

**TRATAMIENTO DE GRAVAS CON LIGANTES  
BITUMINOSOS PARA VIAS DE BAJO TRANSITO**

**ANDREA PAOLA DELGADO CASTELLANOS  
EDILSON PINZON RODRIGUEZ**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2007**

**TRATAMIENTO DE GRAVAS CON LIGANTES  
BITUMINOSOS PARA VIAS DE BAJO TRANSITO**

**ANDREA PAOLA DELGADO CASTELLANOS  
EDILSON PINZON RODRIGUEZ**

**Trabajo de grado para optar por el título de  
Ingeniero Civil**

**DIRECTOR:**

**Ingeniero Civil. M.Sc., EDUARDO CASTEÑEDA PINZON**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2007**

## Dedicatoria

Al **Todopoderoso** por permitirme escoger esta carrera, estudiar en esta universidad y alcanzar este logro tan grande en mi vida y el de mi familia...

A las personas que mas amo mis padres **-Olinto & Marina-** y mis hermanas

**-Zully & Laura-** por apoyarme y guiarme durante todo este tiempo, por sus continuos esfuerzos y por compartir conmigo todas las angustias y alegrías,

A **gonzalito**, por acompañarme y aconsejarme durante todo este tiempo, haciéndome ver siempre el lado positivo de las cosas.

A mis **Amigos** por compartir esta etapa conmigo

y

A todos los que algún día creyeron en mi, y en mi carrera.

andrea paola delgado castellanos

*A mis padres por creer en mi y en mis capacidades por ser mis guías y mi apoyo y las personas  
con las que cuento en cada momento.*

*A mi hermana por soportarme durante el desarrollo de este pequeño triunfo por estar siempre  
ahí como una persona incondicional.*

*A mis amigos con los que compartí grandes momentos.*

**EDILSON PINZON RODRIGUEZ**

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración recibida de todos aquellos que por caminos distintos nos ayudaron a realizar y pertenecieron a nuestro proyecto de grado. En especial:

Al Ingeniero M.Sc. **Eduardo Castañeda**, por ser nuestro director de proyecto, brindándonos la oportunidad de trabajar con él, por toda su sabiduría recibida en esta etapa, por su dedicación y compromiso con nuestro proyecto.

A los auxiliares del laboratorio Caracterización de materiales de Ingeniería Civil, - Javier, Germán y Jairo - por colaborarnos en la realización de los laboratorios, con su disponibilidad y conocimiento.

A Manufacturas y Procesos MPI Ltda, en especial al Ing. Orlando por el patrocinio de la emulsión asfáltica.

Al cuerpo de profesores de ingeniería Civil y demás por enseñarnos a ser dignos representantes de la Universidad Industrial de Santander.

Y especialmente a la Universidad Industrial de Santander, por darnos la oportunidad de estudiar y de pertenecer a la mejor universidad y de prestarnos sus instalaciones para crecer y avanzar en este magnifico sueño.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	19
1. GENERALIDADES	21
1. 1. PAVIMENTO	21
1.1.1. Características que debe reunir un pavimento	21
1.2. RIEGOS BITUMINOSOS	22
1.3. EMULSIÓN ASFÁLTICA.	23
1.3.1. Antecedentes	23
1.3.2. Definición	24
1.3.3. Ventajas de uso de las emulsiones	26
1.4 MACADAM DE PENETRACIÓN.	26
1.4.1. Generalidades	26
1.4.2. Procedimiento constructivo.	27
1.4.3. Características de los agregados	28
1.4.4. Equipo empleado en el macadam de penetración	28
2. METODOLOGIA	29
2.1. SELECCIÓN Y CARACTERIZACION DE MATERIA PRIMA.	29
2.2 CARACTERIZACION DEL LABORATORIO.	31
2.2.1. Molde	31
2.2.2 Base de neopreno	31
2.2.3 Martillo.	31
2.2.4. Aparato rociador.	32
2.3 SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO A REALIZAR EN EL LABORATORIO.	32
2.4 DETERMINACION DE LA DOSIFICACION DEL AGREGADO Y LA EMULSIÓN POR CAPAS.	32
2.5 DETERMINACION DE LA ENERGIA DE COMPACTACION.	33
2.6 EVALUACION DE RESISTENCIA DE LAS MUESTRAS.	33

2.6.1. Ensayo de resistencia.	33
2.7 VERIFICACION DEL PORCENTAJE DE ASFALTO.	33
2.8 ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS.	34
3. CAMPAÑA EXPERIMENTAL	35
3.1. SELECCIÓN Y CARACTERIZACION DE MATERIA PRIMA.	35
3.1.1 Emulsión asfáltica catiónica de rompimiento rápido	35
3.1.2. Agregado	36
3.2. CARACTERIZACION DEL LABORATORIO	38
3.3. SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO EN EL LABORATORIO	43
3.4. DETERMINACION DE LA DOSIFICACIÓN DEL AGREGADO Y LA EMULSIÓN POR CAPAS.	46
3.5. DETERMINACION DE LA ENERGIA DE COMPACTACION.	47
3.6. EVALUACION DE RESISTENCIA DE LAS MUESTRAS	48
3.6.1. Selección de ensayos	48
3.7. ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS.	53
3.7.1. Análisis ensayo de resistencia	53
3.7.2. Análisis ensayo de inmersión	58
3.7.3. Registro fotográfico.	59
3.8 VERIFICACION DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO.	63
4. CARACTERIZACION DE CAPA DE PAVIMENTO SELECCIONADO	66
4.1. CAPA SUPERFICIAL.	66
4.2. CAPA INTERMEDIA	67
4.3. CAPA INFERIOR.	67
5. PROPUESTA DE PROCESO CONSTRUCTIVO	68
5.1. PRELIMINARES	68
5.2. PREPARACION	68
5.3. PROCEDIMIENTO A REALIZAR	69
5.3.1. Extensión de la primera capa.	69
5.3.2. Riego de liga para la primera capa	69
5.3.3. Extensión de la segunda capa.	71

5.3.4 Riego de liga para la segunda capa.	71
5.3.5 Compactación de la segunda capa.	71
5.3.6 Extensión de la capa superficial.	75
5.3.7 Riego de liga para la capa superficial.	75
5.3.8 Compactación de la capa superficial.	75
5.3.9 Curado del tratamiento.	76
5.4 DETALLES CONSTRUCTIVOS	76
CONCLUSIONES	78
BIBLIOGRAFIA.	79

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Dosificación de muestras significativas.	46
Tabla 2. Energía de compactación de la muestra	47
Tabla 3. Esfuerzos y deformaciones máximos	53
Tabla 4. Ensayo de inmersión.	58
Tabla 5. Datos y resultados muestras tipo Marshall.	65

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

	<b>Pág.</b>
Fotografía. 1 Recipiente Con Emulsión Asfáltica	35
Fotografía. 2 Molde con Agregado Grueso	36
Fotografía. 3 Molde con Agregado Medio	37
Fotografía. 4 Molde con Agregado Fino	38
Fotografía 5. Elementos utilizados durante la elaboración de la muestra	39
Fotografía. 6. Molde en madera	39
Fotografía .7. Base de neopreno	40
Fotografía. 8 Martillo	41
Fotografía .9 Polímero Crepe bóxer No. 4 en la base del Martillo	41
Fotografía 10. Martillo con su base en madera	42
Fotografía 11. Primer Capa (Agregado grueso)	43
Fotografía 12. Primera Capa (Agregado grueso mas partículas del agregado medio)	44
Fotografía 13 Primer Capa (Agregado grueso mas partículas del agregado medio con su riego de emulsión)	44
Fotografía 14. Compactación de la Primer Capa	45
Fotografía 15. Acabado de la Muestra	45
Fotografía 16. Maquina Universal	51
Fotografía 17. Prueba de resistencia de una muestra con la maquina universal	52
Fotografía 18. Prueba de inmersión de una muestra.	52
Fotografía 19. Pila de Inmersión	53
Fotografía 20. Primera Muestra (Desprendimiento de Partículas en sus lados algunas partículas sin ligante)	59
Fotografía 21. Segunda Muestra Presencia de finos sueltos desprendimiento de capas	59

Fotografía 22. Tercera Muestra exceso de liga estructura muy flexible algunas partículas desprendidas a los lados.	60
Fotografía 23. Cuarta Muestra. Presencia de finos	60
Fotografía 24. Quinta muestra	61
Fotografía 25. Sexta muestra	61
Fotografía 26. Séptima muestra	62
Fotografía .27. Octava Muestra.	62
Fotografía 28. Riego de emulsión segunda capa probetas tipo Marshall	64
Fotografía 29. Agregado fino capa superficial probetas tipo Marshall	64
Fotografía 30. Acabado capa superficial probetas tipo Marshall	64
Fotografía 31. Compactación probetas tipo Marshall	65
Fotografía 32. Acabado final de las muestras	66
Fotografía 33. Irrigador Manual	70
Fotografía 34. Petrolizadora aplicando la emulsión que recibirá el riego de gravilla.	71
Fotografía 35. Rana compactadora	73
Fotografía. 36. Rodillo liso	74
Fotografía .37. Rodillo neumático	74

## LISTA DE GRAFICAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Efectos causados por la Llanta del vehículo sobre el pavimento.(simulación de los efectos reales)	49
Figura 2. Simulador del neumático sobre la muestra en laboratorio.	50
Figura 3. Penetración del simulador neumático sobre la muestra.	51
Figura 4. Deformación vs esfuerzo	56
Figura 5. Rodillos manuales compactadores.	73

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A. Sugerencias para el empleo de Emulsiones asfálticos.	81
Anexo B. Especificaciones de la emulsión utilizada	82
Anexo C. Cálculo del esfuerzo resistido por la muestra debido a la carga impuesta.	83



## RESUMEN

**TITULO:** TRATAMIENTO DE GRAVAS CON LIGANTES BITUMINOSOS PARA VIAS DE BAJO TRANSITO \*

**AUTORES:**

DELGADO CASTELLANOS, Andrea Paola

PINZON RODRIGUEZ, Edilson \*\*

**PALABRAS CLAVES:** Pavimento, Tratamiento, emulsión asfáltica, agregados con riegos, vías de bajo transito, bitumen residual, macadam de penetración.

**DESCRIPCIÓN:**

A continuación se presenta un método empírico opcional para pavimentar vías que por su bajo transito no justifica métodos costosos. Este consta de 3 capas de agregado grueso, gravilla y fino y 3 riegos de ligante bituminoso sucesivos, fabricadas al estilo del macadam de penetración, el cual consiste en esparcir el agregado (el cual es distinto para cada capa, según la resistencia que se quiera obtener de ella) respectivo, seguido de un riego de emulsión asfáltica para ligar las partículas e impedir el paso del agua sobre ellas.

Después de un tiempo prudente de curado las muestras fueron sometidas a distintas pruebas en el laboratorio para verificar su resistencia ante una carga vertical paulatina y ante el efecto del agua.

Su proceso de fabricación y de evaluación fue evolucionando hasta encontrar una estructura resistente a dichos esfuerzos y un proceso constructivo, el cual es una adaptación del procedimiento realizado en el laboratorio, pero con maquinaria especializada y actividades que describan un proceso real.

Sin embargo, este método solo esta basado en pruebas realizadas en el laboratorio, razón por la cual es necesario realizar un tramo de prueba con personal no calificado, principalmente para verificar la resistencia al tránsito y a los agentes climáticos reales, para posteriormente adaptarla al servicio del mismo.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de ingenierías físico mecánicas, escuela de ingeniería Civil, Director:  
M. Sc CASTAÑEDA PINZON, Eduardo

## ABSTRAC

**TITLE:** GRAVEL TREATMENT WITH BITUMINOUS LIGAMENTS FOR LOW TRAFFIC ROADS. \*

**AUTHORS:**

DELGADO CASTELLANOS, Andrea Paola

PINZON RODRIGUEZ, Edilson \*\*

**KEY WORDS:**

Pavement, Treatment, asphaltic emulsion, aggregates with irrigation, low traffic roads, residual bitumen, penetration macadam.

**DESCRIPTION:**

An optional empirical method is presented to pave low traffic roads, which due to its low use, doesn't justify using expensive methods. This consists of 3 layers of aggregate and 3 successive bituminous ligament irrigations, manufactured for penetration in macadam style, which consists of spreading the aggregate (which is different for each layer, according to the resistance that holds it on) respective, followed by an irrigation of asphaltic emulsion to tie the particles and impede the water's way between them.

After allowing a prudent time for it to cure the samples were subjected to different tests in the laboratory to verify their resistance before gradual vertical loads and under the effect of water.

Its production and evaluation process evolved until a resistant structure and constructive process, but its only adaptation that the laboratory's process, but with real tools, machinery and activities.

However, this method is based to laboratory tests, for that's reason this investigation needs to continue to perform tests mainly with non-qualified worker to verify resistance to traffic and real climactic effects in order to adapt them to the service later on.

---

\* Degree Thesis

\*\* Physical Mechanical Engineering Faculty. Civil Engineering. Eng. EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZÓN.

## INTRODUCCION

Con la aparición de nuevos materiales se han olvidando los métodos tradicionales, como Macadam de penetración, riegos dobles y triples entre otros, usados para pavimentar las vías, los cuales mostraron buenos comportamientos a través del tiempo, pero que por su método o por su ambigüedad no se han vuelto a utilizar, aun cuando hoy en día existen diferentes materiales y técnicas constructivas que pueden producir estructuras de enormes ventajas económicas, ambientales y constructivas, pues no requieren maquinaria, ni mano de obra calificada.

Esto sumado a las pocas vías pavimentadas en Colombia, surgió la idea principal de este proyecto, que es lograr un pavimento de fácil construcción, para vías de bajo tránsito con alta calidad, que pueda recibir y controlar las cargas de los vehículos que transiten por este tipo de vías.

Sin embargo, como cualquier otro pavimento de calidad es necesario tener en cuenta los siguientes criterios de selección para poderlo utilizar:

- El tipo de tránsito: Bajo
- Características del suelo del lugar: Estables
- Las condiciones de drenaje del camino: Optimas

Así pues el pavimento a utilizar estaría constituido por varias capas de grava (grava gruesa, gravilla y fina) colocadas superpuestas y uniformemente sobre la superficie del terreno y adheridas entre si con un riego de ligante, ante la acción de la energía de compactación, razón por la cual fue necesario idealizar y realizar diferentes tipos de laboratorios ideando desde su proceso de construcción, hasta su funcionamiento.

Este tratamiento es una alternativa de solución a muchas vías que se encuentran sin pavimentar y también da la oportunidad a las personas del común de tener un

camino pavimentado permitiendo tener: confort, disminución en el mantenimiento de vehículos, superficie anti polvo, entre otras.

Este proyecto se desarrollo en su totalidad con base a lo experimentado en el laboratorio de Suelos de la Universidad Industrial de Santander, por lo cual se fundamenta en desarrollos y experiencias realizadas, intentos fallidos y aquellos que nos permitieron realizar el análisis que presentamos a continuación.

## 1. GENERALIDADES

### 1. 1. PAVIMENTO

Un pavimento esta constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el período para el cual fue diseñada la estructura de pavimento.

**1.1.1. Características que debe reunir un pavimento.** Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones debe reunir los siguientes requisitos:

- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- Ser resistente ante los agentes de intemperismo.
- Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- Debe presentar regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permitan una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.

- Debe ser durable.
- Presentar condiciones adecuadas respecto al drenaje.
- El ruido de la rodadura, en el interior de los vehículos que afecta el usuario, así como en el exterior, que incluye en el entorno, debe ser adecuadamente moderado.
- Debe ser económico.
- Debe poseer el color adecuado para evitar los reflejos y deslumbramiento, y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

## **1.2. RIEGOS BITUMINOSOS**

Los riegos bituminosos cumplen la función de impermeabilizar la carpeta asfáltica, protegerla del desgaste y proporcionar una capa antideslizante se emplean desde principios del siglo XX en las capas superiores de los pavimentos, no solo en carreteras y aeropistas, sino también en otro tipo de infraestructuras. Los riegos bituminosos consisten en la combinación de agregados pétreos y ligantes asfálticos, de diversos tipos y espesores.

Los ligantes usados en los riegos bituminosos son el resultado directo de la destilación de petróleo crudo ya sea ésta realizada natural o industrialmente.

El asfalto natural se forma cuando el crudo sube a la superficie terrestre a través de grietas. La acción de sol y del viento separa los aceites ligeros y los gases, dejando un residuo negro y plástico, que es el asfalto natural.

Los asfaltos de petróleo pueden tener base asfáltica o base parafínica. Los de base asfáltica son los que poseen mejores características para su empleo en

pavimentación por sus propiedades ligantes y de resistencia a la meteorización. Los de base parafínica en cambio se oxidan paulatinamente al exponerse al aire, dejando un producto pulverulento sin poder ligante.

El tipo de base que posea un asfalto depende exclusivamente de las características del crudo del cual proviene. El asfalto se usa en pavimentación para unir entre sí las partículas de agregados y protegerlas de la humedad.

### **1.3. EMULSIÓN ASFÁLTICA.**

**1.3.1. Antecedentes.** Las emulsiones asfálticas aparecieron en el mercado a principios del siglo XX en diferentes lugares y con usos muy variados. La construcción de caminos empleo por primera vez la emulsión aniónica en los riegos preventivos contra polvo en Nueva York.

En ese mismo año en Hamburgo, Alemania se construyo una carpeta asfáltica con un tratamiento superficial de varios riegos, empleando como ligante una emulsión estabilizada con arcillas muy activa como emulsionante.

Aunque los resultados fueron buenos, posteriormente se observo que podría haber una acción reversible, como consecuencia de la humedad y el transito de los vehículos.

La emulsión aniónica se empezó a usar en Europa en 1925, aprovechando los ácidos naftenicos contenidos en el asfalto que actúan como emulsionantes al agregar con sosa cáustica y sometiendo a una energía agitación la masa de los dos líquidos.

En 1953 las emulsiones catiónicas aparecieron en Europa y en 1958 en Estados Unidos. Aparentemente su aplicación inicial en la construcción de caminos

coincidió con la aparición de nuevos productos químicos tenso activos en el mercado que tienen otros empleos en las industrias textiles, petroleras, pintura entre otras.

Al principio estas emulsiones se emplearon únicamente en la construcción de tratamientos superficiales como riegos de liga y de sello. Al reconocer la ventaja de las emulsiones catiónicas sobre las aniónicas y los rebajados, se inicio la búsqueda de un emulsificante que produjera una emulsión de rompimiento lento capaz de mezclarse con los materiales pétreos para bases y carpetas.

**1.3.2. Definición.** En general, se llama emulsión a la dispersión de un sólido o un líquido (Fase dispersa) en forma de glóbulos minúsculos, en un líquido no miscible con el elemento disperso (Fase continua). Cuando las dos fases permanecen en equilibrio si que las partículas en suspensión se aglomeren o sedimenten, se dice que la emulsión es estable. Ciertas emulsiones exigen la presencia de un agente emulsificador para conservar la estabilidad.

Las emulsiones asfálticas son dispersiones en agua de glóbulos asfálticos de 2 a 5 micrones de diámetro, que se mantienen estables en presencia de un agente emulsificante que pueden ser jabones resultantes del tratamiento de ácidos grasos o resinas con bases muy fuertes (usados para la fabricación de emulsiones aniónicas) o los resultantes de la acción de los ácidos minerales sobre compuestos amínicos (usados para la elaboración de emulsiones catiónicas).

Estas emulsiones se denominan directas, en contraposición con las inversas, en las que la fase dispersa son gólicas de agua la fase continua la constituye un asfalto líquido, aunque estas últimas emulsiones se fabrican con facilidad, su empleo en pavimentación es muy restringido por su gran viscosidad.

El contenido de asfalto de las emulsiones bituminosas para pavimentación varía normalmente entre el 50 y el 65% del peso total.

Los glóbulos de asfalto contenido en la emulsión asfáltica, están cargados superficialmente con la electricidad que puede ser positiva o negativa dando origen a las emulsiones catiónicas o aniónicas respectivamente. Las emulsiones aniónicas contienen glóbulos cargados negativamente y tienen afinidad especial por la superficies iónicas positivas caso se las calizas, como son las de los materiales con superficie electropositiva como resultado de un fenómeno electroquímico en el que interviene la fase acuosa de la emulsión y el agente emulsificante, cambiando la polaridad de la superficie.

Cuando las dos fases de una emulsión asfáltica se disocian completamente, es decir cuando los glóbulos de asfalto se aglomeran sobre un material o los unos contra los otros, separándose netamente de la fase acuosa, se dice que ocurre el rompimiento de la emulsión.

El rompimiento de una emulsión asfáltica es provocado por una modificación en el equilibrio electroestático que mantiene los glóbulos de asfalto en suspensión en la fase acuosa y que puede deberse a evaporación de esta última, a cambios notables en su PH o a reacción entre la fase acuosa y el material pétreo. En la práctica, el rompimiento de las emulsiones asfálticas es el resultado de la acción conjugada de estos tres fenómenos.

De acuerdo con el tipo de carga de los glóbulos asfálticos y la velocidad con que se produce el rompimiento de la emulsión, estas se dividen en seis tipos, que son:

ARR = Emulsión aniónica de rompimiento rápido.

ARM = Emulsión aniónica de rompimiento medio.

ARL = Emulsión aniónica de rompimiento lento.

CRR = Emulsión catiónica de rompimiento rápido.

CRM = Emulsión catiónica de rompimiento medio.

CRL = Emulsión catiónica de rompimiento lento.

**1.3.3. Ventajas de uso de las emulsiones.** A continuación se describen algunas ventajas de las emulsiones frente al resto de ligantes, asfaltos y cut-backs, también empleados en la tecnología en frío de carreteras.

- Permite el empleo de agrados, ácidos e incluso húmedos.
- No necesita del empleo de activantes para obtener buenas adhesividades ligante/agregados.
- Permite el empleo de equipos más sencillos.
- Evita el consumo de combustible.
- Evita los riesgos de incendio y explosión.
- Hace fácil la manipulación y distribución del ligante.
- Permite dosificaciones más exactas del ligante.
- Se evita problemas de sobrecalentamiento.
- Su empleo no produce contaminaciones.

## **1.4 MACADAM DE PENETRACIÓN.**

1.4.1. Generalidades. Esta es una técnica muy antigua, la cual se define como la aplicación de un ligante bituminoso viscoso sobre una capa compactada de árido grueso, de granulometría uniforme <sup>1</sup>, dicho ligante debe penetrar en el espesor de la capa para mojar y envolver los agregados que constituyen el macadam.

Este es un pavimento formado con gradación abierta cuyos vacíos son penetrados con cemento asfáltico o con una emulsión asfáltica, ya que la viscosidad es considerablemente menor que la del cemento asfáltico. <sup>2</sup>

Se requieren agregados bien gradados en vez de un solo tamaño además deben cumplir con los requisitos básicos, la emulsión se aplicara en dos incrementos iguales.

---

<sup>1</sup> Pliegos de prescripciones técnicas generales para obra para carreteras y puentes.

<sup>2</sup> RAMIREZ Julio C. Manual Básico de Emulsión Asfáltica. Departamento de Ingeniería Civil. 1993. UIS.

1.4.2. Procedimiento constructivo. Su procedimiento de fabricación empieza con la preparación de la estructura de pavimento inferior, cual fuera el caso base o subbase, seguido se realizan dos capas de agregado consecutivas, no sin antes verificar que los implementos necesarios para tal fin estén dispuestos y la superficie este limpia y apta para realizar el procedimiento de la siguiente manera:

- Se esparce y se extiende el agregado, seguido se compacta, teniendo en cuenta el tamaño y la cantidad requerida por las especificaciones, según la capa además del equipo requerido para tal fin.
- Seguido se esparce la capa de emulsión asfáltica en la cantidad especificada, las cuales deben chequearse una vez se realice la pasada con el distribuidor de emulsión.

La literatura recomienda realizar dicho procedimiento cuando la temperatura del aire a la sombra es mayor o igual a 10°C. Algunas especificaciones establecen además que la superficie tenga una temperatura superior a los 27°C, antes de aplicar la emulsión asfáltica <sup>3</sup>

Cabe resaltar que si el macadam va a ser usado antes de colocar un acabado superficial, una capa superficial de agregado con tamaño medio debe ser aplicado a una rata de 5.44 a 10.87 kg/m<sup>2</sup> <sup>4</sup>

Además esta técnica recomienda que la cubierta sea compactada con un rodillo especial para tal fin y que antes de aplicar la superficie final se debe retirar las partículas sueltas, para posteriormente aplicar un revestimiento de liga.<sup>5</sup>

---

<sup>3</sup> RAMIREZ Julio C. Manual Básico de Emulsión Asfáltica. Departamento de Ingeniería Civil. 1993. UIS. Pag. 120

<sup>4</sup> RAMIREZ Julio C. Manual Básico de Emulsión Asfáltica. Departamento de Ingeniería Civil. 1993. UIS. Pag. 97

<sup>5</sup> RAMIREZ Julio C. Manual Básico de Emulsión Asfáltica. Departamento de Ingeniería Civil. 1993. UIS. Pag.97

También el macadam se puede utilizar como capa de base para el concreto asfáltico, solo que se debe usar una cantidad menor de emulsión para la penetración, además se puede usar como parte de la capa superficial, pero esta vez se debe aumentar la cantidad de emulsión asfáltica, y debe ser seguido de un tratamiento superficial.

1.4.3. Características de los agregados. El agregado puede obtenerse de la trituración de roca de cantera o de grava natural; esperando que cumpla con los parámetros de calidad, es decir, el coeficiente de desgaste medido por el ensayo de Los Angeles según la Norma NLT 149/72,<sup>6</sup> además los agregados deben estar limpios, es decir, exentos de polvo, suciedad, arcilla u otras materias extrañas, además deben estar sólidos y resistentes, se espera que estos además tengan uniformidad.

En el momento de su utilización no deberán contener más del dos por ciento (2%), en peso, de agua libre.<sup>7</sup>

1.4.4. Equipo empleado en el macadam de penetración. Es un equipo sencillo que puede ser manual sin muchas especificaciones pero que permita controlar espesores así como tener un riego uniforme de liga. Para la distribución de ligante se utilizara un dispositivo el cual de ser capaz de aplicar la dotación de ligante de manera uniforme.

En la compactación de macadam de penetración se utilizan rodillos metálicos, preferiblemente vibratorios.

---

<sup>6</sup> Pliegos de prescripciones técnicas generales para obra para carreteras y puentes.

<sup>7</sup> RAMIREZ Julio C. Manual Básico de Emulsión Asfáltica. Departamento de Ingeniería Civil. 1993. UIS. Pag. 97

## 2. METODOLOGIA

Con el propósito de definir y caracterizar una muestra para obtener una carpeta asfáltica que satisfaga las necesidades de una vía de bajo tránsito, cuyo proceso constructivo fuera similar al utilizado en el macadam de penetración, se diseñaron y se llevaron a cabo las siguientes actividades buscando que dicho pavimento cumpliera con las siguientes características:

- Bajo costo del pavimento
- Buen funcionamiento independientemente de la condición climática
- Buena conservación del pavimento en general a través de los años.
- Proceso constructivo simple.

Las actividades realizadas en este proceso fueron:

### 2.1. SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIA PRIMA.

En esta actividad se escogió el tipo de emulsión asfáltica y las granulometrías del material pétreo a utilizar, los cuales conformarían la estructura a analizar, esta consta de 3 capas de agregado, y un riego de emulsión asfáltica sobre cada una de ellas, dicha emulsión permitirá la adherencia entre estas y entre las partículas de cada capa, razón por la cual fue necesario determinar las especificaciones de la materia prima, buscando buena cohesión y un buen comportamiento de la estructura. La materia prima utilizada en el laboratorio fue:

**2.1.1. Emulsión asfáltica:** La emulsión asfáltica escogida fue una emulsión catiónica de rompimiento rápido – 2m, esto por ser la más recomendada para tratamientos simples y dobles, (ver anexo No. A) los cuales son similares al aquí planteado.

Sus especificaciones se encuentran en el reporte de ensayo para la liberación de la emulsión como anexo a este documento (Ver anexo No. 2), el cual fue realizado por una planta de emulsión asfáltica.

Esta emulsión permitirá desarrollar la liga entre partículas y capas, también las impermeabilizara, y será la encargada de dar un acabado cómodo al transito.

Su dosificación fue determinada cualitativamente en el laboratorio, variando su porcentaje en cada una de las muestras iniciales, hasta determinar su proporción como un porcentaje del peso total del agregado de cada capa, segundo se verifico que dicho porcentaje no saturara la muestra hasta el punto que este brotara a la superficie.

**2.1.2. Agregado:** Los agregados necesarios para la construcción de este tipo de estructura deben ser durables y sólidos estos deben ser limpios libres de polvo y de materiales vegetales, de terrones de arcillas y de otro número de agentes extraños. Los agregados pueden ser obtenidos teniendo como base rocas que cumplan con los requerimientos de dureza y durabilidad utilizando medios mecánicos para la obtención de estos. La superficie de los agregados debe ser rugosa preferiblemente para que permita mayor adhesión entre la emulsión y el agregado.

Se puede utilizar agregado típico de la zona, o puede sacarse de canteras, esto con el fin que el pavimento sea una estructura económica y de fácil construcción, como se ha venido diciendo a lo largo del proyecto. Sin embargo se asume que el agregado a utilizar garantiza:

- Resistencia. La necesaria para una vía de bajo transito.
- Forma de las partículas. La forma de la partícula afecta la trabajabilidad del riego, compactación y la resistencia de la estructura del pavimento. Las partículas irregulares y angulares proporcionan las mejores características.

- Durabilidad. El buen comportamiento, es decir, que no pierda resistencia con el paso del tiempo y del uso.

## 2.2 CARACTERIZACION DEL LABORATORIO.

Pensando en la fabricación de las muestras, inicialmente se realizó la idealización del laboratorio, buscando que el equipo a emplear satisficiera el proceso a realizar, debido a que tanto el procedimiento como los laboratorios utilizado en la fabricación de muestras, no son procesos usuales, esto con el fin de encontrar un sistema eficiente. La caracterización del laboratorio se presenta con la descripción de los siguientes materiales, los cuales dependen de la forma y los componentes de la muestra:

2.2.1. Molde. Es un dispositivo cuadrado cuyo propósito es darle forma a la muestra, garantizar un riego y un sistema de compactación eficiente a las capas que la conforman. Esta fabricado en madera de alta calidad para que pueda responder a los esfuerzos que se producen durante el proceso de fabricación de las muestras.

2.2.2 Base de neopreno. Esta será una placa, y se colocara justo debajo del molde simulando la subrasante de la estructura mientras esta se fabrica y se compacta, esto con el fin de representar una superficie estabilizada.

2.2.3 Martillo. Su propósito será el de acomodar las partículas del agregado y homogeneizar el riego de la emulsión asfáltica, será en acero, con una base cuadrada, para garantizar uniformidad en el proceso de compactación y tendrá un material elástico para amortiguar cada uno de sus golpes sobre el agregado, además tendrá una guía, la cual no permitirá golpes repetitivos ni bruscos en un mismo punto, buscando no fracturar los agregados y así lograr un mejor proceso.

2.2.4. Aparato rociador. Fue diseñado pensando en una optimización del riego debido a la viscosidad de la emulsión, permitiendo distribuir la emulsión a lo largo de la superficie del material pétreo.

### 2.3 SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO A REALIZAR EN EL LABORATORIO.

Teniendo presente el procedimiento realizado en el macadam de penetración y la caracterización del laboratorio, se idealizó el procedimiento para la elaboración de las muestras, teniendo en cuenta su forma, y sus componentes principales como lo son la emulsión y los agregados.

Dicho procedimiento consiste en realizar actividades consecutivas que van desde la preparación del equipo del laboratorio, hasta esparcir el agregado y realizar el riego sobre este, según sea la capa, dicho procedimiento irá evolucionando hasta encontrar una estructura que cumpla con los objetivos de esta investigación.

### 2.4 DETERMINACION DE LA DOSIFICACION DEL AGREGADO Y LA EMULSIÓN POR CAPAS.

La dosificación del agregado y de la emulsión dependen principalmente de los resultados de los ensayos de cada muestra, pues estos permiten evaluar su estructura, detectar las fallas, e ir evolucionando hasta lograr una mayor resistencia a los esfuerzos producidos por una carga paulatina sobre la muestra, dicho proceso consiste en la variación de las cantidades de materiales en distintas muestras.

Sin embargo en algunos casos las cantidades se mantendrán fijas para evaluar otros patrones tales como el procedimiento o la energía de compactación, entre otros.

## 2.5 DETERMINACION DE LA ENERGIA DE COMPACTACION.

Como parte de la fabricación de las muestras se considero parte importante la energía de compactación, por permitir acomodar las partículas en la muestra, hasta obtener una densidad mas baja que la inicial además este proceso permitirá uniformizar el riego y dar un acabado mas seguro para el transito, disminuyendo la posibilidad de agregado suelto o partes sobresalientes.

## 2.6 EVALUACION DE RESISTENCIA DE LAS MUESTRAS.

El objetivo de esta prueba es evaluar la resistencia de cada muestra, mediante Los resultados obtenidos de cada uno de los ensayos realizados. Dichos resultados permitirán obtener defectos o mejoras de la estructura en general, por tal razón será necesario someter la muestra a dos tipos de ensayos y a una observación cualitativa, la cual permitirá evaluar el estado de la muestra al detalle, los ensayos a realizar son:

2.6.1. Ensayo de resistencia. Se evaluara la resistencia de las muestras mediante el comportamiento de la estructura ante una carga vertical transmitida a la muestra por medio de un simulador de un neumático, el cual producirá una deformación en el punto de apoyo, la carga será paulatina e ira aumentando hasta provocar la falla, representada en el cambio de estado.

**Ensayo de inmersión.** Mediante este ensayo se buscara observar el comportamiento de la muestra ante en el efecto prolongado del agua.

## 2.7 VERIFICACION DEL PORCENTAJE DE ASFALTO.

Después de concluido el proceso de obtención del porcentaje de asfalto sobre cada capa, se buscara verificar si dicho porcentaje no saturara la muestra,

representado con la presencia del ligante sobre la superficie ante el efecto de una carga impuesta.

Para simular este efecto, se realizaran probetas más pequeñas que la muestra de ensayo, es decir, probetas tipo Marshall, de esta manera será más fácil controlar la homogeneidad y la presencia del ligante en la superficie, así como también la carga sobre impuesta.

## 2.8 ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS.

Permiten evaluar el proceso de evolución de la muestra tanto en la dosificación de la materia prima como del procedimiento realizado en el laboratorio, así como también comparar las muestras hasta el punto de encontrar las características mas satisfactorias de cada una y hallar la muestra mas representativa la cual presentara un deterioro apeas visible después del contacto con el agua ante el efecto de una carga vertical.

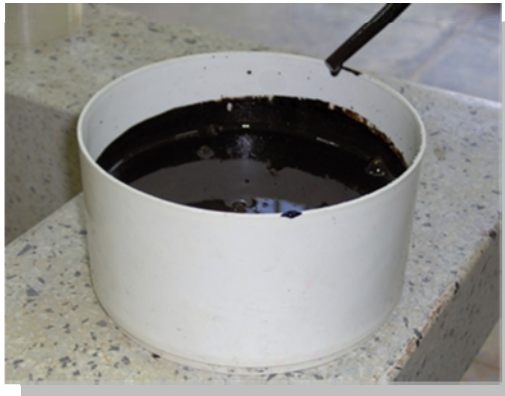
### 3. CAMPAÑA EXPERIMENTAL

#### 3.1. SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIA PRIMA.

Se establecieron las especificaciones de los materiales a utilizar teniendo en cuenta el propósito general del proyecto, a continuación se presentan cada uno de ellos:

**3.1.1 Emulsión asfáltica catiónica de rompimiento rápido.** Para la fabricación de las muestras, se utilizó una emulsión catiónica de rompimiento rápido – 2m, la cual es la mas recomendada para los tratamientos con riegos (ver Anexo A), esta cuenta con un betún residual del 65%, según las especificaciones de la planta de emulsiones asfálticas determinadas en laboratorio. (Ver Anexo B)

Fotografía. 1 Recipiente Con Emulsión Asfáltica



*Fuente: Los autores.*

En este tipo de emulsiones el agente emulsificante le confiere una polaridad positiva a los glóbulos. Los factores que influyen en la ruptura de una emulsión catiónica tienen que ver con la parte polar acida y ácidos grasos que efectúan su reacción con el material, los cuales destruyen la película protectora, haciendo

depositar el ligante sobre el agregado. Esta absorción de la parte polar del jabón por los agregados es la causa de dicho efecto sobre la emulsión, haciendo que los glóbulos de asfalto se adhieran firmemente a las partículas del material pétreo, aun en presencia de humedad, razón por la cual son utilizadas para riegos de liga y carpetas por el sistema de riegos.

**3.1.2. Agregado.** El agregado utilizado se dividió en 3 clases dependiendo de su tamaño y función, y existen 3 capas distintas que cuentan con un único tipo de agregado, el cual le proporcionara la resistencia necesaria según sea el caso, a continuación se presentan las distintas clases de agregado teniendo en cuenta que el agregado debe estar limpio y debe cumplir con los requisitos de calidad para garantizar un pavimento de calidad:

- **Agregado grueso:**

Fotografía. 2 Molde con Agregado Grueso



*Fuente: Los autores.*

Se coloca de forma uniforme intentando dejar el menor porcentaje de vacíos. Su diámetro se encuentra entre la fracción  $\frac{3}{4}$ " y menor que 1.5".

- **Gravilla:**

Fotografía. 3 Molde con Agregado Medio



*Fuente: Los autores.*

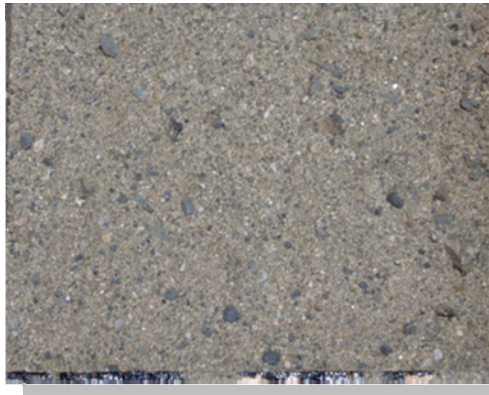
El agregado medio se esparce uniformemente sobre toda la muestra, siendo este mas fácil de acomodar. Su diámetro puede estar entre la fracción de pasa 3/8" y retenido en No. 4.

Teniendo en cuenta su efecto negativo, se espera que entre el agregado medio la presencia del filler sea mínima, pues este no permite la adherencia entre el agregado y la emulsión, ya que esta forma una película alrededor del agregado, la cual evita que las partículas se ligen quedando sueltas.

- **Agregado fino:**

Es el agregado mas pequeño sus diámetros varían según las siguientes granulometrías pasa No. 4 y retenido en No. 20, vale la pena reiterar que dentro de este en lo posible la presencia del filler sea mínima.

Fotografía. 4 Molde con Agregado Fino



*Fuente: Los autores*

Con este se logra un acabado uniforme (es decir, de un mismo color y textura) y firme, además este por su tamaño actúa como sellante, impidiendo el acceso del agua a las demás capas.

Es necesario aclarar que entre el agregado y la emulsión no se producirá una mezcla sino un riego, y con la compactación de esta se lograra infiltrar la emulsión cubriendo en gran parte el material pétreo produciendo una mayor adherencia, formando un aglutinamiento homogéneo entre ellos.

### 3.2. CARACTERIZACION DEL LABORATORIO

El laboratorio se caracterizo teniendo en cuenta las necesidades en cuanto a materiales en el proceso de fabricación y evaluación de las muestras, para tal fin se tuvo en cuenta técnicas como el Macadam, y la forma y los materiales de la muestras a realizar.

A continuación se presenta el equipo utilizado en el laboratorio para la fabricación de las probetas:

Fotografía 5. Elementos utilizados durante la elaboración de la muestra



*Fuente: Los autores*

**a) Molde en madera.**

Fotografía. 6. Molde en madera



*Fuentes: Los autores.*

Es el molde que le va a dar la forma a la muestra y además es el lugar donde se va a preparar, allí se vierten los componentes de la estructura siguiendo el procedimiento normal para su fabricación.

Sus dimensiones son de 30x30 cm<sup>2</sup> libres y su altura es de 10 cm, las dimensiones son suficientes para poder fabricar la muestra, el molde no tiene fondo ni tapa y fue fabricado en madera.

Dicho molde fue necesario engrasarlo por sus lados para evitar que la muestra se adhiera a el.

### **b) Base de Neopreno.**

Fotografía .7. Base de neopreno



*Fuente: Los autores.*

Se colocaron placas de policloropreno mejor conocido como neopreno, las cuales permitirán simular una base bien compactada, la cual es un requisito cuando se va a pavimentar una vía, debido a que esta también aportara rigidez.

**c) Martillo.**

Fotografía. 8 Martillo



*Fuente: Los autores.*

El martillo se visualizó muy similar al utilizado para las probetas Marshall, solo que en forma rectangular debido a que va más acorde con la muestra cuadrada. Su propósito en general es el de acomodar las partículas y la emulsión haciendo una superficie uniforme. Su peso es de 7.785gr

Fotografía .9 Polímero Crepe bóxer No. 4 en la base del Martillo



*Fuente: Los autores*

Se le colocó sobre su base un polímero Crepe bóxer No. 4 para amortiguar el golpe, es decir, para que este distribuya la energía lo más uniforme posible sobre toda la muestra y de esta manera no romper los agregados, pues se puede llegar a disminuir su resistencia debido a los fuertes golpes continuos sobre un mismo agregado. Además se logró que los esfuerzos resistidos se distribuyan sobre la muestra, consiguiendo una mayor resistencia de esta forma.

Fotografía 10. Martillo con su base en madera



*Fuentes: Los autores.*

El sistema cuenta con una base sólida en madera para guiar al martillo hasta el lugar exacto donde se requiera y así tener un mayor control sobre los lugares donde se va a compactar.

**d) Rociador.**

Se tendrá en cuenta que el riego de emulsión se hace mediante rociadores manuales de fabricación casera tratando de garantizar un riego uniforme. estos

son tipo regadera con suficientes orificios para una mayor distribución de la emulsión.

### 3.3. SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO EN EL LABORATORIO

A continuación se presenta el procedimiento seguido para la fabricación de las muestras objeto de este proyecto.

- Se organizan todos los materiales anteriormente nombrados con sus respectivas características propias para la preparación de la muestra.
- Se tamizan los agregados a utilizar y se pesan para llevar un control de la masa que se le agregaran por capa.
- Se arma el molde suficientemente engrasado, sobre las bases de neopreno.
- Se coloca la primera capa de agregado grueso buscando dejar el menor porcentaje de vacíos en la capa.

Fotografía 11. Primer Capa (Agregado grueso)



*Fuente: Los autores*

- Se llenan los espacios vacios con partículas a utilizar en la segunda capa o de menor diámetro.

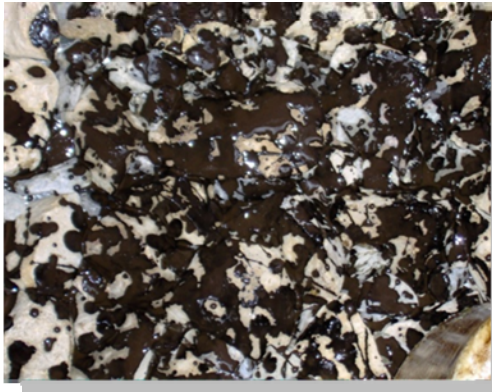
Fotografía 12. Primera Capa (Agregado grueso mas partículas del agregado medio)



*Fuente: Los autores.*

- Se realiza el riego de emulsión lo mas uniformemente.

Fotografía 13 Primer Capa (Agregado grueso mas partículas del agregado medio con su riego de emulsión)



*Fuente: Los autores.*

- Inmediatamente se le adiciona la segunda capa, teniendo en cuenta cuantos gramos se le colocaron para calcular nuevamente el porcentaje de emulsión, el cual es necesario regar sobre esta capa.
- Se esparce la emulsión con un equipo manual que garantice un riego uniforme de esta.
- Se procede a compactar la muestra.

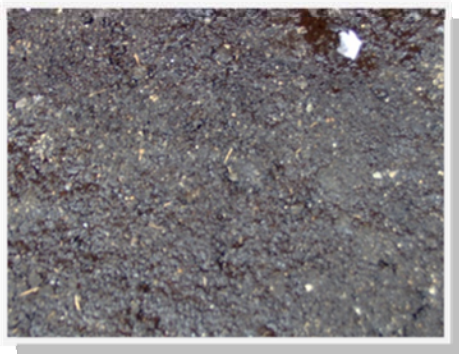
Fotografía 14. Compactación de la Primer Capa



*Fuente: Los autores.*

- Se riega la capa final de agregado, que es la capa sellante constituida por agregado fino con baja presencia de filler.
- Se compacta la muestra.
- Se deja curar la muestra en recinto cerrado a temperatura ambiente.

Fotografía 15. Acabado de la Muestra



*Fuente: Los autores.*

- Se saca del molde y se pesa, además se mide el espesor promedio de cada capa.
- Se deja lista para someterla a los ensayos.

### **3.4. DETERMINACION DE LA DOSIFICACIÓN DEL AGREGADO Y LA EMULSIÓN POR CAPAS.**

A continuación se presenta la cantidad de agregado y el porcentaje teórico de ligante discriminados por cada muestra realizada, y por cada una de las 3 capas que constituyen la estructura del pavimento.

Tabla 1. Dosificación de muestras significativas.

Muestra	AGREGADOS (grs)			PORCENTAJE TEORICO DE LIGANTE		
	Primera Capa	Segunda Capa	Tercera Capa	Primera Capa	Segunda Capa	Tercera Capa
Primera muestra	4675	2530	2005	6.2 %	10.8%	8.78%
Segunda muestra	4145	2510	1730	2.15%	4.35%	9.0%
Tercera muestra	3975	2045	835	3.8%	7.6%	10.5%
Cuarta muestra	5308.9	2089.2	933.9	3.8%	4.0%	10.8%
Quinta muestra	5308.9	2089.2	933.9	3.8%	4.4%	10.8%
Sexta muestra	4247.12	2089.2	933.9	2.2%	6.5%	10.8%
Séptima muestra	4180	2089.2	933.9	2.2%	7.6%	10.8%
Octava muestra	4180	2089.2	933.9	3.25%	7.6%	10.8%

Fuente: Los autores.

### 3.5. DETERMINACION DE LA ENERGIA DE COMPACTACION.

La energía de compactación brindada por el martillo se vario hasta encontrar un punto en el cual consideramos que la carpeta asfáltica tiene la suficiente consistencia lo cual es posteriormente probado con un ensayo de resistencia. La energía de compactación se puede estimar mediante el desarrollo de la siguiente formula, la cual relaciona el numero de golpes (n) , la masa del martillo (m), la gravedad de la tierra(g) y la altura desde la cual se deja caer el martillo(H) y permite determinar la Energía de Compactación:

$$\begin{aligned} E_{\text{potencial}} &= E_{\text{compactacion}} = n \times m \times g \times H \\ &= n \times 7.785 \text{ (kg)} \times 9.81 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right) \times 0.8(\text{m}) \\ &= n \times 61.1\text{J} \end{aligned}$$

Mediante este efecto se logra obtener un menor volumen con la misma cantidad de agregado y emulsión, es decir, una densidad alta, lo cual traduce una mayor durabilidad del mismo.

Tabla 2. Energía de compactación de la muestra

<b>ENERGIA DE COMPACTACION (JOULE)</b>		
Muestra	Segunda Capa	Tercera Capa
Primera muestra	2444	1222
Segunda muestra	3666	4277
Tercera muestra	4888	4888
Cuarta muestra	5499	5499
Quinta muestra	9776	5499
Sexta muestra	9776	5499
Séptima muestra	6110	6110
Octava muestra	6110	6110

*Fuente: Los autores.*

### 3.6. EVALUACION DE RESISTENCIA DE LAS MUESTRAS

Debido que se necesitaba desarrollar una mejor capacidad de resistencia del pavimento, se idealizaron ensayos que permitieran evaluar dicha resistencia hasta lograr una estructura mas eficiente, pero debido que las muestras no son típicas de un ensayo ya estipulado, se procedió a diseñarlos, de tal forma que estos se adaptaran a la forma de la muestra y a los efectos que se necesitaban evaluar.

**3.6.1. Selección de ensayos.** Principalmente se busca que estos ensayos evalúen los siguientes factores estabilidad, impermeabilidad los cuales permitirán determinar si la estructura y el proceso constructivo de la misma pueden llegar a ser factibles:

- **Estabilidad.** Es la capacidad de resistir la deformación bajo las cargas del tránsito sin presentar ahuellamientos, corrugaciones y otras señales que indican cambios en la estructura. Mediante esta, se evalúa las capacidades mecánicas de la muestra ante los efectos del tránsito.
- **Impermeabilidad.** Es la resistencia al paso del aire y agua hacia el interior del pavimento<sup>8</sup>

Para realizar la evaluación de cada muestra según los criterios anteriormente nombrados, fue necesario diseñar las siguientes pruebas para ensayarlas en el laboratorio:

**Ensayo de Resistencia.** Fue necesario diseñar un ensayo que permitiera evaluar su resistencia ante una carga vertical, la cual representaría el transito en condiciones reales; intentando obtener resultados y comportamientos similares al

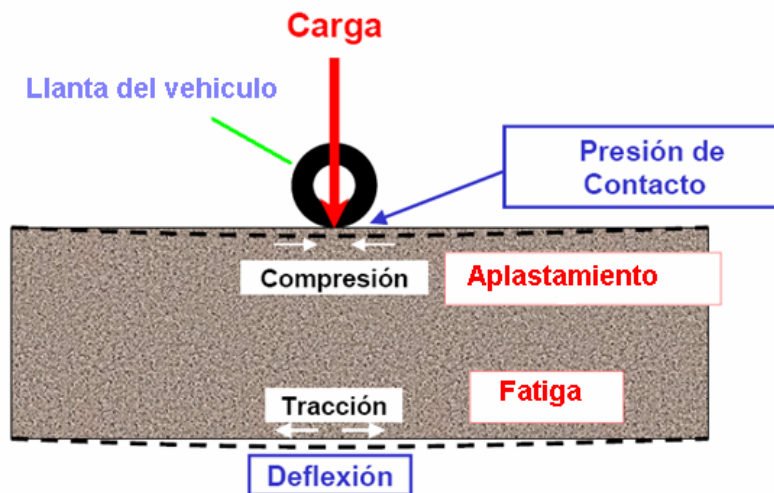
---

<sup>8</sup> ASOPAC (Asociación de Productores y Pavimentadores Asfálticos de Colombia). Cartilla del pavimento asfáltico. 2004. Bogotá.

ensayo Marshall en probetas cuya composición es una mezcla entre diferentes tamaños de los agregados y una emulsión asfáltica en caliente.

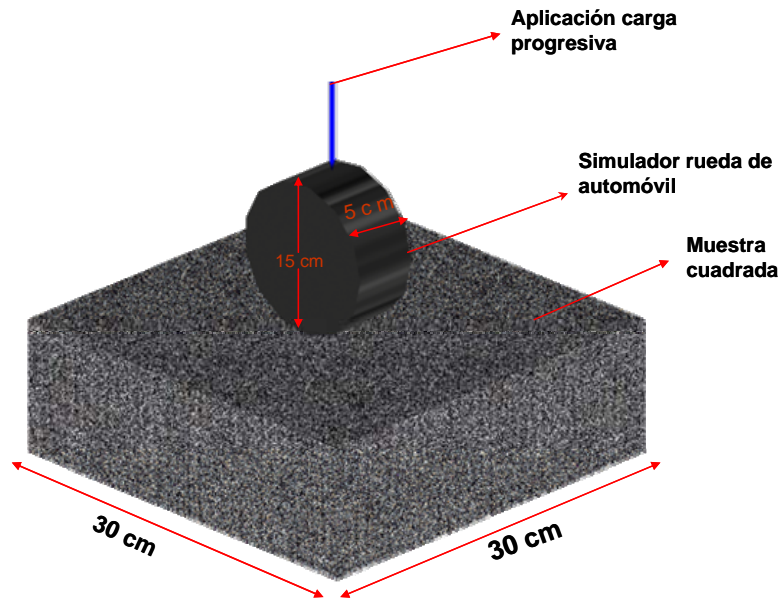
Este ensayo, entonces consistirá en colocar la muestra bajo el efecto de una carga a compresión progresiva hasta fallarla, teniendo en cuenta colocar un dispositivo que simule un neumático de un automóvil. Durante este proceso se medirá la deformación, la carga aplicada y el esfuerzo, además esta permitirá evaluar la muestra como un conjunto y observar que la hizo fallar, para posteriormente corregirlo.

Figura 1. Efectos causados por la Llanta del vehículo sobre el pavimento.(simulación de los efectos reales)



Fuente: Vasconcelos Barros Rodrigo. Documento de internet. [www.asocem.org.pe/Asocem\\_Vasconcello](http://www.asocem.org.pe/Asocem_Vasconcello).

Figura 2. Simulador del neumático sobre la muestra en laboratorio.

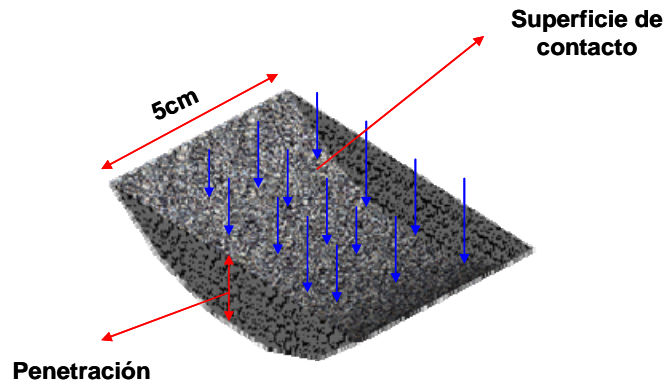


*Fuente: Los autores.*

**Equipo utilizado en el ensayo de resistencia.** A continuación se muestra el equipo utilizado en el laboratorio:

**a) Simulador de neumático:** Dispositivo con el que se quiere simular el fenómeno que causa la rueda de un camión. El cual se imprime fuerza progresivamente para simular el efecto del tránsito sobre el pavimento, dejando una huella debida a su penetración sobre la muestra, permitiendo calcular el área de contacto y posteriormente el esfuerzo al que es sometida.

Figura 3. Penetración del simulador neumático sobre la muestra.



*Fuente: Los autores.*

**b) Máquina de carga:** Permite aplicar paulatinamente fuerza sobre un anillo el cual esta en contacto con la muestra, hasta que se produzca una falla con lo cual se obtendrá la resistencia y la deformación de la muestra.

Fotografía 16. Máquina Universal



*Fuente: Los autores.*

Fotografía 17. Prueba de resistencia de una muestra con la maquina universal



*Fuente: Los autores.*

**Ensayo de Inmersión.** Este ensayo se realiza para determinar el efecto del agua sobre la carpeta asfáltica y observar la cohesión entre partículas, se introduce la muestra en una pila llena de agua previamente pesada y se deja allí durante 7 días a temperatura ambiente, al cabo de los cuales ha ocurrido la saturación total de esta. Seguido se observan los cambios ocurridos en ella y las posibles causas de dichos efectos para poder corregirlos en las siguientes muestras.

Fotografía 18. Prueba de inmersión de una muestra.



*Fuente: Los autores.*

**Materiales utilizados en la inmersión.**

a) **Pila:** Con suficiente agua a una temperatura de aproximadamente 25 grados centígrados, para sumergir la muestra durante el tiempo que sea necesario y al mismo tiempo observar el comportamiento del agua sobre ella.

Fotografía 19. Pila de Inmersión



*Fuente: Los autores.*

### 3.7. ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS.

A continuación se presentan los resultados obtenidos tanto en el ensayo de resistencia y inmersión.

**3.7.1. Análisis ensayo de resistencia.** La tabla contigua muestra los valores máximos de esfuerzo y deformación.

Tabla 3. Esfuerzos y deformaciones máximos

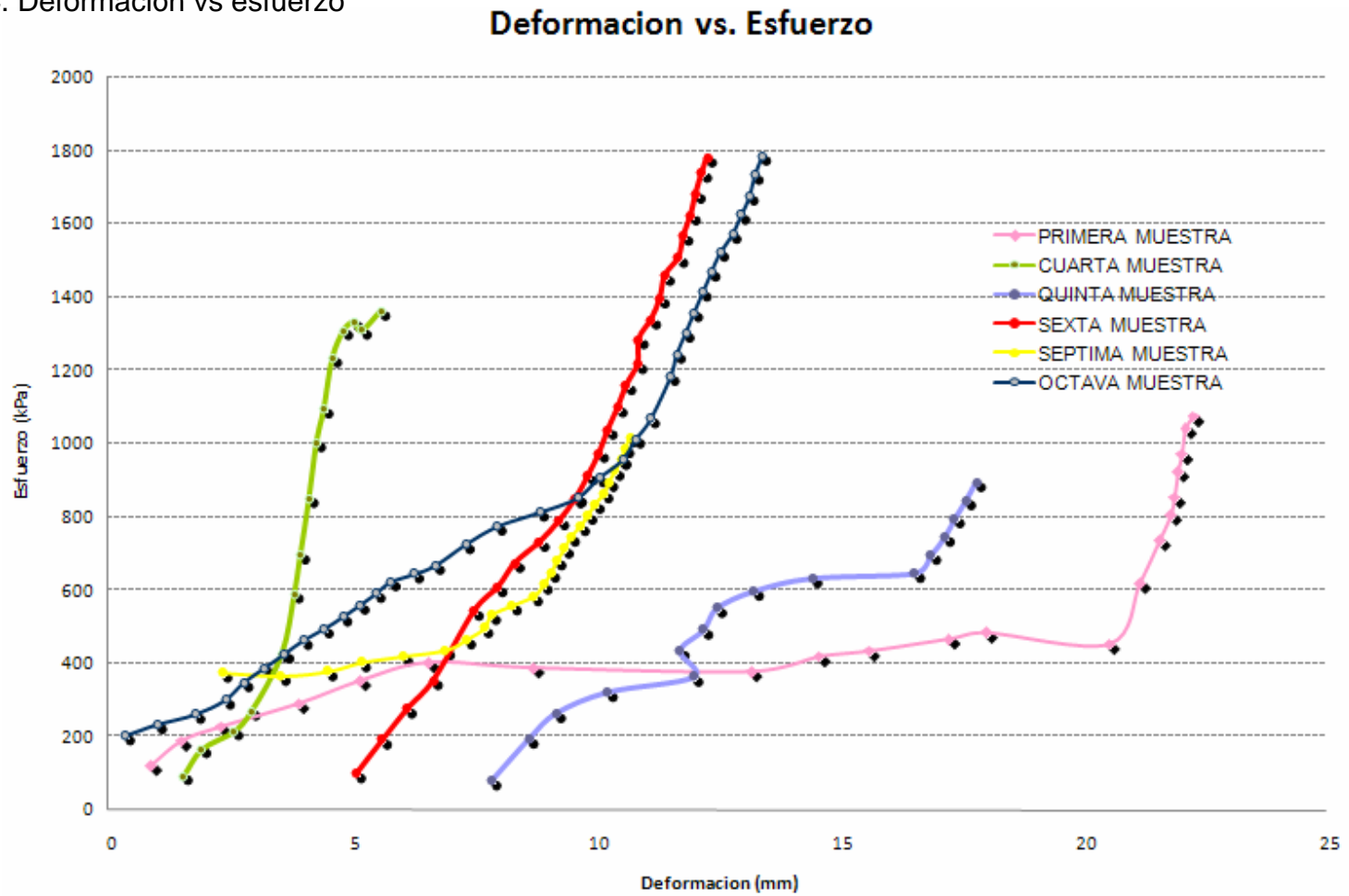
<b>ENSAYO DE RESISTENCIA</b>		
Muestra	Esfuerzo Máximo (kpa)	Deformación Máxima (mm)
<b>Primera muestra</b>	<b>1074.94</b>	<b>22.28</b>
Cuarta muestra	1334.97	5.03
Quinta muestra	893.95	17.81
Sexta muestra	1782.44	12.29
Séptima muestra	1016.65	10.72
<b>Octava muestra</b>	<b>1783.69</b>	<b>13.41</b>

Fuente: Los autores

A continuación se sobreponen las graficas del ensayo realizado a cada muestra, para observar sus diferentes comportamientos.

N	PRIMERA MUESTRA		CUARTA MUESTRA		QUINTA MUESTRA		SEXTA MUESTRA		SEPTIMA MUESTRA		OCTAVA MUESTRA	
	Deformacion (mm)	Esfuerzo (kpa)	Deformacion (mm)	Esfuerzo (kpa)	Deformacion (mm)	Esfuerzo (kpa)	Deformacion (mm)	Esfuerzo (kpa)	Deformacion (mm)	Esfuerzo (kpa)	Deformacion (mm)	Esfuerzo (kpa)
200	0.88	122.41	1.52	93.46							0.33	200.91
400	1.49	188.49	1.91	167.14	7.87	81.94	5.11	101.92			0.99	231.91
600	2.31	227.56	2.57	215.97	8.64	195.51					1.78	259.53
800			2.92	269.81			5.64	193.89			2.39	298.52
1000	3.91	291.28							2.36	375.15	2.77	346.45
1200							6.15	278.49	3.56	366.67	3.20	386.58
1400	3.91	291.28	3.56	427.78	9.19	265.18			4.52	379.18	3.61	424.75
1600							6.68	356.07	5.21	403.64	3.99	461.56
1800	6.57	403.69			10.26	322.55			6.07	420.36	4.42	493.12
2000	8.74	388.72	3.81	590.31					6.93	436.80	4.80	525.60
2200					12.01	363.97			7.37	466.07	5.16	557.76
2400	13.21	378.43	3.94	696.81					7.72	496.49	5.49	589.76
2600					11.73	435.31	7.52	545.15	7.87	532.59	5.79	621.76
2800	14.61	419.53							8.31	558.32	6.27	643.14
3000	15.62	434.37	4.12	851.89	12.22	492.13			8.74	583.08	6.71	666.36
3400	17.27	467.72			12.49	551.38			9.09	647.65	7.32	722.81
3800			4.27	1003.77	13.26	598.02	8.00	609.59	93.73	712.86	7.98	773.39
4200			4.42	1095.81	14.45	632.65	8.36	675.88	9.70	774.23	8.84	811.57
4600			4.59	1235.45	16.56	646.51	8.86	733.21	10.01	834.81	9.63	851.35
5000	21.18	619.67	4.80	1310.52	16.89	695.69	9.27	792.25	10.28	894.85	10.06	905.08
5400			5.03	1334.97	17.17	745.09	9.60	852.49	10.54	954.58	10.54	954.59
5600			5.59	1363.46			9.86	914.47			10.82	1011.81
5800					17.37	795.49	10.08	976.24	10.72	1016.65	11.13	1066.49
6200					17.60	844.71	10.26	1039.33			11.53	1182.42
6600					17.80	893.95	10.46	1100.04			11.66	1243.07
7000	21.89	852.98					10.64	1161.07			11.84	1300.25
7400	21.89	852.98					10.87	1218.26			12.01	1356.64
7800	22.04	971.37					10.89	1286.35			12.19	1412.26
8200							11.15	1340.16			12.37	1467.13
8600	22.12	1042.37					11.33	1397.65			12.55	1521.29
8900	22.27	1074.94					11.43	1459.21			12.80	1569.98
9000							11.81	1568.67			12.98	1622.67
9400							11.96	1624.83			13.16	1674.69
9800							12.07	1683.92			13.26	1731.12
10200							12.19	1740.69			13.41	1783.69
10600												
10900							12.29	1782.44				

Figura 4. Deformación vs esfuerzo



Los resultados de los ensayos de resistencia muestran la evolución en la estructura. En las primeras muestras se observan grandes deformaciones producto de las fuerzas aplicadas esto se debe al exceso de ligante. Otro factor que afecta notablemente la consistencia de las muestras es la energía de compactación pues una baja energía permite que algunas partículas queden sueltas provocando una estructura débil. Una alta energía de compactación puede provocar una fractura de los agregados.

En la primera y cuarta muestra su energía de compactación fue relativamente baja respecto a las demás lo cual se hace visible en la curva pues la deformación que presentaron fue bastante significativa con relación a sus predecesoras que mostraron mejores resultados ante este ensayo.

### 3.7.2. Análisis ensayo de inmersión

Tabla 4. Ensayo de inmersión.

ENSAYO DE INMERSION		
Muestra	Porcentaje de daño	Observaciones
Segunda muestra	80%	La capa de rodadura no presento adherencia ala capa media, ante la inmersión se desprendió por completo, dejando a relucir finos sueltos sin ligante mostrando una separación entre capas.
Tercera muestra	45 %	En su totalidad las partículas estaban cubiertas por ligante y ya que esta no presentaba un acabado solo tenia partículas de gran tamaño lo que hizo que la emulsión penetrara cómodamente en la superficie de esta sin embargo la falta de compactación la hizo débil frente al efecto del agua ya que esta invado fácilmente dentro de la estructura de esta.
Quinta muestra	35%	Las fisuras se hicieron menos notorias, demostró un buen comportamiento en conjunto es decir las partículas se mantuvieron ligadas, en esta muestra se tuvieron bajas cantidades de filler y esto ayudo a mejorar la adhesión entre partículas pétreas y ligante.
Sexta muestra	15%	El agua no penetra de forma libre hacia el interior de la muestra pues se tiene una buena superficie sellante e impermeabilizante. Se encentra un material homogéneo donde mas del 70% de los agregados se encuentran cubiertos con emulsión la estructura esta bien consolidada.
Séptima muestra	7.5%	Se encuentra una muestra en buen estado donde los efectos causados por la saturación han sido poco notables.
Octava muestra	6.5%	Se tiene una muestra donde se han corregido los problemas que se han notado en las anteriores como falta de compactación, presencia de filler en cantidades considerables, cantidades de ligante entre otras. Lo que ha hecho que frente a este ensayo no ha presentado daños significativos. La capa superficial ha mostrado un mejor comportamiento que las anteriores muestras, se ha fusionado completamente con las demás capas brindado una excelente protección frente a los efectos del agua.

*Fuente: Los autores*

### 3.7.3. Registro fotográfico.

#### **ANORMALIDADES PRESENTADAS EN LAS MUESTRAS.**

Las cuales se presentaron después de someterlas a los dos tipos de ensayos Resistencia e Inmersión.

Fotografía 20. Primera Muestra (Desprendimiento de Partículas en sus lados algunas partículas sin ligante)

Antes de la falla



Después de la falla



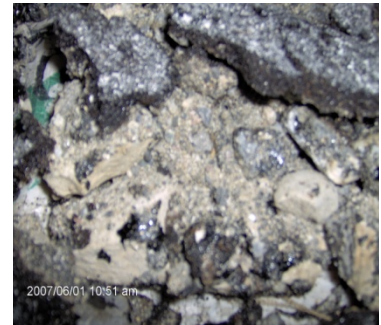
*Fuente: Los autores.*

Fotografía 21. Segunda Muestra Presencia de finos sueltos desprendimiento de capas

Antes de la falla



Después de la falla

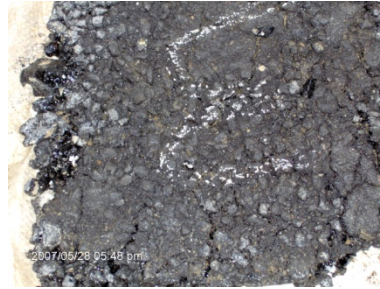


*Fuente: Los autores.*

### Tercera muestra

Fotografía 22. Tercera Muestra exceso de liga estructura muy flexible algunas partículas desprendidas a los lados.

Antes de la falla



Después de la falla



*Fuente: Los autores.*

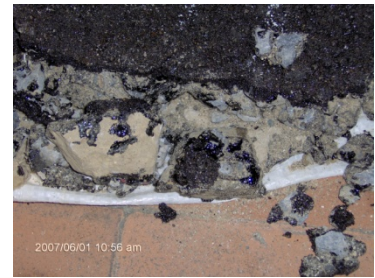
Fotografía 23. Cuarta Muestra. Presencia de finos

- **Cuarta muestra**

Antes de la falla



Después de la falla



*Fuente: Los autores.*

- **Quinta muestra**

Fotografía 24. Quinta muestra

Antes de la falla



Después de la falla



*Fuente: Los autores.*

- **Sexta muestra**

Fotografía 25. Sexta muestra

Antes de la falla



Después de la falla



*Fuente: Los autores.*

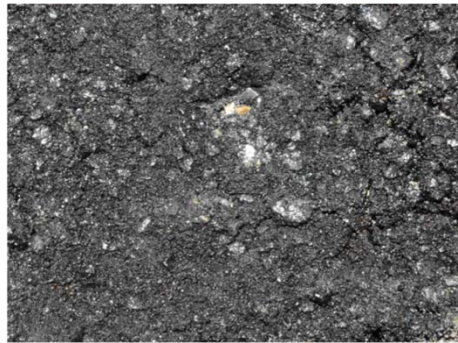
Fotografía 26. Séptima muestra

- **Séptima muestra**

Antes de la falla



Después de la falla

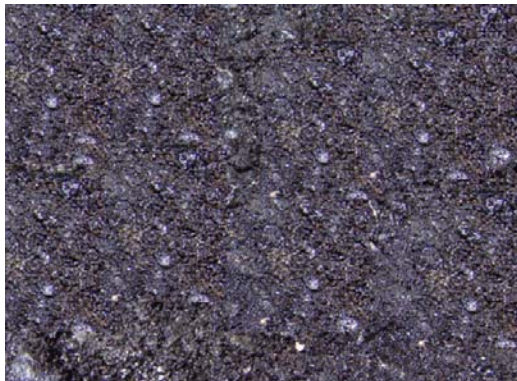


*Fuente: Los autores.*

- **Octava muestra**

Fotografía .27. Octava Muestra.

Antes de la falla



Después de la falla



*Fuente: Los autores*

### **Análisis de la evolución de las muestras.**

Las primeras muestras son una clara señal de una serie de problemas a solucionar pues la superficie como la estructura interna dan a conocer una serie

de desperfectos tales como exceso de finos con ausencia de ligante ya que estos tienen una cantidad importante de filler el cual una vez esta en contacto con la emulsión forman una película que no permite una buena adhesión entre las demás partículas de agregado y la emulsión de ahí que se recomienda que si los agregados tienen cierto contenido de polvo se humedezcan un poco para permitir un mejor cohesión entre partículas.

Otro problema es que se presentaban era una gran cantidad de vacíos entre partículas de agregado producto de una falta de compactación pues esta fue deficiente en las primeras muestras creando una estructura débil la cual una vez aplicada cierta carga o puesta en contacto con el agua mostraba un gran daño tanto en se superficie como en su estructura interna.

Estas fallas se fueron observando y solucionando hasta obtener una estructura con unas buenas especificaciones con partículas bien ligadas y con una superficie que fuera eficiente a la hora de actuar como impermeabilizante.

### **3.8 VERIFICACION DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO.**

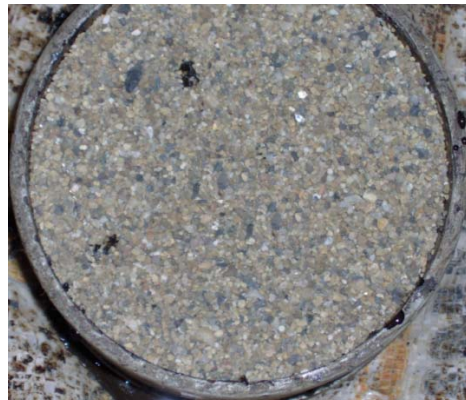
Una vez finalizado el procedimiento de fabricación de probetas, se decidió comprobar el % de asfalto mas adecuado para las muestras, pero debido a que el tamaño de dichas muestras es bastante considerable, se decidió hacer probetas tipo Marshall para determinar si el riego de emulsión después de la compactación y de curado ante el efecto de carga brota hacia la superficie.

Fotografía 28. Riego de emulsión segunda capa probetas tipo Marshall



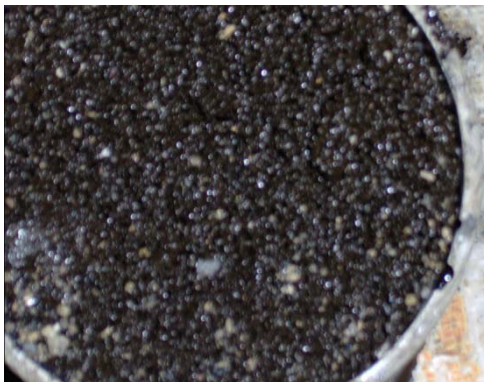
*Fuente: Los autores*

Fotografía 29. Agregado fino capa superficial probetas tipo Marshall



*Fuente: Los autores*

Fotografía 30. Acabado capa superficial probetas tipo Marshall



*Fuente: Los autores*

Fotografía 31. Compactación probetas tipo Marshall



*Fuente: Los autores.*

Tabla 5. Datos y resultados muestras tipo Marshall.

	<b>% Emulsión primera probeta</b>	<b>% Emulsión segunda probeta</b>	<b>% Emulsión Tercera Probeta</b>
<b>Primera capa</b>	<b>3.25%</b>	<b>2.75%</b>	<b>3.75%</b>
<b>Segunda capa</b>	<b>7.6%</b>	<b>6.1%</b>	<b>8.1%</b>
<b>Capa superficial</b>	<b>10.8%</b>	<b>10.3%</b>	<b>11.3%</b>
<b>Resultados</b>	<b>NO EXUDA ASFALTO</b>	<b>NO EXUDA ASFALTO</b>	<b>EXUDA ASFALTO</b>

*Fuente: Los autores*

De esta forma se puede observar que sin bien el resultado fue el mismo para las tres probetas el porcentaje de asfalto más óptimo es el mostrado en la primera probeta, los cuales se tomaron de la muestra 8, debido que los porcentajes en la segunda probeta no alcanza a recubrir el agregado totalmente y los porcentajes mostrados en la tercera probeta, generan un exceso de ligante.

#### 4. CARACTERIZACION DE CAPA DE PAVIMENTO SELECCIONADO

La estructura del pavimento será de 7 cm de espesor mínimo, que resulta de la suma obtenida de las capas individuales, las cuales a su vez se debían a la masa de agregado mínima ensayada en el laboratorio, lo que permitió obtener buenos resultados, esta se dividirá en 3 capas de la siguiente manera:

##### 4.1. CAPA SUPERFICIAL.

Estará compuesta por agregado fino y tendrá un espesor no mayor de 1.5 cm (el cual puede estar entre pasa No. 4 y retenido en No. 20) y un riego de emulsión mínimo de 0.17 Lt/m<sup>2</sup>.

Esta se utilizará para impermeabilizar la estructura, impidiendo el paso de agua al interior de ella, y al mismo tiempo la dreña evitando el deslizamiento de los vehículos es decir, actúa como un riego de sellado, además disminuye el riesgo de agregado suelto, lo cual proporciona una superficie estable, uniforme y antideslizante, lo que se traduce en comodidad y seguridad para el usuario en la vía.

Fotografía 32. Acabado final de las muestras



Fuente: Los autores.

#### **4.2. CAPA INTERMEDIA.**

Es la conformada por una gravilla entre las fracciones 3/8" y No. 4, su espesor es aproximadamente de 2cm y llevara un riego de emulsión mínimo de 0.26 Lt/m<sup>2</sup>.

Su función principal es resistir parte de los esfuerzos inducidos por los vehículos, transmitiendo a la primera capa la parte restante de esta, además dar soporte a la capa superficial.

#### **4.3. CAPA INFERIOR.**

Estará conformada por el agregado grueso cuyas partículas serán menores a 1 ½" y mayores a ¾", la cual puede complementarse con partículas de un agregado cuya granulometría sea menor a la propuesta inicialmente su espesor será de 3.5 cm, y llevara un riego mínimo de emulsión a razón de 0.23 lt/m<sup>2</sup>.

Su función es dar resistencia a la muestra, soportando los esfuerzos inducidos por los vehículos. Debido a su gran tamaño y estabilidad ayuda a dar soporte a la estructura en general.

## 5. PROPUESTA DE PROCESO CONSTRUCTIVO

### 5.1. PRELIMINARES

Inicialmente las actividades de construcción tienen que ver con los trabajos preliminares propios a las características requeridas de los suelos de soporte, sin embargo se asume que la subrasante debe estar estabilizada y compactada para que la estructura pueda desarrollar mayor resistencia al tránsito y al agua, esto se logra con algunos de los métodos tradicionales de compactación, además que el problema de escorrentía superficial ya se encuentre controlado por cunetas, subdrenes o demás obras de ingeniería.

Como ya se había recomendado anteriormente es necesario previamente limpiar los agregados grueso y medio del filler y material orgánico este último no debe pasar de 0.5% <sup>9</sup> ya que este impide una buena adherencia entre el agregado y el ligante.

Es necesario también revolver los componentes de la emulsión, buscando obtener una emulsión asfáltica más uniforme, pues puede darse el caso que uno de los componentes sea más denso que otro y se deposite en el fondo del recipiente, presentándose en el riego en una proporción más baja que la deseada.

### 5.2. PREPARACION

Una vez se seleccione el tramo exacto que se va a pavimentar, se debe asegurar que este libre de polvo, humedad, vegetación, suciedad u otros que puedan afectar la resistencia de la estructura a colocar, es necesario con anterioridad

---

<sup>9</sup> Norma INVIAS Art.

escarificar el terreno, y si es necesario se debe retirar un espesor prudente de la capa de material y reemplazarlo por uno que tenga mayor resistencia.

Es indispensable rosear agua sobre el terreno (teniendo en cuenta solo humedecer ligeramente el suelo, sin saturarlo) para controlarlo e impedir el paso del filler sobre la estructura a colocar, de esta manera se obtiene una mezcla mas densa y mas adherida.

### **5.3. PROCEDIMIENTO A REALIZAR**

En esta etapa se tuvo en cuenta el procedimiento mediante el cual se realizaron las muestras en el laboratorio. Dicho método se adapto con actividades habituales, maquinaria y elementos prácticos al proceso constructivo, mediante el cual personal sin mucho conocimiento en el tema pueda encontrar una guía y por ende realizar las actividades que implican la construcción de un pavimento de este tipo. Para la construcción del tratamiento de agregado pétreo con sus respectivos riegos, en términos generales se procederá de acuerdo a las siguientes actividades:

**5.3.1. Extensión de la primera capa.** Se esparce la capa de agregado grueso sobre la subrasante, luego se rastrea y se aplancha para acomodar el material pétreo; no se debe dejar una partícula sobre la otra, si existe una gran cantidad de vacios se debe extender sobre esta capa, partículas de una granulometría menor.

**5.3.2. Riego de liga para la primera capa.** Se riega la liga sobre el material, una vez regado se deberá esparcir, y en lo posible enrasarse y perfilarse, para lograr una mayor uniformidad por toda la estructura, así se alcanzara el nivel de densificación requerido y una textura uniforme.

Se recomienda hacer un riego con un distribuidor mecánico portátil o mejor conocido como irrigador manual, el cual consta de una o varias boquillas aplicadas

a una barra, las cuales trabajan a presión ya que esto garantiza un mayor cubrimiento de la emulsión sobre las partículas.<sup>10</sup>

Fotografía 33. Irrigador Manual



*Fuente:* [www.cismid.uni.edu.pe/descargas/a\\_labgeo/Compactacion.pdf](http://www.cismid.uni.edu.pe/descargas/a_labgeo/Compactacion.pdf).

En dado caso, que el tramo sea muy largo ahí que examinar si este aparato es efectivo o se obtiene una mejor relación beneficio/costo trayendo un distribuidor mecánico, por ejemplo una petrolizadora, el cual es mas practico para tramos largos.

---

<sup>10</sup> **Chang Chang Luis.** Documento de Internet Compactación.  
[www.cismid.uni.edu.pe/descargas/a\\_labgeo/Compactacion.pdf](http://www.cismid.uni.edu.pe/descargas/a_labgeo/Compactacion.pdf).

Fotografía 34. Petrolizadora aplicando la emulsión que recibirá el riego de gravilla.



Fuente: <http://www.aditivosbone.com.mx/alternoproductos/prod3> Documento de internet.

Durante la aplicación del ligante, se vera tener especial cuidado para evitar que se traslape con el riego anterior de un tramo contiguo. En el punto que se inicie cada riego, se colocara una o mas tiras de papel manila u otro material que cumpla con la función de proteger el riego anterior, de manera que el otro material se empiece desde la tira de protección y al retirar el papel la aplicación quede sin traslape.<sup>5</sup>

**5.3.3. Extensión de la segunda capa.** Se esparce inmediatamente después del riego de la capa anterior, esta estará conformada por una gravilla y se esparcirá lo mas uniforme posible, se recomienda hacerlo por subcapas iguales.

**5.3.4 Riego de liga para la segunda capa.** Se rosea el ligante sobre la capa tal como se estipulo en el numeral 6.3.2. de este capitulo.

**5.3.5 Compactación de la segunda capa.** La Compactación se define como el proceso de empaquetamiento de las partículas más cercanamente posible, por

---

<sup>5</sup> RIVERA, Gustavo E. Emulsiones asfálticas. Editorial Alfaomega grupo Editor. S.A. de C.V. México distrito Federal. 1998.

medio mecánico aumentando la densidad seca.<sup>11</sup> y comienza inmediatamente después de la aplicación de la emulsión, en este proceso se compactara con una energía aproximada de 6110 J, uniformes sobre la superficie, dicha energía será brindada por maquinaria especializada o simplemente por medios mecánicos manuales.

Se debe compactar en los dos sentidos, tanto longitudinal como transversal. En zonas en tangente, la compactación se iniciará por el borde exterior avanzado hacia el centro y en curvas, se iniciará desde el borde inferior hacia el borde superior, traslapando cada recorrido con el anterior. <sup>12</sup>

- **Equipo de compactación:**

Existen distintos aparatos diseñados para compactar, sin embargo su escogencia se centra en el tramo a pavimentar, la dificultad del terreno y el presupuesto, para un pavimento. Se recomienda el uso de algunos de los siguientes aparatos mostrados a continuación:

Si el tramo es corto, se puede compactar con un rodillo liso manual o una rana, los cuales son fáciles de transportar y muestran buen rendimiento en tramos y pavimentos pequeños.

---

<sup>11</sup> Chang Chang Luis. Documento de Internet Compactación. [www.cismid.uni.edu.pe/descargas/a\\_labgeo/Compactacion.pdf](http://www.cismid.uni.edu.pe/descargas/a_labgeo/Compactacion.pdf).

<sup>12</sup> Art 30. Tratamiento superficial norma invias.

Fotografía 35. Rana compactadora



Fuente: [www.cismid.uni.edu.pe/descargas/a\\_labgeo/Compactacion.pdf](http://www.cismid.uni.edu.pe/descargas/a_labgeo/Compactacion.pdf).  
Documento de Internet Compactación.

Figura 5. Rodillos manuales compactadores.



Fuente: [www.cismid.uni.edu.pe/descargas/a\\_labgeo/Compactacion.pdf](http://www.cismid.uni.edu.pe/descargas/a_labgeo/Compactacion.pdf).  
Documento de Internet Compactación.

Si el tramo es largo se recomienda maquinaria pesada que permita un proceso continuo y un mayor rendimiento, entre otras se puede utilizar:

Fotografía. 36. Rodillo liso



Fuente: [www.cismid.uni.edu.pe/descargas/a\\_labgeo/Compactacion.pdf](http://www.cismid.uni.edu.pe/descargas/a_labgeo/Compactacion.pdf).  
Documento de Internet Compactación.

Fotografía .37. Rodillo neumático



Fuente: <http://icc.ucv.cl/obrasviales/docencia.htm> Documento de Internet PAVIMENTO  
ASFÁLTICO.

Sólo deberá colocarse y compactarse el riego con ligante bituminoso en frío cuando la temperatura ambiental sea de por lo menos 10°C, y bajo ningún motivo se podrá realizar el riego si la temperatura ambiente a la sombra o sobre la superficie sea igual o menor a 5 °C, se debe asegurar que no exista presencia de lluvia, o indicios de esta y en poca medida el sol <sup>13</sup>.

**5.3.6 Extensión de la capa superficial.** La capa superficial esta compuesta de un agregado fino sin filler, de ser necesario se dividirá en subcapas para lograr una capa de rodadura más resistente.

**5.3.7 Riego de liga para la capa superficial.** Esta actividad consiste en la aplicación de una cierta cantidad de ligante asfáltico, el cual cubrirá uniformemente la capa de material pétreo.

Esta vez será necesario agregarle el 30% de agua del total de la emulsión, esto para diluirla y así reducir su viscosidad, es decir:

$$L_{t_{deagua}} = 0.3 \times L_{t_{deemulsion}}$$

De todas formas si pasadas 24 horas, se observa disconformidad en el riego será necesario aplicar la cantidad necesaria para observar un acabado más uniforme.

**5.3.8 Compactación de la capa superficial.** Se compacta la muestra, con una energía mínima de 6110J, pero si se observa que las partículas aun no están lo suficientemente aglutinadas es necesario incrementar dicha energía hasta obtener una capa con el menor grado de desprendimiento de los agregados.

Sin embargo es necesario tener en cuenta en no fracturar el agregado por el exceso de pasadas.

---

<sup>13</sup> ARTICULO 430. Tratamiento superficial simple norma invias.

En esta capa se debe tener un cuidado especial, dado que esta será el acabado y el sellante del pavimento, además esta estará expuesta directamente a los agentes deteriorantes, tales como el agua, el tránsito y los cambios climáticos.

Una vez terminada la compactación, si es necesario se deberá barrer la superficie ya sea con una barredora o soplador mecánico para eliminar todo exceso de agregado o residuos del proceso que hayan quedado sobre la superficie, operación que deberá continuarse aún después de que el tramo con el tratamiento haya sido abierto al tránsito.<sup>14</sup>

**5.3.9 Curado del tratamiento.** Se deja curar la muestra a temperatura ambiente, proceso mediante el cual los componentes volátiles de la emulsión se evaporan y esta podrá desarrollar su función de ligante de las partículas.

#### **5.4 DETALLES CONSTRUCTIVOS:**

- Siempre y cuando sea posible no se permitirá el tránsito de vehículos sobre la capa superficial, antes de 24 a 48 horas contadas a partir de la terminación del acabado, sin embargo de no ser posible se permitirá el estrictamente necesario, pero con una velocidad máxima de 30 Km/h. y sin permitir giros fuertes ni frenados bruscos sobre las capas.<sup>14</sup>
  
- El sol, el viento y las variaciones de temperatura afectan a los materiales bituminosos, por lo tanto una buena elección de materiales y un buen plan de conservación pueden mantener la flexibilidad y propiedades ligante del asfalto.

---

<sup>14</sup> ARTICULO 430. Tratamientos superficiales norma INVIAS.

- En las mezclas en frío se usan asfaltos líquidos, por lo cual la mezcla se efectúa sin calentar los agregados y el asfalto se calienta a una temperatura relativamente baja, solo para obtener la viscosidad necesaria de mezclado.<sup>15</sup>
  
- En la etapa de compactación se deben evitar golpes bruscos o excesos de energía de compactación en ciertas partes, ya que esto puede ocasionar alguna fractura en los agregados.
  
- De ser necesario se humedecerá la superficie en contacto (de la máquina o medio por el cual se va a realizar la compactación) con la estructura para retirar el asfalto adherido a su superficie y para brindar una mayor facilidad en el movimiento.

---

<sup>15</sup> PAVIMENTO ASFÁLTICO. Documento de Internet <http://icc.ucv.cl/obrasviales/docencia.htm>

## CONCLUSIONES

- Se encontró una estructura capaz de resistir una serie de esfuerzos continuos sin presentar una deformación considerable ni muestras de deterioro en su superficie, dicha estructura estará conformada por 3 capas de agregado, grueso, medio y fino, los cuales se recubrirán con emulsión asfáltica de rompimiento rápido mediante riegos sucesivos, siguiendo un procedimiento similar al macadam de penetración, sin embargo esta estructura no se ha probado en campo, es decir, la investigación debe continuar con un tramo de prueba para verificar su resistencia ante efectos reales.
- Para la capa superficial, el riego debe realizarse con la emulsión diluida en agua, para lograr una mayor homogeneidad de las partículas, así como también tratar de reducir la presencia del filler del agregado tanto en esta capa como en las demás.
- La cantidad de material de agregado y de la emulsión dadas son cantidades mínimas encontradas que requiere el pavimento para la conformación de la estructura, la cuales serán probadas posteriormente en un tramo ante condiciones reales de tráfico y los factores ambientales.
- La realización de la estructura encontrada es un procedimiento sencillo, el cual no requiere maquinaria, ni mano de obra especializada pudiendo ser construida en zonas aisladas donde difícilmente se cuenta con los medios para hacer una carpeta asfáltica convencional.
- La estructura es aplicable en las vías de bajo tránsito, ya que la cantidad de tráfico de estas zonas no requieren invertir en una estructura de altas

especificaciones pues los esfuerzos son relativamente bajos haciendo innecesaria esta inversión.

## BIBLIOGRAFIA.

ASOPAC (Asociación de Productores y Pavimentadores Asfálticos de Colombia).  
Cartilla del pavimento asfáltico. 2004 Bogotá.

CARTILLA DEL INVIAS. INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INVIAS). Colombia.  
2007

CASTAÑEDA, Eduardo. Director del Laboratorio de Caracterización de Materiales  
y profesor de planta Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2007.

CASTELLANOS, Víctor. Profesor cátedra Universidad Industrial de Santander.  
Bucaramanga. 2007.

CASTELLANOS, Víctor. Profesor cátedra Universidad Industrial de Santander.  
Bucaramanga. 2007.

Chang Chang Luis. Ingeniero Laboratorio Geotécnico Centro Peruano Japonés de  
Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) Documento de  
Internet Compactación.  
[www.cismid.uni.edu.pe/descargas/a\\_labgeo/Compactacion.pdf](http://www.cismid.uni.edu.pe/descargas/a_labgeo/Compactacion.pdf).

Heredia Miguel Angel. Documento de Internet. Propiedades físicas fundamentales  
del suelo. [www.arqhys.com](http://www.arqhys.com)

Paramo Jorge A. Cassan Rosana. Laboratorio vial del Instituto de Mecánica aplicada y Estructuras (IMAE) Facultad de ciencias exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad del rosario Argentina.

PAVIMENTO ASFÁLTICO. Documento de Internet  
<http://icc.ucv.cl/obrasviales/docencia.htm>

REYES Lizcano Fredy, Ing PhD, Profesor Asociado, Investigador en Pavimentos. Director de la Especialización en Geotecnia Vial y Pavimentos de la Universidad Javeriana.

RIVERA, Gustavo E. Emulsiones asfálticas. Editorial Alfaomega. Mexico D.F. 1998.


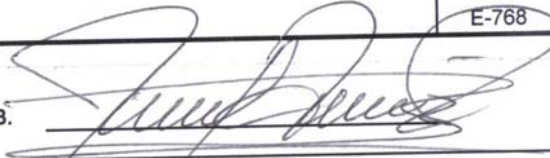
Yamunaque Miranda. Jorge. Soluciones reales, rápidas y económicas para pavimentación asfáltica. XII congreso nacional de Ingeniería Civil.

## Anexo A. Sugerencias para el empleo de Emulsiones asfálticas.

### Sugerencias para el Empleo de Emulsiones Asfálticas

TIPO DE TRABAJO	EMULSIONES ASFALTICAS										
	CONVENCIONALES						MODIFICADAS CON POLIMEROS				
	RAPIDO		MEDIO	LENTO			RAPIDO		MEDIO	LENTO	
ROMPIMIENTO	MPI CRR-1	MPI CRR-2	MPI CRM	MPI CRL-1/1E	MPI CRL 1n	MPI CRL-D	MPI CRR-1m	MPI CRR-2m	MPI CRM-m	MPI CRL-1nm	EMULPAV
IMPRIMACION				X		X					
RIEGO DE LIGA	X	X					X	X			
RIEGO DE CURADO	X										
SELLO DE ARENA - ASFALTO	X	X									
TRATAMIENTOS SUPERFICIALES											
SIMPLE		X						X			
DOBLE		X						X			
MEZCLA ABIERTA			X						X		X
MEZCLA Densa				X	X						
ARENA EMULSION				X	X						
MEZCLA EN VIA				X	X						
BASE ESTABILIZADA				X	X						
MORTERO ASFALTICO (SLURRY SEAL)					X					X	
RECICLAJE PAVIMENTOS				X							

**Anexo B. Especificaciones de la emulsión utilizada**

R DT 60 N.R: 1		<b>PLANTA DE EMULSIONES ASFALTICAS</b> REPORTE DE ENSAYO PARA LA LIBERACION DE LAS EMULSIONES				
Tipo de emulsión: <u>MPI CRR-2m</u> Fecha despacho: <u>27/03/2007</u> Cliente: <u>UIS</u> Fecha informe: <u>27/03/2007</u> O b r a : <u>PROYECTO DE GRADO</u> Cochada No: <u>189</u> Despacho No: <u>N.A</u>						
<b>PROPIEDAD</b>	<b>Norma Referencia</b>	<b>Especificación</b>	<b>Reporte de control de calidad</b>	<b>Frecuencia de ensayo</b>	<b>Responsable ensayo</b>	
VISCOSIDAD: SAYBOLT-FUROL a 25°C, (s) 0 a 50°C, (s)	INV E-763	--	--	124	COCHADA	MPI
		20	300			
CONTENIDO DE ASFALTO POR EVAPORACION DIFERENCIA POR CIENTO	--	65	--	67,4	COCHADA	MPI
TAMIZADO: RETENIDO EN TAMIZ No. 20, (%)	INV E-765	--	0,1	0,00048	COCHADA	MPI
pH	INV E-768	--	6	3,42	COCHADA	MPI
ING. LAB. 						

### **Anexo C. Calculo del esfuerzo resistido por la muestra debido a la carga impuesta.**

Cuando se fallaron las diferentes muestras, se observo que el simulador del neumático ejercía sobre la ellas un esfuerzo no constante, el cual cambiaba debido a la carga impuesta y al área de presión, esta ultima aumentaba debido a su forma circular, por lo cual fue necesario realizar un análisis del valor del área para después calcular el esfuerzo ejercido durante la aplicación del área, el análisis fue el siguiente:

#### **Calculo del área**

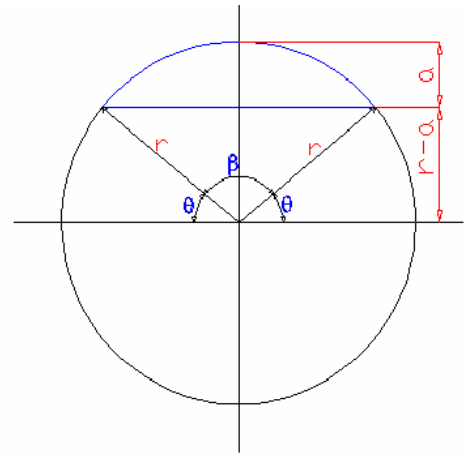
$$\beta = (\pi - 2\theta)$$

$$A = (\pi - 2\theta) * r * l$$

$l = \text{espesor del anillo}$

$$\theta = \text{sen}^{-1}\left(\frac{r-a}{r}\right)$$

$$A = l * r * (\pi - 2 * \text{sen}^{-1}\left(\frac{r-a}{r}\right))$$



#### **Calculo del esfuerzo**

$$\text{Esfuerzo} = \frac{\text{Carga}_{\text{vertical}}}{A}$$