = Peso del residuo seco en gramos.

### 3.6.3.2. Diseñar la mezcla asfáltica en frío

#### a) Diseño de mezcla asfáltica en frío utilizando el método de áreas equivalentes.

Para este método tendremos como guía un diseño echo por la municipalidad provincial de Tacna en lo que usaremos como guía del método.

##### a.1) Proporción de los agregados

Los agregados se secarán a temperatura ambiente y se separarán por tamizado en los tamaños deseados. La combinación en proporciones aproximadas de los agregados donde debe dar como resultado una granulometría que se encuentre dentro de los rangos especificados por la siguiente tabla de acuerdo al MTC.

Ταβλα 16: Γραδαχιονες παρα μεζχλασ δενσασ εν φριο

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA		
Normal	Altemo	MDF-1	MDF-2	MDF-3
7,5mm	1 1/2"	100	-	-
25,0 mm	1"	80-95	100	-
19,0 mm	3/4"	-	80-95	100
12,5 mm	1/2"	62-77	-	-
9,5 mm	3/8"	-	60-75	-
4,75 mm	N.º 4	45-60	47-62	50-65
2,36 mm	N.º 8	35-50	35-50	35-50
300 μm	N.º 50	13-23	13-23	13-23
75 μm	N.º 200	3-8	3-8	3-8

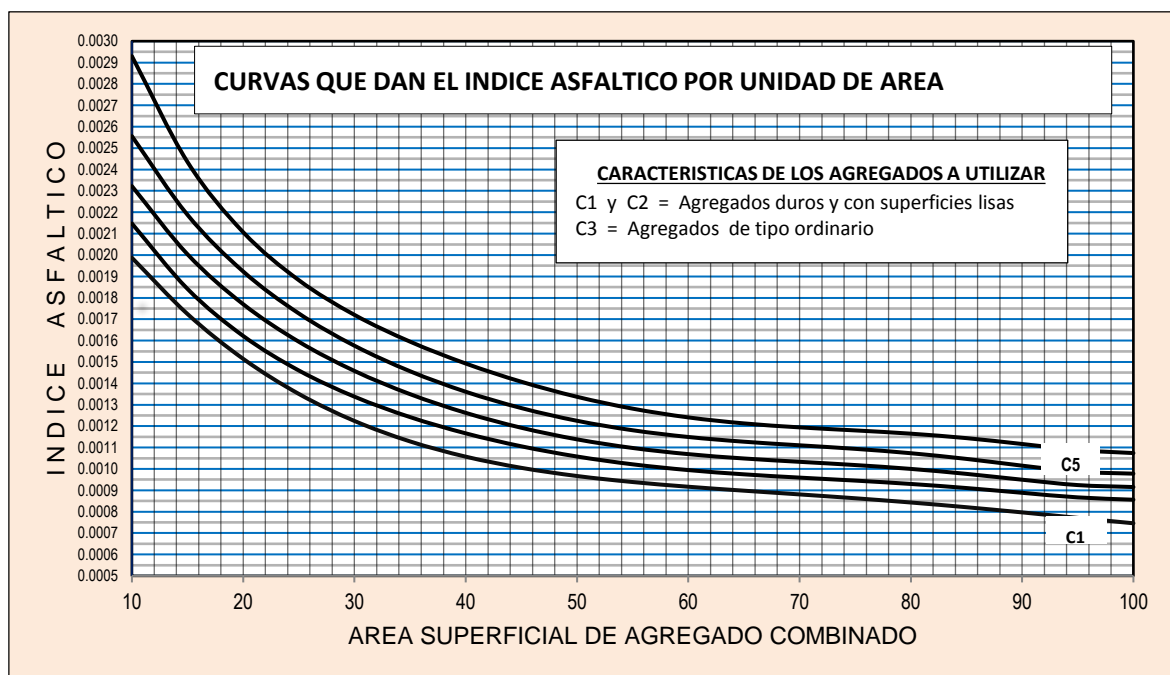
Fuente: MTC (EG-2014)

## a.2) Contenido óptimo de asfalto

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

Este se calcula de acuerdo a los pesos específicos de la combinación de agregados está en un rango entre 4% \_ 6% esto dependerá mucho de la calidad de los agregados tanto en su forma textura este se puede obtener mediante un ábaco y así tener el índice de asfalto de acuerdo a al área superficial de combinación de agregados como se adjunta a continuación:

Φιγυρα 03: Χυρπασ θυε δαν ελ νδιχε ασφαλτιχο πορ υνιδαδ δε κρεα



Fuente: Asphalt Institute (ms – 22)

De acuerdo a la granulometría de los agregados se prepara una serie de tres especímenes, por lo menos según lo obtenido y se calcula su estabilidad y flujo obteniendo un promedio y comparando con los rangos según norma: MTC.

Ταβλα 17: Ρεθυισιτοσ παρα μεζχλα δε χονχρετο βιτυμινοσο

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8,15 kN	5,44 kN	4,53 kN
3. Flujo 0,01* (0,25 mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E505)	3-5	3-5	3-5
5. Vacíos en el agregado mineral	Ver Tabla 423-10		
<b>Inmersión – Compresión (MTC E 518)</b>			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación Polvo – Asfalto (2)	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm) (3)	1.700-4.000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 Mín.		

Fuente: MTC (EG-2014)

Ταβλα 18: Χριτεριοσ δε δισηο δε μεζχλα δε αγρεγαδοσ □ εμυλισι Γν Ασφλτιχα

Propiedades de los Ensayos	Mínimo	Máximo
Estabilidad, N (lb) a 22.2° C (72° F) Mezclas para pavimentos	2224 (500)	-
Porcentaje de Perdida de estabilidad Después de saturación de vacíos e inmersión	-	50
Agregado para recubrimiento	50	-

Fuente: MTC (EG-2014)

### **3.6.3.3. Elaborar la mezcla asfáltica con fibra de polietileno añadido**

Se elaboran mezclas asfálticas en frío con diferente porcentaje de fibra de polietileno y distinto tipo de tránsito.

De acuerdo a la granulometría se prepara una serie de tres especímenes, por lo menos, según lo obtenido y se calcula su estabilidad y flujo.

Se pesa para cada espécimen de ensayo la cantidad de agregado en el recipiente donde se va a efectuar la mezcla, se agita la mezcla de áridos y se forma una cavidad. Se añade la cantidad necesaria de emulsión ya sea el caso deseado y se mezcla bien hasta conseguir una muestra homogénea luego se procede a mezclar colocando la fibra de polietileno. Es conveniente mantener lo más exacto posible la temperatura para distintas amasadas en el momento de la compactación de la mezcla asfáltica en frío, de esta manera se aseguran resultados uniformes.

Colocando el molde de compactación sobre la mesa de trabajo se coloca un disco de papel filtro o estraza de 10 cm de diámetro sobre la superficie de la base del molde. Esta labor también se puede desarrollar sobre la base de compactación.

Se coloca la mezcla dentro del molde por medio de una espátula, evitando segregaciones del material. Se chucea la mezcla 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces sobre el interior, dando al final una forma redondeada a la superficie, colocándose sobre ella un disco de papel filtro.

Se traslada el molde con la mezcla a la base de compactación y se le aplica el número de golpes especificado con el martillo de compactación, debiéndose mantener el eje del martillo de compactación perpendicular a la base del molde durante la compactación.

Después de apisonar la primera cara, se desmonta el collar y se aplica el mismo número de golpes de compactación al reverso de la cara del espécimen. Se aplican 35 golpes por cara en la compactación de la mezcla proyectada para tráfico liviano, 50 golpes por cara en la compactación de la mezcla proyectada para tráfico medio y 75 golpes para tráfico pesado. En esta tesis la mezcla asfáltica se diseñó para los tres tipos de tráfico. Si bien es cierto que las mezclas con asfaltos diluidos o emulsionados son aplicables únicamente para un tráfico bajo y/o mediano (para el caso de carpetas asfálticas), se ha visto conveniente diseñar para un tráfico pesado



por ser ésta la condición más exigente que permita verificar si los resultados cumplen o no con las especificaciones para este caso.

Después de la compactación, se dejan que enfríen las briquetas en los moldes a temperatura ambiente durante toda la noche.

Se remueve la base y se coloca el molde y el collar sobre el extractor de muestras: Se coloca el molde con el collar de extensión hacia arriba en la máquina de ensayo, se aplica presión y se fuerza el espécimen dentro del collar de extensión y se levanta el collar del espécimen. Se transfiere cuidadosamente la briqueta a una superficie plana y se verifica su identificación. Lo mismo se hace con todas las briquetas.

#### **3.6.3.4. Obtener las características de mezclas asfálticas en frío**

##### **a) Ensayo de estabilidad y flujo empleando el aparato Marshall (MTC E 504, ASTM D 1559, AASHTO T 245)**

Colóquense las muestras preparadas con cemento asfáltico o con alquitrán a la temperatura especificada para inmersión en un baño de agua durante 30 o 40 minutos o en el horno durante 2 horas. Manténgase en el baño o el horno a  $60^{\circ} + 1^{\circ}\text{C}$  ( $140^{\circ} + 1.8^{\circ}\text{F}$ ) para las muestras de cemento asfáltico y a  $37.80^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$ . las muestras preparadas con asfalto líquido a la temperatura especificada en la cámara de aire por un mínimo de 2 horas. Manténgase la temperatura de la cámara a  $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  ( $77^{\circ} + 1.8^{\circ}\text{F}$ ).

Límpiese perfectamente las barras guías y las superficies interiores del molde de ensayo antes de la ejecución de este, y lubríquense las barras guías de tal manera que el segmento superior de la mordaza se deslice libremente. La temperatura del molde de ensayo deberá mantenerse entre  $21.1^{\circ}\text{C}$  y  $37.8^{\circ}\text{C}$  ( $70^{\circ}\text{F}$  y  $100^{\circ}\text{F}$ ) empleando un baño de agua cuando sea necesario.

Retírese la probeta del baño de agua, horno o cámara de aire y colóquese centrada en el segmento inferior de la mordaza; se monta el segmento superior con el medidor de deformación y el conjunto se sitúa centrado en la prensa.

Colóquese el medidor de flujo, en su posición de uso sobre una de las barras -



guía y ajústese a cero, mientras se mantiene firmemente contra el segmento superior de la mordaza.

Manténgase el vástago del medidor de flujo firmemente en contacto con el segmento superior de la mordaza mientras se aplica la carga durante el ensayo.

Aplicábase entonces la carga sobre la briqueta con una prensa o gato de carga con cabeza de diámetro mínimo de 50.8 mm (2") a una razón de deformación constante de 50.8 mm (2") por minuto, hasta que ocurra la falla, es decir cuando se alcanza la máxima carga y luego disminuye según se lea en el dial respectivo.

Anótese este valor máximo de carga y, si es del caso, hágase la conversión. El valor total en newtons (libras) que se necesite para producir la falla de la muestra se registrar como su valor de estabilidad Marshall.

Como se dijo antes, mientras se efectúa el ensayo de estabilidad deberá mantenerse el medidor de flujo firmemente en posición sobre la barra - guía; libérese cuando comience a decrecer la carga y anotar la lectura. Este será el valor del "flujo" para la muestra, expresado en 0.25 mm (1/100"). Por ejemplo, si la muestra se deformó 3.8 mm (0.15") el valor del flujo será de 15. Este valor expresa la disminución de diámetro que sufre la probeta entre la carga cero y el instante de la rotura. El procedimiento completo, a partir de la sacada de la probeta del baño de agua, deberá realizarse en un periodo no mayor de 30 segundos.

**b) Ensayo Gravedad específica aparente y Peso unitario de mezclas asfálticas compactadas empleando especímenes parafinados (MTC E 506 – 2000, ASTM D 1188, AASHTO T 275)**

**b.1) Aparatos**

**Balanza**, con capacidad adecuada y sensibilidad suficiente para que los pesos específicos aparentes de los especímenes puedan calcularse al menos con tres cifras significativas. Deberá estar provista de un dispositivo que permita pesar el espécimen, cuando está suspendido en agua. Balanzas con sensibilidad de 0.1 g.

Baño de agua para inmersión del espécimen, mientras esté suspendido de la balanza, provisto con un rebosadero para mantener el agua a un nivel constante.

## b.2) Procedimiento

**Peso de los especímenes sin recubrimiento**, determinar el peso de la muestra, después que haya sido secada bajo un ventilador hasta obtener un peso constante llámese “A” a este peso.

**Peso al aire de los especímenes con recubrimiento**, cúbrase toda la superficie del espécimen de ensayo con parafina derretida en una capa suficientemente gruesa como para que selle todos los vacíos superficiales. Déjese enfriar al aire, a la temperatura ambiente, durante 30 minutos y pésese luego. Désígnese este peso como D.

**Nota 1:** La aplicación de la parafina puede efectuarse enfriando el espécimen en una refrigeradora hasta una temperatura de aproximadamente 4.5 °C (40 °F), durante 30 minutos y sumergiéndolo luego en parafina caliente (5.5 °C o 10 °F por encima del punto de fusión). Puede ser necesario cubrir la superficie de la parafina con más parafina caliente para llenar los agujeros pequeños.

**Peso del espécimen cubierto con parafina en agua**, pésese el espécimen parafinado dentro de un baño de agua a 25 °C (77 °F) y désígnese este peso como E.

**Peso específico de la parafina**, determínese el peso específico de la parafina a 25 °C (77 °F), si no es conocido, y désígnese como F.

**Corrección por humedad**, en caso de que el espécimen haya sido obtenido de un pavimento y que contenga humedad, es necesario corregir los pesos A, D y E por humedad. Después de determinar el peso E, determínese el peso del agua a partir de los pesos A, D, y E.

La humedad puede determinarse: (1), por secamiento de la muestra sin parafinar hasta obtener peso constante en un horno a 110 °C (230 °F), o (2), mediante el método MTC E 512 (Hum. ó Destilados volátiles en mezclas asfálticas para pavimentos), el cual deberá emplearse si el material asfáltico en la mezcla contiene cualquier clase de destilados volátiles a una temperatura de 110 °C (230 °F).

## b.3) Cálculos

Calcúlese el peso específico aparente del espécimen en la siguiente:

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{[D-E-\frac{(D-A)}{F}]} \dots(1)$$

Dónde:

A =Peso del espécimen en el aire, g.

D =Peso del espécimen seco más su recubrimiento.

E =Peso del espécimen seco más su recubrimiento de parafina en agua.

F = Peso específico de la parafina a 25 °C (77 °F)

Calcúlese el peso unitario del espécimen multiplicando el peso específico aparente por 997.0, siendo 997.0 el peso unitario del agua a 25 °C, en kg/m<sup>3</sup>.

#### **b.4) Precisión**

Los valores duplicados de peso específico determinados por un mismo operador no se considerarán correctos si difieren en más de 0.02 entre ellos.

#### **3.6.3.5. Comparar los datos obtenidos de las mezclas asfálticas en frío con fibra de polietileno y las mezclas asfálticas convencionales**

En este punto se comparará los datos obtenidos mediante los ensayos descritos en el ítem 3.6.3.4. y determinaremos si las fibras de polietileno mejoran o no las mezclas asfálticas en frío convencionales.

### **3.7. Análisis estadístico e interpretación de datos**

#### **3.7.1. Enfoque cualitativo**

Analizaremos los manuales obtenidos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), normas ASTM y AASHTO, y las Normas Técnicas Peruanas (NTP). Estos documentos nos orientan y nos muestran los factores necesarios para enfocar la investigación.

#### **3.7.2. Enfoque cuantitativo**

Utilizaremos software para el cálculo y planificación de los ensayos y pasos a seguir en esta investigación.

La hoja de cálculo Microsoft Excel nos facilitará la aplicación de fórmulas estadísticas y generación de tablas que nos ayudará a determinar la calidad de los materiales y productos.

### **3.8. Criterio ético**

#### **3.8.1. Ética de la recolección de datos**

Asegurar de dar crédito a los autores, ya que sus investigaciones fueron de gran ayuda para el desarrollo de la presente investigación y a la vez ser una fuente de conocimientos para futuros proyectos.

#### **3.8.2. Código ético profesional**

Como futuros profesionales, vamos a ceñirnos en los principios tanto morales como éticos para el fidedigno desarrollo de todos los procesos explicados y nos llevaran a lograr el objetivo principal de esta investigación.

### **3.9. Criterio de rigor científico**

#### **3.9.1. Fiabilidad**

Todos los ensayos realizados, método científico, guías de referencia están respaldadas por organizaciones dedicadas a la investigación e innovación en el campo de la ingeniería y que han sido ejecutadas de acuerdo a las especificaciones establecidas.

# CAPÍTULO IV

## **CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS**

### **4.1. Resultados**

Para lograr los objetivos planteados en el presente proyecto de investigación, se realizaron los siguientes ensayos de materiales dados en normas proporcionadas por el MTC, con lo cual sellego a interpretar.

Y se describirá brevemente la razón por la cual se ha realizado.

#### **4.1.1. Determinar las características de la fibra de polietileno**

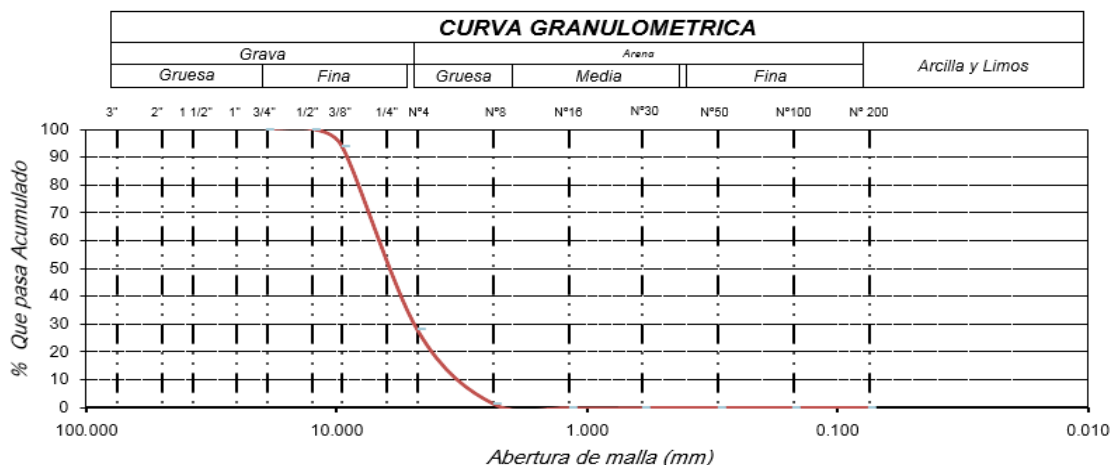
##### **4.1.1.1. Análisis granulométrico del polietileno**

Para este ensayo se utilizó la siguiente normativa, (MTC E 204 – 2000 y ASTM D422). Este ensayo se realizó con la finalidad de verificar la diferente gradación que tiene el material, de esa manera ser utilizada en el diseño de mezclas asfálticas en frío, los cálculos para la obtención de resultados de la granulometría del polietileno se adjuntan en los anexos.

El polietileno usado para los ensayos se trabajó como añadido, se creyó conveniente obtener la granulometría para poder identificar cada una de las tres muestras adquiridas en las recicladoras de la región la misma que se describe a continuación.

Anexo: Polietileno que se obtuvo después de 2 moliendas de las botellas de plástico a este polietileno triturado se le llamo polietileno tipo 1. (fig. 04)

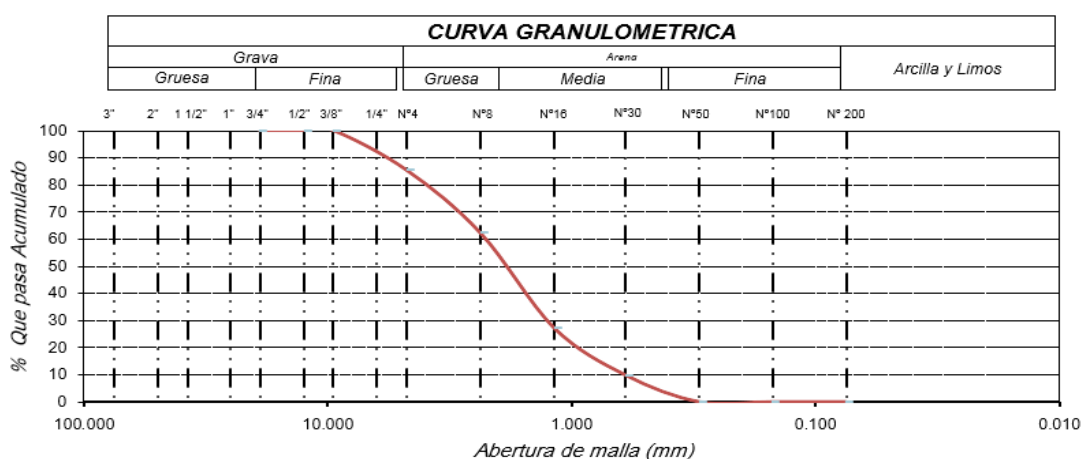
Φιγυρα 04: Χυρπα γρανυλομ<sup>τ</sup>ριχα πολιετιλενο 1



Como se puede observar en la figura anterior se muestra su curva granulométrica y se usó principalmente para saber el tamaño máximo de las partículas.

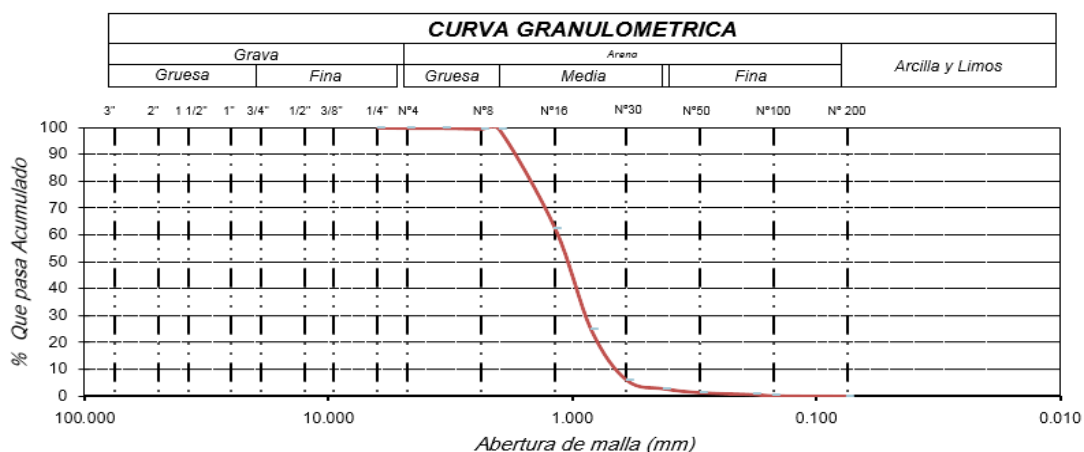
Anexo A.2: Para el polietileno que se obtiene después de 3 moliendas en un molino de martillos se llama polietileno tipo 2 y resulto con una curva granulométrica que se muestra en la figura 05. De misma forma que la del polietileno tipo 1 se llegó a apreciar su tamaño máximo del agregado.

Φιγυρα 05: Χυρπα γρανυλομτριχα πολιετιλενο 2



Anexo A.3 Para el polietileno triturado 5 veces por el molino de martillos se le llama polietileno tipo 3 resulto con una curva granulométrica y se muestra a continuación.

Φιγυρα 06: Χυρπα γρανυλομτριχα πολιετιλενο 3



Φιγυρα 07: Φιβρασ δε Πολιετιλενο



En la foto se puede apreciar las fibras de polietileno extraído de las botellas de plástico triturados y se procede a su tamizado para determinar su granulometría.

#### 4.1.2. Características de los materiales (Agregado grueso y Agregado fino) usados para la elaboración de la mezcla asfáltica con fibra de polietileno

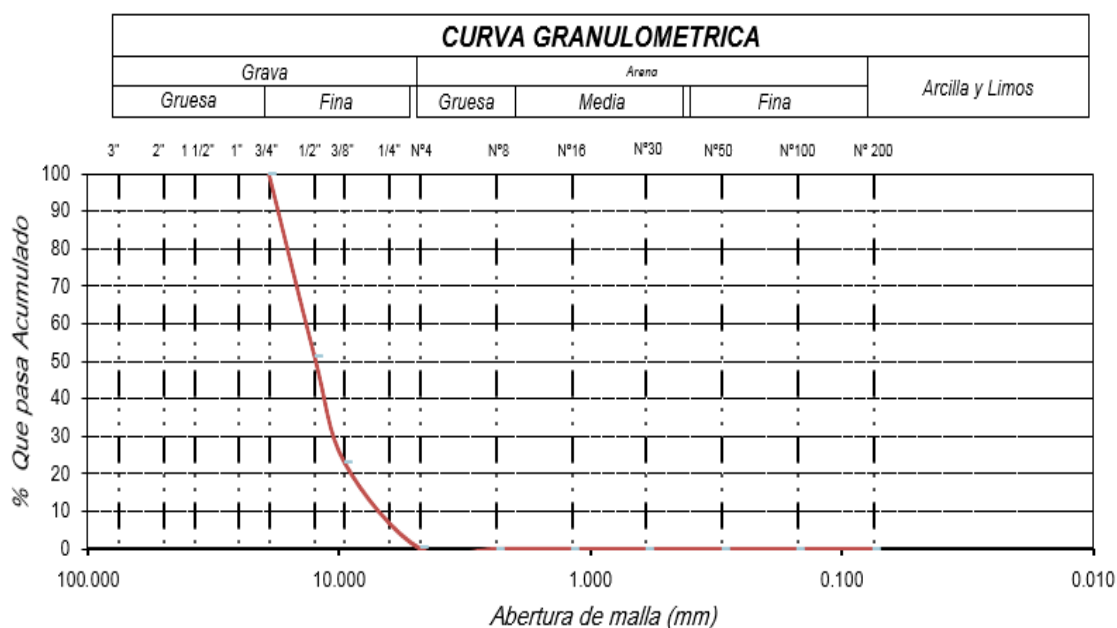
##### 4.1.2.1. Resultados de agregados gruesos



#### 4.1.2.1.1. Análisis granulométrico de agregado grueso

Este ensayo se realizó con la finalidad de conocer la gradación del material. En este caso en la cantera “tres tomas” (para la piedra  $\frac{3}{4}$  la cual fue escogida y tamizada quedando solo la piedra que pasaba la malla de 1” y se retenía en la malla de  $\frac{3}{4}$ ”) la cual se uso un porcentaje junto con el agregado grueso de la cantera “la pluma” para hacer el diseño de pavimento frío. Para el agregado  $\frac{1}{2}$ ” obtenido de la cantera la pluma mediante un cuarteo previo se sacó una muestra significativa, que nos pudo dar unos resultados confiables y mediante el procedimiento de la siguiente Norma del (MTC E 204 – 2000 y ASTM D422), Se obtuvo la siguiente curva granulométrica la cual nos da a conocer los porcentajes que pasantes por cada tamiz, y así tener el diámetro nominal de dicha muestra. Para lo cual el procesamiento de datos se adjunta como Anexo B.

Φιγυρα 08: Χυρπα γρανυλομ[τριχα δελ αγρεγαδο γρυεσο



Φιγυρα 09: Ταμιζαδο δελ αγρεγαδο



En la foto se aprecia al agregado grueso determinando su granulometría.

#### **4.1.2.1.2. Peso específico y absorción de agregados gruesos**

Este ensayo se realizó utilizando la Norma siguiente, (MTC E 206 – 2000, NTP 400.021, ASTM C 127 Y AASSHTO T 85). Se realizó con la finalidad de encontrar, los pesos específicos aparente y nominal, así como la absorción después de 24 horas de sumergido en agua, de los agregados mayores a 75 mm (N° 4).

El peso específico de un suelo ( $\gamma_s$ ) se define como el cociente entre el peso al aire de las partículas sólidas y el peso del agua, considerando igual temperatura y el mismo volumen.

Por otro lado, se calculó la absorción del agregado grueso expresada como porcentaje y su gravedad específica.

Para lo cual el procesamiento de datos se adjunta como Anexo B.

#### **4.1.2.1.3. (L.A.) de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm – 1 ½”**

Para este ensayo se utilizó la norma siguiente: (MTC E 207 – 2000, ASTM C 131, AASHTO T 96).

El procesamiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo B.

Ταβλα 19: Ενσαγο δε Αβρασι Γν Λοσ Ξγγελεσ

PESO TOTAL	5000.00gr
PSO OBTENIDO	
Peso muestra seca antes del ensayo ( P1 )	4597.00gr
Peso muestra seca lavado sobre tamiz (Nº 12).( P2 )	3675.00gr
Nº DE ESFERAS	11
PESO DE ESFERAS	4584 ± 25
% OBTENIDO	<b>18.4%</b>

Φιγυρα 10: Πεσο δε μυεστρα 2500γρ — — □ μασ μυεστρα 2500γρ — = 1/2□ εν ελ ταμβορ



En la foto anterior se puede apreciar el agregado grueso junto con las 11 esferas de acero que se usaron para determinar el desgaste del agregado grueso.

Φιγυρα 11: μ(θινα δε ενσαγο δε αβρασι Γν λοσ γγγελεσ



El resultado obtenido de este ensayo se comparó con los valores establecidos en la norma del MTC para ver si es un material que se puede utilizar.

Ταβλα 20: Χοτεφο δε ρεσυλαδοσ αβρασι (ν

ENSAYO	NORMA	REQUERIMIENTO		RESULTADO	VERIFICACION
		ALTITUD (m.s.n.m)		S	
		< 3000 m.s.n.m	> 3000 m.s.n.m	LABORATORIO U.S.S	
ABRACION DE LOS ANGELES	MTC E_207	40.0%	35.0%	18.4%	<b>OK</b>

#### 4.1.2.1.4. Peso Unitario suelto y compactado de agregado grueso

Para el siguiente ensayo se utilizó la norma. Siguiendo, (MTC E 203 – 2000), el procesamiento para la obtención de resultados que se adjunta como Anexo B.

Este ensayo se realizó con la finalidad, de evaluar el peso unitario tanto en estado

suelto y estado compactado, en este caso del agregado de la cantera “la pluma”

**Ταβλα 21: Πεσο υνιταριο σνελτο αγρεγαδο γρυεσο**

PESOS UNITARIOS HUMEDO GR/CC PESO UNITARIO PROMEDIO GR/CC	1.358	1.358		
	1.36 gr / cm <sup>3</sup>			
<b>OBSERVACION:</b>	El material para este ensayo se usó agregado grueso de 1/2" 92% y piedra seleccionada de 3/4" se usó 8 %			

**Ταβλα 22: Πεσο υνιταριο χομπαχταδο αγρεγαδο γρυεσο χαντερα □ΤΡΕΣ ΤΟΜΑΣ□**

PESOS UNITARIOS HUMEDO GR/CC PESO UNITARIO PROMEDIO GR/CC	1.554	1.556		
	1.56 gr / cm <sup>3</sup>			

#### **4.1.2.1.5. Cantidad de Caras Fracturadas**

Este ensayo se realizó según norma (MTC E-210-2000), con la finalidad de ver las partículas de una, dos o más caras fracturas de una muestra de 1500gr.

Previo tamizado se analizó lo retenido en cada tamiz y seleccionar según las características observadas.

El procesamiento de datos para la obtención de resultados se adjunta como Anexo

B.5

Ταβλα 23: Χαντιδαδ δε Χαρασ Φραχτυραδασ

PESO TOTAL DE LA MUESTRA	(g)	1460
PARTICULAS 1 CARA FRACTURADA	(%)	4.93
PARTICULAS 2 O MAS CARAS FRACTURADAS	(%)	95.07
PARTICULAS 0 CARAS FRACTURADAS	(%)	0.00

**% de caras Fracturadas:** 5 / 95

Esta relación nos da entender que el 5% tiene una cara fracturada y el 95% tiene dos o más caras fracturadas ya que esto depende de los distintos agentes atmosféricos y la misma maquina al triturar el material.

#### 4.1.2.1.6. Partículas Chatas y Alargadas

Para este ensayo se utilizó la norma siguiente NTP. 400.010.

El procesamiento de datos para la obtención de resultados se adjunta como Anexo B

Este ensayo se realizó con la finalidad de analizar la relación que existe tanto el largo y ancho de las partículas en este caso agregado grueso. De la cantera “La pluma”.

Ya que de esto dependerá mucho para su colocación y trabajabilidad. Para este ensayo se separó una muestra según tamaño máximo nominal en este caso tenemos la malla 1/2 “, separando así una muestra de 2615g, para luego ser tamizado y verificar la cantidad de dichas partículas en chatas o alargadas según lo retenido en cada tamiz. Anexo B.6

Ταβλα 24: Παρτήχυλασ χηατασ ψ αλαργαδασ

ENSAYO	NORMA	REQUERIMIENTO		RESULTADOS	VERIFICACION
		ALTITUD (m.s.n.m)		LAB U.S.S	
		< 3000 m.s.n.m	> 3000 m.s.n.m		
PARTICULAS CHASTAS Y ALARGADAS	MTC E _221	10.0%	10.0%	9.7%	<b>OK</b>

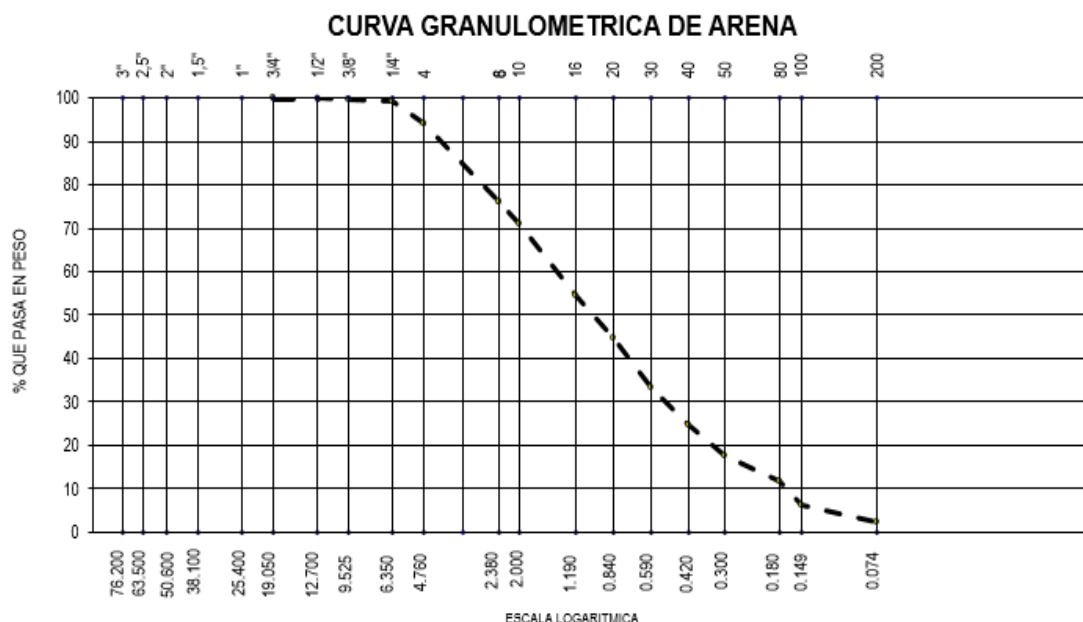
Donde se puede observar que estos valores se encuentran en lo permitido lo cual está apto para ser usado en las mezclas. Ya que es menor al 10 % lo que dice la norma.

#### 4.1.2.2. Resultados de agregados fino

##### 4.1.2.2.1. Análisis granulométrico de agregado fino (MTC E 204 – 2000 y ASTM D422)

Para este ensayo se siguió con la norma (MTC E 204 – 2000 y ASTM D422), el procesamiento para la recolección de datos se adjunta como Anexo B. Con la finalidad de evaluar y conocer la gradación del material cantera “La pluma” y conocer el resultado para el diseño de mezclas asfálticas en frío, ya que de este dependerá el resultado de la mezcla, así obtener una granulometría según parámetros del ministerio de transporte y comunicaciones.

Figura 12: Χυρπα granulομτρικα δελ αγρεγαδο φινο







En la foto se aprecia el conjunto de taras usadas para el tamizado del agregado fino.

#### **4.1.2.2.2. Peso específico y absorción de agregados finos. (MTC E 205 – 200 Y ASTM C 128)**

Este ensayo se realizó con la finalidad de determinar el peso específico y el porcentaje de absorción de este material.

Para la obtención de resultado se siguió la normativa, (MTC E 205 – 200 Y ASTM C 128), el procesamiento de resultados que se adjunta como Anexo B.

1ro. Se pesó una muestra de 1000g, previo cuarteo, se dejó saturar por 24 horas para luego realizar el ensayo correspondiente, que consta de la siguiente metodología.

2ro. Se dejó secar el material a temperatura ambiente, verificando que se encuentre superficialmente seco mediante un cono.

3do. Luego se tomó una muestra de 500 gr, que es introducido en un picnómetro de un peso promedio de (168.00 gr), con una cantidad de 500ml de agua para así de esa manera obtener el peso inicial. (974.00 gr).

4ro. Luego se sacó el material introducir al horno por 24 horas de esa manera se obtuvo el peso de (496.00 gr).

Para la cual se obtuvo los siguientes resultados.



Ταβλα 25: πεσο εσπεχί φιχο ψ αβσορχι Γν δε αγρεγαδος φινοσ

<b>RESULTADOS</b>	
1.- Peso Específico de Masa	2.56gr/cm <sup>3</sup>
2.- Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco	2.58gr/cm <sup>3</sup>
3.- Peso Específico Aparente	2.61gr/cm <sup>3</sup>
4.- Porcentaje de Absorción	<b>0.81 %</b>

#### 4.1.2.2.3. Peso Unitario suelto y compactado

Para la mejor interpretación se adjunta el procesamiento de recolección de los resultados como Anexo B.9

Los ensayos se realizaron siguiendo con la norma (MTC E 203 – 2000).

Este ensayo se realizó con la finalidad de encontrar el peso del material por unidad de volumen, en este caso se realizo dos ensayos para de esa manera obtener un peso unitario promedio. Según las condiciones que se van encontrar el material y así evaluar dichos resultados.

Ταβλα 26: Πεσο υνιταριο συελτο αγρεγαδο φινο χαντερα □ΤΡΕΣ ΤΟΜΑΣ□

PESOS UNITARIOS				
HUMEDO				
GR/CC	1.518	1.516		
PESO UNITARIO	<b>1.52 gr/cm<sup>2</sup></b>			
PROMEDIO GR/CC				

Ταβλα 27: Πεσο υνιταριο χομπαχταδο αγρεγαδο φινο χαντερα □ΤΡΕΣ ΤΟΜΑΣ□

PESOS UNITARIOS				
HUMEDO				
GR/CC	1.695	1.697		
PESO UNITARIO	<b>1.70 gr / cm<sup>3</sup></b>			
PROMEDIO GR/CC				

Para cumplir con el Segundo objetivo específico se realizó los ensayos siguientes, según normativa y se obtuvo datos el cual son de suma importancia para dicho Proyecto. Y se adjunta una tabla resumen de dichos resultados; En esta tabla se analizó las características que tienes el material fino a ser utilizado en la mezcla.

#### **4.1.3. Diseño de la mezcla asfáltica en frío por el método de las áreas**

Para empezar a diseñar por el método de las áreas equivalentes se realizó los siguientes ensayos, que ya se especificaron líneas arriba tanto a los agregados finos como agregados gruesos.

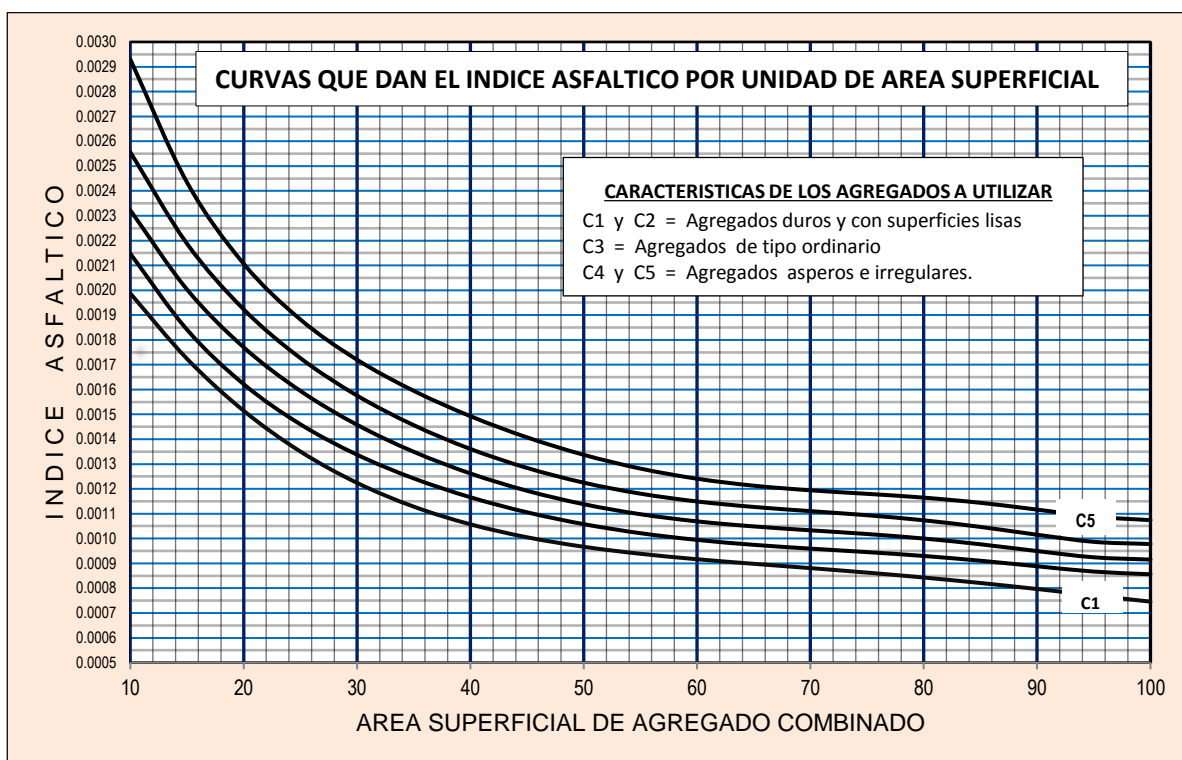
El proceso, para la obtención de resultados se adjunta como: Anexo C. Para la determinación de la cantidad de asfalto, para mezcla por áreas superficiales se utilizó el siguiente Abaco el cual para cada curva se tendrá la siguiente disposición:

Características del material a utilizar en el diseño de mezcla asfáltica con Emulsión:

1. Agregados duros y superficie lisa utilizar la curva 1 o 2
2. Agregado de tipo ordinario utilizar la curva 3
3. Agregados ásperos e irregulares utilizar la curva 4 o 5

En mi caso se utilizó la curva N° 05.

Φιγυρα 13: Χυρπασ θυε δαν ελ { νδιχε ασφαλτιχο πορ υνιδαδ δε ρεα



Fuente: asphalt institute (ms – 22)

Ταβλα 28: Χαντιδαδ δε ασφαλτο σεγ |ν δισε)ο δε ρεασ εθυιπαλεντε

<b>DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE ASFALTO LIQUIDO</b>	
P. E. de la mezcla de agregados	2.60604
Área superficial equivalente	15.6975
Índice asfáltico determinado	0.00238
Relación de pesos especif 2.65	1.01687
Tipo de asfalto	EMULSION
Cemento asfáltico	3.80012
Asfalto * 1.20	4.56014
Porcentaje de EMULSION	4.56%
Máximo	4.79%
Mínimo	4.33%

Se obtuvo el peso específico de la combinación de agregados, el área

superficial de la misma combinación según el rango de los agregados dado por MTC, y el índice de asfalto obtenido por el ábaco mostrado anteriormente, una relación que nos da por defecto dividido entre el peso específico de la combinación dado como resultado 1.01687, y así obteniendo la cantidad de asfalto sin solvente que es el producto de área superficial equivalente por el índice de asfalto determinado y por la relación de peso específico; para este caso multiplicando por un factor de seguridad de 1.2 obteniendo así un total de 4.56% de emulsión para este caso se trabajo con el máximo que es el 4.79% y como se puede observar la norma manda de 4 % \_ 6% por lo tanto esta en el rango.

**- Determinar el porcentaje de agregados en la mezcla**

Se determinó el porcentaje de los agregados dependiendo mucho del rango el cual este se encuentra según su granulometría en este caso es una granulometría densa.

El proceso para la obtención de resultados se adjunta como Anexo C Obteniendo como resultados de la gráfica los siguientes porcentajes:

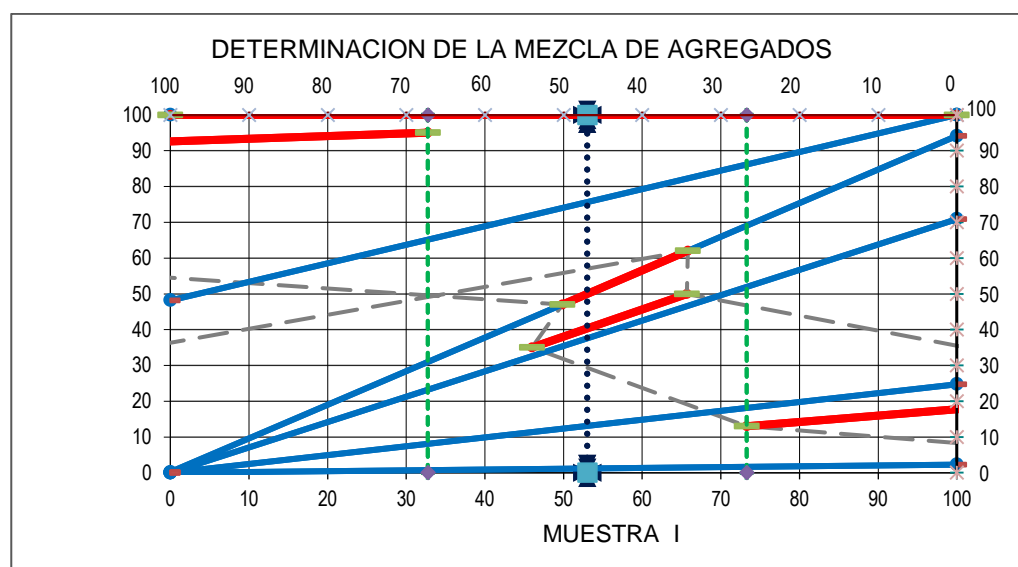
**TABLA 29: Χαντιδαδ δε Αγρεγαδοσ σεγ Ιν Δισε)ο**

<b>RESULTADO DE LA MEZCLA</b>	
<b>MUESTRA II:</b>	
<b>GRAVA 3/4"</b>	<b>47%</b>

Rango	67	27
<b>MUESTRA I:</b>		
<b>ARENA</b>	<b>53%</b>	
Rango	73	33
<b>OBSERVACIONES:</b>		
Agregados grava y arena (Chancado)		
<b>CANTERA:</b>		
La Pluma y TRES TOMAS		

Está proporción representa que por cada 53 % de arena (agregado fino), corresponde un 47 % de agregado grueso. En este caso tenemos un tamaño máximo nominal **3/4"** cabe recalcar que previamente al volumen total de muestra de agregado grueso se mezcló el 8% de piedra seleccionada solo de **3/4"** y 92% de agregado de **1/2"**.

**Φιγυρα 14: Δετερμιναχι Γν δε λα μεζχλα δε αγρεγαδος**



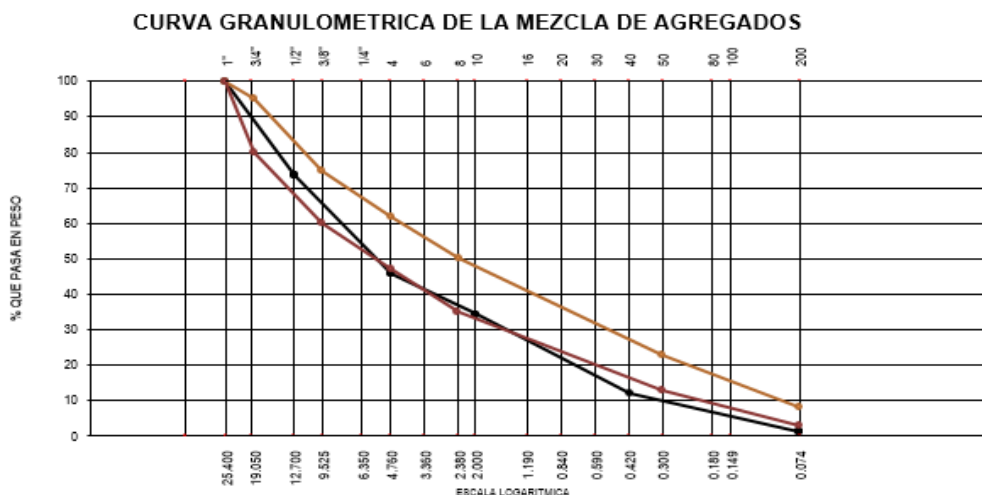
**- Análisis de la granulometría utilizada en el diseño**

Para mayor verificación el procesamiento para la obtención de estos resultados se adjuntan como: Anexo c.3.

Previo ensayo de granulométrico se constituyó la curva mediante una combinación de agregado grueso más fino verificando que esta muestra se trataba de una mezcla densa como se muestra en la gráfica siguiente cumpliendo con lo

establecido según la norma del MINISTERIO DE TRANSPORTE y COMUNICACIONES, verificando que este se encuentre dentro del rango se procedió a la elaborar las muestras.

Φιγυρα 15: Χυρπα γρανυλομτρηχα δε λα μεζχλα δε αγρεγαδος



Y como Anexo C, se adjunta el diseño obtenido para este ser usado en obra. Todo el proceso se adjuntará en un anexo individual donde se puede decir que en este método tiene mucha influencia el peso específico de los agregados, desgaste de los ángeles ya que de esto depender que tipo de partícula se están utilizando, determinación de partículas chatas, alargadas y peso unitario.

#### 4.1.4. Elaboración de las mezclas asfálticas en frío.

Para validar las mezclas o el diseño se realizaron pruebas con agregado convencionales con la finalidad de que esta cumpla con ciertos parámetros para luego empezara probar con los porcentajes establecidos de fibra de polietileno y estos con los datos obtenidos según diseño normal.

Ταβλα 30: Χαντιδαδ δε αγρεγαδος δε υνα βριθυετα

BRIQUETA				
DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		PESO POR BRIQUETA
∅	10.15	h1	6.03	1100.000 gr
∅	10.16	h2	5.71	
PESO DE EMULSION		40 % H2O + 60% DE PEN		55.000 gr

PESO DE AGREGADO GRUESO + FINO	<b>1045.000</b>	gr
PESO DE AGREGADO GRUESO	<b>491.1</b>	gr
PESO DE AGREGADO FINO	<b>553.9</b>	gr

Se consideró un peso de 1100gr por briqueta, pero es este caso como la emulsión esta rebajada en un 60% es PEN y el 40% otro es agua, por el mismo proceso de evaporación del agua se adiciono un porcentaje más para así cumplir con el diseño que no especifica que es un 5 % de asfalto neto.

Después de obtenidos resultados se procedio a añadir el polietileno en distintas proporciones a la mezcla convencional. Esto se repetio para cada uno de los tamaños máximos de la fibra de polietileno.

#### **4.1.5. Obtener las características mezclas asfálticas en frío**

##### **4.1.5.1. Mezcla convencional**

Para las mezclas asfálticas en frio se obtuvo los siguientes resultados que se muestran a continuación mediante una gráfica:

El ensayo de estabilidad y flujo Marshall se cumplio con los siguientes requerimientos.

Ταβλα 31: Εσπεχιφιχαχιονες Μαρσηαλλ

	<b>Requerimiento exigido- ESTABILIDAD (Kg)</b>	<b>FLUJO (mm)</b>	
		<b>MÍNIMO</b>	<b>MÁXIMO</b>
<b>TRÁNSITO LIVIANO:</b>	454 Kg	2	5
<b>TRÁNSITO MEDIANO:</b>	545 Kg	2	4
<b>TRÁNSITO PESADO:</b>	816 Kg	2	3.5

Fuente: Ministerio de trasportes y comunicaciones

Como se puede observar se saco tres muetsras a ensayar por cada tipo de transito donde se realizo una compacion de estas en dos estados, secas a la aire y saturadas para luego analizar si estas en ambos estados cumple con lo establecido según la normativa ver tabla N° 33.

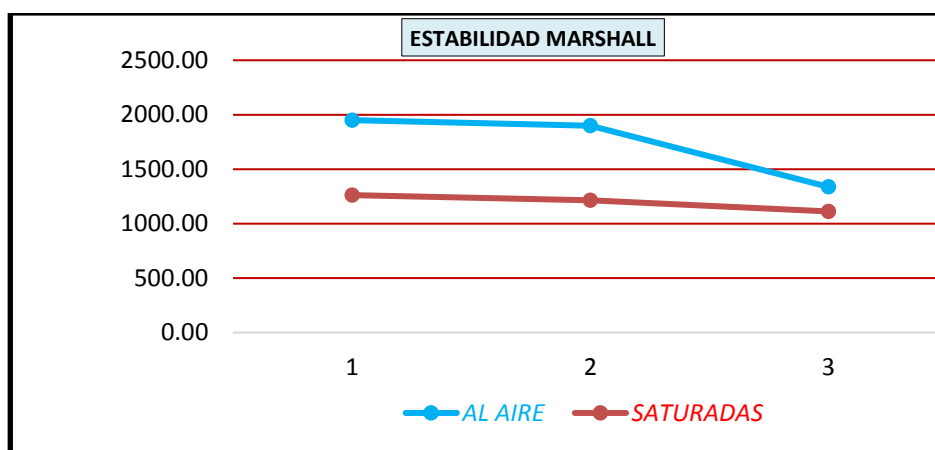
El procesamiento para la obtencion de datos se adjunta como: Anexo D.

En este caso se observo que todas se encontraba dentro de los parametros.

Ταβλα 32 Ρεσυλταδο δε εσταβιλιδαδ μαρσηαλλ δελ τρανσιτο πεσαδο αγρεγαδο νορμαλ

ESTABILIDAD MARSHALL T. P.			
N° BRIQUETAS		ESTADO	
AL AIRE	SATURADO	AL AIRE	SATURADAS
1	10	1949.96	1261.78
2	11	1898.98	1215.50
3	12	1337.80	1112.25

Φιγυρα 16: Ρεσυλταδοσ δε λα εσταβιλιδαδ Μαρσηαλλ παρα ελ τρ(νσιτο πεσαδο

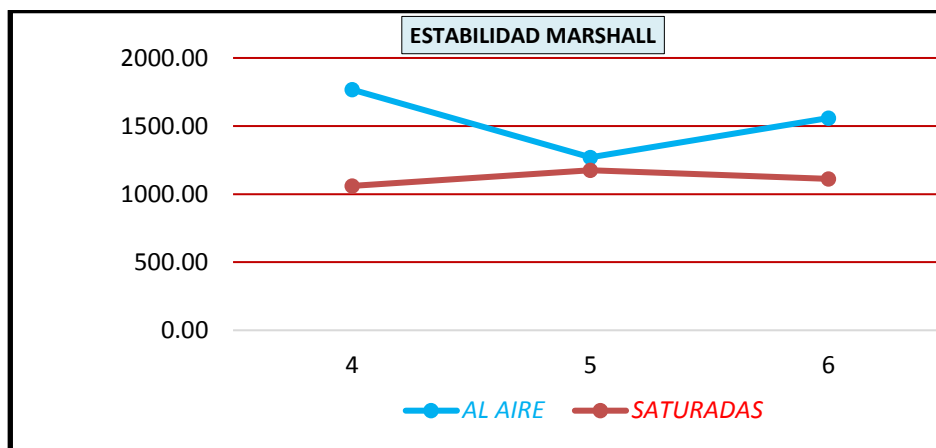


Ταβλα 33: Ρεσυλταδο δε εσταβιλιδαδ μαρσηαλλ δελ τρανσιτο μεδιο αγρεγαδο νορμαλ

ESTABILIDAD MARSHALL T.M.			
N° BRIQUETAS		ESTADO	
AL AIRE	SATURADO	AL AIRE	SATURADAS
4	14	1767.64	1060.23
5	15	1270.30	1175.23
6	16	1559.66	1112.25

Φιγυρα 17: Ρεσυλταδοσ δε λα εσταβιλιδαδ Μαρσηαλλ παρα ελ τρ(νσιτο μεδιο

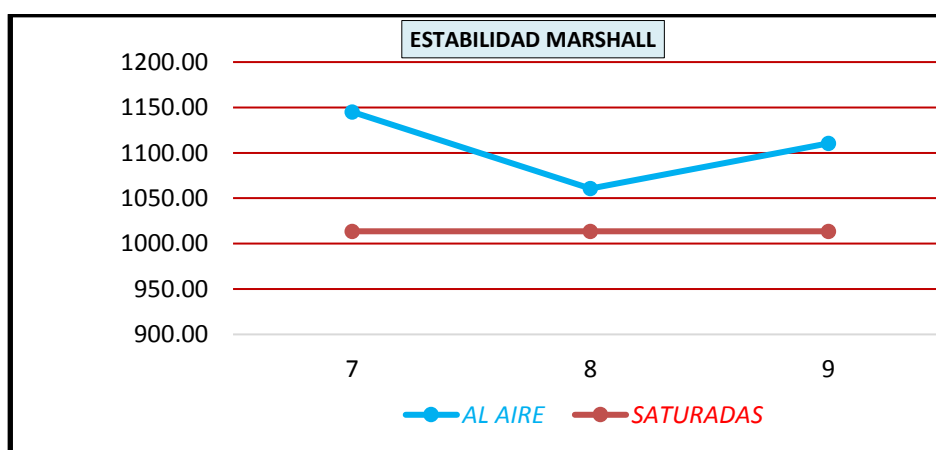




Ταβλα 34: Ρεσυλταδο δε εσταβιλιδαδ μαρσηαλλ δελ τρανσιτο λιπιανο αγρεγαδο νορμαλ

ESTABILIDAD MARSHALL T.L.			
N° BRIQUETAS		ESTADO	
AL AIRE	SATURADO	AL AIRE	SATURADAS
7	18	1145.16	1013.61
8	19	1060.67	1013.61
9	20	1110.51	1013.61

Φιγυρα 18: Ρεσυλταδοσ δε λα εσταβιλιδαδ Μαρσηαλλ παρα ελ τρανσιτο λιπιανο

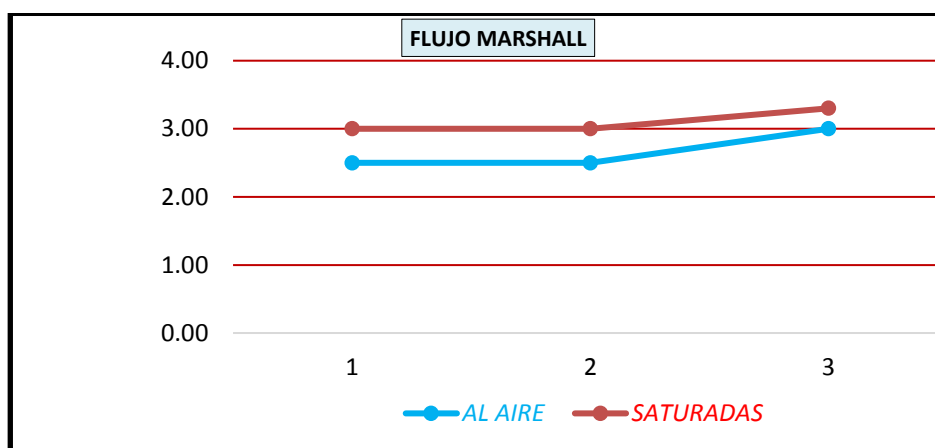


De igual forma se realizó una comparación en los distintos estados para flujo Marshall.

Ταβλα 35: Ρεσυλταδο δε φλυφο μαρσηαλλ δελ τρανσιτο πεσαδο αγρεγαδο νορμαλ

FLUJO MARSHALL T. P.			
N° BRIQUETAS		ESTADO	
AL AIRE	SATURADO	AL AIRE	SATURADAS
1	10	2.50	3.00
2	11	2.50	3.00
3	12	3.00	3.30

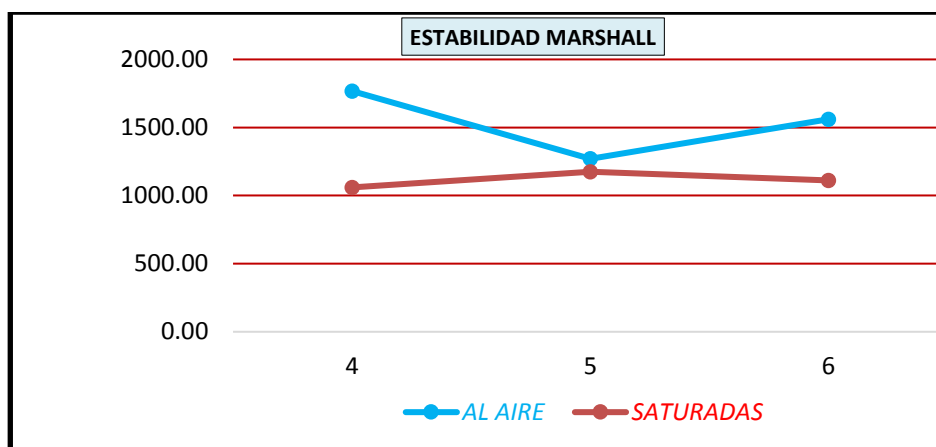
Φιγυρα 19: Ρεσυλταδοσ δελ φλυφο Μαρσηαλλ παρα ελ τρανσιτο πεσαδο



Ταβλα 36: Ρεσυλταδο δε φλυφο μαρσηαλλ δελ τρανσιτο μεδιο αγρεγαδο νορμαλ

ESTABILIDAD MARSHALL T.M.			
N° BRIQUETAS		ESTADO	
AL AIRE	SATURADO	AL AIRE	SATURADAS
4	14	1767.64	1060.23
5	15	1270.30	1175.23
6	16	1559.66	1112.25

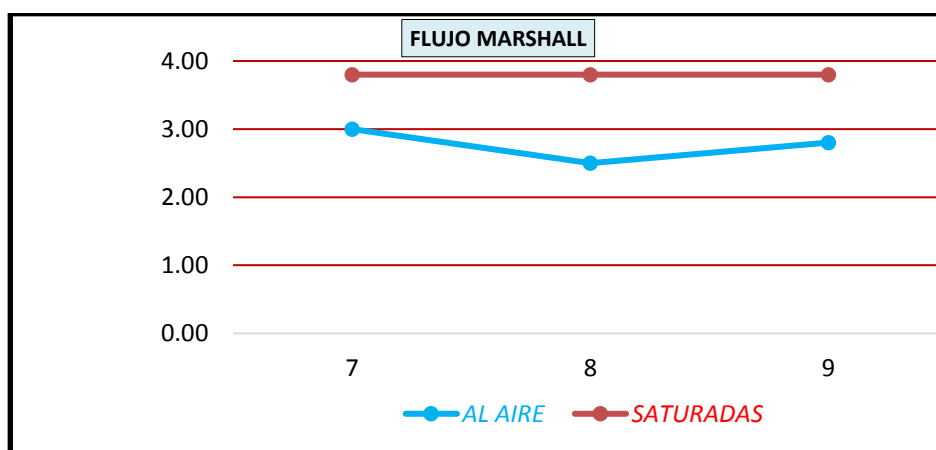
Φιγυρα 20: Ρεσυλταδοσ δελ φλυφο Μαρσηαλλ παρα ελ τρ(νσιτο μεδιο



Ταβλα 37: Ρεσυλταδο δε φλυφο μαρσηαλλ δελ τρ(νσιτο λιπιανο αγρεγαδο νορμαλ

FLUJO MARSHALL T.L.			
N° BRIQUETAS		ESTADO	
AL AIRE	SATURADO	AL AIRE	SATURADAS
7	18	3.00	3.80
8	19	2.50	3.80
9	20	2.80	3.80

Φιγυρα 21: Ρεσυλταδοσ δελ φλυφο Μαρσηαλλ παρα ελ τρ(νσιτο λιπιανο



Ταβλα 38: Πεσο εσπεχίφιχο δε λασ μνεστρασ

No Briq.	PE
	Gmb
	BRIQUETA
68	2.12gr/cm <sup>3</sup>
71	2.16gr/cm <sup>3</sup>
72	2.08gr/cm <sup>3</sup>
PROMEDIO	<b>2.12gr/cm<sup>3</sup></b>

Para este ensayo se elaboraron tres briquetas, con la siguiente numeración 68, 71 y 72 para así de esa manera sacar un promedio y darle más confiabilidad a la obtención de resultados se adjuntan de igual forma como Anexo D..

Ταβλα 39: Πορχενταφε δε παχίος δε λα μνεστρασ

<b><u>DATOS PARA LAS GRAFICAS</u></b>				
EMULSION	PE	% de Vacios		
%	Gmb Prom.	Mezcla [%]	Agreg. [%]	c/Asf. [%]
<b>5.00</b>	2.121	17.000	12.000	41.67

Para la obtención de estos resultados se adjunta el Anexo D. Donde se observa la cantidad de vacíos en cada uno de los componentes de la mezcla.

Φιγυρα 22: Χ(λχυλο δε / ψ Αλτυρα δε λος Εσπεχίμενες Παρα Ενχοντραρ ελ Φαχτορ δε Χορρεχι ίν



En la foto se está midiendo los diámetros para después con una altura promedio y determinar su volumen de los especímenes.

#### 4.1.5.2. Mezcla con fibra de polietileno:

Para las mezclas asfálticas en frío con un porcentaje de fibra de polietileno se buscó la mayor cantidad de polietileno adicional que se le puede colocar a la mezcla convencional manteniéndose en los rangos establecidos por MTC se cumplió con el ensayo de estabilidad y flujo Marshall y los siguientes requerimientos.

Ταβλα 31. Εσπεχιφιχαχιονες Μαρσηαλλ

	Requerimiento exigido-ESTABILIDAD (Kg)	FLUJO (mm)	
		MÍNIMO	MÁXIMO
TRÁNSITO LIVIANO:	454 Kg	2	5
TRÁNSITO MEDIANO:	545 Kg	2	4
TRÁNSITO PESADO:	816 Kg	2	3.5

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones

#### **Observacion 1.**

En el laboratorio con el diseño hallado se pocedio ha añadir la fibra de polietileno y asi determinar las características del comportamiento del asfalto en frío con cada uno de los tamaños máximos nominales y se pudo apreciar que para el polietileno tipo 1 al estar añadido con el asfalto en frío convencional el mesclado se dificultaba el volumen aumento pero no era compactable en ningún tipo de

porcentaje.

El polietileno tipo 2 su tamaño nominal que presenta era mucho menor que el tipo 1 pero no era posible compactar la mezcla con un 5 % de fibra de polietileno añadido por lo cual se redujo la fibra a un 3 % y luego a un 1% con lo cual se llegó a compactar pero al momento de desmontarlo se demoronaba.



Briqueta con 3% de fibra de polietileno (tipo 2)

Para el polietileno tipo 3 se comenzó añadiendo en cantidades de 1 % 3% 5% 7% y 10% en este último de 10% se pudo apreciar un desmoronamiento luego de su desmontado por lo cual se elaboró uno con 6% de fibra de polietileno y esto se realizó para cada uno de los transitos ver anexo PL-3

Se obtuvo:

**TABLA 40: RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL TRANSITO PESADO**

BRIQUETAS	% DE FIBRA DE POLIETILENO	VOLUMEN(cm3)	LECTURA FLUJO	FLUJO (mm)	Lectura de Estabilidad	ALTURA ESPECIMEN mm	FATOR DE CORRECCIÓN	Estabilidad en Kg	Estabilidad Corregida en Kg	VERIFICACION
89	1.0 %	486.90	13	<b>3.30</b>	320	<b>60.3</b>	1.093	1103.92	<b>1207</b>	<b>OK</b>
90	3.0 %	515.32	12	<b>3.00</b>	353	<b>63.5</b>	1.000	1217.07	<b>1217</b>	<b>OK</b>
91	5.0 %	524.98	12	<b>3.00</b>	462	<b>65.3</b>	0.956	2132.57	<b>2039</b>	<b>OK</b>
92	6.0 %	546.91	14	<b>3.60</b>	441	<b>67.7</b>	0.905	1518.81	<b>1375</b>	<b>Corregir</b>
93	7.0 %	576.19	20	<b>5.10</b>	378	<b>71.0</b>	0.836	1426.23	<b>1192</b>	<b>Corregir</b>
<b>TRANCITO PESADO</b>										

**TABLA 41: RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL TRANSITO MEDIO**

BRIQUETAS	% DE FIBRA DE POLIETILENO	VOLUMEN(cm3)	LECTURA FLUJO	FLUJO(mm)	Lectura de Estabilidad	ALTURA ESPECIMEN mm	FATOR DE CORRECCIÓN	Estabilidad en Kg	Estabilidad Corregida en Kg	VERIFICACION
94	1.0 %	486.90	16	<b>4.10</b>	344	<b>60.3</b>	1.093	1103.92	<b>1207</b>	<b>Corregir</b>
95	3.0 %	513.29	17	<b>4.30</b>	335	<b>63.3</b>	1.005	1217.07	<b>1223</b>	<b>Corregir</b>
96	5.0 %	524.17	18	<b>4.60</b>	326	<b>65.2</b>	-	-	-	<b>Corregir</b>

97	6.0 %	545.29	20	<b>5.10</b>	300	<b>67.5</b>	-	-	-	<b>Corregir</b>
98	7.0 %	568.07	25	<b>6.40</b>	274	<b>70.0</b>	-	-	-	<b>Corregir</b>
<b>TRANCITO MEDIO</b>										

<b>TABLA 42: RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL TRANSITO LIVIANO</b>										
<b>BRIQUETAS</b>	<b>% DE FIBRA DE POLIETILENO</b>	<b>VOLUMEN(c m3)</b>	<b>LECTURA A FLUJO</b>	<b>FLUJO(m m)</b>	<b>Lectura de Estabilidad</b>	<b>ALTURA ESPECIM EN mm</b>	<b>FATOR DE CORRECCIÓN</b>	<b>Estabilidad en Kg</b>	<b>Estabilidad Corregida en Kg</b>	<b>VERIFICACION</b>
99	1.0 %	487.31	18	<b>4.60</b>	215	<b>60.3</b>	1.093	743.90	<b>813</b>	<b>Corregir</b>
110	3.0 %	513.50	19	<b>4.80</b>	190	<b>63.3</b>	-	-	-	<b>Corregir</b>
112	5.0 %	526.79	21	<b>5.30</b>	175	<b>65.5</b>	-	-	-	<b>Corregir</b>
111	6.0 %	545.70	23	<b>5.80</b>	167	<b>67.5</b>	-	-	-	<b>Corregir</b>
114	7.0 %	568.07	24	<b>6.10</b>	140	<b>70.0</b>	-	-	-	<b>Corregir</b>
<b>TRANCITO LIVIANO</b>										

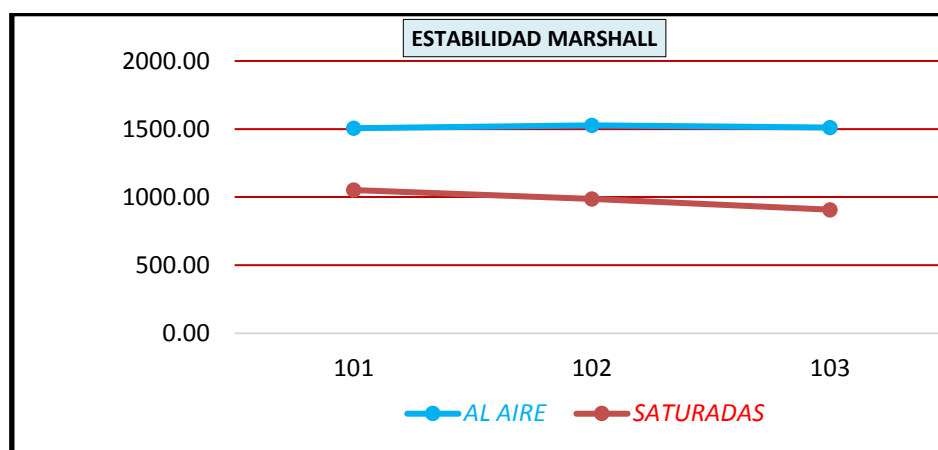
Por los datos obtenidos en la TABLA 42 se procedió a comprobar el resultado de tránsito pesado con 5% de fibra de polietileno.



Ταβλα 43: Ρεσυλταδο δε εσταβιλιδαδ μαρσηαλλ δελ τρανσιτο πεσαδο μασ 5% δε φιβρα δε πολιετιλενο

ESTABILIDAD MARSHALL T. P. 5%			
N° BRIQUETAS		ESTADO	
AL AIRE	SATURADO	AL AIRE	SATURADAS
101	120	1506.25	1052.04
102	121	1527.37	987.72
103	122	1511.10	908.04

Φιγυρα 23: Ρεσυλταδοσ δε λα εσταβιλιδαδ Μαρσηαλλ παρα ελ τρανσιτο πεσαδο μασ 5% δε φιβρα δε πολιετιλενο

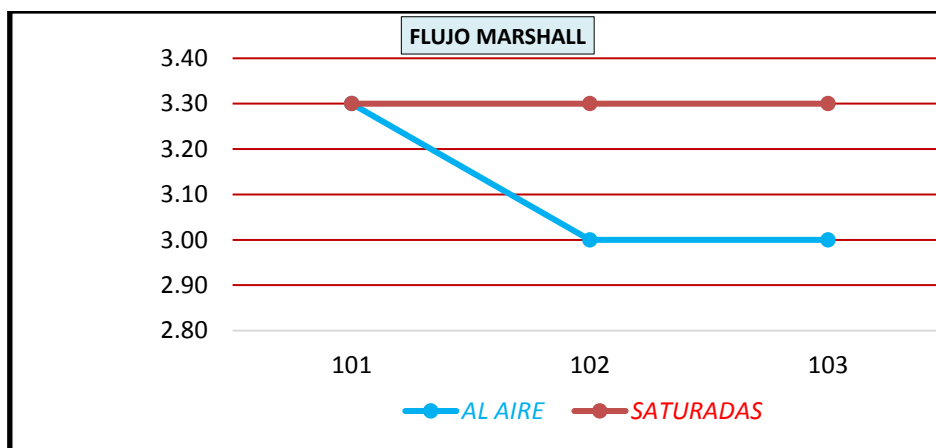


De igual forma se realizó una comparación para flujo Marshall.

Ταβλα 44: Ρεσυλταδο δε φλυφο μαρσηαλλ δελ τρανσιτο πεσαδο μασ 5% δε φιβρα δε πολιετιλενο

FLUJO MARSHALL T. P. 5%			
N° BRIQUETAS		ESTADO	
AL AIRE	SATURADO	AL AIRE	SATURADAS
101	120	3.30	3.30
102	121	3.00	3.30
103	122	3.00	3.30

**Φιγυρα 24: Ρεσυλταδοσ δε λα εσταβιλιδαδ Μαρσηαλλ παρα ελ τρ(νσιτο πεσαδο μασ 5% δε  
φιβρα δε πολιετιλενο**



**Ταβλα 45: πεσο εσπεχί φιχο βυλκ δε λασ μυεστρασ χον πολιετιλενο**

No Briq.	PE
	Gmb
	BRIQUETA
124	2.21gr/cm <sup>3</sup>
125	2.27gr/cm <sup>3</sup>
126	2.20gr/cm <sup>3</sup>
PROMEDIO	<b>2.23gr/cm<sup>3</sup></b>

## 4.2. Discusión de resultados

Según el primer objetivo, el cual fue realizar un diseño sin fibras de polietileno para cada uno de los tránsitos (T. pesado, T. medio y T liviano), se logró según normativa del MTC (Ministerio de Transporte y Comunicaciones), cumpliendo con todo lo solicitado, como se aprecia a continuación:

La norma del MTC para el caso de pavimentos en frio nos pide alcanzar requerimientos en el ensayo de Marshall tanto como estabilidad y flujo el cual las muestras deben cumplir con la tabla 33.

Después de realizar mi diseño y ensayarlo en el Marshall se obtuvieron los siguientes resultados.

**Ταβλα 46: Τρ(νσιτο πεσαδο**

RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL	
FLUJO(mm)	2.67
Estabilidad en Kg	1729

**Ταβλα 47: Τρανσιτο μεδιανο**

RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL	
FLUJO(mm)	2.60
Estabilidad en Kg	1533

**Ταβλα 48: Τρανσιτο λιπιανο**

RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL	
FLUJO(mm)	2.77
Estabilidad en Kg	1105

Por consiguiente, los diseños de mezcla asfáltica convencional cumplen con los parámetros de la norma. Con lo cual se comprobó el diseño optado con las características de los agregados y porcentajes optados para el diseño fueron los óptimos.

Según el segundo objetivo específico diseñó de mezcla asfáltica en frío con fibra de polietileno, se tienen tres tipos de fibra de polietileno con 3 tipos de características granulométricas distintas donde se observó:

Con la fibra de polietileno tipo 1 (Anexo D) es un material que no es compatible con el asfalto en frío, por motivos que no es compactable para ningún tipo de tránsito y por lo cual no se pudo realizar el ensayo Marshall por consiguiente no es aplicable por lo cual se concluye que la fibra de polietileno tipo 1 especificada en el (anexo d) no debe usarse para la fabricación de asfalto en frío para ningún tipo de tránsito.



Briqueta sin ensayar se desmorona

Con la fibra de polietileno tipo 2 (anexo d) se observó que es un material no compatible con el asfalto en frío por generarle al asfalto falta de consistencia por lo cual genera un asfalto inestable no compactable por lo cual se concluye que este asfalto no cumple con lo especificado en la norma por lo que no es aplicable.

Con la fibra de polietileno tipo 3 con los datos obtenidos se observó que al elaborar las briquetas se podían compactar hasta porcentajes de 8 % para los tres tipos de tránsito las briquetas fueron ensayadas en el ensayo Marshall para comprobar que las muestras cumplan con la norma del MTC y este dentro de los parámetros, con lo cual se aprecia que las muestras que cumplieron fueron las del tránsito pesado hasta un porcentaje adicional de polietileno del 5% lo que nos genera valores dentro del rango de la norma y se observa adicionalmente mediante el proceso de toma de datos que el volumen aumento en 12.8% y que la muestra con polietileno seca 1 día más rápido a comparación de la mezcla convencional que demora 2 días en evaporar el agua

Ταβλα 49: Δατοσ οβτενιδοσ δε λοσ ενσαιοσ

RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL	
FLUJO(mm)	3.10
Estabilidad en Kg	1515

Para los otros 2 tipos de tránsito no cumplió porque los datos leídos el flujo sobre pasaba los resultados del flujo.



Comparación entre el polietileno “tipo 1” y “tipo 3”

En cuanto al objetivo 3 si bien la mezcla asfáltica sigue manteniendo características similares y que están dentro de los rangos de la norma se debe analizar por eficiencia y costo si es rentable la aplicación de la fibra de polietileno en porcentaje de 5%

Ταβλα 50: Χυαδρο δε χοοοοο

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNI	CANT	P. U	PARCIAL	TOTAL
	<b>PAVIMENTO</b>					
<b>I</b>	<b>PAVIMENTO FLEXIBLE EN FRIO, E=2".</b>					
<b>1</b>	<b>PAVIMENTO FLEXIBLE</b>					<b>141.02</b>
<b>1.1.0</b>	<b>CAPA ANTICONTAMINANTE Y DE DRENAJE (OVER e=20.00 cms)</b>					
1.1.1	Extracción	m3	1	5.2	5.2	
1.1.2	Carguío en cantera	m3	1	1.98	1.98	
1.1.3	Transporte desde cantera	m3	1	31.79	31.79	

1.1.4.	Extendido, riego, nivelación y compactación	m2	1	1.38	1.38	
<b>1.2.0</b>	<b>SUB BASE (e=17.50 cms)</b>					
1.2.1	Extraccion	m3	1	5.2	5.2	
1.2.2	Zarandeado por gravedad<2"	m3	1	3.58	3.58	
1.2.3	Carguio en cantera	m3	1	1.43	1.43	
1.2.4	Transporte desde cantera	m3	1	31.77	31.77	
1.2.5	Extendido, riego, nivelación y compactación.	m2	1	1.25	1.25	
1.2.6	Suministro y colocación de Geomalla multiaxal TX160	m2	1	9.53	9.53	
<b>1.3.0</b>	<b>BASE (e=20 cms.)</b>					
1.3.1	Extracción	m3	1	6.73	6.73	
1.3.2	Zarandeado por gravedad<2"	m3	1	3.58	3.58	
1.3.3	Carguío en cantera	m3	1	1.43	1.43	
1.3.4	Transporte desde cantera	m3	1	31.77	31.77	
1.3.5	Extendido, riego, nivelación y compactación	m2	1	1.4	1.4	
<b>2</b>	<b>IMPRIMACION</b>					<b>3</b>
<b>2.1.0</b>	<b>Riego con mezcla de asfalto liquido</b>	m2	1	3	3	
<b>3</b>	<b>CARPETA ASFALTICA por m3</b>					<b>532.23</b>
<b>3.1.0</b>	<b>AGREGADO GRUESO</b>					
3.1.1	Extracción en cantera	m3	0.405	5.85	2.36925	
3.1.2	Carguío en cantera	m3	0.405	2.97	1.20285	
3.1.3	Transporte desde cantera 60 Km	m3	0.405	27	10.935	
<b>3.2.0</b>	<b>AGREGADO FINO</b>					
3.2.1	Extracción en cantera	m3	0.475	5.4	2.565	
3.2.2	Carguío en cantera	m3	0.475	2.97	1.41075	
3.2.3	Transporte desde <b>cantera 60 Km</b>	m3	0.475	27	12.825	
<b>3.3.0</b>	<b>Emulsion</b>					
3.3.1	css-1h	gl	29.31	11.5	337.065	
<b>3.4.0</b>	<b>Polietileno</b>					
3.4.1	polietileno incluido transporte incluido 40 Km	m3	0.05	3000	150	
<b>3.5.0</b>	<b>Preparacion de la mezcla IN SITUM</b>	m3	1	12.45	12.45	
<b>3.6.0</b>	<b>Extendido y compactación</b>	m2	1	1.41	1.41	
<b>COSTO DIRECTO PAVIMENTOS</b>						<b>676.25</b>

# **CAPÍTULO V**

## **PROPUESTA DE INVESTIGACION**

## CAPÍTULO V: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

En el transcurso de la presente investigación, se pudo determinar que el polietileno de las botellas es un material que su relación volumen/peso, es alto lo cual pudo ser aplicado en pavimentos en frío como añadido solo con la fibra de menor tamaño por lo que se propone que se realice temas de investigación denominado:

Utilización de la fibra de polietileno como parte del agregado fino en mezclas asfálticas en frío.

Fundamentado: en mis resultados que como se demostró el polietileno para un tránsito pesado no solo aumento su volumen sino también disminuyo el tiempo de secado del mismo y se mantenido cumpliendo lo estipulado en la normativa. Y así poder contribuir al reforzamiento del tema.

A su vez para poder realizar esta propuesta se recomienda revisar el manual del MTC de suelos y pavimentos y así poder determinar los tamaños máximos del agregado fino.

Consiguiendo los parámetros del agregado fino se tendrá que tener en cuenta que procedimiento seguirá y determinar el mejor porcentaje de polietileno que remplazara al agregado fino.

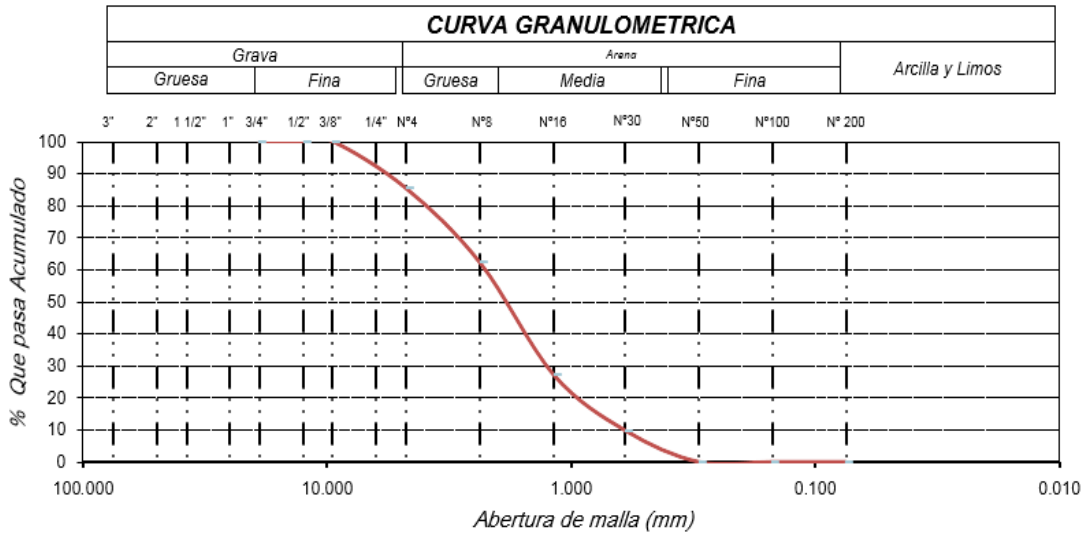
Se tendrá en cuenta que la forma de comprobar las muestras a elaborar tendrán que comprobarse para cada uno de las briquetas con el ensayo de marshall y verificar que los resultados estén en los parámetros normados.



# **CAPÍTULO VI**

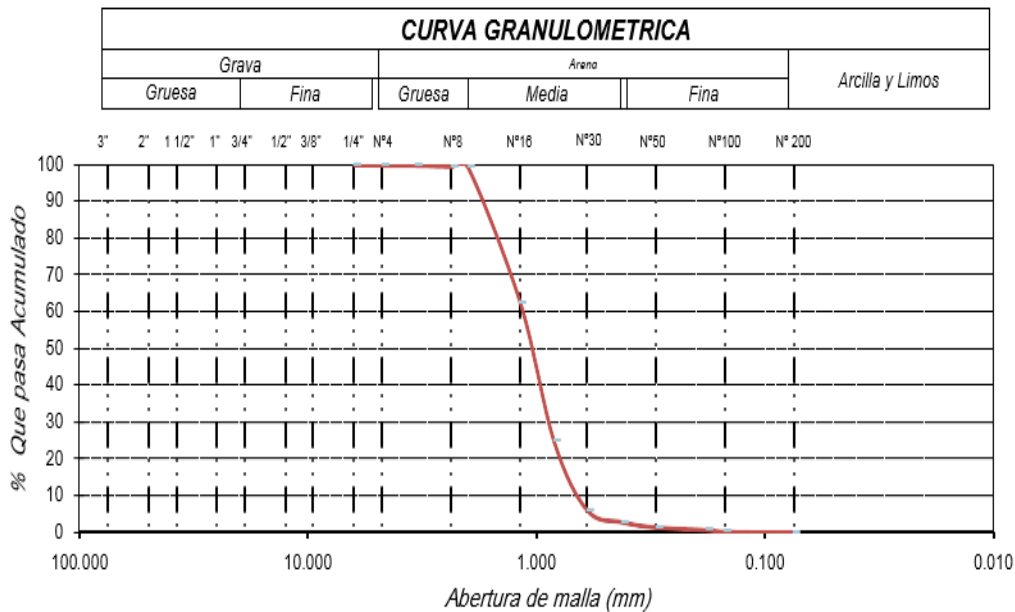
## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**





La mezcla se desmorona después de su compactación por lo cual se concluye que no se debe usar esta fibra en el asfalto en frío para ningún tipo de los 3 transito.

Con la fibra de polietileno cuya granulometría se muestra:



Fuente: propia

Se concluye que mediante el análisis de la mezcla asfáltica, para tránsito pesado, cumple con 5% adicional de polietileno para elaboración de mezclas asfálticas en frío, ya que estas presentan mejores condiciones que el agregado

normal en cuanto a volumen y eficiencia en cuanto a los días de espera para su uso, aumenta el volumen en 12.8% y disminuye en un día el secado de la emulsión asfáltica.

Y se sigue manteniendo en el rango especificado por la norma ya se ha hablado en la tabla 33 y dio resultados promedios siguientes:

RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL	
FLUJO(mm)	3.10
Estabilidad en Kg	1515

Con la misma clasificación de fibra de polietileno para el tránsito medio y liviano no lo recomiendo por no haber cumplido con los requisitos solicitados en la norma (flujo y estabilidad).

Se comprobó que el método más exacto para diseñar mezclas asfálticas en frío es las áreas equivalentes ya que este nos permite calcular la cantidad de exactas de agregado, cantidad de asfalto a ser utilizado en la mezcla según ensayos previos y cumplir los parámetros del Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

Para este proyecto fue necesario la elaboración de un diseño patrón con agregados convencionales el cual cumple con los estándares de calidad del MTC, para así de esa manera realizar la comparación respectiva y que tanto este puede modificar.

## **6.2. Recomendaciones**

Se propone realizar investigaciones en tramos de prueba en donde se evalúe su comportamiento ante la acción real de móviles.

Exhortar a las empresas dedicadas a la fabricación del plástico; la creación de planes, programas con el estado o cualquier empresa fomentar el reciclado del plástico como lo viene haciendo la empresa BACKUS.

Las empresas cuya labor es la extracción de agregados, evaluar las bondades de la escoria siderúrgica, la producción y la factibilidad de esta como agregado en elementos estructurales sea para pavimentos o cualquier otro tipo de obra civil, ya que la extracción de agregado se encuentra limitada a la capacidad de la cantera y el número de las mismas.

Se recomienda el uso de emulsiones asfálticas ya que es un material no contaminante y fácil de manejo en mezclas asfálticas en frío.

## REFERENCIAS:

Abraham, H. (1916). *Asphalts and Allied Substance*. New York.

Acuña, M. J. (2009). *Mezclas asfálticas*. Costa Rica.

Association, Asphalt Institute Manufactures. (2010). *Manual Basico de Emulsiones Asfálticas*. Printed in the USA: Library of Card Number.

Avellán Cruz, M. D. (2007). *Asfaltos Modificados con Polímeros*. Guatemala.

Cesar Mauricio Clavijo Rey, C. A. (2014). *Análisis del comportamiento físico - mecánico de una mezcla densa en caliente tipo mdc-2 modificada con caucho y cuero en porcentajes (25%, 75%) respectivamente*. . Colombia.

Cruz, M. D. (2007). *Asfaltos Modificados con Polimeros*. Guatemala.

Elías, A. D. (2008). *Pavimento Microaglomerado en frío*. Paraguay.

Girón, I. E. (2005). *ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES Y APLICACIONES INDUSTRIALES DEL POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD*. Guatemala.

González, S. P. (2013). *Políetileno de alta y baja densidad*. Chile.

Guerrero Álvarez Andrés, G. H. (2013). *Producción de emulsiones asfálticas para mezclas en frío con SBS lineal de diferente microestructura*. Altamira - México.

Hernandez, A. M. (2004). *Asfaltos modificados y pruebas de laboratorio para caracterizarlos*. Mexico, D.F.

Lizcano, A. S. (Julio - diciembre 2007). Caracterización física de un asfalto modificado con poliestireno y llanta triturada. . *Revista Épsilon* N° 9, 41-55.

*Manual de Ministerio de Transportes y Comunicaciones* . (n.d.).

Marín, A. H. (2004). *Asfaltos Modificados y Pruebas de Laboratorio para Caracterizarlos*. Tesis, Instituto Politécnico Nacional, Ingeniería Civil, México.

*Norma Técnica Peruana, petróleo y derivados*. . (n.d.). Perú.

Pfeiffer, J. P. (1950). *The Properties of Asphaltic Bitumen*. . Amsterdam.

Preciado, C. B., & Sierra, C. M. (2013). *Utilización de Fibras Desechas de Procesos Industriales como Estabilizador de Mezclas Asfálticas*. Tesis, Pontificia Universidad Javeriana, Ingeniería Civil, Colombia.

Ramírez, V. X. (2010). *Utilización de escoria siderúrgica para mejoramiento de mezclas asfálticas en frío*. Ecuador - Quito - Quito.

*Reglamento nacional de edificaciones - norma CE.010*. . (n.d.). Perú.

Rodríguez, H. M. (2005). *Análisis de pavimentación (mdc-3) mejoradas con escorias*. Bogotá - Colombia.

Rolando, F. F. (2002). *Estudio Comparativo entre Mezclas Asfálticas con Diluido RC-250 y Emulsión*. Tesis, Universidad de Piura, Ingeniería Civil, Piura.

Troncoso, J. R., & Reyes, O. O. (2005, Noviembre). Comportamiento Mecánico y Dinámico de una Mezcla. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*.

Valdivia, F. A. (2008). *Análisis de Pavimento Asfáltico Modificado con Polímero*. Chile.

Villar, i. J. (2000). *Esquema actual y futuro de producción de Asfaltos en PEMEX refinación*.

## Anexos