

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE CIVIL



“UTILIZACIÓN DE VIRUTA DE PVC EN MEZCLAS ASFÁLTICAS  
EN CALIENTE”

AUTORES:

JORGE IVÁN BURBANO DEL CASTILLO  
JAYRO STALIN SALAZAR SALAZAR

DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
INGENIERO CIVIL

DIRECTOR:

ING. JUAN CARLOS MONTERO

QUITO, DICIEMBRE DE 2019

## Índice de contenido

GLOSARIO:.....	1
RESUMEN .....	1
ABSTRACT.....	2
CAPÍTULO I .....	3
INTRODUCCIÓN.....	3
1.1    GENERALIDADES .....	3
1.2    OBJETIVOS.....	5
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
1.3    JUSTIFICACIÓN .....	6
1.4    ALCANCE .....	8
1.5    METODOLOGÍA .....	9
CAPÍTULO II .....	11
ANÁLISIS DE LOS MATERIALES .....	11
2.1 EL PVC.....	11
2.1.1 COMPOSICIÓN .....	12
2.1.2 PROCESO DE OBTENCIÓN DE LA VIRUTA.....	13
2.2 AGREGADOS.....	13
2.2.1 ORIGEN Y COMPOSICIÓN .....	13
2.2.2 OBTENCIÓN DE LOS AGREGADOS .....	16
2.2.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS .....	21
2.2.3.1 DESCRIPCIÓN Y EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS .....	22
2.2.3.1.1 GRANUOMETRÍA ASTM C-136 ( <i>diciembre 1, 2014</i> ) .....	22
2.2.3.1.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA ASTM C29M-17a ( <i>abril 1, 2017</i> ) .....	23
2.2.3.1.3 RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS, POR ABRASION E IMPACTO EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES. ASTM C535-16 ( <i>junio 15, 2016</i> )	25
2.2.3.1.4. EQUIVALENTE DE ARENA ASTM D2419-14 ( <i>junio 1, 2014</i> ).....	26
2.2.3.1.5 RESISTENCIA DE LOS AGREGADOS MEDIANTE EL USO DE SULFATO ATSMC88-18 ( <i>agosto 21, 2018</i> ) .....	27
2.3 EL ASFALTO .....	28
2.3.1 DEFINICIÓN .....	28
2.3.2 COMPOSICIÓN .....	29
2.3.3 OBTENCION DEL ASFALTO AC-20.....	31

2.3.4 PROPIEDADES DEL ASFALTO .....	32
2.3.5 DESCRIPCIÓN Y EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS .....	33
2.3.5.1 PENETRACIÓN ESTÁNDAR PARA MATERIALES BITUMINOSOS ASTM D5 ( <i>Junio 13, 2019</i> ).....	33
2.3.5.2 PUNTO DE ABLANDAMIENTO O REBLANDECIMIENTO EN MATERIAL BITUMINOSO ASTM D36M-14 ( <i>Julio1, 2014</i> ).....	34
2.3.5.3 DUCTILIDAD EN MATERIAL BITUMINOSO ASTM D113-17 ( <i>Diciembre15,     2017</i> ) .....	35
2.3.5.4 PUNTO DE INFLAMACIÓN Y COMBUSTIÓN ASTM D92-18 ( <i>Agosto 14, 2018</i> ) .....	36
2.3.5.5 PESO ESPECÍFICO ASTM D70-18a ( <i>Diciembre 18, 2018</i> ) .....	37
2.3.5.6 PÉRDIDA DE MASA RTFO ASTM D2872 ( <i>Junio 25, 2019</i> ) .....	38
2.3.5.7 CARTA DE VISCOSIDAD ASTM D2171-18 ( <i>Diciembre 21, 2018</i> ).....	39
CAPÍTULO III .....	40
MEZCLAS ASFÁLTICAS .....	40
3.1 GENERALIDADES .....	40
3.2 ORIGEN Y COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA .....	42
3.3 PROPIEDADES DE LAS MESCLAZ ASFÁLTICAS.....	44
3.4 DISEÑO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS .....	48
3.4.1 DISEÑO DE MEZCLAS EN CALIENTE.....	48
3.4.1.1 MÉTODO MARSHALL.....	49
3.4.1.2 DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA SIN PVC.....	51
3.4.1.2.1 DISEÑO #1 0% PVC – 100% AGREGADO.....	53
3.4.1.3 DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CON PVC.....	57
3.4.1.3.1 DISEÑO #2 5% PVC – 95% AGREGADO.....	58
3.4.1.3.2 DISEÑO #3 10% PVC – 90% AGREGADO.....	58
3.4.1.3.3 DISEÑO #4 15% PVC – 85% AGREGADO.....	59
3.4.1.3.4 DISEÑO #5 20% PVC – 80% AGREGADO.....	59
CAPÍTULO IV .....	61
4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	61
4.1.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ASFALTO .....	61
4.1.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL AGREGADO.....	62
4.1.2.1 RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS, POR ABRASION E IMPACTO EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES .....	62
4.1.2.2 EQUIVALENTE DE ARENA .....	62

4.1.2.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO .....	63
4.1.2.4 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO .....	64
4.1.2.5 RESISTENCIA DE LOS AGREGADOS SOMETIDOS A SULFATOS.....	65
4.1.2.6 COMBINACIÓN GRANULOMÉTRICA.....	65
4.1.2.7 CURVA GRANULOMÉTRICA.....	66
4.1.3 ANÁLISIS DE MEZCLA ASFÁLTICA SIN PVC.....	67
4.1.3.1 ANÁLISIS #1 0% PVC – 100% AGREGADO .....	67
4.1.4 ANÁLISIS DE MEZCLA ASFÁLTICA CON PVC.....	71
4.1.4.1 ANÁLISIS DEL PESO ESPECÍFICO .....	71
4.1.4.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD.....	71
4.1.4.3 ANÁLISIS DE FLUJO.....	72
4.1.4.4 ANÁLISIS DE VACÍOS.....	72
4.1.4.5 ANÁLISIS DE VACÍOS LLENOS CON ASFALTO.....	73
4.1.4.6 ANÁLISIS DE VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO MINERAL .....	73
4.1.5 ANÁLISIS DE MEZCLA ASFÁLTICA CON 5% DE PVC Y 5.9% ASFALTO .....	74
4.1.5.1 ANÁLISIS DEL PESO ESPECÍFICO CON 5% DE PVC Y 5.9% ASFALTO .....	74
4.1.5.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CON 5% DE PVC Y 5.9% ASFALTO .....	75
4.1.5.3 ANÁLISIS DE FLUJO CON 5% DE PVC Y 5.9% ASFALTO .....	75
4.1.5.4 ANÁLISIS DE VACÍOS CON 5% DE PVC Y 5.9% ASFALTO.....	76
4.1.5.5 ANÁLISIS DE VACÍOS LLENOS CON ASFALTO CON 5% DE PVC Y 5.9% ASFALTO .....	76
4.1.5.6 ANÁLISIS DE VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO MINERAL CON 5% DE PVC Y 5.9% ASFALTO .....	77
CAPÍTULO V .....	78
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	78
5.1 CONCLUSIONES.....	78
5.2 RECOMENDACIONES.....	83
BIBLIOGRAFÍA.....	84

## Índice de contenido de Tablas

Tabla 2.0.1 Clasificación de Rocas Ígneas (Asphalt, 2001).....	15
Tabla 2.0.2 Coordenadas Colibrí 4 .....	17
Tabla 2.0.3 Datos de la mina Colibrí (ARCOM) (Minero, 2018) .....	19
Tabla 2.0.4 Gradación para ensayo.....	25
Tabla 2.0.5 Composición del Cemento Asfáltico .....	29
Tabla 2.0.6 Temperatura de compactación y Mezclado.....	39
Tabla 3.0.1 Clasificación del cemento asfáltico según su viscosidad (Delgado, 2011) .....	43
Tabla 3.0.2 Clasificación del cemento asfáltico según su grado de penetración (Delgado, 2011) .....	43
Tabla 3.0.3 Causas y Efectos de Estabilidad Baja.....	45
Tabla 3.0.4 Causas y Efectos de Durabilidad Baja.....	46
Tabla 3.0.5 Causas y Efectos de Mezclas Permeables .....	46
Tabla 3.0.6 Causas y Efectos de Mala resistencia a la Fatiga.....	47
Tabla 3.0.7 Diseño con 4.5% de CA.....	54
Tabla 3.0.8 Diseño con 5.0% de CA.....	54
Tabla 3.0.9 Diseño con 5.5% de CA.....	55
Tabla 3.0.10 Diseño con 6.0% de CA.....	55
Tabla 3.0.11 Diseño con 6.5% de CA.....	56
Tabla 3.0.12 Comprobación de Diseño con 5.9% de CA .....	56
Tabla 3.0.13 Diseño con 5.0% de PVC – 95.0% Agregado.....	58
Tabla 3.0.14 Diseño con 10.0% de PVC - 90.0% Agregado .....	58
Tabla 3.0.15 Diseño con 15.0% de PVC - 85.0% Agregado .....	59
Tabla 3.0.16 Diseño con 20.0% de PVC - 80.0% Agregado .....	59
Tabla 4.0.1 Resultados de Laboratorio del CA .....	61
Tabla 4.0.2 Resultados Desgaste de Agregados por Abrasión.....	62
Tabla 4.0.3 Resultados Equivalente de Arena.....	62
Tabla 4.0.4 Resultados Gravedad Específica y Absorción (Agregado Grueso).....	63
Tabla 4.0.5 Resultados Gravedad Específica y Absorción (Agregado Fino Pasante N° 8).....	64
Tabla 4.0.6 Resultados Gravedad Específica y Absorción (Agregado Fino Pasante N° 200). 64	64
Tabla 4.0.7 Resultados Desgaste de Agregados por Sulfatos .....	65
Tabla 4.0.8 Combinación Granulométrica .....	65
Tabla 4-0.9 Resultados Gravedad Específica Bulk y contenido efectivo de CA .....	67
Tabla 4.0.10 Resultados de Briquetas de Comprobación con 5.9% CA .....	67
Tabla 4.11 Parámetros de diseño Briquetas (Tabla 405-5-4 MOP) .....	74

## Índice de contenido de Ilustraciones

Ilustración 1.0.1 Red vial del Ecuador (caminos Primarios y Secundarios) (Ecuador, Instituto Frances de Estudios Andino, 2018).....	3
Ilustración 1.0.2 Autopista Collas (Ecuador) (EC, 2014).....	4
Ilustración 1.0.3 Mina El Colibrí (Iván Burbano, 2019) .....	5
Ilustración 2.0.1 Composición Química del PVC (Científicos, 2005).....	12
Ilustración 2.0.2 PVC Triturado (comparado con moneda de 5 centavos americanos) (Iván Burbano, 2019) .....	13
Ilustración 2.0.3 Ubicación mina Colibrí (GOOGLE, 2016) .....	17
Ilustración 2.0.4 Pilas de Material Pétreo (Iván Burbano, 2019).....	20
Ilustración 2.0.5 Máquina de Trituración (Iván Burbano, 2019).....	21
Ilustración 2.0.6 Tamizadora (Iván Burbano, 2019).....	23
Ilustración 2.0.7 Ensayo Gravedad Específica (agregado fino) (Iván Burbano, 2019) .....	24
Ilustración 2.0.8 Máquina de los Ángeles (Norma ASTM C-535) .....	25
Ilustración 2.0.9 Máquina de los Ángeles (exterior) (Iván Burbano, 2019) .....	26
Ilustración 2.0.10 Ensayo Equivalente de Arena (Iván Burbano, 2019).....	26
Ilustración 2.11 Ensayo Desgaste de los agregados por acción de sulfatos (Iván Burbano, 2019) .....	27
Ilustración 2.0.12 Descarga de Asfalto (Iván Burbano, 2019).....	28
Ilustración 2.0.13 Refinería Estatal de Esmeraldas (MN, 2019).....	30
Ilustración 2.0.14 Explotación del Asfalto de Petróleo (Asphalt, 2001) .....	31
Ilustración 2.0.15 Ensayo de Penetración (Iván Burbano, 2019).....	33
Ilustración 2.0.16 Ensayo Punto de Ablandamiento (Iván Burbano, 2019).....	34
Ilustración 2.0.17 Ensayo Ductilidad (Iván Burbano, 2019).....	35
Ilustración 2.0.18 Ensayo Punto de Inflamación (Iván Burbano, 2019).....	36
Ilustración 2.0.19 Ensayo Peso Específico (Iván Burbano, 2019).....	37
Ilustración 2.0.20 Ensayo Pérdida de masa en horno RTFO (Iván Burbano, 2019) .....	38
Ilustración 2.0.21 Control de temperatura para compactación y mezclado (Iván Burbano, 2019) .....	39
Ilustración 3.0.1 Recubrimiento del asfalto sobre el agregado (transportes, 2004).....	42
Ilustración 3.0.2 Diagrama de estabilidad y flujo (Método Marshall) (Iván Burbano, 2019) .....	44
Ilustración 3.0.3 Compactador (Método Marshall) (Iván Burbano, 2019) .....	48
Ilustración 3.0.4 Equipo para Ensayo Método Marshall (Iván Burbano, 2019).....	49
Ilustración 3.0.5 Equipo para Ensayo Rice (Iván Burbano, 2019) .....	50
Ilustración 3.0.6 Agregados para diseño (Iván Burbano, 2019).....	51
Ilustración 1.0.7 Mezcla de materiales con C.A. (Iván Burbano, 2019).....	52
Ilustración 3.0.8 Briquetas 100% agregado 0.0% PVC (Iván Burbano, 2019) .....	53
Ilustración 3.0.9 Mezcla de agregados con PVC (Iván Burbano, 2019).....	57
Ilustración 3.0.10 Briquetas de diseño con PVC (Iván Burbano, 2019) .....	60
Ilustración 4.0.1 Curva Granulométrica (Iván Burbano, 2019) .....	66
Ilustración 4.0.2 % Asfalto vs. Peso específico (Iván Burbano, 2019).....	68
Ilustración 4.0.3 % Asfalto vs. Estabilidad (Iván Burbano, 2019).....	68
Ilustración 4.0.4 % Asfalto vs. Flujo (Iván Burbano, 2019).....	69

Ilustración 4.0.5 % Asfalto vs. VTM (Iván Burbano, 2019) .....	69
Ilustración 4.0.6 % Asfalto vs. VAM (Iván Burbano, 2019) .....	70
Ilustración 4.0.7 % Asfalto vs. VAF (Iván Burbano, 2019) .....	70
Ilustración 4.0.8 ANÁLISIS DEL PESO ESPECÍFICO (Iván Burbano, 2019) .....	71
Ilustración 4.0.9 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD (Iván Burbano, 2019) .....	71
Ilustración 4.0.10 ANÁLISIS DE FLUJO (Iván Burbano, 2019) .....	72
Ilustración 4.0.11 ANÁLISIS DE VACÍOS (Iván Burbano, 2019).....	72
Ilustración 4.0.12 ANÁLISIS DE VACÍOS LLENOS CON ASFALTO (Iván Burbano, 2019).....	73
Ilustración 4.0.13 ANÁLISIS DE VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO MINERAL (Iván Burbano, 2019) .....	73
Ilustración 4.0.14 ANÁLISIS DEL PESO ESPECÍFICO CON 5% DE PVC Y 5.9% ASFALTO (Iván Burbano, 2019) .....	74
Ilustración 4.0.15 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CON 5% DE PVC Y 5.9% ASFALTO (Iván Burbano, 2019) .....	75
Ilustración 4.0.16 ANÁLISIS DE FLUJO CON 5% DE PVC Y 5.9% ASFALTO (Iván Burbano, 2019) .....	75
Ilustración 4.0.17 ANÁLISIS DE VACÍOS CON 5% DE PVC Y 5.9% ASFALTO (Iván Burbano, 2019) .....	76
Ilustración 4.0.18 ANÁLISIS DE VACÍOS LLENOS CON ASFALTO CON 5% DE PVC Y 5.9% ASFALTO (Iván Burbano, 2019) .....	76
Ilustración 4.0.19 ANÁLISIS DE VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO MINERAL CON 5% DE PVC Y 5.9% ASFALTO (Iván Burbano, 2019) .....	77

## GLOSARIO:

- **Abrasión:** Proceso de desgaste o destrucción de un material debido a factores externos.
- **Anisotrópico:** Sustancia o cuerpo que posee propiedades físicas distintas, según la dirección en la que se mide.
- **Coloide:** Sustancia que se dispersa lentamente en un líquido.
- **Exudación:** Dicho de un cuerpo que deja que salga por sus poros o grietas un líquido o sustancia viscosa.
- **N-heptano:** Heptano de cadena lineal.
- **Inocuo:** Que no hace daño
- **Máfico:** Adjetivo que se aplica a un silicato o roca que es rico en magnesio y hierro.
- **Resina:** Sustancia sólida o de consistencia pastosa.  
Insoluble en el agua, soluble en el alcohol y en los aceites esenciales.
- **Piroxeno:** Grupo de silicatos que forman parte de muchas rocas ígneas y metamórficas.
- **Plagioclasa:** Conjunto de minerales del grupo de los feldespatos.
- **Polímero:** Compuesto químico, natural o sintético, formado por polimerización y que consiste esencialmente en unidades estructurales repetidas.
- **Polimerización:** Reacción en la que dos o más moléculas cambian para formar otra en la que se repiten unidades estructurales de las moléculas originales.

- **Segregación:** Técnica de separación mecánica en el que una mezcla de sólidos, con diferentes características, se separan en fracciones iguales
- **Silicato:** Grupo de minerales que forman las rocas que constituye el 95% de la corteza terrestre. Formados por silicio y oxígeno.
- **Termoplástico:** Dicho de un material que es maleable por el calor.

## RESUMEN

Con el paso del tiempo la tecnología de los asfaltos ha ido cambiando constantemente, por lo que modificarlos se ha convertido en una de las técnicas más utilizadas para cambiar las características que presentan las mezclas asfálticas convencionales al soportar niveles de tránsito elevados, cambios de temperatura en la vía y problemas climáticos. Por lo que cada vez se busca con esta investigación mejorar algunas de sus propiedades mecánicas y reológicas de las mezclas asfálticas convencionales, como pueden ser la estabilidad, el flujo, la rigidez y la resistencia al envejecimiento. Por lo que en esta investigación se presentan resultados experimentales al ensayar una mezcla asfáltica en caliente con la utilización del Policloruro de Vinilo (PVC), para analizar el comportamiento que este va a tener con las mezclas asfálticas en caliente y mediante ensayos Marshall determinar cómo se lo ha modificado analizando la estabilidad y el flujo. Para la comparación del comportamiento de mezclas asfálticas convencionales y modificadas, realizamos ensayos Marshall. La modificación en la mezcla asfáltica se la realizo mediante la vía húmeda. Adicionando viruta de PVC virgen con lo que se obtiene una mezcla asfáltica con mayor penetración y menor susceptibilidad térmica a fluir.

## ABSTRACT

Over time, asphalt technology has been constantly changing, which is why modifying them has become one of the most widely used techniques to change the characteristics of conventional asphalt mixtures that support high changes of traffic, road temperature and climate problems. On the same hand, it is increasingly sought with these researches to improve some of its mechanical and rheological properties of conventional asphalt mixtures such as stability, flow, stiffness and resistance to aging. Therefore, this research presents experimental results when testing a hot asphalt mixture with the use of Polyvinyl Chloride (PVC) to analyze the behavior that this will have with hot asphalt mixtures and Marshall tests to help determine how it has been modified by analyzing stability and flow. For comparison of the behavior of conventional and modified asphalt mixtures, we perform Marshall tests. The modification in the asphalt mixture was made by the wet roads. Adding virgin PVC chip with which an asphalt mixture is obtained with greater penetration and less thermal susceptibility to flow.



Tomando en cuenta que el 12.98% de las vías del Ecuador tienen las condiciones óptimas para circular adecuadamente y que el 87.02% de vías son caminos de segundo y tercer orden, se busca de alguna manera reducir este problema de transitabilidad en lugares en los que las condiciones no son las mejores y es por eso que se busca con métodos convencionales (Marshall), modificar e intentar optimizar las mezclas con componentes no tradicionales, en este caso incorporar el PVC siendo un material virgen que es rechazado por no cumplir con los requerimientos visuales tales como son la longitud y forma es así que el PVC se introduce como material alternativo de los agregados para la construcción de vías, que es una alternativa que se considera para tratar de reducir el impacto generado por las explotaciones de las minas.



*Ilustración 1.0.2 Autopista Collas (Ecuador) (EC, 2014)*

Tomando como patrón una muestra del concreto asfáltico que contenga los materiales idóneos que son utilizados en las mezclas asfálticas, se propone compararla en todos los aspectos físicos y mecánicos con una muestra que contenga PVC, tomando en

cuenta que se sustituirá en distintas proporciones el agregado que se retiene en el tamiz #4.



*Ilustración 1.0.3 Mina El Colibrí (Iván Burbano, 2019)*

## 1.2 OBJETIVOS

### *1.2.1 OBJETIVO GENERAL*

Determinar las propiedades físicas y mecánicas obtenidas de las probetas de asfalto flexible, en la cual se reemplaza la viruta de PVC por material granular grueso (retenido en el tamiz #4), analizando los porcentajes óptimos de PVC y de cemento asfáltico, para así poder obtener una mezcla asfáltica con buenas características, además para evaluar el comportamiento de la mezcla y compararlos con los requisitos de las normas Ecuatorianas establecidas.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Mediante el método Marshall diseñar una muestra de concreto asfáltico que será establecida como una línea base para la investigación, con propiedades óptimas de contenido de asfalto, porcentaje de vacíos, estabilidad y flujo que no incluyan el PVC.
- Estimar la relación necesaria de PVC que se utilizará para la mezcla de la probeta.
- Determinar los valores de estabilidad y deformabilidad de los pavimentos asfálticos con la inclusión de la viruta de PVC diseñados por método Marshall.
- Analizar los datos y valores obtenidos por el método Marshall de los diseños de concreto asfáltico convencional, y compararlos con los resultados de probetas con PVC incluido.

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

El Policloruro de vinilo (PVC) es un material proveniente de la combinación cloruro de sodio y del petróleo, el PVC en su estado original es un polvo de color blanco; la resina resultante de la polimerización de este polvo tiene como resultado un plástico que presenta miles de usos ya que pueden obtenerse objetos plásticos de distinta rigidez, pueden obtenerse plásticos muy flexibles o muy rígidos, dependiendo de su determinado uso (Gardey, 2015).

El PVC a pesar de que es un material muy utilizado y tiene muchas ventajas para sus distintos usos, una gran desventaja es que se presenta como un desecho después de utilizarlo y esto es un gran inconveniente ya que el plástico aproximadamente tarde

1000 años en degradarse y sus residuos presentan un gran problema en la contaminación a nivel mundial ya que es un largo periodo de tiempo para esperar a que este material se degrade. (GreenpeaceEspaña, 2016).

Se incluye el PVC, siendo un material virgen, en las mezclas asfálticas en caliente como una nueva alternativa para la conformación de asfaltos flexibles, con la finalidad de verificar las propiedades de esta nueva mezcla. Se toma en cuenta si las propiedades del asfalto flexible son modificadas ya que no solo estaría conformado por los distintos tamaños de agregados y el cemento asfáltico, si no que en este caso se incluirá un material con características completamente diferentes a las utilizadas habitualmente (Porto & Gardey, 2015).

Debido a la vida útil del PVC, se debe tomar en cuenta, cuál será su comportamiento y la duración de este material una vez que sea incluido en la mezcla asfáltica. Esto únicamente se logrará realizando un tramo de prueba (actividad no contemplada en esta investigación), en el cual se evalúan los resultados estando sometido a cargas vehiculares. Posteriormente si los resultados obtenidos con material virgen son óptimos se puede contemplar una investigación en la cual se incorpore material reciclado. Por tanto, la investigación que se ha realizado cumple con un primer objetivo, dentro de un plan, que en el caso de obtener buenos resultados se deberá seguir.

Así mismo, este programa de investigación esta direccionado a reducir el impacto debido a la explotación de minas, así como a reducir la contaminación generada por los plásticos.

#### 1.4 ALCANCE

Para la realización de esta investigación se procederá a obtener agregados pétreos de la cantera del Colibrí, los cuales se ensayan en los laboratorios de la Planta de Emulsión de Herdoiza Crespo S.A., para conocer sus características físicas y establecer si cumplen satisfactoriamente las normas fijadas por las especificaciones.

La viruta de PVC prevé la empresa PLASTIGAMA, el cual es un material virgen triturado, y este se incorpora a la mezcla asfáltica en lugar del agregado grueso retenido en el tamiz #4.

El cemento asfáltico utilizado será un AC-20, el cual será provisto por la Refinería Estatal de Esmeraldas, que de igual manera es ensayado para determinar sus características y propiedades.

Todo este procedimiento se realiza en condiciones óptimas de laboratorio, donde se controlará las cantidades de PVC, cemento asfáltico y cantidad de agregados, además de temperatura de mezcla y compactación de cada una de las briquetas.

## 1.5 METODOLOGÍA

En esta investigación se procede a determinar si las mezclas asfálticas de agregados pétreos en caliente con la viruta de PVC, para lo cual se comprueba el comportamiento de la mezcla según el siguiente plan:

- El material pétreo muestreado de la cantera del Colibrí, se lo ensayará en el laboratorio de la Planta de Emulsión de Herdoiza Crespo S.A. para así determinar las propiedades físicas de los agregados.
- A su vez la empresa de PLASTIGAMA aportará con la viruta de PVC necesaria para la investigación en tamaño y forma definida.
- El asfalto se obtendrá de la Refinería Estatal de Esmeraldas un AC-20, el cual también será ensayado para determinar sus propiedades en el laboratorio de la Planta de Emulsión de Herdoiza Crespo S.A.
- Se realiza un primer diseño para obtener el porcentaje óptimo de cemento asfáltico.
- Con el porcentaje óptimo de asfalto, se procede a realizar 10 briquetas, las cuales se ensayan para determinar las propiedades físicas y mecánicas y se toman como referencia para la comparación con los otros diseños.
- Se establecen las relaciones entre los materiales (agregados – viruta) las cuales son:

0.00% viruta - 100.00% agregados.

5.00% viruta - 95.00% agregados.

10.00% viruta - 90.00% agregados.

15.00% viruta - 85.00% agregados.

20.00% viruta – 80.00% agregados.

- Se obtiene el porcentaje óptimo de PVC y nuevamente se calcula el óptimo de asfalto.
- Por último se realizan 10 briquetas para ensayarlas y comparar los resultados con las briquetas sin PVC.
- Los ensayos que se realizan por el Método Marshall son para determinar sus propiedades físicas y mecánicas.

## CAPÍTULO II

### ANÁLISIS DE LOS MATERIALES

#### 2.1 EL PVC

El Policloruro de Vinilo (PVC) es un moderno y conocido miembro de la familia de los termoplásticos. Es uno de los polímeros más estudiados y utilizados por el hombre para su desarrollo y confort, dado que por su amplia versatilidad es utilizado en áreas tan diversas como la construcción, energía, salud, entre otros. (Científicos, 2005)

El PVC se utiliza mayoritariamente en aplicaciones de larga duración (sólo la industria de la construcción absorbe el 55% de la producción total de PVC). El 64% de sus aplicaciones tienen una vida útil entre 15 y 100 años (tubos, ventanas, puertas, persianas, muebles, etc.). (Termoglass, s.f.)

La diversidad de formulaciones posibles convierte al PVC en el más versátil de los plásticos, permitiéndole adaptarse a aplicaciones y exigencias muy diversas como son:

- Resistente y liviano.
- Versatilidad.
- Longevidad.
- Seguridad.
- Aislante eléctrico.

### 2.1.1 COMPOSICIÓN

El PVC es una combinación química de carbono, hidrógeno y cloro. Sus componentes provienen del petróleo bruto (43%) y de la sal (57%). Es el plástico con menos dependencia del petróleo. En este momento sólo el 4% del consumo total del petróleo se utiliza para fabricar materiales plásticos y de ellos, únicamente una octava parte corresponde al PVC. Se obtiene por polimerización del cloruro de vinilo, cuya fabricación se realiza a partir de cloro y etileno. Es un material ligero y químicamente inerte e inocuo. Es un material termoplástico, es decir, bajo la acción del calor (140 a 205°C) se reblandece pudiendo moldearse fácilmente; cuando se enfría recupera la consistencia inicial conservando la nueva forma. (Asoven, 2018)

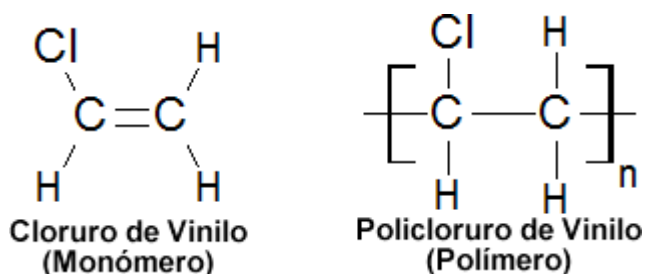


Ilustración 2.0.1 Composición Química del PVC (Científicos, 2005)

Además de su versatilidad el PVC ocupa un lugar privilegiado en la familia de los plásticos por sus propiedades, pues es un material ligero, resistente, inerte y completamente inocuo, con buen comportamiento al fuego (no propaga la llama, es auto extingible), impermeable, aislante (térmico, eléctrico y acústico), resistente a la intemperie.

### 2.1.2 PROCESO DE OBTENCIÓN DE LA VIRUTA

En este tema de investigación se utilizará viruta de PVC virgen, obtenido del triturado de materia prima, de producciones que por varios aspectos visuales, tales como forma y longitud no cumplieron con el control de calidad para salir al mercado debido a sus características que no cumplen con las especificaciones necesarias



Ilustración 2.0.2PVC Triturado (comparado con moneda de 5 centavos americanos) (Iván Burbano, 2019)

## 2.2 AGREGADOS

### 2.2.1 ORIGEN Y COMPOSICIÓN

El agregado, también conocido como roca, material granular o agregado mineral, es cualquier material mineral duro e inerte usado, en forma de partículas graduadas o fragmentos, como parte de un pavimento de mezcla asfáltica en caliente. El agregado constituye entre el 90 y el 95 por ciento, en peso, y entre el 75 y 85 por ciento en volumen de las estructuras de pavimento. (Asphalt, 2001)

Existen varias clases de materiales granulares dependiendo de su formación y composición mineral, dependiendo de estos aspectos previos, cambian sus características físicas y su comportamiento bajo las distintas sollicitaciones a las cuales serán sometidos.

Algunas de las propiedades que deben poseer son las siguientes:

- Afinidad con el asfalto.
- Baja capacidad de absorción.
- Forma definida de la partícula.
- Resistentes a la compresión.
- Libre de impurezas que eviten una buena mezcla asfáltica.
- Graduación y tamaño máximo necesarios.

A continuación, se muestra la clasificación de las rocas según su origen:

### **Rocas ígneas:**

Este tipo de rocas constan de material fundido (magma) que se ha enfriado y solidificado. Hay dos tipos de rocas ígneas: extrusivas e intrusivas.

Las rocas ígneas extrusivas son formadas a partir del material que se ha vertido afuera, sobre la superficie terrestre, el material se enfría rápidamente al estar expuesto a la atmósfera, dándole apariencia y estructura vidriosa.

Las rocas ígneas intrusivas se forman a partir del magma que queda atrapado en las profundidades de la corteza terrestre. Se enfría y se endurece lentamente, permitiendo la formación de una estructura cristalina. (Asphalt, 2001)

CLASE	TIPO	FAMILIA
IGNEAS	INTRUSIVAS	GRANITO
		SIENITA
		DIORITA
		PERIODONITA
		PIROXENITA
	EXTRUSIVAS	HORNABLENDITA
		OBSIDIANA
		POMEZ
		TUFA
		RIOLITA
		TRAQUITA
		ANDESITA
		BASALTO
		DIABASA

Tabla 2.0.1 Clasificación de Rocas Ígneas (Asphalt, 2001)

Los agregados usados en el pavimento asfáltico se clasifican generalmente de acuerdo a su origen:

- Agregados naturales:

Son aquellos que son utilizados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento. Están constituidos por partículas producidas mediante procesos naturales de erosión y degradación, tales como el viento, el agua, el movimiento del hielo. Las gravas y arenas naturales utilizadas para la elaboración de pavimentos se clasifican: materiales en bruto, que son aquellos que son producidos en canteras abiertas y usadas sin ningún procesamiento adicional son conocidos como materiales en bruto, y los materiales tomados de la ribera de un río, son conocidos como materiales de canteras de ríos. (Asphalt, 2001)

- Agregados procesados:

Son aquellos agregados que han sido triturados y luego tamizados antes de ser utilizados. Existen dos fuentes principales de agregados procesados: gravas naturales que son trituradas para volverse más apropiadas para mezclas asfálticas, y fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes que deben ser reducidos en tamaño antes de ser utilizados. (Asphalt, 2001)

**Agregado fino:**

Se considerará como material fino toda partícula que pase el tamiz #10 (4.76mm) según la norma AASHTO

**Agregado grueso:**

Se considera como material grueso aquel que pasa los tamices previos al #10 y su material retenido en el (#10 incluido) según la norma AASHTO

*2.2.2 OBTENCIÓN DE LOS AGREGADOS*

El material con el cual se trabaja en este proyecto de investigación es un material granular obtenido de la mina El Colibrí mediante procesos de trituración, ubicada en el barrio de Cashapamba, cantón Rumiñahui en la provincia de Pichincha, con un área de 13 576 hectáreas aproximadamente.



Ilustración 2.0.3 Ubicación mina Colibrí (GOOGLE, 2016)

Resolución Nro. MRNNR-SRM-N-2014-1147-RES: Mediante la cual se permite explotar los materiales de construcción que puedan obtenerse del área denominada “Colibrí 4”, la cual cubre una superficie que se encuentra formada por diez (10) hectáreas mineras contiguas que están ubicadas en las parroquias Sangolquí, cabecera Cantonal, cantón Rumiñahui, jurisdicción de la provincia de Pichincha, zona geográfica 17. El área autorizada para la extracción de materiales pétreos se delimita en la Tabla 2.0.2

PUNTOS	X	Y
P.P.	788 700	9 960 200
1	789 100	9 960 200
2	789 100	9 960 100
3	789 000	9 960 100
4	789 000	9 959 900
5	788 700	9 959 900

Tabla 2.0.2 Coordenadas Colibrí 4

Los materiales de la Mina Colibrí provienen de un depósito aluvial conformado por grandes bloques de andesitas, basaltos y dacitas principalmente; siendo el principal componente los basaltos. Con un análisis preliminar sobre muestras de mano obtenidas en el sitio, se estima que la composición mineralógica de los materiales encontrados es la siguiente:

- Basaltos: Presentan alto contenido de minerales máficos y se compone mayormente de piroxeno, plagioclasas y olivino. En menores cantidades se presentan feldespatos y cuarzo. El contenido de cuarzo se estima entre el 1.0 y 2.0%.
- Andesitas: Se encuentra en proporciones bajas dentro del depósito. Los principales minerales que la componen son plagioclasas y piroxenos, con presencia de minerales ferromagnesianos. Se estima que el contenido de cuarzo se encuentra entre el 5 y 10%.
- Dacitas: Igualmente se encuentra en bajas proporciones en el depósito. La roca esencialmente está compuesta por plagioclasa, biotita y cuarzo. El contenido de cuarzo se estima en 20%.

MINA	EL COLIBRI
Código Catastral	490450
Consección minera	El Colibrí
Titular	Ministerio de Transporte y Obras
Representante Legal	Paula López Ricardo Octavio
Casillero Judicial	206
Nombre de la Provincia	Pichincha
Código Cantonal	Quito
Código Parroquial	Pintag
Nombre de la Parroquia	Pintag
Código de la zona geográfica	17
Tipo Mineral	Construccion Minera

*Tabla 2.0.3 Datos de la mina Colibrí (ARCOM) (Minero, 2018)*

## **Tipos de trituradores**

Se pueden clasificar todas las trituradoras:

- Trituradoras por compresión: Son aquellas que comprimen el material hasta que este se rompe.
- Trituradoras por Impacto: Son aquellas que usan el principio de impactos rápidos para triturar el agregado.
- Las trituradoras de mandíbulas, cono, giratorias y de rodillos operan según el principio de compresión, mientras que las trituradoras de impactos y los molinos de martillos usan el principio de impacto.

## **Trituradoras de Impacto**

Los dos tipos principales (trituradoras de impactos de eje horizontal y de eje vertical) se caracterizan por una elevada tasa de reducción y por la propiedad de dar forma cúbica al producto.

### **Trituración Primaria**

El propósito de la trituración primaria es reducir el material a un tamaño que permita su transporte en bandas transportadoras. Cuando el material es fácil de triturar y no muy abrasivo, una trituradora de impactos puede ser la mejor solución para la trituración primaria.

### **Trituración Intermedia (Secundaria)**

El propósito de la trituración intermedia es producir varios productos gruesos o preparar el material para la re trituración final. Normalmente no hay exigencias de calidad con la excepción de que el producto sea adecuado para la trituración fina. En la mayoría de los casos, el objetivo es obtener la mayor reducción posible con los menores costos. (Olguín, 2016)



*Ilustración 2.0.4 Pilas de Material Pétreo (Iván Burbano, 2019)*



*Ilustración 2.0.5 Máquina de Trituración (Iván Burbano, 2019)*

### *2.2.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS*

Para la caracterización de los agregados se realizaron ensayos de laboratorio con los tres tamaños de materiales (3/4, 3/8 y fino) para así conocer cuáles son sus propiedades físico-mecánicas y determinar si este nuevo material obtenido de la cantera del Colibrí cumple con las solicitaciones necesarias para la mezcla asfáltica.

### 2.2.3.1 DESCRIPCIÓN Y EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS

Para lograr obtener una mezcla asfáltica con buenas características físicas y mecánicas es necesario conocer las propiedades de los materiales que se emplean en dicha mezcla.

Es por eso que en el Laboratorio Emulsiones de Herdoiza Crespo S.A. se realizaron los ensayos normados con los materiales de la mina del Colibrí para conocer sus propiedades, es así que se comprueba que los materiales cumplen las normas establecidas por el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, institución encargada de la regulación de la construcción de puentes y caminos MOP-001 – F 2002

A continuación, se presenta los ensayos más importantes para la caracterización de los agregados.

#### 2.2.3.1.1 GRANUOMETRÍA ASTM C-136 (*diciembre 1, 2014*)

La preparación de pavimento asfáltico requiere que las partículas de agregado estén dentro de un cierto margen de tamaños, y que cada tamaño de las partículas esté presente en ciertas proporciones.

La granulometría de las partículas es determinada mediante una serie de tamices, cada uno con aberturas de tamaño específico por la cual pasa el material granular. Los tamices están definidos de acuerdo al tamaño de la abertura de mayor a

menor (Figura 7). Las partículas de mayor tamaño son aquellas que quedan atrapadas en los tamices superiores, mientras que las partículas de tamaño mediano y fino pasan a través de los tamices inferiores y son retenidas en los tamices dependiendo su tamaño establecido por las normas: INEN: 696, AASHO: T- 27, ASTM: C-136



*Ilustración 2.0.6 Tamizadora (Iván Burbano, 2019)*

#### 2.2.3.1.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA ASTM C29M-17a (abril 1, 2017)

La gravedad específica o peso específico de un agregado es la proporción entre el peso del volumen del material y el peso de un volumen igual de agua, estas características de los agregados son sumamente necesarias ya que para la realización de mezclas asfálticas el asfalto y los agregados son proporcionados de acuerdo al peso. Se debe tomar en cuenta que mediante el cálculo del peso específico se obtienen los porcentajes de vacíos existentes en las mezclas compactadas.

No se debe pasar por alto que los agregados son porosos y debido a esta particular característica se ve afectada la cantidad de asfalto que se requiere para cubrir las partículas de agregado en las mezclas asfálticas.

Peso específico total incluye todos los poros de la muestra.

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

Peso específico efectivo excluye, del volumen de la muestra, todos los poros y espacios capilares que absorben asfalto (Asphalt, 2001)



*Ilustración 2.0.7 Ensayo Gravedad Específica (agregado fino) (Iván Burbano, 2019)*

2.2.3.1.3 RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS, POR ABRASION E IMPACTO EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES. ASTM C535-16 (junio 15, 2016)

Los agregados deben ser resistentes al desgaste irreversible y degradación durante las etapas de colocación y funcionamiento. Los agregados que quedan en las capas superficiales deben resistir cargas de tránsito y es por este motivo que se debe determinar la resistencia al desgaste. El método que se utiliza para determinar la resistencia de los agregados es la máquina de los ángeles, la cual consiste en un tambor en el cual se coloca el material y un número de esferas determinado de acuerdo a la cantidad de material y la gradación del mismo. (Asphalt, 2001)

GRADACIÓN	NUMERO DE ESFERAS	MASA DE LA CARGA (gr)
A	12	5,000±25
B	11	4,584±25
C	8	3,330±20
D	6	2,500±15

Tabla 2.0.4 Gradación para ensayo

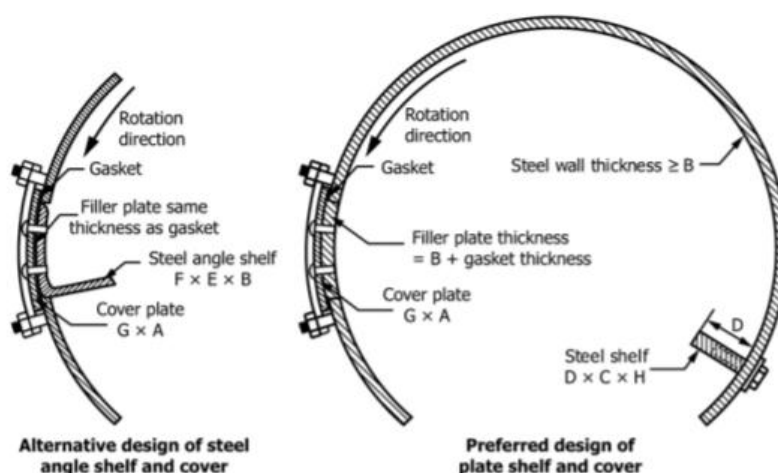


Ilustración 2.0.8 Máquina de los Ángeles (Norma ASTM C-535)



*Ilustración 2.0.9 Máquina de los Ángeles (exterior) (Iván Burbano, 2019)*

#### 2.2.3.14. EQUIVALENTE DE ARENA ASTM D2419-14 (junio 1, 2014)

Este ensayo se lo realiza por la posible presencia de finos arcillosos en la arena que pueden afectar negativamente tanto a la resistencia de la mezcla asfáltica así como a su durabilidad. Nos da un índice representativo de la proporción y características de los finos (arcillas, impurezas, etc.) que contiene un suelo granular o un árido fino.



*Ilustración 2.0.10 Ensayo Equivalente de Arena (Iván Burbano, 2019)*

2.2.3.1.5 RESISTENCIA DE LOS AGREGADOS MEDIANTE EL USO DE SULFATO ASTM C88-18  
(agosto 21, 2018)

Este ensayo determina la resistencia a la desintegración de los agregados que son utilizados para la elaboración de mezclas asfálticas debido a la acción de sulfato de sodio o sulfato de manganeso.



*Ilustración 2.11 Ensayo Desgaste de los agregados por acción de sulfatos (Iván Burbano, 2019)*

## 2.3 EL ASFALTO

### 2.3.1 DEFINICIÓN

El asfalto es un material bituminoso (figura 13) de color negro o café oscuro, constituido principalmente por asfáltenos, resinas y aceites, elementos que proporcionan características de consistencia, aglutinación y ductilidad; es sólido o semisólido y tiene propiedades cementantes a temperaturas ambientales normales. Al calentarse se ablanda gradualmente hasta alcanzar una consistencia líquida. Estos pueden tener dos orígenes; los derivados de petróleos y los naturales. (RODRIGUEZ, 2008)



*Ilustración 2.0.12 Descarga de Asfalto (Iván Burbano, 2019)*

### 2.3.2 COMPOSICIÓN

La composición química del asfalto constituida por cadenas de moléculas compuestas por carbono, hidrógeno, azufre, oxígeno, nitrógeno y complejos de vanadio níquel, hierro, calcio y magnesio. La composición específica de un asfalto en particular dependerá de la procedencia del petróleo crudo. El asfalto, considerado un material anisotrópico; se considera un coloide compuesto de varias fracciones, siendo las principales los asfaltenos y los maltenos. Los asfaltenos son la fase dispersa del asfalto, mientras que los maltenos son la fase continua. Se ha establecido que los asfaltenos suministran la dureza, mientras que los maltenos confieren adhesividad y ductilidad. (Petróleo, s.f.), (Delbono, 2014)

Elemento Básico	Peso Molecular (g/mol)	
Asfaltenos	4000	7000
Maltenos	600	1000
Resinas	1000	2000
Aceites aromáticos	2000	4000

*Tabla 2.0.5 Composición del Cemento Asfáltico*

#### Asfaltenos

Materiales orgánicos formados por compuestos de anillos aromáticos y nafténicos que contienen moléculas de nitrógeno, azufre y oxígeno. La fracción asfáltica del crudo se define como la parte orgánica del petróleo que no es soluble en solventes de cadena recta, tales como el pentano o el heptano. Los asfaltenos existen como una suspensión coloidal estabilizada por moléculas de resina (sistemas de anillos aromáticos) en el petróleo. La estabilidad de las dispersiones asfálticas depende de la relación entre las moléculas de resina y las de asfaleno. La determinación de la cantidad de resina es importante en la estimación del daño potencial creado por los asfaltenos. El asfaleno

se precipita como un resultado de caídas de presión, cizallamiento (flujo turbulento), ácidos, dióxido de carbono en solución [CO<sub>2</sub>], condensado inyectado, mezcla de petróleos crudos incompatibles u otras condiciones o materiales que alteran la estabilidad de la dispersión asfáltica. (Schlumberger, 2008)

Maltenos:

Son compuestos muy polares de color marrón o marrón claro, sólido o semisólido, soluble en n-heptano y, al igual que los asfaltenos, son compuestos de carbón, hidrógeno y cantidades menores de nitrógeno, oxígeno y azufre. Las resinas son materiales muy adhesivos y actúan como dispersantes de los asfaltenos.



*Ilustración 2.0.13 Refinería Estatal de Esmeraldas (MN, 2019)*

### 2.3.3 OBTENCION DEL ASFALTO AC-20

El cemento asfáltico que se utiliza en esta investigación es un AC-20 obtenido directamente de la Refinería Estatal de Esmeraldas el cual es calentado para posteriormente ser trasladado a la Planta de Emulsiones de Herdoiza Crespo S.A. lugar donde se realiza la comprobación de resultados que debe tener el asfalto enviado.

Este cemento asfáltico utilizado para mezclas en caliente según la NTE INEN 2 515:2010 debe cumplir las características especificadas para los cementos asfálticos utilizados como materiales de pavimentación para la construcción y mantenimiento de carreteras.

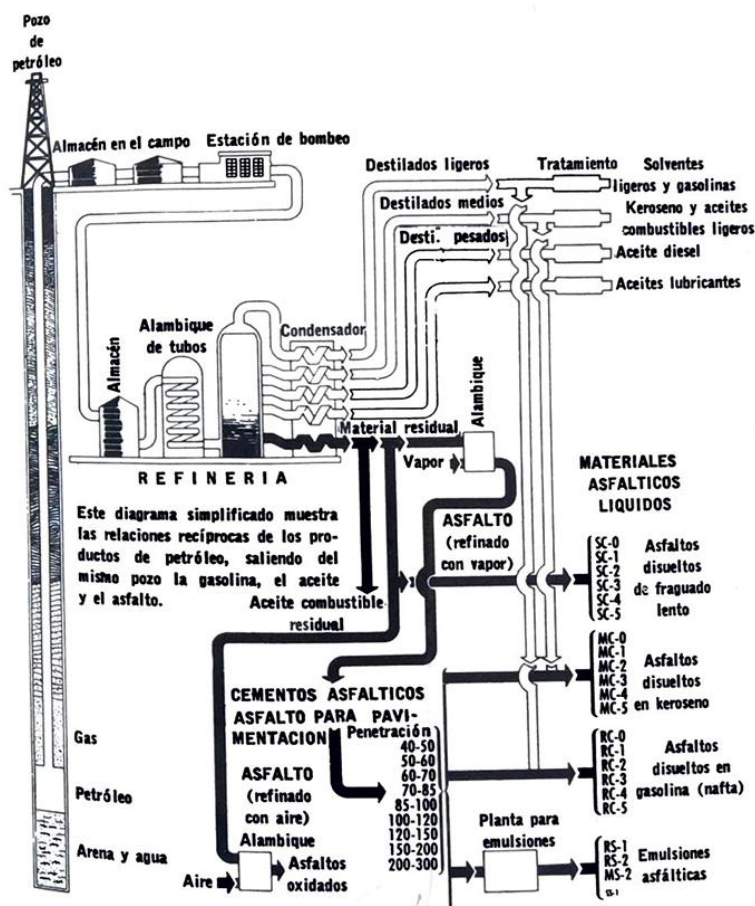


Ilustración 2.0.14 Explotación del Asfalto de Petróleo (Asphalt, 2001)

#### 2.3.4 PROPIEDADES DEL ASFALTO

Las características que debe poseer todo cemento asfáltico para un buen funcionamiento son pureza, consistencia y seguridad. De tal manera podemos garantizar que el ligante asfáltico tiene las características necesarias para cumplir con las solicitudes, entre las características que deben estar presentes en un cemento asfáltico se puede nombrar las siguientes:

- Durabilidad:

Esta es una medida que indica que tanto puede un asfalto retener sus características originales cuando es expuesto a procesos de degradación y envejecimiento, esta propiedad se puede juzgar a través del comportamiento del pavimento.

- Adhesión y cohesión:

Adhesión es la capacidad de un asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación. Cohesión es la capacidad de un asfalto de mantener firmemente las partículas del agregado en el pavimento terminado.

- Susceptibilidad a la temperatura:

El asfalto es un material termoplástico, esto quiere decir que se vuelve más duro (mas viscoso) a medida que la temperatura disminuye, y más blando (menos viscoso) a medida que su temperatura aumenta, esta es la característica con mayor importancia del asfalto ya que indica a que temperatura debe ser mezclada con los agregados y a la temperatura que debe ser compactado para que el asfalto cubra completamente las partículas de agregado durante el mezclado, y así permitir que estas partículas se

desplacen unas respecto a otras durante la compactación, luego debe ser lo suficientemente viscoso para mantener las partículas unidas a temperatura ambiente.

#### 2.3.5 DESCRIPCIÓN Y EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS

Para garantizar la calidad del ligante o cemento asfáltico se procede a realizar ensayos de laboratorio para conocer sus características y mediante las normas establecidas en los ensayos determinar si los valores obtenidos en cada ensayo están dentro de los límites permisibles por cada norma.

##### 2.3.5.1 PENETRACIÓN ESTÁNDAR PARA MATERIALES BITUMINOSOS ASTM D5 (junio 13, 2019)

Este ensayo consiste en dejar caer una aguja dentro de la muestra de asfalto bajo una carga dada de 100 gr, esta aguja penetra la muestra de asfalto a una temperatura estabilizada de 25 °C en un tiempo determinado de 5 segundos, la medida que indica la penetración está dada en décimas de milímetros (0.1mm), una penetración entre 20 y 30 décimas de milímetro indica un asfalto blando, mientras que una lectura entre 40 y 50 décimas de milímetro indica un asfalto duro.



Ilustración 2.0.15 Ensayo de Penetración (Iván Burbano, 2019)

### 2.3.5.2 PUNTO DE ABLANDAMIENTO O REBLANDECIMIENTO EN MATERIAL BITUMINOSO ASTM D36M-14 (julio1, 2014)

Debido a que el asfalto no tiene una temperatura definida a la cual va a entrar en un estado de fluidez, se procede a realizar este ensayo con la finalidad de determinar la temperatura a la cual el asfalto abandona el estado “sólido”.

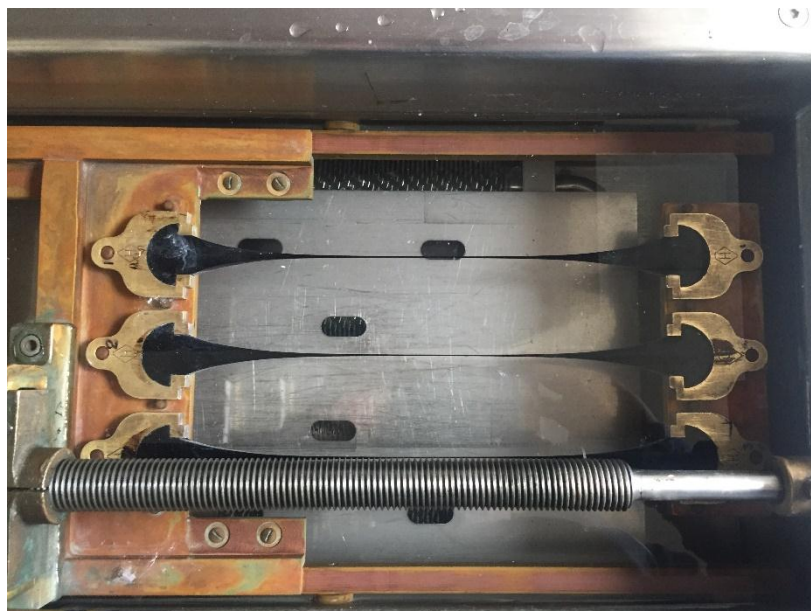
Este ensayo nos ayuda a determinar el punto de ablandamiento (fluidez) de los materiales bituminosos, ya que ni los asfaltos más duros son sólidos es así que utilizando el método del anillo y esfera se procede a realizar este ensayo.



Ilustración 2.0.16 Ensayo Punto de Ablandamiento (Iván Burbano, 2019)

### 2.3.5.3 DUCTILIDAD EN MATERIAL BITUMINOSO ASTM D113-17 *(diciembre15, 2017)*

La ductilidad es una propiedad que poseen todos los materiales, consiste en admitir grandes deformaciones sin que estos pierdan su resistencia. Ya que esta es una característica que poseen los cementos asfálticos, algunos son más susceptibles al cambio de temperatura, lo cual altera sus propiedades. Este ensayo determina la “elongación máxima” que la muestra puede llegar a tener sin romperse.

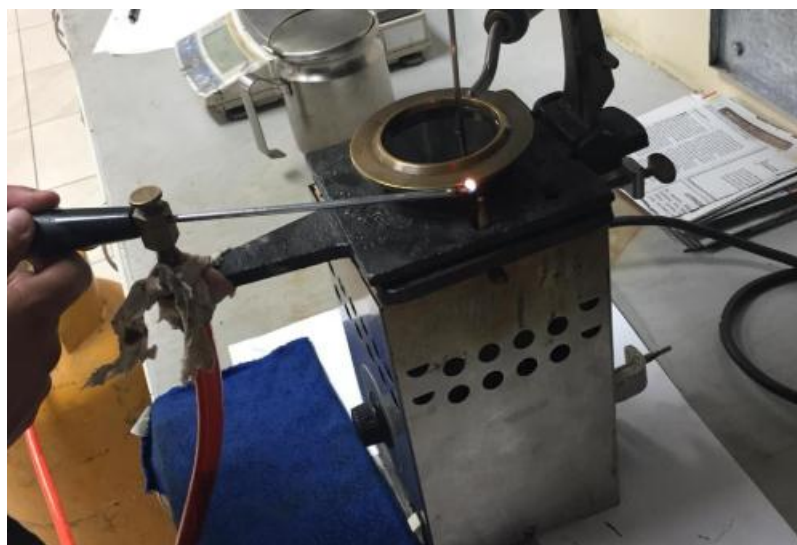


*Ilustración 2.0.17 Ensayo Ductilidad (Iván Burbano, 2019)*

#### 2.3.5.4 PUNTO DE INFLAMACIÓN Y COMBUSTIÓN ASTM D92-18 *(agosto 14, 2018)*

El punto de inflamación consiste en determinar la temperatura más baja a la cual en el cemento asfáltico se separa el material volátil de la muestra, creando una chispa en presencia de fuego. Este ensayo determina la máxima temperatura a la cual puede ser manejado y almacenado sin peligro alguno de que este se inflame.

Consiste en calentar gradualmente una muestra asfáltica en una copa, mientras se aplica una pequeña llama sobre la superficie de la muestra, cuando se presentan destellos instantáneos de vapores se denomina punto de inflamación.



*Ilustración 2.0.18 Ensayo Punto de Inflamación (Iván Burbano, 2019)*

#### 2.3.5.5 PESO ESPECÍFICO ASTM D70-18a (diciembre 18, 2018)

Es la porción del peso de cualquier volumen de material al peso de un volumen igual del agua, ambos a una temperatura determinada, es necesario conocer esta propiedad del asfalto ya que cuando la temperatura aumenta el asfalto se expande y cuando se enfría se contrae, es decir que el asfalto ocupara un mayor volumen cuando se encuentra a altas temperaturas, por otra parte el peso específico del asfalto es esencial para la determinación de espacios vacíos en la mezcla compactada.



Ilustración 2.0.19 Ensayo Peso Específico (Iván Burbano, 2019)

### 2.3.5.6 PÉRDIDA DE MASA RTFO ASTM D2872 (junio 25, 2019)

Este ensayo determina las características del cemento asfáltico después de ser sometido a un proceso de envejecimiento mediante la aplicación de aire caliente a una temperatura de 163 °C durante 75 minutos, este ensayo supone generar las características que tendrá el cemento asfáltico después de un tiempo de haberse colocado, modificando las características de ductilidad, penetración y ablandamiento.



Ilustración 2.0.20 Ensayo Pérdida de masa en horno RTFO (Iván Burbano, 2019)

2.3.5.7 CARTA DE VISCOSIDAD ASTM D2171-18 (diciembre 21, 2018)

La carta de viscosidad es una herramienta muy útil, ya que se utiliza para tomar en cuenta el rango de temperatura a la cual puede trabajarse la muestra tanto en el mezclado como en la compactación obtenida mediante los ensayos de viscosidad.

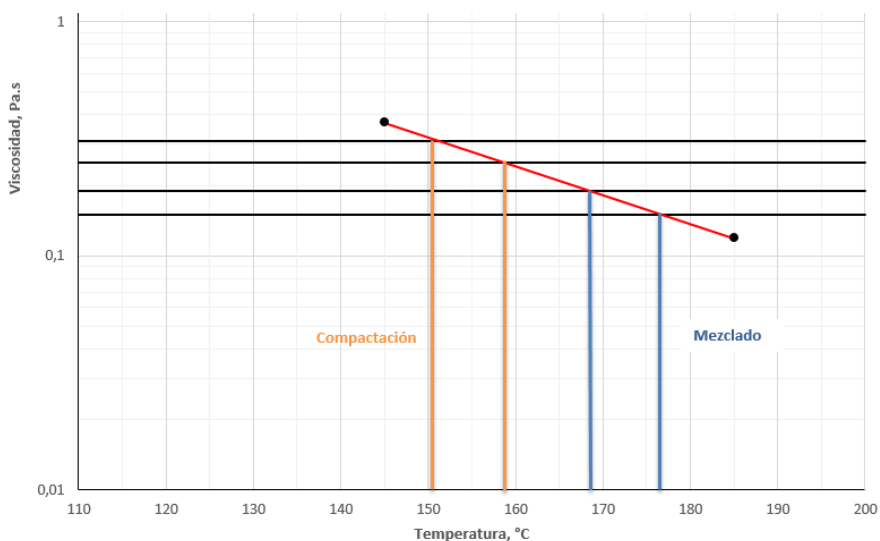


Ilustración 2.0.21 Control de temperatura para compactación y mezclado (Iván Burbano, 2019)

Muestra: TESIS BURBANO-SALAZAR

Rangos normados de viscosidad (ASTM D6926 - 10): Mezclado: 0.17 ± 0.02 Pa.s  
 Compactación: 0.28 ± 0.03 Pa.s

Rangos de temperatura de trabajo para la muestra:	Mezclado:	168.8 - 176.4 °C
	Compactación:	158.9 - 151.2 °C

Tabla 2.0.6 Temperatura de compactación y Mezclado

## CAPÍTULO III

### MEZCLAS ASFÁLTICAS

#### 3.1 GENERALIDADES

En el siguiente capítulo se detallará el método de diseño de mezclas asfálticas en caliente conocido como método Marshall, uno de los más utilizados en la actualidad, pero presenta una desventaja, ya que las condiciones en las cuales se desarrolla este método (óptimas de laboratorio) no simula la densificación de la mezcla asfáltica que ocurre bajo las cargas de tránsito en un pavimento real. (Morales, 2007)

Para el diseño de mezclas asfálticas en caliente, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones idóneas y exactas. Las proporciones de los materiales determinan las características físicas de la mezcla y eventualmente el desempeño de la misma como pavimento terminado bajo la acción de cargas vehiculares. El diseño de la mezcla asfáltica en laboratorio permite analizar el posible desempeño que tendrá la estructura de pavimento, este análisis está enfocado hacia cuatro características las cuales son:

- Densidad de la mezcla

La densidad de la mezcla ya compactada está definida como su peso unitario, ya que a mayor densidad la duración en servicio de la mezcla es mayor.

- Contenido de asfalto

La cantidad de asfalto en toda mezcla asfáltica debe ser controlada en todo momento, esta cantidad de asfalto dependerá de las características de los agregados tales como son absorción, y granulometría.

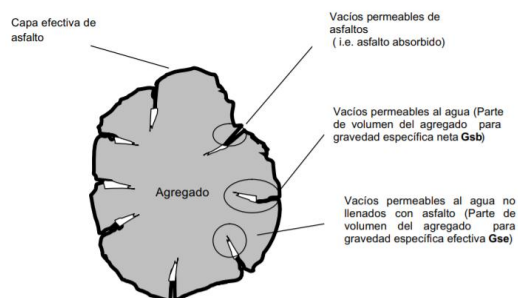
La cantidad de asfalto que se agrega dependiendo de la absorción del agregado es importante ya que para la realización de una mezcla óptima, se necesita que todos los agregados estén cubiertos con una pequeña película de asfalto y además que hayan absorbido una cantidad del mismo para una mezcla homogénea

- Vacíos de aire

Son espacios de aire que están presentes entre los agregados cubiertos por asfalto en la mezcla final compactada, por lo que se debe conocer el rango permisible de vacíos que puede tener una mezcla ya compactada, esto ya que si la mezcla tiene valores altos de vacíos permitirá el paso del agua y del aire, lo cual ocasiona que la mezcla se deteriore. Mientras que un contenido muy bajo de vacíos ocasiona exudación en la mezcla, efecto en el cual el exceso de asfalto es expulsado hacia la superficie.

- Vacíos en el agregado (VMA)

Son los espacios de aire que están presentes entre las partículas de agregado de la mezcla ya compactada, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto. El VMA representa la cantidad de espacio disponible que tienen los agregados y poder cubrirlos con una película lo suficientemente resistente de asfalto. Mientras mayor sea la película que cubre a los agregados mayor será la duración de la mezcla y esto se obtiene con valores mínimos de VMA.



*Ilustración 3.0.1 Recubrimiento del asfalto sobre el agregado (transportes, 2004)*

### 3.2 ORIGEN Y COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA

El diseño de mezclas de pavimentos por el Método Marshall fue desarrollado por el Ingeniero de Bitúmenes del Departamento de Carreteras del Estado de Mississippi, Bruce Marshall (†). Este ensayo surgió de una investigación iniciada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en 1943. Varios métodos para el diseño y control de mezclas asfálticas fueron comparados y evaluados para poder desarrollar un método más simple. El Cuerpo de Ingenieros del Ejército decidió adoptar este método para adaptarlo y desarrollarlo para el control de mezclas de pavimento bituminosas en campo. Posteriormente el Cuerpo de Ingenieros mejoró y agregó ciertos detalles al ensayo Marshall, y desarrollaron criterios de diseño de mezclas. (Asphalt, 2001)

Se debe tomar en cuenta que el cemento asfáltico (AC) se clasifica según su viscosidad o penetración.

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	MÉTODO ASTM	Grado de viscosidad					
			AC-25	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40
Viscosidad, 60°C	N s/m <sup>2</sup>	D-2170	250 ± 50	500 ± 100	1000 ± 200	2000 ± 400	3000 ± 600	4000 ± 800
Viscosidad, 135°C, mínimo	mm <sup>2</sup> /s	D.2170	125	175	250	300	350	400
Penetración, 25°C, 100 g, 5 s, mínimo	1/10 mm	D-5	220	140	80	60	50	40
Punto de inflamación, Cleveland Copa Abierta, mínimo	°C	D-92	163	177	219	232	232	232
Solubilidad en tricloroetileno, mínimo	%	D-2042	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0
<u>Pruebas sobre residuo del ensayo de horno sobre película delgada:</u>		D-1754						
Viscosidad, 60°C, máx.	N s/m <sup>2</sup>	D-2171	1250	2500	5000	10000	15000	20000
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, mínimo	cm	D-113	100 <sup>A</sup>	100	75	50	40	25

Tabla 3.0.1 Clasificación del cemento asfáltico según su viscosidad (Delgado, 2011)

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	MÉTODO ASTM	GRADO DE PENETRACIÓN									
			40-50		60-70		85-100		120-150		200-300	
			Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Penetración, 25°C, 100 g, 5 s	---	D-5	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de inflamación, Cleveland Copa Abierta	°C	D-92	232	---	232	---	232	---	218	---	177	---
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min	cm	D-113	100	---	100	---	100	---	100	---	100 <sup>A</sup>	---
Solubilidad en tricloroetileno	%	D-2042	99.0	---	99.0	---	99.0	---	99.0	---	99.0	---
Penetración retenida después de la prueba de horno sobre película delgada	%	D-5 Después de realizar D-1754	55+	---	52+	---	47+	---	42+	---	37+	---
Ductilidad 25°C, 5 cm/min, después de prueba de horno sobre película delgada	cm	D-113 Después de realizar D-1754	---	---	50	---	75	---	100	---	100 <sup>A</sup>	---

A Si la ductilidad a 25°C es menor que 100 cm se puede aceptar el material si la ductilidad a 15.5°C es mínimo 100 cm a una tasa de 5 cm/min

Tabla 3.0.2 Clasificación del cemento asfáltico según su grado de penetración (Delgado, 2011)

### 3.3 PROPIEDADES DE LAS MESCLAZ ASFÁLTICAS

En el método Marshall para diseño de muestras asfálticas en caliente hay varias propiedades que contribuyen para la buena calidad de pavimentos, verificando el diseño y el cumplimiento de requerimientos.

Las cuales incluyen:

- La estabilidad

La estabilidad de un asfalto es la capacidad de resistir desplazamientos y deformaciones bajo las cargas de tránsito, valores muy altos de estabilidad producen un pavimento muy rígido, y por lo tanto menos resistente de lo esperado. La estabilidad depende de la fricción y cohesión interna de los materiales, tales como la forma y textura de los agregados. La cohesión depende del ligante asfáltico y a su vez de la viscosidad del mismo, la cual debe evitar que las partículas se desplacen unas respecto de otras, debido a las fuerzas ejercidas por las cargas de tráfico.

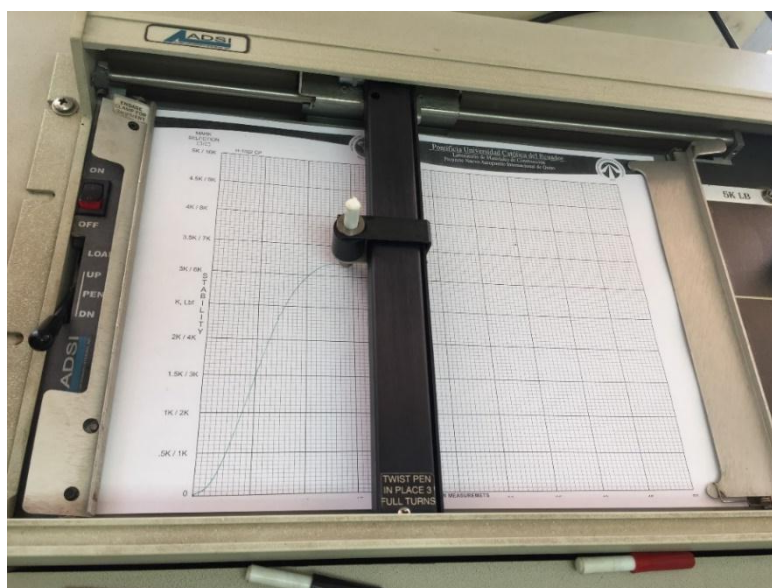


Ilustración 3.0.2 Diagrama de estabilidad y flujo (Método Marshall) (Iván Burbano, 2019)

ESTABILIDAD BAJA	
CAUSAS	EFFECTOS
Exceso de asfalto en la mezcla	Ondulaciones, ahuellamiento y exudación
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla	Baja resistencia durante la compactación
Agregado redondeado sin, o con pocas superficies trituradas	Ahuellamiento y canalización

*Tabla 3.0.3 Causas y Efectos de Estabilidad Baja*

- Durabilidad

Es la capacidad que posee un pavimento para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto y separación de las películas de asfalto. Esto se debe a la acción del clima y las cargas de tránsito. Estos factores se pueden evitar mejorando la mezcla son los siguientes:

- Mayor porcentaje de asfalto en la mezcla con películas más gruesas que cubran los agregados.
- Agregado mineral con una mayor densidad y resistencia proporciona que en mezcla se tenga un mejor desempeño del contacto entre sus partículas.
- El cumplimiento del proceso de compactación permite que la mezcla tiendan a ser impermeable. El agregado de adecuada resistencia mecánica, e impermeable, de densidad elevada ayuda a la obtención de una mezcla

impermeable

POCA DURABILIDAD	
CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfaltos	Endurecimiento rapido del asfalto y desintegración por perdida de asfalto
Alto contenido de vacios	Endurecimiento tempranodel asfalto, agrietamiento, desintegración
Agregado susceptible al agua	Película de asfalto se desprende del agregado

Tabla 3.0.4 Causas y Efectos de Durabilidad Baja

- Permeabilidad

Es la capacidad que posee un pavimento asfáltico al paso del aire y del agua hacia su interior o través de él, la permeabilidad está relacionada con la cantidad de vacíos de la mezcla compactada. La permeabilidad del asfalta está determinada por los espacios vacíos y por el acceso que tienen desde la superficie del pavimento.

MEZCLA DEMASIADO PERMEABLE	
CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfaltos	Películas delgadas de asfalto causan envejecimiento y desintegracion de la mezcla
Alto contenido de vacios	Oxidación generada por el agua y el aire
Compactación inadecuada	Altos porcentajes de vacíos, infiltración, baja estabilidad

Tabla 3.0.5 Causas y Efectos de Mezclas Permeables

- Flexibilidad

Es la propiedad que posee el pavimento asfáltico para acomodar internamente sus partículas, sin que se agriete, la flexibilidad de una mezcla dependerá del contenido de asfalto y de los requisitos de estabilidad de la mezcla.

- Resistencia a la fatiga.

Es la resistencia que posee la mezcla asfáltica bajo la acción de cargas cíclicas de tránsito, el contenido de vacíos presentes en la mezcla y la viscosidad del cemento asfáltico tienen un efecto directo con la resistencia a la fatiga, a mayor porcentaje de vacíos en la mezcla la resistencia será menor.

<b>MALA RESISTENCIA A LA FATIGA</b>	
<b>CAUSAS</b>	<b>EFFECTOS</b>
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga
Alto contenido de vacios	Envejecimiento temprano, agrietamiento por fatiga
Compactación inadecuada	Envejecimiento temprano, agrietamiento por fatiga
Espesor inadecuado del pavimento	Demasiada flexión, agrietamiento por fatiga

*Tabla 3.0.6 Causas y Efectos de Mala resistencia a la Fatiga*

### 3.4 DISEÑO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

#### 3.4.1 DISEÑO DE MEZCLAS EN CALIENTE

El diseño de mezclas asfálticas de pavimentos consiste en gran parte, en seleccionar y proporcionar materiales para obtener las propiedades deseadas según los diseños establecidos en el MOP en el pavimento terminado. El objetivo general del procedimiento de diseño consiste en determinar una combinación y graduación económica de agregados y asfalto que produzca una mezcla que posea las siguientes características:

- Suficiente asfalto para generar una mezcla resistente y durable.
- Estabilidad para satisfacer las cargas cíclicas generadas por el tráfico, sin producir deformaciones o desplazamientos.
- Un porcentaje óptimo de vacíos que permita una compactación ligera al estar sometido a carga, sin perder asfalto (exudación) o pérdida de estabilidad y evitar infiltraciones de agua o aire.
- Trabajabilidad para una mejor compactación, evitando segregación del material.



*Ilustración 3.0.3 Compactador (Método Marshall) (Iván Burbano, 2019)*

### 3.4.1.1 MÉTODO MARSHALL

El objetivo principal del Método de compactación Marshall, en la mezcla diseñada, es determinar:

- Gravedad Específica
- Densidad y Vacíos
- Estabilidad y flujo
- Contenido óptimo de asfalto (dependiendo de los agregados)

Este método de compactación utiliza moldes de 64mm de alto y 110mm de diámetro en las cuales la muestra es compactada de acuerdo a la norma ASTM D1559. Este método utiliza una gráfica semi-logarítmica para definir la curva granulométrica de los agregados que serán empleados en la mezcla. Además este método toma como punto de referencia el contenido óptimo de vacíos de la mezcla (4%), con este parámetro que se determina el contenido óptimo de asfalto en la compactación.



*Ilustración 3.0.4 Equipo para Ensayo Método Marshall (Iván Burbano, 2019)*

### PORCENTAJE DE VACÍOS (METODO RICE)

Con este ensayo podemos estimar con mayor precisión los porcentajes de vacíos totales, para establecer controles de calidad, en la elaboración y colocación de las mezclas de concreto asfáltico. Los parámetros como el contenido de vacíos totales en el diseño de mezcla y el porcentaje de compactación durante la colocación del concreto asfáltico los cuales se los puede controlar por medio de la gravedad máxima teórica (GMM).



*Ilustración 3.0.5 Equipo para Ensayo Rice (Iván Burbano, 2019)*

### 3.4.1.2 DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA SIN PVC

El diseño de las briquetas sin el PVC incluye solamente los agregados en sus respectivos porcentajes y el porcentaje de asfalto para cada muestra, estas briquetas son la línea base para la comparación de resultados y determinación de características al introducir el PVC, además esta primera mezcla tiene como objetivo la obtención de porcentaje óptimo de asfalto, que cumple con todos los criterios establecidos de la manera más económica.



*Ilustración 3.0.6 Agregados para diseño (Iván Burbano, 2019)*

Se compactan 15 briquetas en total, para esto es necesario tener una mezcla homogénea de los materiales los cuales cumplen con los requerimientos tanto para el material granular como para el cemento asfáltico, con los distintos porcentajes de cada uno de ellos se procede a realizar la mezcla asfáltica en caliente. Serán 3 briquetas para cada porcentaje de asfalto, más un Rice por cada porcentaje.



*Ilustración 1.0.7 Mezcla de materiales con C.A. (Iván Burbano, 2019)*

Como punto de partida se realiza mezclas que contengan 4,5% - 5% - 5,5% - 6% - 6,5%, de asfalto, del cual se obtiene el porcentaje óptimo de asfalto y el contenido de vacíos, para la elaboración de las briquetas.

Otra manera de obtener un valor inicial del porcentaje de asfalto es mediante la ecuación (1) se realizan briquetas con el asfalto del teórico y los porcentajes superiores e inferiores, es decir el teórico de asfalto da un valor de 5.00 % entonces se debe realizar mezclas con asfalto al 4.0 %, 4.5 %, 5.0 %, 5.5 % y 6.0 %

$$P = 0.035a + 0.045b + Kc + F \quad (1)$$

Donde los valores se obtienen de:

$$a = 59 \rightarrow \% \text{ retenido en el tamiz \#8}$$

$$b = 38 \rightarrow \% \text{ que pasa el tamiz \#8 y retiene el No200}$$

$$K = 0,15 \rightarrow \text{Para el } 11 - 15 \% \text{ del pasante del tamiz No. 200}$$

$$K = 0,18 \rightarrow \text{Para el } 6 - 10 \% \text{ del pasante del tamiz No. 200}$$

$K = 0,20 \rightarrow$  Para el 5% o menor del pasante del tamiz No. 200

$F = 0 - 2\% \rightarrow$  Basado en la absorción del agregado fino o grueso.

Entonces se tiene:

$$P = 0.035(59) + 0.045(38) + 0.2 + 1$$

$$P = 4.975 \% \approx 5.00\%$$

#### 3.4.1.2.1 DISEÑO #1 0% PVC – 100% AGREGADO



Ilustración 3.0.8 Briquetas 100% agregado 0.0% PVC (Iván Burbano, 2019)

## - Mezcla #1 (4.5%)

MUESTRA #	% AC-20	PESOS DE BRIQUETAS EN			VOL. BRIQUETA cm <sup>3</sup>	G.E. BULK	ESTABILIDAD CORREGIDO	FLUJO 0,01"	Gmm
		AIRE	AGUA	S.S.S.					
1	4,50	1202,5	680,0	1205,4	525,4	2,289	4822,4	10	
2		1195,7	675,6	1197,3	521,7	2,292	5617,3	10	
3		1195,7	676,8	1197,8	521,0	2,295	5636,1	11	
PROMEDIO						2,292	5219,8	10	2,495

% de cemento asfáltico	6,76
% de agregados	85,08
% de vacíos llenos con aire	8,16
% volúmen de agregado mineral grueso	14,92
% efectivo de cemento asfáltico	2,99
% vacíos llenos con asfalto	45,31

Tabla 3.0.7 Diseño con 4.5% de CA

## - Mezcla #2 (5%)

MUESTRA #	% AC-20	PESOS DE BRIQUETAS EN			VOL. BRIQUETA cm <sup>3</sup>	G.E. BULK	ESTABILIDAD CORREGIDO	FLUJO 0,01"	Gmm
		AIRE	AGUA	S.S.S.					
4	5,00	1.195,0	680,8	1.197,0	516,2	2,315	4843,9	10	
5		1.194,4	680,9	1.197,2	516,3	2,313	4446,8	8	
6		1.200,9	682,8	1.202,5	519,7	2,311	5098,8	10	
PROMEDIO						2,313	4645,4	9	2,471

% de cemento asfáltico	8,20
% de agregados	85,42
% de vacíos llenos con aire	6,39
% volúmen de agregado mineral grueso	14,58
% efectivo de cemento asfáltico	3,60
% vacíos llenos con asfalto	56,20

Tabla 3.0.8 Diseño con 5.0% de CA

## - Mezcla #3 (5.5%)

MUESTRA #	% AC-20	PESOS DE BRIQUETAS EN			VOL, BRIQUETA cm <sup>3</sup>	G.E. BULK	ESTABILIDAD CORREGIDO	FLUJO 0,01"	Gmm
		AIRE	AGUA	S.S.S.					
7	5,50	1.195,4	682,1	1.196,2	514,1	2,325	4673,8	9	
8		1.197,7	683,0	1.199,1	516,1	2,321	3888,0	10	
9		1.192,8	680,0	1.194,3	514,3	2,319	4579,2	9	
PROMEDIO						2,322	4280,9	9	2,451

% de cemento asfáltico	9,44
% de agregados	85,29
% de vacíos llenos con aire	5,28
% volúmen de agregado mineral grueso	14,71
% efectivo de cemento asfáltico	4,12
% vacíos llenos con asfalto	64,13

Tabla 3.0.9 Diseño con 5.5% de CA

## - Mezcla #4 (6%)

MUESTRA #	% AC-20	PESOS DE BRIQUETAS EN			VOL, BRIQUETA cm <sup>3</sup>	G.E. BULK	ESTABILIDAD CORREGIDO	FLUJO 0,01"	Gmm
		AIRE	AGUA	S.S.S.					
10	6,00	1.193,0	681,2	1.193,4	512,2	2,329	4172,3	8	
11		1.190,6	682,0	1.191,2	509,2	2,338	4532,0	9	
12		1.198,9	685,3	1.199,6	514,3	2,331	4550,9	9	
PROMEDIO						2,333	4352,1	9	2,427

% de cemento asfáltico	10,87
% de agregados	85,24
% de vacíos llenos con aire	3,89
% volúmen de agregado mineral grueso	14,76
% efectivo de cemento asfáltico	4,73
% vacíos llenos con asfalto	73,65



Tabla 3.0.10 Diseño con 6.0% de CA

## - Mezcla #5 (6.5%)

MUESTRA #	% AC-20	PESOS DE BRIQUETAS EN			VOL, BRIQUETA cm <sup>3</sup>	G.E. BULK	ESTABILIDAD CORREGIDO	FLUJO 0,01"	Gmm
		AIRE	AGUA	S.S.S.					
13	6,50	1.195,4	687,4	1.196,0	503,0	2,350	4270,3	10	
14		1.188,3	681,6	1.188,8	502,9	2,343	4418,0	8	
15		1.197,0	685,6	1.197,5	511,9	2,338	4125,0	9	
PROMEDIO						2,344	4271,1	9	2,415

% de cemento asfáltico	11,84
% de agregados	85,19
% de vacíos llenos con aire	2,94
% volúmen de agregado mineral grueso	14,81
% efectivo de cemento asfáltico	5,14
% vacíos llenos con asfalto	80,18

Tabla 3.0.11 Diseño con 6.5% de CA

Como se puede observar la mezcla #4, es la que más se acerca al porcentaje óptimo de vacíos, es por eso que se realiza una comprobación para determinar si el porcentaje óptimo de asfalto cumple con las solicitudes requeridas.

Se presenta la comprobación de los resultados con un el porcentaje óptimo de asfalto para que las briquetas tengan 4% de vacíos.

MUESTRA #	% AC-20	PESOS DE BRIQUETAS EN			VOL, BRIQUETA cm <sup>3</sup>	G.E. BULK	ESTABILIDAD CORREGIDO	FLUJO 0,01"	Gmm
		AIRE	AGUA	S.S.S.					
16	5,80	1.188,3	679,8	1.188,8	509,0	2,335	3061,8	10	
17		1.186,1	678,8	1.187,2	508,4	2,333	3678,5	11	
18		1.197,9	685,2	1.198,4	513,2	2,334	3299,5	10	
PROMEDIO						2,334	3346,6	10	2,441

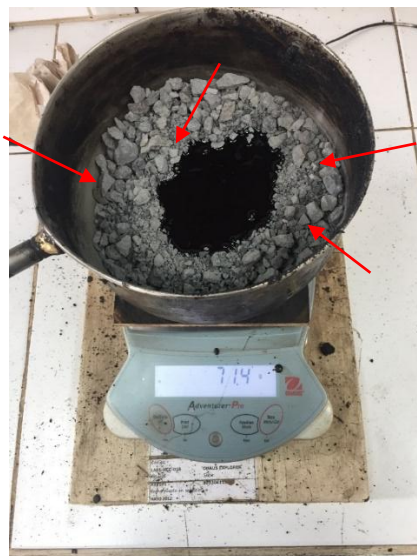
% de cemento asfáltico	10,23
% de agregados	85,37
% de vacíos llenos con aire	4,40
% volúmen de agregado mineral grueso	14,63
% efectivo de cemento asfáltico	4,45
% vacíos llenos con asfalto	69,92



Tabla 3.0.12 Comprobación de Diseño con 5.9% de CA

### 3.4.1.3 DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CON PVC

Para el diseño de las briquetas con porcentajes de PVC se tiene establecido el porcentaje óptimo de asfalto el cual es 5.9%, el cual ya es un valor fijo para la granulometría obtenida con los materiales de la cantera del Colibrí, sólo se cambian los porcentajes de pvc dependiendo la dosificación y se remplazará el material retenido en el tamiz #4, determinado por peso.



*Ilustración 3.0.9 Mezcla de agregados con PVC (Iván Burbano, 2019)*

## 3.4.1.3.1 DISEÑO #2 5% PVC – 95% AGREGADO

MUESTRA #	% PVC	PESOS DE BRIQUETAS EN			VOL cm <sup>3</sup>	G.E. BULK	ESTABILIDAD	FLUJO 0,01"	Gmm
		AIRE	AGUA	S.S.S.			CORREG		
1	5,00	1184	659,4	1188,0	528,6	2,240	32769,6	12	
2		1189,2	664,0	1193,4	529,4	2,246	36597,3	14	
3		1190,2	663,8	1194,5	530,7	2,243	3304,3	14	
4		1194,2	665,7	1198,5	532,8	2,241	3850,8	13	
5		1192,4	668,1	1198,7	530,6	2,247	3805,3	11	
PROMEDIO		-	-	-	-	2,244	34683,5	13	2,495

% de cemento asfáltico	7,07
% de agregados	82,82
% de vacíos llenos con aire	10,08
% volúmen de agregado mineral grueso	17,19
% efectivo de cemento asfáltico	4,84
% vacíos llenos con asfalto	41,13

Tabla 3.0.13 Diseño con 5.0% de PVC – 95.0% Agregado

## 3.4.1.3.2 DISEÑO #3 10% PVC – 90% AGREGADO

MUESTRA #	% PVC	PESOS DE BRIQUETAS EN			VOL cm <sup>3</sup>	G.E. BULK	ESTABILIDAD	FLUJO 0,01"	Gmm
		AIRE	AGUA	S.S.S.			CORREG		
1	10,00	1.197,5	665,7	1.201,2	535,5	2,236	3759,8	21	
2		1.196,8	662,1	1.197,2	535,5	2,235	2994,1	17	
3		1.190,4	663,9	1.195,0	531,1	2,241	2957,6	21	
4		1.180,3	661,2	1.189,7	528,5	2,233	3204,0	19	
5		1.195,1	665,7	1.201,4	535,7	2,231	3277,0	20	
PROMEDIO		-	-	-	-	2,233	3481,9	20	2,471

% de cemento asfáltico	12,26
% de agregados	78,24
% de vacíos llenos con aire	9,53
% volúmen de agregado mineral grueso	21,79
% efectivo de cemento asfáltico	5,11
% vacíos llenos con asfalto	56,26

Tabla 3.0.14 Diseño con 10.0% de PVC - 90.0% Agregado

## 3.4.1.3.3 DISEÑO #4 15% PVC – 85% AGREGADO

MUESTRA #	% PVC	PESOS DE BRIQUETAS EN			VOL cm <sup>3</sup>	G.E. BULK	ESTABILIDAD	FLUJO 0,01"	Gmm
		AIRE	AGUA	S.S.S.			CORREG		
1	15,00	1.180,2	651,2	1.181,5	530,3	2,226	3048,9	18	
2		1.197,3	661,4	1.199,5	538,1	2,225	3368,8	18	
3		1.200,6	663,4	1.202,2	538,8	2,228	3024,4	22	
4		1.180,3	660,1	1.189,7	529,6	2,229	3204,0	20	
5		1.194,8	665,7	1.201,4	535,7	2,230	3277,0	19	
PROMEDIO		-	-	-	-	2,228	3126,5	19	2,451

% de cemento asfáltico	17,28
% de agregados	73,60
% de vacíos llenos con aire	9,12
% volúmen de agregado mineral grueso	26,40
% efectivo de cemento asfáltico	5,64
% vacíos llenos con asfalto	65,47

Tabla 3.0.15 Diseño con 15.0% de PVC - 85.0% Agregado

## 3.4.1.3.4 DISEÑO #5 20% PVC – 80% AGREGADO

MUESTRA #	% PVC	PESOS DE BRIQUETAS EN			VOL cm <sup>3</sup>	G.E. BULK	ESTABILIDAD	FLUJO 0,01"	Gmm
		AIRE	AGUA	S.S.S.			CORREG		
1	20,00	1.189,3	647,8	1.191,3	543,5	2,188	3686,4	18	
2		1.193,3	651,2	1.194,5	543,3	2,196	3783,3	18	
3		1.190,2	657,4	1.199,7	542,3	2,195	3915,5	22	
4		1.187,6	651,4	1.191,5	540,1	2,199	3827,4	20	
5		1.194,8	657,8	1.201,4	543,6	2,198	3527,7	19	
PROMEDIO		-	-	-	-	2,195	3756,9	19	2,427

% de cemento asfáltico	22,18
% de agregados	68,27
% de vacíos llenos con aire	9,55
% volúmen de agregado mineral grueso	31,73
% efectivo de cemento asfáltico	5,70
% vacíos llenos con asfalto	69,91

Tabla 3.0.16 Diseño con 20.0% de PVC - 80.0% Agregado



*Ilustración 3.0.10 Briquetas de diseño con PVC (Iván Burbano, 2019)*

## CAPÍTULO IV

### 4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos de los materiales y las briquetas ensayadas.

#### 4.1.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ASFALTO

Los ensayos realizados al asfalto (AC-20) cumplen de manera satisfactoria con los resultados obtenidos, comparando con las normas se tiene que es un asfalto competente para la realización de la mezcla asfáltica.

PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADOS	LÍMITES		NORMA	CUMPLE
			min	max		
Viscosidad 60°C	Pa.s	227	160	240	AASHTO T201	SI
Viscosidad 135°C	$mm^2 s^{-1}$	359	300	-	AASHTO T201	SI
Punto de Inflamación	°C	297	232	-	AASHTO T79	SI
Gravedad Específica	$g/cm^3$	1,005	-	-	-	SI
Penetración a 25°C	1/10 mm	60	-	-	AASHTO T49	SI
Índice de penetración	-	-1,288	-1,5	1	-	SI
Ductilidad 25°C, 5 cm/min	cm	>105	-	-	AASHTO T51	SI
Ensayos al residuo de película fina en horno						
Viscosidad 60°C	Pa.s	1	-	800	AASHTO T201	SI
Viscosidad 135°C	$mm^2 s^{-1}$	605	-	-	AASHTO T201	SI
Penetración a 25°C	1/10 mm	40	-	-	AASHTO T49	SI
Ductilidad 25°C, 5 cm/min	cm	44	50	-	AASHTO T51	SI
Pérdida de masa	% w/w	-0,23	-	1	AASHTO T179	SI

Tabla 4.0.1 Resultados de Laboratorio del CA

#### 4.1.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL AGREGADO

Ensayos realizados al material obtenido de la cantera de Colibrí presentan los siguientes resultados:

##### 4.1.2.1 RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS, POR ABRASION E IMPACTO EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

RESULTADOS:	3/4	3/8	% MAXIMO (INEN 860)
GRADACIÓN TIPO:	<b>C</b>	<b>C</b>	
MASA INICIAL (g):	5000,3	5000,7	-
Retenido Tamiz No. 12 después de 500 revoluciones (g):	3721,0	3698,0	-
PÉRDIDA DE LAS 500 REVOLUCIONES (g)	1279,3	1302,7	-
<b>% PÉRDIDA DE LAS 500 REVOLUCIONES :</b>	<b>26</b>	<b>26</b>	<b>40,0</b>
	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	

Tabla 4.0.2 Resultados Desgaste de Agregados por Abrasión

##### 4.1.2.2 EQUIVALENTE DE ARENA

MUESTRA No.	LECTURA DE ARCILLA (Pulg)	LECTURA DE ARENA (Pulg)	EQUIVALENTE DE ARENA (%)	% MINIMO (ASTM D2419)
1	4,80	3,50	73	-
2	4,90	3,40	69	-
3	4,90	3,40	69	-
<b>PROMEDIO</b>			<b>71</b>	<b>50</b>
			<b>CUMPLE</b>	

Tabla 4.0.3 Resultados Equivalente de Arena

## 4.1.2.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO							
MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ # :		1 "		Y RETIENE EN EL TAMIZ # :		Nº 8	
Nº DE ENSAYO			1	2	P R O M E D I O		
MASA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA		B	gr.	5000,00			5000,00
MASA EN AGUA DEL AGREGADO SATURADO		C	gr.	3077,00			3089,00
TEMPERATURA		(T)	°C	23			23
Nº DE RECIPIENTE				0,00			0,00
MASA DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA			gr.	6328,50			6344,00
MASA DEL RECIPIENTE			gr.	1450,50			1467,50
MASA MUESTRA SECA		A	gr.	4878,00			4876,50
FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA		K		0,99757			0,99757
GRAVEDAD ESPECIFICA DE VOLUMEN		Sd		2,530			2,546
GRAVEDAD ESPECIFICA DE VOLUMEN ( SSS )		Ss		2,594	2,610	<b><u>2,594</u></b>	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE		Sa		2,702	2,721	<b>2,702</b>	
ABSORCIÓN		A %		2,50 %	2,53 %	<b><u>2,50 %</u></b>	

Tabla 4.0.4 Resultados Gravedad Específica y Absorción (Agregado Grueso)

## 4.1.2.4 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO					
MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ #:	Nº 8	Y RETIENE EN EL TAMIZ #:		Nº 200	
Nº DE ENSAYO				1	P R O M E D I O
Nº DE PICNOMETRO CALIBRADO					
MASA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	D	gr.	1000,00		
MASA DEL PICNOMETRO + MUESTRA + AGUA	C	gr.	1880,10		
TEMPERATURA	(T)	°C	25		
MASA DEL PICNOMETRO + AGUA A LA TEMPERATURA (T)	B	gr.	1255,80		
Nº DE RECIPIENTE				1	
MASA MUESTRA SECA + RECIPIENTE		gr.			
MASA DEL RECIPIENTE		gr.			
MASA MUESTRA SECA	A	gr.	980,20		
FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA		K	0,997		
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE VOLUMEN		S <sub>d</sub>	2,601	2,601	
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE VOLUMEN ( SSS )		S <sub>s</sub>	2,662	2,662	
GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE		S <sub>a</sub>	2,746	2,746	
ABSORCIÓN		A %	2,02 %	2,02 %	

Tabla 4.0.5 Resultados Gravedad Específica y Absorción (Agregado Fino Pasante N° 8)

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO					
MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ #:	Pasante Nº 200	Y RETIENE EN EL TAMIZ #:			
Nº DE ENSAYO				1	P R O M E D I O
Nº DE PICNÓMETRO CALIBRADO					
MASA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	D	gr.	174,40		
MASA DEL PICNÓMETRO + MUESTRA + AGUA	C	gr.	1367,70		
TEMPERATURA	(T)	°C	25		
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA A LA TEMPERATURA (T)	B	gr.	1255,80		
MASA MUESTRA SECA + RECIPIENTE		gr.			
MASA DEL RECIPIENTE		gr.			
MASA MUESTRA SECA	A	gr.			
FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA		K	0,997		
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE VOLUMEN		S <sub>d</sub>			
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE VOLUMEN ( SSS )		S <sub>s</sub>			
GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE		S <sub>a</sub>	2,782	2,782	

Tabla 4.0.6 Resultados Gravedad Específica y Absorción (Agregado Fino Pasante N° 200)

## 4.1.2.5 RESISTENCIA DE LOS AGREGADOS SOMETIDOS A SULFATOS

Tamaño de las aberturas del tamiz	Gradación de la muestra original (%)	Porcentaje que pasa el tamiz designado luego del ensayo (%)	Porcentaje ponderado de pérdida (%)	% MAXIMO (INEN 863)
<b>ENSAYO DE DESEMPEÑO DEL ÁRIDO FINO</b>				
Menor a 150µm	14,44	-	-	-
de 300µm a 150µm	11,53	-	-	-
de 600µm a 300µm	14,79	2,0	0,3	-
de 1,18µm a 600µm	15,45	4,2	0,6	-
de 2,36µm a 1,18µm	16,65	3,7	0,6	-
de 4,75µm a 2,36µm	16,98	3,2	0,5	-
de 9,5µm a 4,75µm	10,16	6,3	0,6	-
<b>Totales</b>	<b>100,00</b>		<b>2,7</b>	<b>18,0</b>
<b>ENSAYO DE DESEMPEÑO DEL ÁRIDO GRUESO</b>				
63mm a 50mm				-
50mm a 37,5mm				-
37,5mm a 25,0mm				-
25,0mm a 19,0mm				-
19,0mm a 12,5mm	85,5	0,9	0,7	-
12,5mm a 9,5mm				-
9,5mm a 4,75mm	14,5	1,8	0,3	-
<b>Totales</b>	<b>100,00</b>	<b>-</b>	<b>1,0</b>	<b>18,0</b>
<b>CUMPLE</b>				

Tabla 4.0.7 Resultados Desgaste de Agregados por Sulfatos

## 4.1.2.6 COMBINACIÓN GRANULOMÉTRICA

TAMIZ	GRANULOMETRÍA INDIVIDUAL FRACCIÓN:				PORCENTAJE DE APORTE			COMB.	ESPECIFICACIÓN		FAJA TRABAJO		TOLERANC IAS
	1	2	3	4	20%	19%	61%		MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	
3/4"	100	100	100	100	20	19	61	100,0	100	100	100	100	8±
1/2"	80	100	100	100	16	19	61	96,0	90	100	90	100	7±
3/8"	23	72,6	100	100	5	14	61	79,4	67	87	71	83	7±
No. 4	2	4,78	96	100	0	0,9	59	59,9	44	74	53	67	7±
No. 8	1	2,34	69	100	0	0,4	42	42,7	28	58	37	49	6±
No. 50	0	0	27	100	0	0,0	16	16,5	5	21	11	21	5±
No. 200	0	0	11	100	0	0,0	7	6,71	2	10	4	9,71	3±

Tabla 4.0.8 Combinación Granulométrica

4.1.2.7 CURVA GRANULOMÉTRICA

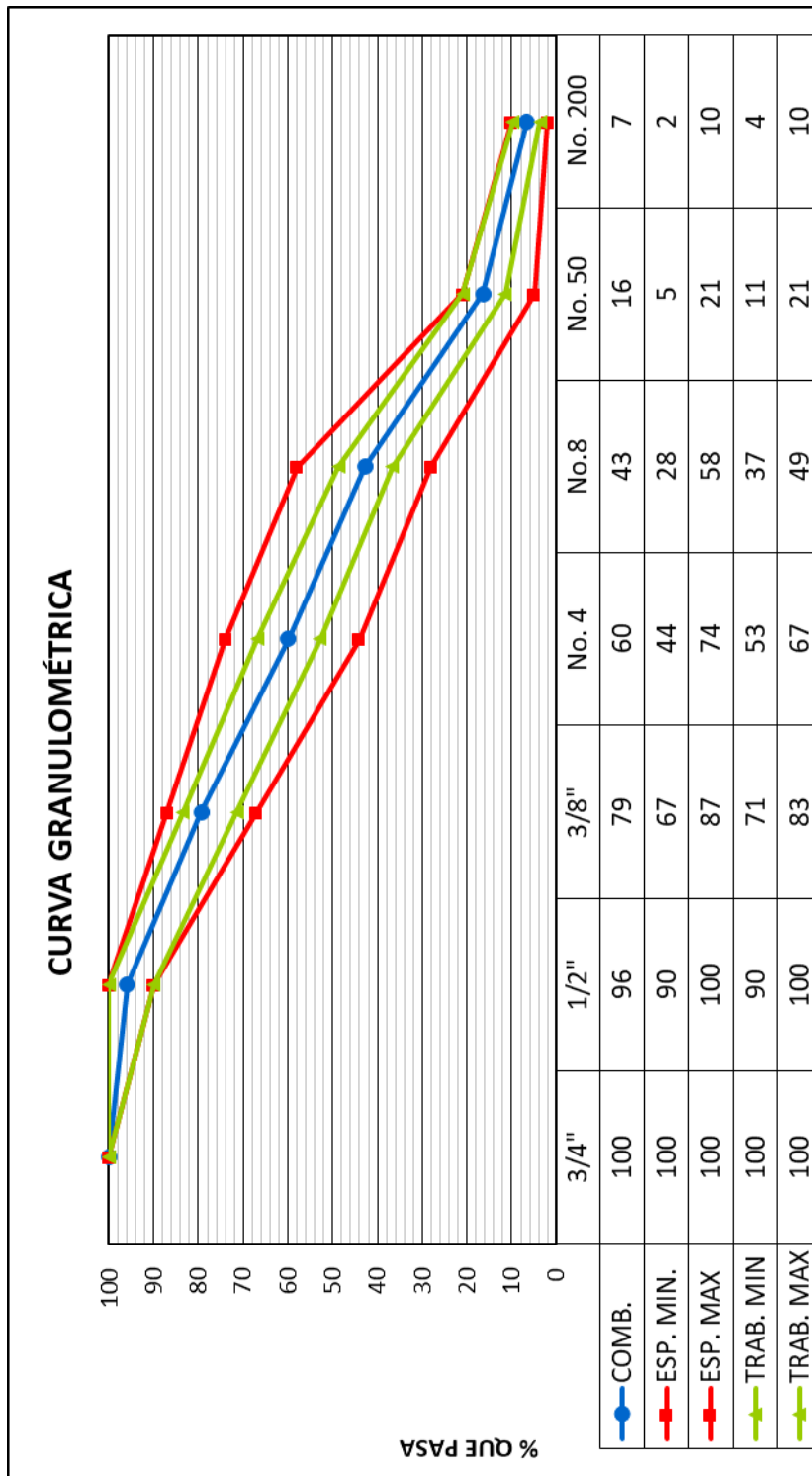


Ilustración 4.0.1 Curva Granulométrica (Iván Burbano, 2019)

#### 4.1.3 ANÁLISIS DE MEZCLA ASFÁLTICA SIN PVC

A continuación se presentan los resultados del diseño de la mezcla asfáltica convencionales que no incluye el PVC. Este diseño es el punto de partida para la comparación de resultados y determinación del porcentaje óptimo de asfalto para los siguientes diseños.

##### 4.1.3.1 ANÁLISIS #1 0% PVC – 100% AGREGADO

Mediante el análisis del primer diseño con el material de la mina el Colibrí.

% CEMENTO ASFÁLTICO	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	5,90
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK MEZCLA AGREGADOS (Gsb)	<b>2,573</b>	<b>2,573</b>	<b>2,573</b>	<b>2,573</b>	<b>2,573</b>	<b>2,573</b>
GRAVEDAD ESPECIFICA DEL ASFALTO (Gb.)	1,015	1,015	1,015	1,015	1,015	1,015
DATOS ENSAYO RICE:						
PESO MUESTRA EN EL AIRE (Gr)	1495,8	1491,9	1493,7	1487,4	1491,6	1501,1
PESO FRASCO + AGUA (Gr)	7976,9	7976,9	7976,9	7976,9	7976,9	7976,9
PESO FRASCO + AGUA + MUESTRA (Gr)	8873,3	8865,0	8861,2	8851,5	8850,8	8861,3
VOLUMEN C.C	599,4	603,8	609,4	612,8	617,7	616,7
GRAVEDAD ESPECIFICA MÁXIMA DE LA MEZCLA (Gmm)	<b>2,495</b>	<b>2,471</b>	<b>2,451</b>	<b>2,427</b>	<b>2,415</b>	<b>2,434</b>
GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA DE LOS AGREGADOS (Gse)	2,680	2,673	2,671	2,664	2,671	2,668
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE DE LOS AGREGADOS (Gsa)	2,723	2,723	2,723	2,723	2,723	2,723
COMPROBACIÓN:						
Gsa > Gse > Gsb	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
ASFALTO ABSORBIDO POR EL AGREGADO (Pba)	1,58	1,48	1,46	1,35	1,45	1,41
CONTENIDO ASFALTO EFECTIVO EN MEZCLA (Pbe)	2,99	3,60	4,12	4,73	5,14	4,57

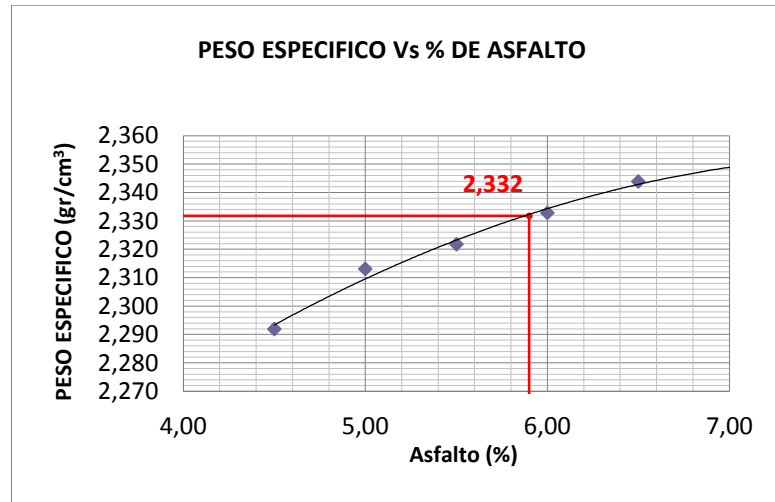
Tabla 4-0.9 Resultados Gravedad Especifica Bulk y contenido efectivo de CA

PROPIEDAD	RESULTADO	LIMITES		TABLA DE MOP
		min	max	
ESTABILIDAD (lb)	4241	2200	-	405-5-4
FLUJO (pulgada/100)	8,9	8,0	14	405-5-4
VACIOS CON AIRE (%)	4,2	3,0	5	405-5-4
VAM (%)	15	13	-	405-5-5

Tabla 4.0.10 Resultados de Briquetas de Comprobación con 5.9% CA

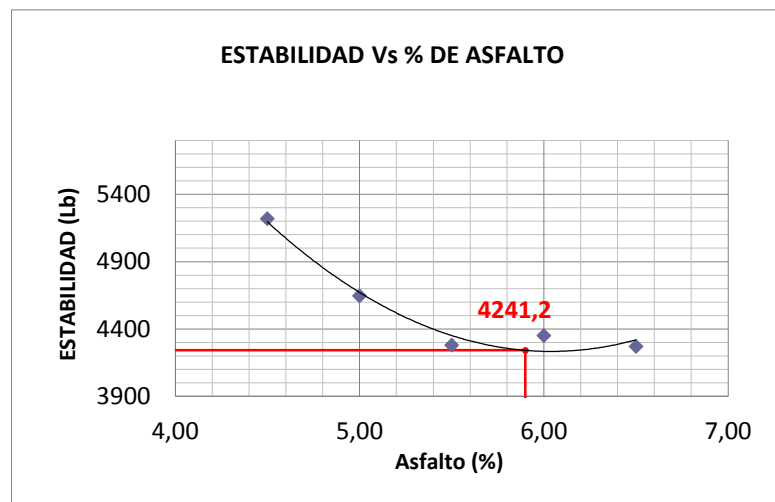
De acuerdo con las normas estos valores obtenidos son claramente aceptables para la elaboración de una buena carpeta asfáltica

1. % Asfalto vs. Peso específico:



*Ilustración 4.0.2 % Asfalto vs. Peso específico (Iván Burbano, 2019)*

2. % Asfalto vs. Estabilidad:



*Ilustración 4.0.3 % Asfalto vs. Estabilidad (Iván Burbano, 2019)*

## 3. % Asfalto vs. Flujo:

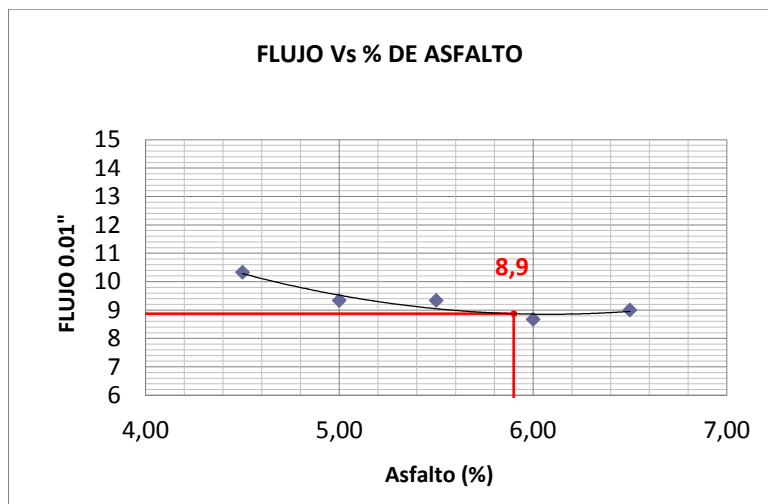


Ilustración 4.0.4 % Asfalto vs. Flujo (Iván Burbano, 2019)

## 4. % Asfalto vs. VTM:

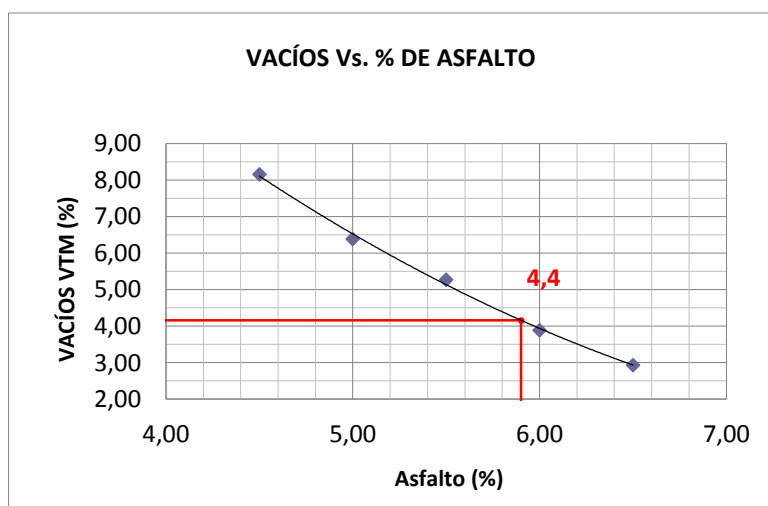


Ilustración 4.0.5 % Asfalto vs. VTM (Iván Burbano, 2019)

## 5. % Asfalto vs. VAM:

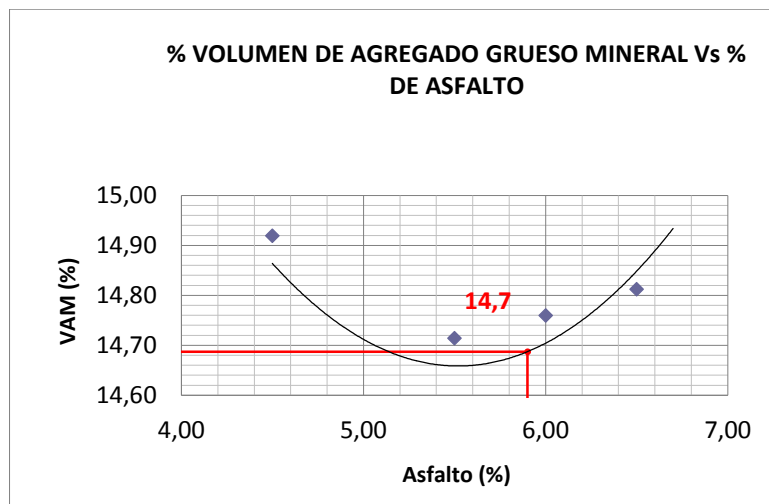


Ilustración 4.0.6 % Asfalto vs. VAM (Iván Burbano, 2019)

## 6. % Asfalto vs. VAF:

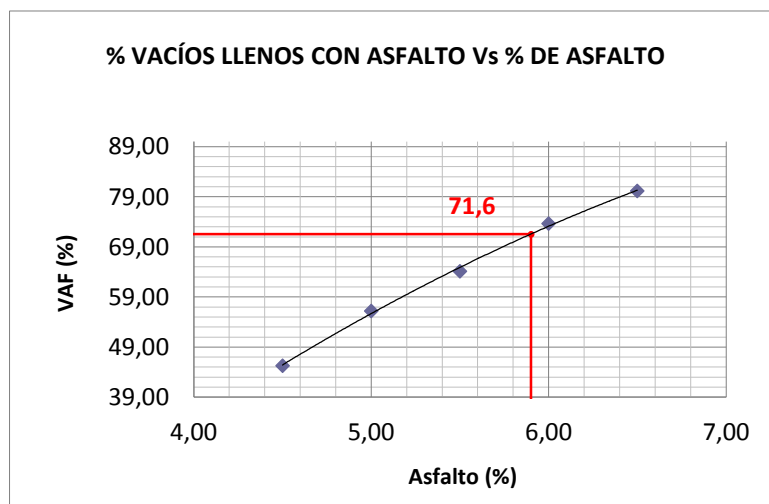


Ilustración 4.0.7 % Asfalto vs. VAF (Iván Burbano, 2019)

#### 4.1.4 ANÁLISIS DE MEZCLA ASFÁLTICA CON PVC

##### 4.1.4.1 ANÁLISIS DEL PESO ESPECÍFICO

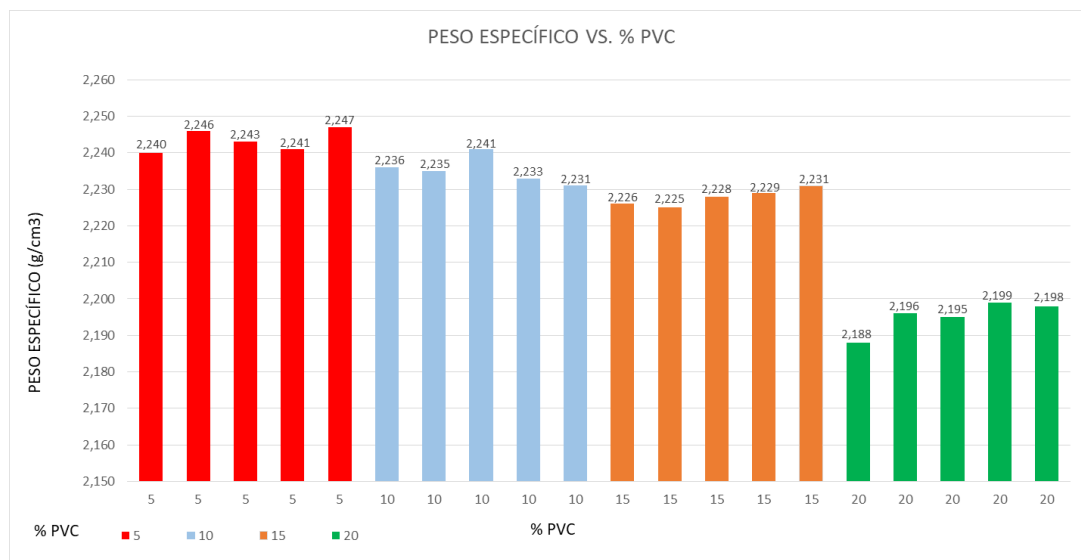


Ilustración 4.0.8 ANÁLISIS DEL PESO ESPECÍFICO (Iván Burbano, 2019)

##### 4.1.4.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

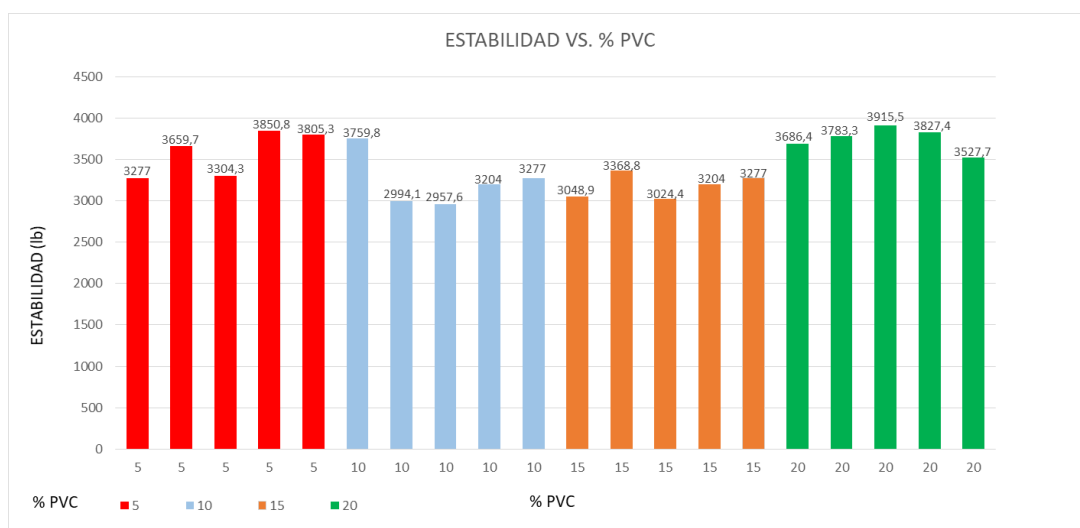


Ilustración 4.0.9 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD (Iván Burbano, 2019)

#### 4.1.4.3 ANÁLISIS DE FLUJO

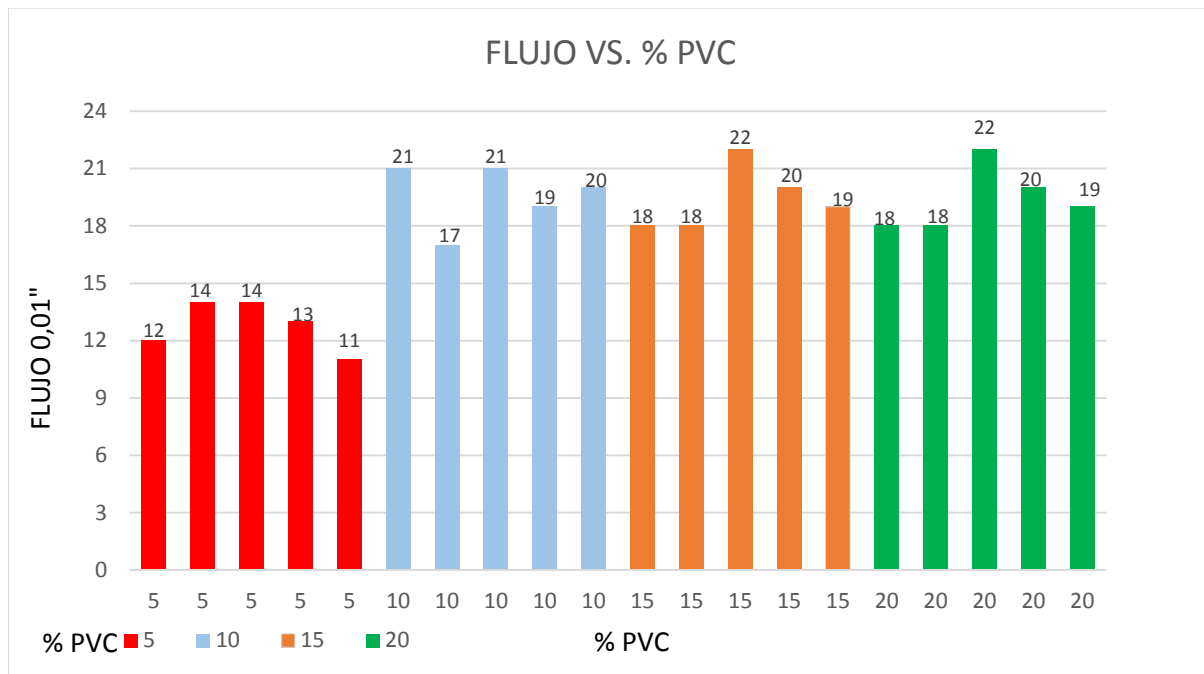


Ilustración 4.0.10 ANÁLISIS DE FLUJO (Iván Burbano, 2019)

#### 4.1.4.4 ANÁLISIS DE VACÍOS

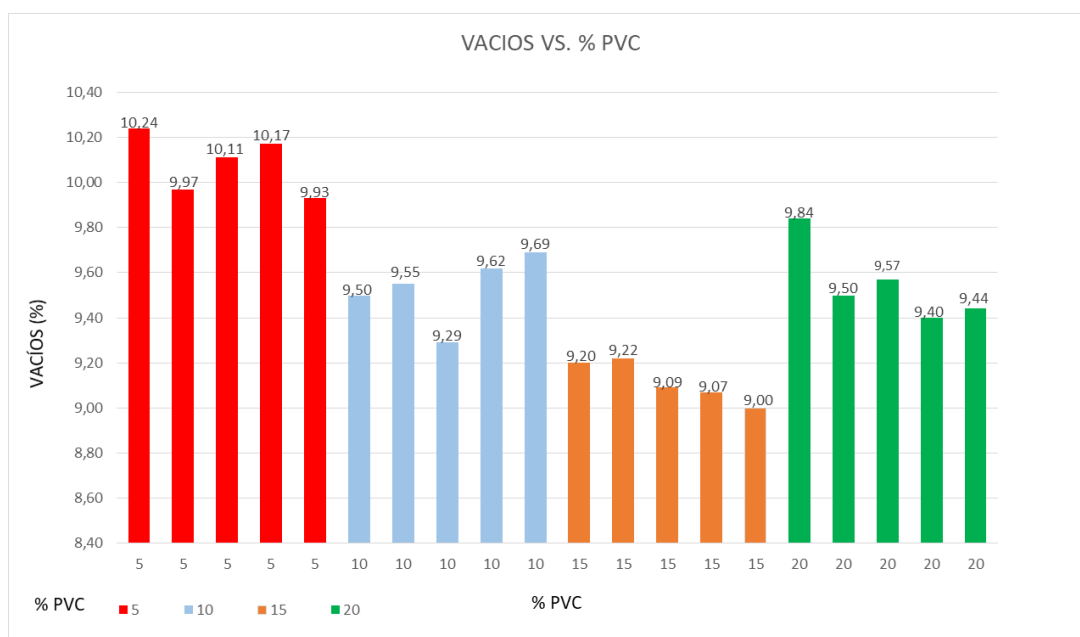


Ilustración 4.0.11 ANÁLISIS DE VACÍOS (Iván Burbano, 2019)

#### 4.1.4.5 ANÁLISIS DE VACÍOS LLENOS CON ASFALTO

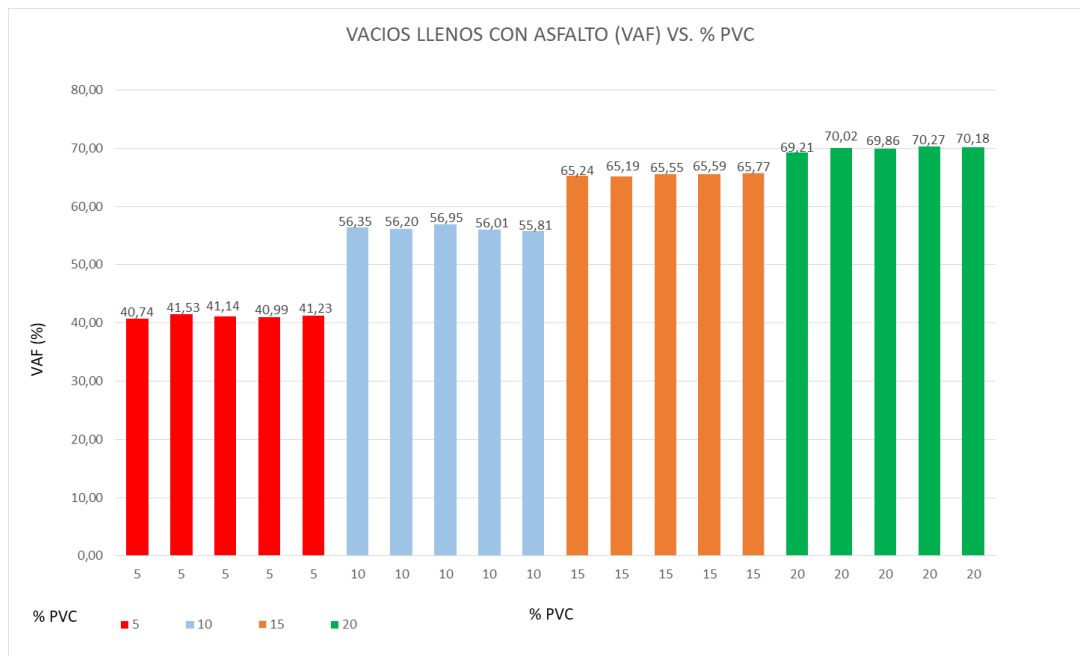


Ilustración 4.0.12 ANÁLISIS DE VACÍOS LLENOS CON ASFALTO (Iván Burbano, 2019)

#### 4.1.4.6 ANÁLISIS DE VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO MINERAL

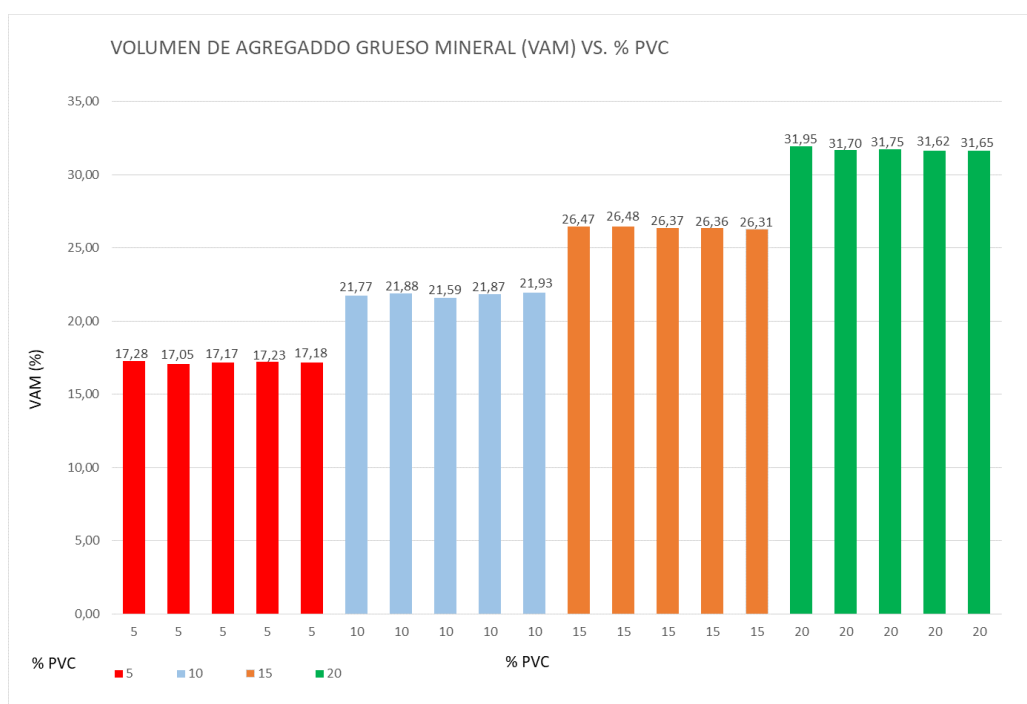


Ilustración 4.0.13 ANÁLISIS DE VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO MINERAL (Iván Burbano, 2019)

#### 4.1.5 ANÁLISIS DE MEZCLA ASFÁLTICA CON 5% DE PVC Y 5.9% ASFALTO

De acuerdo con los límites establecidos en las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes, el diseño que se utiliza para comparación con la mezcla convencional es la que tiene el 5% de PVC, ya que cumple con los límites permisibles en estabilidad, flujo, volumen de agregado mineral, a excepción del % óptimo de vacíos

TIPO DE TRÁFICO	MUY PESADO		PESADO		MEDIO		LIVIANO	
	MIN.	MAX	MIN.	MAX	MIN.	MAX	MIN.	MAX
CRITERIOS MARSHALL								
# DE GOLPES/CARA	75		75		50		50	
ESTABILIDAD (libras)	2200	-	1800	-	1200	-	1000	2400
FLUJO (pulgada/100)	8	14	8	14	8	16	8	16
% DE VACIOS EN LA MEZCLA								
CAPA DE RODADURA	3	5	3	5	3	5	3	5
% VACIOS AGREGADO MINERAL	13	-	13	-	13	-	13	-
RELACION FILLER / BETÚN	0,8	1,2	0,8	1,2	-	-	-	-

Tabla 4.11 Parámetros de diseño Briquetas (Tabla 405-5-4 MOP)

##### 4.1.5.1 ANÁLISIS DEL PESO ESPECÍFICO CON 5% DE PVC Y 5.9% ASFALTO

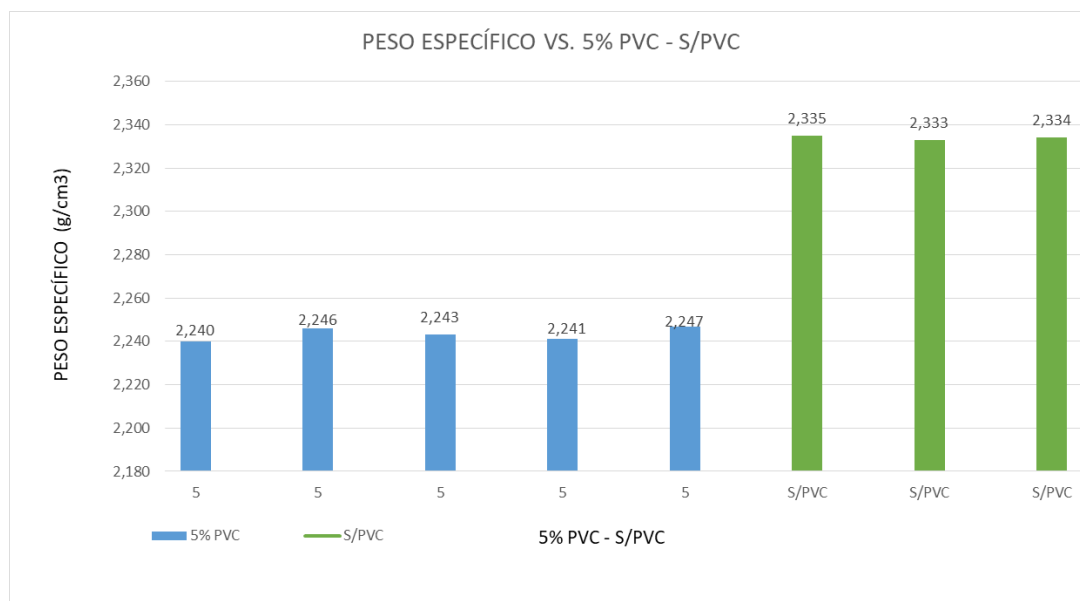


Ilustración 4.0.14 ANÁLISIS DEL PESO ESPECÍFICO CON 5% DE PVC Y 5.9% ASFALTO (Iván Burbano, 2019)

#### 4.1.5.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CON 5% DE PVC Y 5.9% ASFALTO

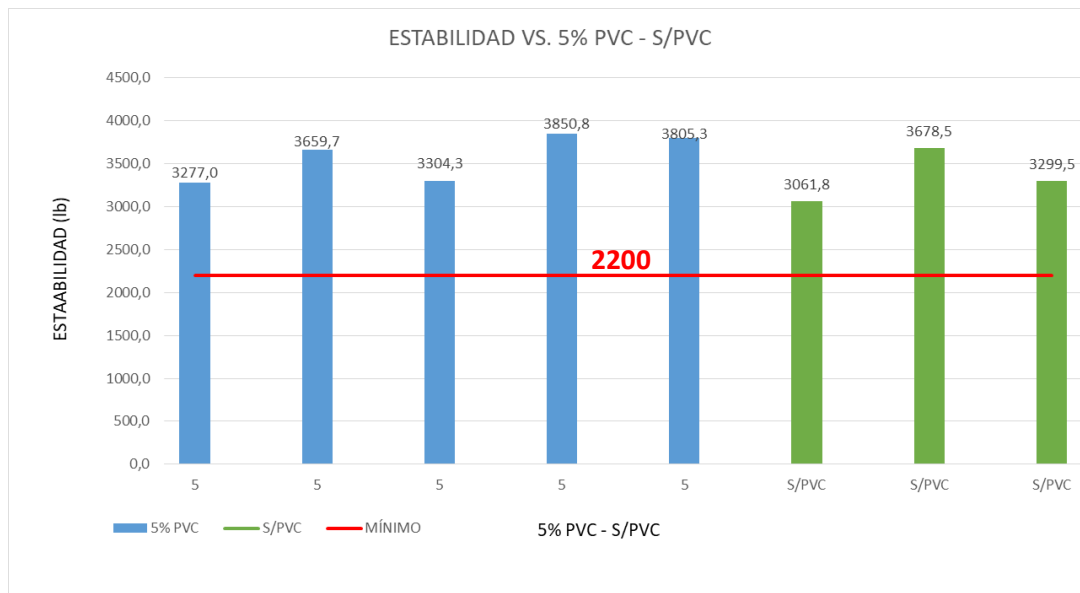


Ilustración 4.0.15 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CON 5% DE PVC Y 5.9% ASFALTO (Iván Burbano, 2019)

#### 4.1.5.3 ANÁLISIS DE FLUJO CON 5% DE PVC Y 5.9% ASFALTO

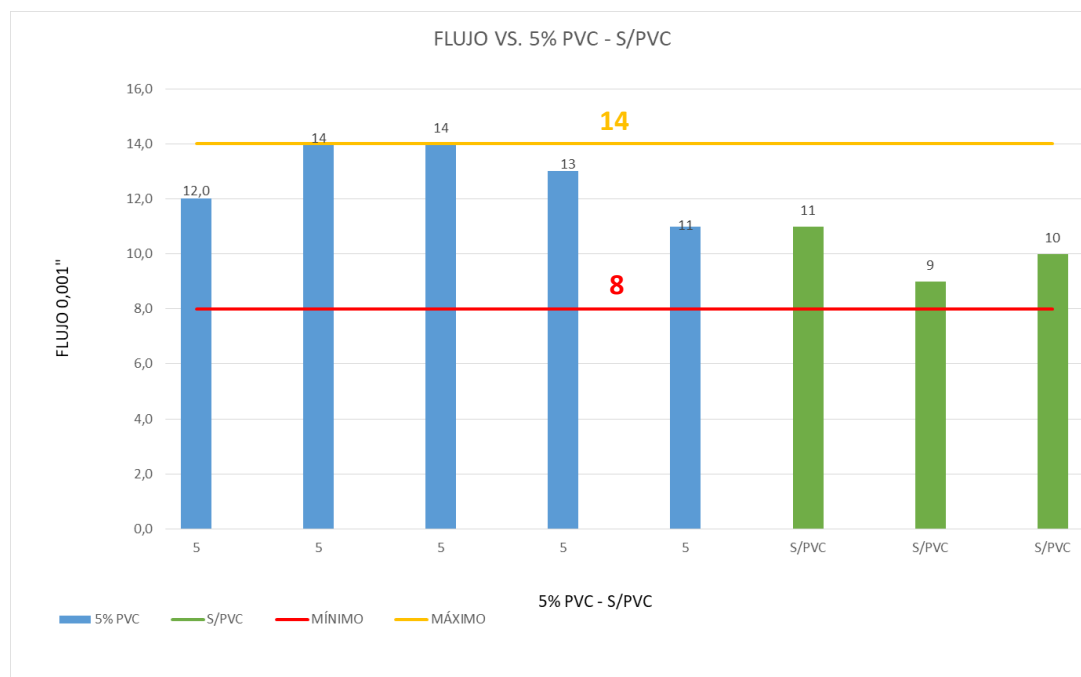


Ilustración 4.0.16 ANÁLISIS DE FLUJO CON 5% DE PVC Y 5.9% ASFALTO (Iván Burbano, 2019)

#### 4.1.5.4 ANÁLISIS DE VACÍOS CON 5% DE PVC Y 5.9% ASFALTO

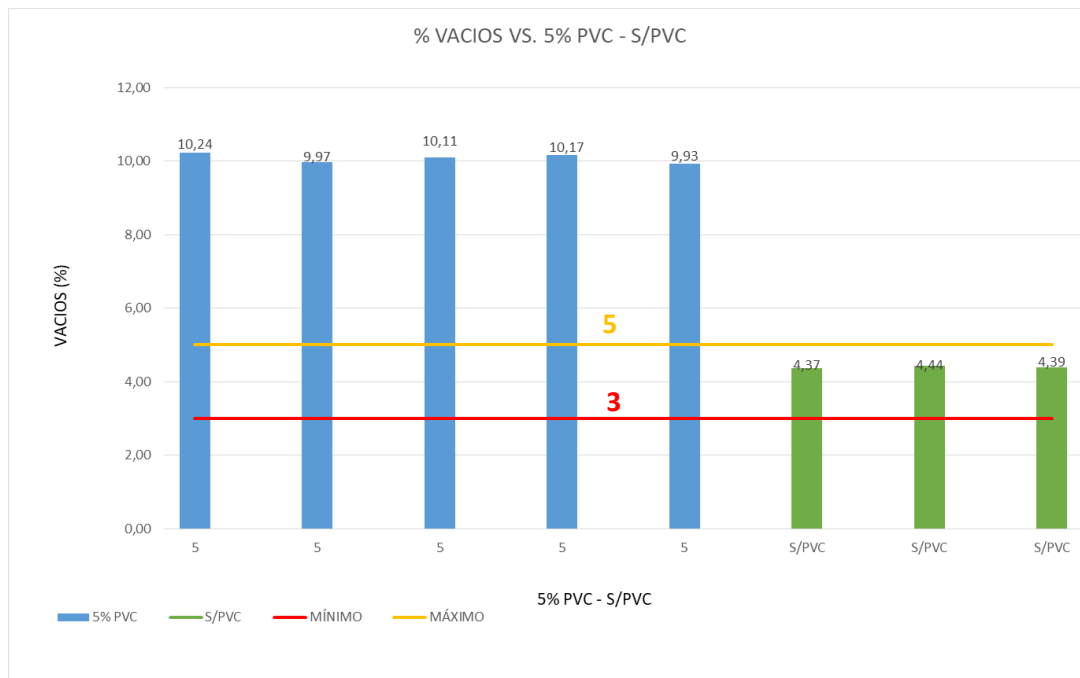


Ilustración 4.0.17 ANÁLISIS DE VACÍOS CON 5% DE PVC Y 5.9% ASFALTO (Iván Burbano, 2019)

#### 4.1.5.5 ANÁLISIS DE VACÍOS LLENOS CON ASFALTO CON 5% DE PVC Y 5.9% ASFALTO

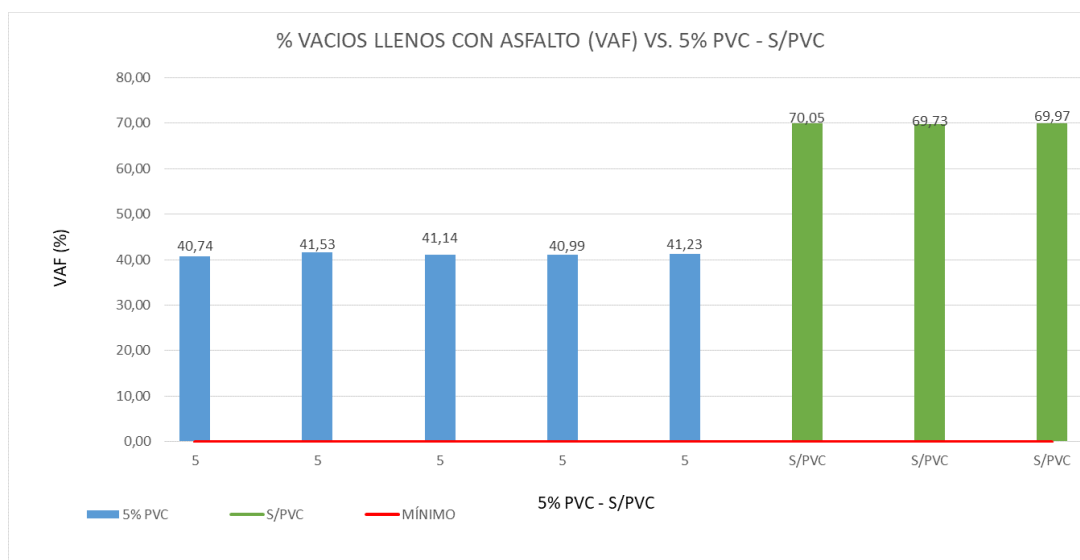


Ilustración 4.0.18 ANÁLISIS DE VACÍOS LLENOS CON ASFALTO CON 5% DE PVC Y 5.9% ASFALTO (Iván Burbano, 2019)

#### 4.1.5.6 ANÁLISIS DE VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO MINERAL CON 5% DE PVC Y 5.9% ASFALTO

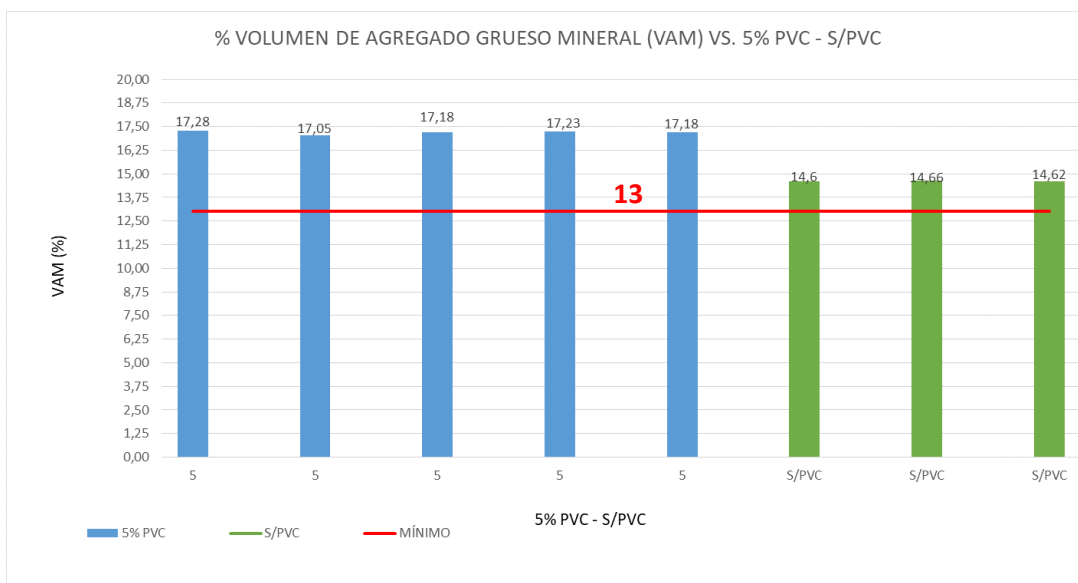


Ilustración 4.0.19 ANÁLISIS DE VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO MINERAL CON 5% DE PVC Y 5.9% ASFALTO  
(Iván Burbano, 2019)

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Sobre la base de los parámetros requeridos para la calificación y análisis de los materiales de esta investigación, se presenta a continuación las conclusiones y recomendaciones de las propiedades mecánicas en cumplimiento de los objetivos definidos en la investigación de mezclas asfálticas elaboradas con y sin PVC. Por tanto, la verificación y valoración del comportamiento de la mezcla, en función de la variación del porcentaje de PVC.

#### 5.1 CONCLUSIONES

##### - AGREGADOS

A continuación, se presenta un cuadro con el resumen de los resultados obtenidos en los ensayos de control y su cumplimiento o no con la respectiva norma.

PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADOS	LÍMITES		NORMA	CUMPLE
			min	max		
Gravedad Específica (grueso)	-	2,53	-	-	ASTM C29M	SI
Gravedad Específica (fino)	-	2,782	-	-	ASTM C29M	SI
%Absorción (grueso)	%	2,5	-	-	ASTM C29M	SI
%Absorción (fino)	%	2,02	-	-	ASTM C29M	SI
Desgaste a los Sulfatos (grueso)	%	2,7	-	18	ASTM C88	SI
Desgaste a los Sulfatos (fino)	%	1	-	18	ASTM C88	SI
Equivalente de Arena	%	71	50	-	ASTM D2419	SI
% Abrasión 3/4	%	26	-	40	ASTM C535	SI
% Abrasión 3/8	%	26	-	40	ASTM C535	SI

Dados los resultados obtenidos de los ensayos, se concluye que los agregados utilizados en esta investigación, cumplen en las afectaciones establecidas en el diseño. Esto permite afirmar que los parámetros obtenidos en base a los resultados de los

ensayos en cumplimiento de lo establecido dentro de esta calidad, se convierte en constante durante toda la investigación, esto es, ya no influyen dentro del comportamiento de la mezcla, mientras que la única variable será la inclusión del PVC en sus respectivos porcentajes.

## ASFALTO

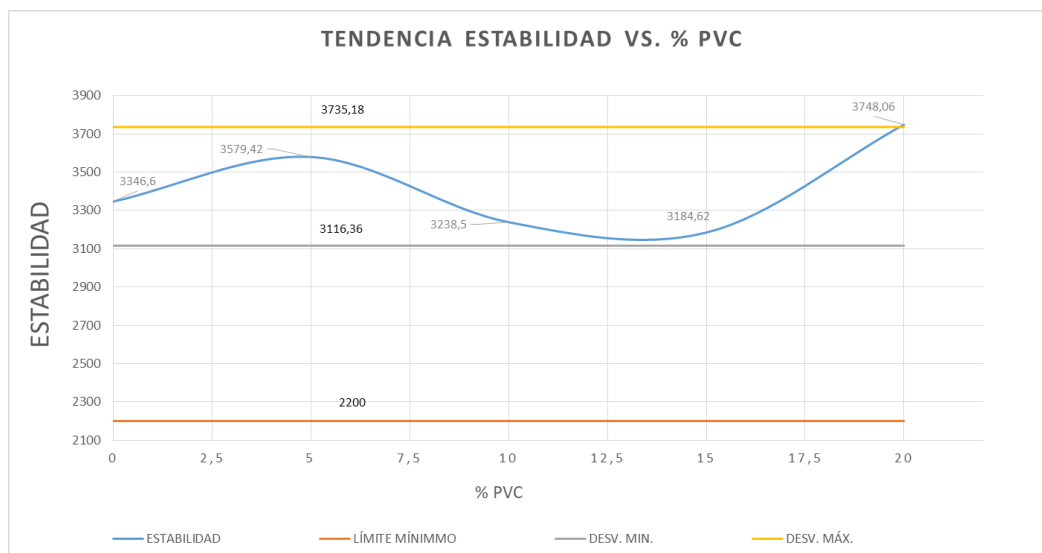
Analizando los resultados mostrados en la tabla resumen, se puede concluir que el cemento asfáltico utilizado en esta investigación, cumple con los parámetros establecidos por las normas.

PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADOS	LÍMITES		NORMA	CUMPLE
			min	max		
Viscosidad 60°C	Pa.s	227	160	240	AASHTO T201	SI
Viscosidad 135°C	$mm^2 s^{-1}$	359	300	-	AASHTO T201	SI
Punto de Inflamación	°C	297	232	-	AASHTO T79	SI
Gravedad Específica	$g/cm^3$	1,005	-	-	-	SI
Penetración a 25°C	1/10 mm	60	-	-	AASHTO T49	SI
Índice de penetración	-	-1,288	-1,5	1	-	SI
Ductilidad 25°C, 5 cm/min	cm	>105	-	-	AASHTO T51	SI
Ensayos al residuo de película fina en horno						
Viscosidad 60°C	Pa.s	1	-	800	AASHTO T201	SI
Viscosidad 135°C	$mm^2 s^{-1}$	605	-	-	AASHTO T201	SI
Penetración a 25°C	1/10 mm	40	-	-	AASHTO T49	SI
Ductilidad 25°C, 5 cm/min	cm	44	50	-	AASHTO T51	SI
Pérdida de masa	% w/w	-0,23	-	1	AASHTO T179	SI

De acuerdo con el ensayo de Penetración se puede concluir que es un cemento asfáltico AC-20.

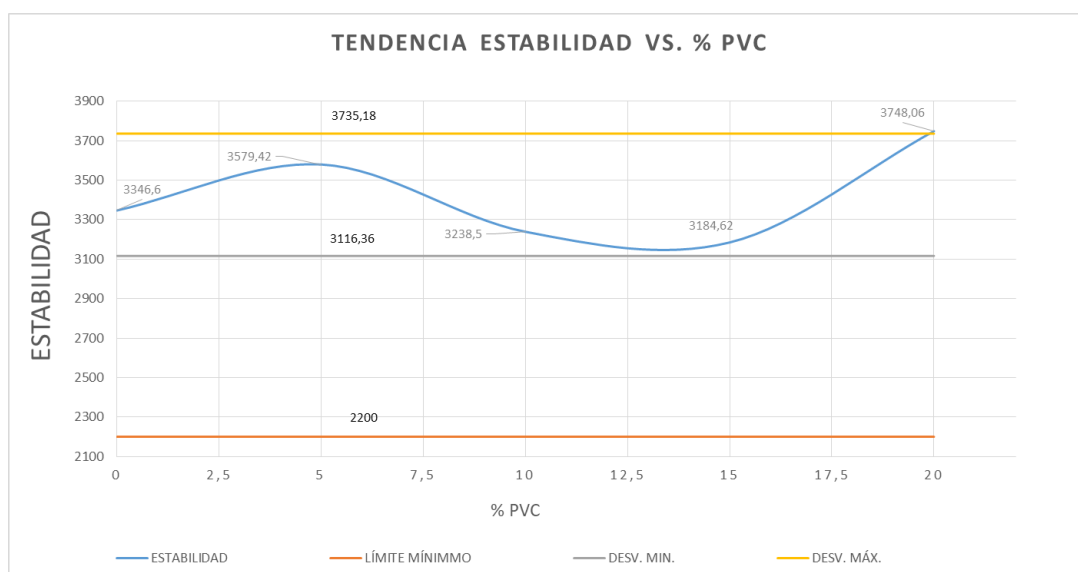
## MEZCLAS

- Las mezclas que no contienen PVC, se obtiene un valor de estabilidad promedio de 3346,6 lb. Se observa en la ilustración que a medida que se incrementa el % de PVC, varia la estabilidad en un rango que puede ser definido como constante. Esto es, que la estabilidad en este caso es independiente de la variación del % de PVC en la mezcla, esto puede ser explicado por la capacidad de adherencia de las partículas de PVC que se encuentran en la mezcla asfáltica, esto quiere decir que el material reemplazado por los áridos depende principalmente de la forma en la que se acomodan las partículas y la rugosidad de las mismas.



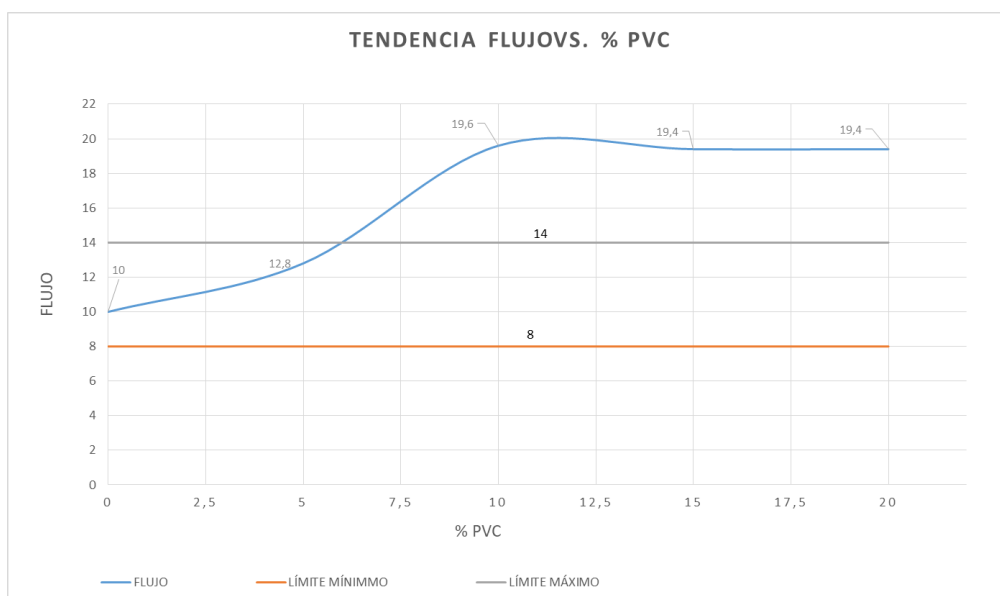
- Al ejecutar el ensayo bajo las condiciones de exigencia que este implica y al tener la misma estabilidad, se concluye que el cemento asfáltico influye en la

capacidad de resistencia como ligante, puesto que sin importar que cantidad agregado que sea reemplazado por PVC hasta el rango de 20%, la estabilidad no sufre mayor variación y se encontraría por sobre el valor mínimo permisible que nos indica la tabla del MOP 405-5-4. Como podemos ver en la siguiente imagen.



- Analizando la ilustración de la TENDENCIA ESTABILIDAD VS % PVC, se concluye que la mezcla asfáltica no es la más idónea ya que los valores obtenidos son superiores a 3000 lb, lo cual se vuelve un problema debido a la rigidez que presentaría. Esta rigidez está ligada a un potencial comportamiento frágil de la mezcla en determinadas condiciones de temperatura.
- Para esta investigación en las condiciones de mezclas óptimas, que cumplen con todos los requisitos de los materiales y con un 5,9% de asfalto óptimo (constantes en los diseños que incluyen PVC), sucede que para el flujo los

valores menores al 6% de PVC, se encuentran dentro de los rangos establecidos en la tabla del MOP 405-5-4, mientras que para valores mayores al 6% ya no cumplen con lo establecido en los rangos pertinentes como se puede apreciar en la siguiente ilustración.



Por tanto, se podría validar en las condiciones en las cuales se realizó la investigación, una inclusión del PVC hasta en un 6%.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Se debe seguir investigando la inclusión del PVC en mezclas asfálticas, con el uso de aditivos para mejorar su mezcla.
- Para porcentajes mayores al 5,00% de mezcla asfáltica con PVC, la cantidad de cemento asfáltico que tiene la muestra debe disminuir, para lograr una mezcla óptima.
- El diseño de mezclas asfálticas en caliente por el Método Marshall es limitado, se recomienda realizar una investigación con un diseño que contemple más aspectos del comportamiento mecánico de un diseño que contenga PVC como un material extra a la mezcla convencional.
- Los resultados de la mezcla que contienen el PVC como material alternativo pueden ser utilizados como una capa protectora que se aplicaría sobre la capa de rodadura. Brindando una mayor protección contra los efectos climáticos como el sol y el agua que son factores que afectan las condiciones de durabilidad.
- Se recomienda seguir con la investigación, utilizando viruta de PVC en diferentes condiciones de exigencia, y con diferentes porcentajes de cemento asfáltico con materiales adecuados.

## BIBLIOGRAFÍA

- Asoven. (2018). *Asoven*. Obtenido de Asoven: <https://www.asoven.com/pvc/que-es-el-pvc-ventajas-fabricacion-e-impacto-ambiental/>
- Asphalt, I. (2001). *Construction of Hot Mix Asphalt pavements*. Lexington: SECOND.
- Científicos, T. (23 de 08 de 2005). *Textos Científicos*. Obtenido de Textos Científicos: <https://www.textoscientificos.com/polimeros/pvc>
- Delbono, ` L. (2014). CARACTERIZACIÓN DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS (CAPÍTULO IV). En H. L. Delbono.
- Delgado, J. S. (2011). *Guía para la realización de ensayos y clasificación de asfaltos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados según el Reglamento Técnico Centroamericano*. Obtenido de file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Dialnet-GuiaParaLaRealizacionDeEnsayosYClasificacionDeAsfa-6240952.pdf
- EC, L. R. (2014). *La República*. Obtenido de La República: <https://www.larepublica.ec/blog/politica/2014/07/31/hoy-inaugura-nueva-ruta-collas-aeropuerto-quito/>
- Ecuador, M. d. (2018). *Instituto Frances de Estudios Andino*. Obtenido de Instituto Frances de Estudios Andino : <https://books.openedition.org/ifea/docannexe/image/5115/img-3.jpg>
- Ecuador, M. d. (23 de 08 de 2019). *Obras Públicas*. Obtenido de [https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/01/LOTAIP\\_1\\_101963-APOYO-PROGRAMA-INFRAESTRUCTURA-VIAL.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/01/LOTAIP_1_101963-APOYO-PROGRAMA-INFRAESTRUCTURA-VIAL.pdf)
- Gardey, J. P. (2015). *Definicion.De*. Obtenido de <https://definicion.de/pvc/>
- GOOGLE. (2016). *GOOGLE EARTH*. Obtenido de GOOGLE EARTH.
- GreenpeaceEspaña. (2016). Plásticos en los Océanos. *GREENPEACE*, 4.
- Iván Burbano, J. S. (2019). Tesis Burbano, Salazar. Pichincha.
- Minero, A. d. (2018). *ARCOM*. Obtenido de ARCOM: <http://www.controlminero.gob.ec/>
- MN, N. (2019). *Manabí Noticias*. Obtenido de Manabí Noticias: <https://manabinoticias.com/cpcs-t-revela-supuesta-red-de-corrupcion-en-proceso-de-rehabilitacion-de-refineria-de-esmeraldas/>
- MOPC, M. d. (2002). *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes*. Quito.
- Morales, C. A. (30 de 11 de 2007). *Análisis de la Metodología Superpave para el Diseño de Mezclas Asfálticas en México TESIS*. México, Puebla.
- Olgúin, D. (2016). *Proceso de Produccion de Agregados y su Control de Calidad*. Obtenido de Repositorio digital de la Facultad de Ingeniería - UNAM:

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/11125/Proceso%20de%20Producci%C3%B3n%20de%20Agregados%20P%C3%A9treos%20y%20su%20Control%20de%20Calidad.pdf?sequence=1>

Petróleo, S. (s.f.). *Sol Petróleo*. Obtenido de <http://www.solpetroleo.com/fisico-quimica-del-asfalto>

Porto, J. P., & Gardey, A. (2015). *Definición.de*. Obtenido de <https://definicion.de/pvc/>

RODRIGUEZ, F. A. (2008). *ANÁLISIS DE PAVIMENTO ASFÁLTICO TESIS*. Valdivia - Chile.

Schlumberger. (13 de 08 de 2008). *Schlumberger*. Obtenido de Schlumberger:  
<https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/a/asphaltenes.aspx>

Termoglass. (s.f.). *Termoglass*. Obtenido de Termoglass: <http://www.termoglass.es/el-pvc/>

transportes, S. d. (2004). *Instituto Mexicano de Transportes*. Obtenido de Instituto Mexicano de Transportes:  
<https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt246.pdf>