

**MEJORAMIENTO DE LA ADHERENCIA LLANTA-CAMINO EMPLEANDO
MICROAGLOMERADOS**

**GUSTAVO ADOLFO NIÑO GALLARDO
ANDREA LILIANA RAMIREZ GAMBOA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2009

**MEJORAMIENTO DE LA ADHERENCIA LLANTA-CAMINO EMPLEANDO
MICROAGLOMERADOS**

**GUSTAVO ADOLFO NIÑO GALLARDO
ANDREA LILIANA RAMIREZ GAMBOA**

Tesis de grado para optar al título de ingeniero Civil.

**Director
Ing. Eduardo Castañeda Pinzón**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2009**

*Dedicado a mí mama Isbelia Gamboa
Quien con su amor e infinita confianza
Me apoyo en cada etapa de mi vida por
Que sin esto jamás hubiese alcanzado
Ninguno de mis triunfos
Gracias MAMI*

Agradecimientos

A dios por guiarme en cada momento y darme la fortaleza necesaria en los momentos de dificultad en el camino para alcanzar esta meta.

A la Universidad Industrial de Santander por mi formación profesional y la oportunidad de desarrollar mi carrera.

A mi familia, mi papa, mi hermano Alexander, mi prima Matha, mi tía Abigail y Kira por el amor y el apoyo que me brindaron a lo largo de mi vida y formación profesional.

A mis maestros y al ingeniero Eduardo Alberto Castañeda por compartir sus conocimientos y brindarme su ayuda.

A mis compañeros carolina, Elvia, Efraín, Fernando, Gustavo, Oscar y a todos por brindarme su amistad, apoyo, conocimientos y buenos momentos.

A mis amigas, July, Sandra, Rena, Andrea y Diana por la amistad verdadera. Gracias por escucharme, aconsejarme, regañarme y por compartir tantas historias, risas y llantos en todo este tiempo

Andrea Liliana Ramírez Gamboa
Gracias

Agradecimientos

A mis padres Prospero Niño y Rosalba Gallardo por brindarme su apoyo y colaboración durante todo el camino para alcanzar esta meta en mi vida.

A mis amigos y compañero de universidad Cristian, Sergio, Andrea, Humberto e Iván, por compartir todos los momentos y brindarme su colaboración y ayuda cuando fue necesaria gracias por su amistad y compañía.

Gustavo Adolfo Niño Gallardo
Gracias

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	1
1. OBJETIVOS.	2
1.1 OBJETIVO GENERAL	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
2. MARCO TEORICO	3
2.1 RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO	3
2.2 CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES	6
2.2.1 Textura.	7
2.3 MEDIDA DE LA TEXTURA DE LOS PAVIMENTOS	13
2.3.2 Texturómetro láser:	15
2.3.3 Ensayo de mancha de arena o círculo de arena	15
2.4 MICROAGLOMERADOS	18
2.4.1 Definición	18
2.4.2 Características de los materiales que lo componen	19
2.4.2 Requerimientos	26
2.4.3 Fabricación y extendido	26
2.4.4 Ventajas	27
2.4.5 Precauciones	27
3. METODOLOGÍA.	29
3.1 FASE 2: CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES	29
3.2 FASE 3: DISEÑO DE MEZCLAS	30
3.3 FASE 4: MEDIDA DE MACROTEXTURA EN PAVIMENTOS EXISTENTES	40
4. RESULTADOS	46
4.1 PRUEBAS DE LABORATORIO PARA MEZCLAS CON LECHADA ASFALTICA	46
4.2 PRUEBAS DE LABORATORIO PARA MEZCLAS CON SLURRY SEAL	46

4.3 PRUEBAS DE CAMPO ENSAYO MANCHA DE ARENA	47
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.	48
5.1 MUESTRAS DE LABORATORIO	48
5.2 MUESTRAS EN EL CASCO URBANO DE BUCARAMANGA	49
5.3 MUESTRAS EN LAS VÍAS INTERMUNICIPALES DE BUCARAMANGA (VÍAS RÁPIDAS)	50
5.4 MUESTRAS TOMADAS EN SAN ALBERTO (CESAR)	50
CONCLUSIONES	51
BIBLIOGRAFIA	52
ANEXOS	53

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valores exigidos CPA	5
Tabla 3. Características según el Tipo de Pavimento	18
Tabla 4. Textura mínima para diferentes tipos de Lechada	18
Tabla 5. Comparación 1 entre Superficie Tradicional, Microaglomerados y Tratamiento superficial	24
Tabla 6. Comparación 2 entre Superficie Tradicional, Microaglomerados y Tratamiento superficial	24
Tabla 7. Tabla de Gradación del agregado para una LECHADA ASFÁLTICA	30
Tabla 8. Composición de las LECHADAS ASFÁLTICAS	31
Tabla 9. Tabla de Gradación del agregado para una SLURRY SEAL	31
Tabla 10. Composición de las SLURRY SEAL	32
Tabla 11. Gradación para una LECHADA ASFÁLTICA LA-1	33
Tabla 12. Cantidad de material por tamiz	34

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Clasificación del Perfil	7
Figura 2. Auto Evaluando el Hidroplaneo	11
Figura 3. Zonas de Contacto Llanta-Camino	12
Figura 4. Huella a 3 km/h	13
Figura 5. Huella a 100 km/h	13
Figura 6. Ensayo Mancha de Arena	16
Figura 7. Comparación de alturas entre capas de rodadura	23
Figura 8. Tamizado	36
Figura 9. Molde para las Mezclas	36
Figura 10. Pesado de Materiales	37
Figura 11. Mezclado de Materiales	37
Figura 12. Colocación de la Mezcla en el Molde	38
Figura 13. Compactación Manual de la Mezcla	38
Figura 14. Diámetro de Arena	39
Figura 15. Muestras con diferentes Gradaciones	39
Figura 16. Diámetro de Arena Tramo I primera toma	41
Figura 17. Diámetro de Arena Tramo I segunda toma	41
Figura 18. Diámetro de Arena Tramo I tercera toma	42
Figura 19. Diámetro de Arena Tramo II primera toma	42
Figura 20. Diámetro de Arena Tramo II segunda toma	43
Figura 21. Diámetro de Arena Tramo II tercera toma	43
Figura 22. Diámetro de Arena PARQUE ROMERO	44
Figura 23. Diámetro de Arena DANA TRANS EJES	45
Figura 24. Diámetro de Arena JARDÍN BOTÁNICO	45

LISTA DE ANEXOS

	Pag.
ANEXOS A. CALCULOS DE CANTIDAD DE MATERIALES	55

RESUMEN

TITULO: MEJORAMIENTO DE LA ADHERENCIA LLANTA CAMINO EMPLEANDO MICROAGLOMERADOS*

AUTORES:

GUSTAVO ADOLFO NIÑO GALLARDO
ANDREA LILIANA RAMIREZ GAMBOA**

PALABRAS CLAVES: microaglomerados, textura, adherencia, capa de rodadura o camino, mancha o diámetro de arena.

DESCRIPCION:

La mayoría de vías pavimentadas en Colombia está construida con mezclas asfálticas en caliente, estos pavimentos con el tiempo se ven afectados por factores como el tráfico, el clima, entre otros que degradan las características superficiales, como la adherencia entre la capa de rodadura y las llantas del vehículo. Este es el tema que se tratara en este proyecto, intentando desarrollar un mejoramiento en la textura de la capa para así evitar deslizamientos, que es uno de los factores que influyen en los accidentes de la red vial.

Los microaglomerados en frío presentan ventajas importantes como la rapidez de ejecución y las propiedades antideslizantes, teniendo en cuenta esto se realizaron muestras en laboratorio con microaglomerados, usando una emulsión asfáltica con diferentes gradaciones para ser evaluadas con la prueba de mancha o diámetro de arena, de esta forma se comprobó la macrotextura de las muestras encontrando la textura más eficiente. Se realizo la prueba de mancha de arena en pavimentos existentes en campo con microaglomerados y asfalto tradicional para determinar así la adherencia presentada entre estos dos sistemas de pavimentación.

Mediante los resultados se encontró la gradación ideal para tener una superficie o capa de rodadura que cumpla con las normas establecidas en Colombia, de textura y adherencia entre la llanta y el camino. Se concluyo que tanto con microaglomerados como con pavimentación tradicional se pueden obtener superficies con textura y adherencia aceptable para obtener vías más seguras.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Físicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director del Proyecto Ing. Eduardo Alberto Castañeda Pinzón

ABSTRACT

TITLE: IMPROVEMENT OF THE ADHERENCE OR ROADHOLDING BY USING MICROAGGLOMERATES*

AUTHORS:

GUSTAVO ADOLFO NIÑO GALLARDO
ANDREA LILIANA RAMIREZ GAMBOA**

KEY WORDS: Microagglomerates, Texture, Adherence, Roadholding, Wearing course, Diameter of Grain of Sand,

DESCRIPTION:

Most of the pavement roads in Colombia are constructed with hot-mix asphalt. These pavements are deteriorated in the course of time by different aspects such as traffic, weather conditions, and some other aspects that deteriorate the surface features like the adherence between the wearing course and the vehicle wheels known. The above mentioned topic is what this project is about. To attempt to develop some improvement in the texture of the wearing course to avoid skips which is an influential factor in the road network.

Cold microagglomerates present important advantages such as implementation speed and the antiskips properties. Based on this, some laboratory tests with microagglomerates were carried out by using an asphaltic emulsion with different gradations. Subsequently, it was evaluated with the mark or diameter of grain of sand. In this way it was proved the macrottexture from the samples and finding the texture more efficient. It was carried out the test of the sand mark in pavements existing in the field with microagglomerates and traditional asphalt to determine the adherence or roadholding present in these two pavementation systems.

Based on the results it was found the ideal gradation to have a surface or wearing course that fulfils the legal regulations in Colombia about texture roadholding. It was concluded that with microagglomerates as well as with traditional pavementation it can be obtained surfaces with acceptable texture and adherence and obtain safer roads.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Físicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director del Proyecto Ing. Eduardo Alberto Castañeda Pinzón

INTRODUCCION

La mayoría de vías pavimentadas en Colombia están construidas con mezclas asfálticas en caliente, estos pavimentos se ven afectados a través del tiempo por el tráfico, el clima y otros factores que degradan rápidamente las características, como la fricción entre la capa de rodadura y los neumáticos del vehículo. Este es el tema que trataremos en este proyecto, intentando mejorar la textura de esta capa para así evitar deslizamientos.

Una de las causas de los accidentes que ocurren en las vías se deben al deterioro de estas, el desgaste, la falta de mantenimiento afectan drásticamente la calidad del servicio y el adecuado estado de la vía, poniendo en peligro a la población que se encuentra en constante crecimiento y tránsito por estos corredores. Debido al crecimiento de la población nos vemos obligados a expandir la red vial, olvidando el correcto mantenimiento de la ya existente. Esta expansión implica grandes esfuerzos económicos para satisfacer las necesidades de la población.

Anteriormente la preocupación se centraba en dar soluciones rápidas de pavimentación a las necesidades, de acuerdo a la normativa y tecnologías de la época, tratando de maximizar las unidades de obra acorde al presupuesto disponible, sin prestar mayor atención al confort y seguridad del usuario. Actualmente es una prioridad la seguridad y confort de la población, por esto estamos trabajando para poder brindar pavimentos más cómodos, suaves, seguros y durables.

Los microaglomerados en frío son una solución eficaz y eficiente para los problemas del rápido deterioro de la vía; si son correctamente manejados, estos presentan ventajas importantes como la rapidez de colocación, durabilidad, propiedades antideslizantes y su rapidez de habilitación del tránsito.

1. OBJETIVOS.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar la textura de las superficies viales que permitan mejorar la adherencia entre la llanta y superficie de rodadura, mediante el uso de microaglomerados que permitan variar la textura para obtener mayor seguridad y comodidad en la marcha.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar muestras en laboratorio con diferentes texturas, variando las gradaciones para determinar la macro y microtextura de la muestra.

Comparar las muestras realizadas en el laboratorio con pavimentos ya existentes en la región, por medio de la prueba de mancha de arena, para determinar si la rugosidad de la superficie de las vías existentes es apta.

Determinar la textura de las superficies viales que se puede lograr empleando microaglomerados.

2. MARCO TEORICO

El pavimento constituye una de las partes más importantes en la ingeniería de carreteras tanto desde el punto de vista técnico, como en el trascurso del proyecto incluyendo su construcción y conservación.

En este proyecto se quiere mostrar una textura que cumpla con las necesidades y requerimientos de nuestras vías, teniendo en cuenta que esta capa es la superficie de la estructura, la cual está en directo contacto con los neumáticos del vehículo y es la encargada de brindar seguridad y comodidad.

Se estudiara la textura de la superficie de rodadura con algunos de los materiales usualmente empleados en la elaboración de una carretera tradicional, proponiendo un material de mayor durabilidad, mayor adherencia al neumático y sin aumentar los costos tradicionales de una vía. El material propuesto es un microaglomerado con el cual se han elaborado varias muestras variando la granulometría.

2.1 RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

La **fricción o resistencia al deslizamiento** del pavimento es un valor crítico en la seguridad cuando el pavimento está mojado. Su medida y estudio es fundamental sobre todo en carreteras de elevada intensidad de tráfico. La fricción se determina de forma indirecta midiendo el coeficiente de rozamiento entre el pavimento artificialmente mojado y una rueda de goma especial.

El coeficiente de rozamiento es el parámetro que se emplea para determinar el nivel de adherencia entre el neumático y el pavimento. El valor del coeficiente de

rozamiento depende de una serie de factores, algunos inherentes a la carretera mientras que otros son responsabilidad del usuario (como la velocidad y el estado de los neumáticos del vehículo) o de la naturaleza (lluvia, nieve o hielo sobre la calzada, etc.). La demanda de rozamiento es función de la velocidad y de la cantidad de agua sobre la carretera. A su vez la capacidad de responder a esa demanda es función del tipo y del estado del pavimento.

Al igual que otras características superficiales, los niveles de adherencia de un pavimento evolucionan con el tiempo como consecuencia del pulido de la superficie por la acción repetida de los neumáticos de los vehículos. Por tanto se tiene que comprobar periódicamente la resistencia al deslizamiento mediante técnicas de auscultación con equipos de medida del coeficiente de rozamiento.

Los equipos de medida de rozamiento realizan ensayos sobre el pavimento mojado y a una velocidad constante para poder comparar la variación del rozamiento a lo largo de la carretera.

Existe una gran variedad de equipos y de principios de medida, tanto de medida de la textura como de medida del rozamiento, lo que dificulta la interpretación y la comparación de los datos. Para disminuir este inconveniente la **AIPCR** organizó en 1992 un Experimento Internacional que permitió establecer correlaciones y comparaciones entre equipos. Los resultados se publicaron en el documento ***“Experimento Internacional AIPCR de Comparación y armonización de las medidas de Textura y Resistencia al Deslizamiento”*** (1995).

Históricamente el nivel de adherencia se estable en los Pliegos de Prescripciones exigiendo al árido a emplear en las capas de rodadura unas características determinadas sobre su resistencia al pulimento (o desgaste). El ensayo mas empleado es el denominado “Pulimento acelerado de los áridos” que determina un coeficiente de resistencia al desgaste denominado **CPA** cuya forma de realización viene recogida en la Norma **I.N.V. E - 232**

Las especificaciones actuales exigen valores de coeficiente de pulimento acelerado como los que se consignan en la tabla siguiente:

Tabla 1. Valores exigidos CPA

VALORES DE CPA					
TRAFICO	T0	T1	T2	T3	T4
PAVIMENTOS HORMIGÓN	0,5				
MEZCLA BITUMINOSA	0,5	0,5	0,45	0,4	0,4
MEZCLAS POROSAS	0,45	0,45	0,4	0,4	0,4
LECHADAS BITUMINOSAS	0,5	0,5	0,5	0,45	0,45
TRATAMIENTOS SUPERFICIALES	0,5	0,45	0,45	0,4	0,4

a especificación anterior es condición necesaria pero no suficiente para garantizar el nivel de adherencia por lo que se recurre a medidas sobre el pavimento terminado. El ensayo más antiguo es el denominado coeficiente de resistencia al deslizamiento (CDR) medido con el péndulo del TRRL cuya forma de realización está recogida en la norma **I.N.V. E - 792**

Sin embargo la problemática de la adherencia neumático pavimento es muy compleja y aunque se puede aseverar que la resistencia al deslizamiento de un pavimento recién ejecutado es en general muy elevada y que esa resistencia en superficie seca se conserva casi constante con el uso, la resistencia con el

pavimento mojado disminuye de forma apreciable con el paso del tráfico y además existe una variación estacional de forma que los valores durante el verano son más bajos.

Al igual que sucede con otros parámetros la medida del coeficiente de resistencia al deslizamiento sólo es aplicable durante la construcción o para determinar atributos locales a zonas de pequeña longitud. La medida global de los valores del **CRD** de tramos de carreteras o de redes se realiza con técnicas de auscultación empleando equipos de “alto rendimiento” es decir, capaces de realizar ensayos continuos a velocidades normales del tráfico o próximas a ellas. Esto tiene las ventajas de “aproximar” los ensayos a las condiciones reales del fenómeno del deslizamiento y de poder evaluar muchos kilómetros de forma uniforme.

2.2 CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES

Desde el punto de vista general la rodadura debe ser cómoda, segura, duradera, poco ruidosa, producir un desgaste mínimo en los vehículos y debe facilitar la evacuación del agua (cuando existe) en la zona de contacto con la llanta.

La superficie del pavimento afecta la seguridad, comodidad y costos de los usuarios. Las características que se consideran importantes incluyen:

- **Fricción ó Resistencia al deslizamiento**
- **Textura**

Además se debe recordar que la capa de rodadura es una superficie no plana, con irregularidades notorias a lo largo de su trayectoria, las cuales se deben a la

colocación del pavimento y los acabados realizados en su superficie.

2.2.1 Textura.

La **textura** del pavimento es un parámetro crítico en la comodidad y la seguridad de los usuarios, necesario para la conservación de las carreteras. La **textura** influye directamente en la capacidad del pavimento para evacuar el agua en la interacción llanta-camino y, de forma indirecta en el valor del coeficiente de rozamiento del pavimento, que tiene gran importancia para la adecuada adherencia entre neumático y pavimento. Además, la textura es la característica determinante en el nivel de ruido del tráfico, tanto del que perciben los ocupantes de los vehículos como el ruido de entorno que condiciona la calidad de vida de las zonas colindantes. En el aspecto económico, la textura del pavimento influye en el consumo de gasolina, en el deterioro de los vehículos y sobre todo en el desgaste de los neumáticos.

2.2.1.1 Clasificación de la textura

Existen tres clasificaciones de textura microtextura, macrotextura y megatextura. Estas están dadas según su longitud de onda.

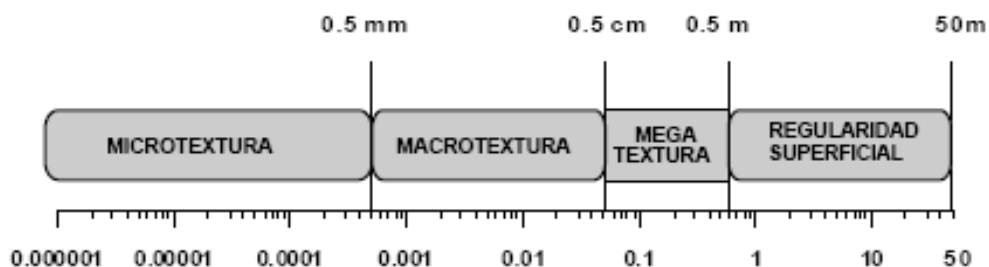


Figura 1. Clasificación del Perfil

Tabla 2. Clasificación Del Perfil Longitudinal

CLASIFICACION DEL PERFIL LONGITUDINAL		
DOMINIO	Longitud de Onda, a	Amplitud, a
TRAZADO	50 - 1000 m	0,5 - 50 m
REGULARIDAD SUPERFICIAL	0,5 - 50 m	0,001 - 0,5 m
TEXTURA	0 - 0,5	0,001 - 50 mm

2.2.1.1.1 Microtextura

La microtextura de un pavimento es la desviación que presenta su superficie con respecto a una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal inferiores a 0,5 mm (correspondiente a la longitud de onda de textura obtenida con bandas de un tercio de octava con ondas de no más de 0,4 mm). La amplitud entre picos suele variar entre 0,001 y 0,5 mm. Este tipo de textura es la que hace al pavimento más o menos áspero, pero normalmente es tan pequeña que no puede observarse a simple vista.

2.2.1.1.2 Megatextura

La megatextura de un pavimento es la desviación que presenta su superficie con respecto a una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal entre 50 y 500 mm (correspondiente a la longitud de onda de textura obtenida con bandas de un tercio de octava con ondas entre 63 y 500 mm). La amplitud entre picos suele variar entre 0,1 y 50 mm. Este tipo de textura es la que presenta longitudes de onda del mismo orden que el neumático en el contacto con el pavimento (a menudo originadas por baches u ondulaciones).

2.2.1.1.3 Macrotextura

El funcionamiento del pavimento está ligado en muchos aspectos a sus características de textura. La capacidad de suministrar un buen nivel de adherencia con los neumáticos de los vehículos y de evacuar el agua de la interface llanta-camino es misión de la textura.

La macrotextura de un pavimento es la desviación que presenta su superficie en relación con una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal comprendidas entre 0,5 y 50 mm (correspondiente a la longitud de onda de textura obtenida con bandas de un tercio de octava entre 0,5 y 50 mm). La amplitud entre picos de la macrotextura varía normalmente entre 0,01 y 20 mm. Este tipo de textura es la que presenta longitudes de onda del mismo orden que los dibujos del neumático.

2.2.1.2 Características que debe reunir la textura

Desde un punto de vista global la textura debe reunir las siguientes características. Debe ser homogénea tanto en sentido longitudinal como en sentido transversal al sentido de avance de los vehículos.

Cuanto mayor sea el valor de la microtextura mayor y mejor adherencia entre las llantas y la superficie. Por el contrario se produce un mayor desgaste de los neumáticos.

Cuanto mayor sea el valor de la macrotextura mejor capacidad de evacuación de agua en la interface neumático pavimento, por contra las texturas elevadas suelen ser más ruidosas. Se trata de una disfunción entre una característica deseada (la elevada capacidad de drenaje) y una característica añadida (el mayor

nivel de ruido) para conseguir aquélla. Este efecto contrario se está tratando de compensar con mezclas de granulometría discontinua, principalmente las mezclas porosas cuyo elevado contenido de huecos junto con su elevada macrotextura negativa, permite una rodadura sin formación de película de agua en la superficie y además muy silenciosa, porque el sonido puede “salir” hacia abajo. Por el contrario los inconvenientes están motivados por el coste, la duración y la dificultad de mantenimiento y de rehabilitación de este tipo de capas.

En resumen la textura debe ser:

- Elevada para permitir la evacuación del agua en a interface llanta-camino.
- Debe ser pequeña para proporcionar un menor nivel de ruido.
- Debe ser homogénea para ofrecer en toda la superficie la misma capacidad de evacuación.

El Hidroplaneo se puede considerar como uno de los fenómenos que más pueden afectar a los usuarios. El hidroplaneo está esencialmente asociado a la macrotextura del pavimento. Ocurre cuando una película de agua separa la rueda de la superficie de la carretera. Este fenómeno depende de la velocidad y peso del vehículo, de las características y estado de los neumáticos, de la macrotextura y del espesor de agua en el pavimento. Aunque son muchas las variables que intervienen, la fundamental es la presencia de agua en el pavimento con una profundidad crítica. Por tanto, el potencial de riesgo de una sección de carretera al hidroplaneo viene determinado por la existencia de Profundidades críticas que suelen ocurrir durante inundaciones y lluvia intensas repentinas.



Figura 2. Auto Evaluando el Hidroplaneo

El hidroplaneo es la separación entre el neumático y el pavimento producida por la presión del agua existente debajo de la rueda. El tanto por ciento de hidroplaneo viene dado por la relación:

$$\% \text{ hidroplaneo} = \frac{\text{area dinamica de la huella}}{\text{area estatica de la huella}}$$

El riesgo de hidroplaneo de cada tramo de carretera se determina estudiando la topografía del pavimento: su geometría (radio y pendiente), el peralte y **la macrotextura** que determinan la capacidad del mismo para evacuar el agua. El espesor de película de agua sobre el pavimento es función directa de la cantidad de agua, de la intensidad y duración de la precipitación (lluvia torrencial repentina) e inversa de la capacidad de drenaje del pavimento. La capacidad de evacuación de un pavimento se reparte entre: el drenaje por infiltración (drenaje a través del pavimento) y el drenaje por escorrentía (agua que escurre longitudinal y transversalmente hacia la berma). En casi todos los tipos de pavimento el agua infiltrada es mínima, excepto en los

diseñados específicamente para infiltraciones elevadas (mezclas porosas). El drenaje por infiltración depende de la **macrotextura** del pavimento (valor que también afecta al drenaje de escorrentía), de las pendientes longitudinal y transversal y de las depresiones de la superficie que forman valles que disminuyen o impiden el drenaje normal.

La figura siguiente representa las tres zonas que se crean entre el neumático y pavimento en presencia de agua. La Zona A representa la zona frontal del contacto en el sentido de avance es la zona donde la presión hidrodinámica es lo suficientemente elevada para conseguir la separación completa del neumático y el pavimento. La zona B representa la parte del neumático donde la tensión del agua se ha disipado pero donde todavía existe una pequeña película de agua que separa parcialmente el neumático de la superficie del pavimento. En la zona C la barrera de agua ha sido atravesada y se desarrollan plenamente las fuerzas de

Rozamiento. En situación de hidropneumático total toda la superficie es de tipo A.

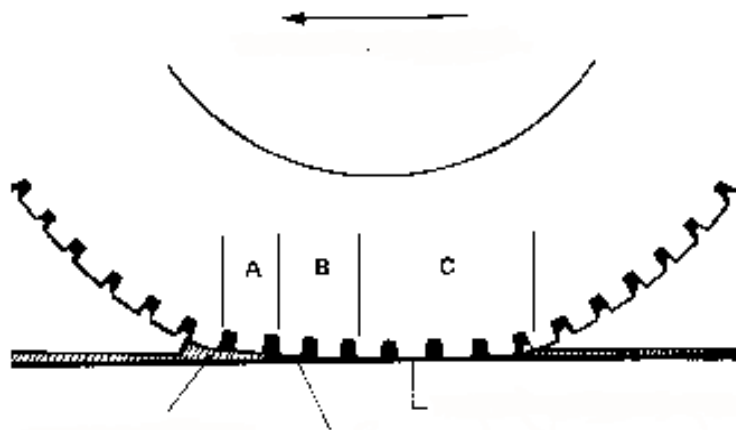


Figura 3. Zonas de Contacto Llanta-Camino

Estudios americanos indican que la altura de agua encontrada en carreteras bien drenadas son generalmente inferiores a 1 milímetro. Películas de agua entre 1 y 2 milímetros pueden ocasionarse en los cinco primeros minutos de lluvias

intensas. Profundidades entre 2 y 4 milímetros suceden en precipitaciones de tipo tormentoso torrencial. Aunque en este tipo de lluvias se reduce mucho la velocidad por razones de visibilidad. Teniendo en cuenta lo anterior los estudios de hidropneumático se realizan para películas de agua de 2 milímetros.

Las dos fotos siguientes muestran la huella de un neumático a sobre una película de agua de 2 milímetros, circulando a 3 kilómetros por hora y a 100 kilómetros por hora.

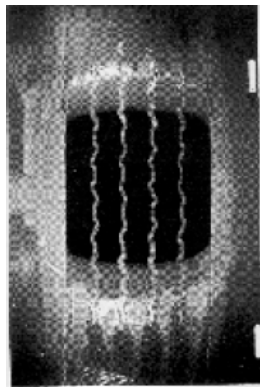


Figura 4. Huella a 3 km/h



Figura 5. Huella a 100 km/h

2.3 MEDIDA DE LA TEXTURA DE LOS PAVIMENTOS

Durante muchos años se ha descrito la textura de la superficie a partir del resultado del método del círculo de arena. El resultado del círculo de arena se obtiene depositando una determinada cantidad de arena sobre el pavimento y dividiendo el volumen (predeterminado) entre el área de pavimento (medida) cubierta por la arena; el valor que representa la profundidad media de arena se define como la **macrotextura**.

La norma ISO 13473 describe cómo determinar la Profundidad de Medida de

Perfil (MPD) como la profundidad media de la macrotextura de la superficie del pavimento con la medición de una curva de perfil.

Teniendo en cuenta que el estudio considera principalmente la macrotextura, a continuación se desarrolla con mayor profundidad este parámetro.

2.3.1 Medida de macrotextura

La macrotextura es un atributo global del pavimento por lo que interesa su determinación de manera continua y no con ensayos puntuales lentos y costosos. Por ello los equipos de auscultación de tipo perfilométrico disponen de formas de medir la textura y el mayor problema que se suscita es la correspondencia con el valor **MTD** (mancha de arena) que es la más conocida y de más fácil interpretación por los ingenieros. El valor que obtienen es conveniente convertirlo, mediante estudios generales o particulares de correlación, al valor **MTD**. El *“Experimento Internacional de Comparación y armonización de las medidas de Textura y Resistencia al Deslizamiento”* (1995) permitió a los equipos participantes obtener correlaciones entre el parámetro obtenido por el equipo y la **MTD**.

Las limitaciones del ensayo de la mancha de arena (realizada con grasa en pavimentos de aeropuertos) y la evolución de las técnicas de medida de la textura especialmente con sensores láser de alta intensidad de muestreo (hasta 64 kHz) y rayo muy fino (< de 0.5 mm) han originado un interés creciente por mejorar cuantitativa y cualitativamente la medida de la textura.

Los ensayos con equipos de este tipo permiten obtener un perfil muy preciso y “fino” del pavimento que se debe analizar con criterios estadísticos lo que ha permitido definir nuevos índices de medida y valoración de la textura.

Los equipos deben obtener información fiable y precisa sobre el estado del pavimento. Para asegurar las medidas de cada característica que varía con la distancia, hay que recoger y tratar los datos recogidos. Para cada característica se usan distintos tipos de datos que se resumen en indicadores que se interpretan de manera diferente. A este respecto el citado Experimento Internacional constituyó un importante evento para consolidar definiciones y criterios de medida de la textura.

Además recientemente se ha aprobado la norma *ISO/CD13473/97 Characterization of pavement texture by use of surface profiles -- Part 1: Determination of Mean Profile Depth* donde se define la textura por medio de un índice denominado Profundidad Media del Perfil. MPD (Mean Profile Depth). Existe buena correlación entre el valor MPD y el valor de mancha de arena MTD. (Mean Texture Depth).

2.3.2 Texturómetro láser:

Este método es más sofisticado que el siguiente y consigue unos mejores rendimientos. Se fundamenta en la emisión de un rayo láser que toca la superficie del firme y se refleja en un potenciómetro óptico, pudiendo obtenerse la altura de reflexión en función de la zona de incidencia del rayo reflejado. Suele montarse conjuntamente con el aparato SCRIM, consiguiendo una lectura continua a lo largo de todo el tramo analizado.

2.3.3 Ensayo de mancha de arena o círculo de arena

La forma más antigua y conocida de valorar la textura de un pavimento ha sido, y aun sigue siendo, con el Ensayo de la Mancha o Círculo de Arena. Técnicamente se debe decir que el ensayo determina la macrotextura.



Figura 6. Ensayo Mancha de Arena

Se trata de un ensayo puntual que determina la profundidad (en milímetros de la textura) valorada como cociente entre el volumen conocido de una arena muy fina y homogénea, de grano con diámetro comprendido entre 0.17 y 0.25 milímetros (como valor medio se adopta 0.2 mm), que se extiende en el pavimento en una área sensiblemente circular, cuyo radio se mide. El cociente entre el volumen conocido y el área del círculo (medida) determina la altura o profundidad de la macrotextura del pavimento. A ese valor generalmente comprendido en una banda que va de 0.3-0.4mm se le llama altura de la mancha de arena, (actualmente y según la definición anterior se debe designar por las siglas MTD) que define la profundidad de la textura del pavimento.

- El valor está muy ligado al tipo de pavimento que se construya. Así por ejemplo los tratamientos superficiales y los pavimentos de hormigón presentan valores de textura mayores que las mezclas bituminosas, y para éstas, el tipo de mezcla y el tamaño máximo del árido empleado definen

una banda de valores de textura bastante amplia.

- El ensayo es útil para valores de textura superiores a 0.25 mm y se debe llevar a cabo con el pavimento seco y limpio, y en días sin viento.
- Cuando se trata de determinar el nivel de cumplimiento de la especificación de textura de un pavimento nuevo, el ensayo se debe realizar antes de la apertura al tráfico.
- El ensayo está normalizado en la mayoría de los países y es uno de los pocos que se aplican tanto en el continente europeo como en los Estados Unidos de América (USA). En España se describe en la Norma *NLT-335/87*
- En cualquier caso se trata de un ensayo lento que requiere dos personas y cortar el tráfico si se realiza en carretera abierta. También es difícil garantizar la homogeneidad de la arena que se utiliza lo que puede producir errores de apreciación del valor de textura.

La tabla siguiente presenta una orientación de las características de textura de diferentes tipos genéricos de pavimentos.

Tabla 3. Características según el Tipo de Pavimento

TIPO DE PAVIMENTO	CARACTERÍSTICAS
PAVIMENTOS DE HORMIGON	GENERALMENTE DE TEXURA ELEVADA - RUIDOSOS
TRATAMIENTO SUPERFICIAL	ELEVADA TEXTURA - RUIDOSOS
LECHADA BITUMINOSA	LA TEXTURA ES GRADUABLE SEGÚN EL TIPO DE LECHADA
MEZCLAS BITUMINOSAS	TEXTURA SEGÚN TAMAÑO MAXIMO DEL ARIDO EMPLEADO Y DEL TIPO DE MEZCLA
MEZCLAS POROSAS	ELEVADA TEXTURA NEGATIVA - SILENCIOSA

Tabla 4. Textura mínima para diferentes tipos de Lechada

CARACTERISTICA	TIPO DE LECHADA			
	LA-1	LA-2	LA-3	LA-4
Profundidad de textura (mm)	1,1	0,9	0,7	0,5

2.4 MICROAGLOMERADOS

2.4.1 Definición

El microaglomerado o micropavimento es un sistema de pavimentación compuesto por una emulsión de asfalto modificada con un polímero, agregado 100% triturado, agua y aditivos en campo si son necesarios,.

Es aplicado sobre la estructura del pavimento de forma superficial y delgada. Esta capa es aproximadamente de 10 a 13 mm de espesor.

2.4.2 Características de los materiales que lo componen

2.4.2.1 Emulsion modificada con polimero

Haciendo un poco de historia, los asfaltos modificados se utilizaron primero en las emulsiones para impermeabilizantes y después se empezaron a utilizar en la pavimentación; en riegos como tratamientos superficiales en frío, y posteriormente se empezó a modificar el asfalto para utilizarse cuando se requería un asfalto de mejor calidad o mayor resistencia que la que ofrecía un asfalto normal.

Ha sido utilizado en:

- **Europa:** mediados de los 70
- **USA:** en 1980
- **Chile:** se utilizó por primera vez en 1991 en el mantenimiento de la carretera el cobre.

2.4.2.1.1 Definición

Los materiales asfálticos modificados son el producto de la disolución o incorporación en el asfalto, de un polímero o de hule molido de neumáticos, que son sustancias estables en el tiempo y a cambios de temperatura, que se le añaden al material asfáltico para modificar sus propiedades físicas y disminuir su susceptibilidad a la temperatura y a la humedad, así como a la oxidación.

Los modificadores producen una actividad superficial iónica, que incrementa la adherencia en la interfase entre el material pétreo y el material asfáltico, conservándola aun en presencia del agua. También aumentan la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y a los esfuerzos de tensión

repetidos y por lo tanto a la fatiga y reducen el agrietamiento, así como la susceptibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de temperatura. Estos modificadores por lo general se aplican directamente al material asfáltico, antes de mezclarlo con el material pétreo.

En determinadas zonas o para ciertas aplicaciones, pueden necesitarse pavimentos de alto rendimiento, debido a:

- Incremento de tráfico
- Cargas por eje más pesadas
- Mayores presiones de neumáticos
- Mayores esfuerzos en capas superficiales
- Reducidos costes de construcción de carreteras
- Menor mantenimiento
- Capas más delgadas
- Larga duración

Además, y gracias a sus mejores características, los microaglomerados pueden añadir oportunidades para la realización de superficies más respetuosas con el medio ambiente.

Como consecuencia, los polímeros están jugando un papel de importancia creciente en la industria del asfalto y constituyen los modificadores de emulsiones más avanzados

2.4.2.1.2 Definición de polímetro

Los polímeros son sustancias de alto peso molecular formada por la unión de ciento de miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros (compuestos químicos con moléculas simples). Se forman así moléculas gigantes que toman formas diversas: cadenas en forma de escalera, cadenas unidas o termo fijas que

no pueden ablandarse al ser calentada, cadenas largas y sueltas.

2.4.2.1.3 Mecanismo modificador

Los principales modificadores utilizados en los materiales asfálticos son:

- **POLÍMERO TIPO I:** Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto a altas como a bajas temperaturas. Es fabricado con base en bloques de estireno, en polímeros elastoméricos radiales de tipo bibloque o tribloque, mediante configuraciones como Estireno-Butadieno-Estireno (SBS) o Estireno-Butadieno (SB), entre otras. Se utiliza en mezclas asfálticas para carpetas delgadas y carpetas estructurales de pavimentos, con elevados índices de tránsito y de vehículos pesados, en climas fríos y cálidos, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

- **POLÍMERO TIPO II:** Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas a bajas temperaturas. Es fabricado con base en polímeros elastoméricos lineales, mediante una configuración de caucho de Estireno, Butadieno-Látex o Neopreno-Látex. Se utiliza en todo tipo de mezclas asfálticas para pavimentos en los que se requiera mejorar su comportamiento de servicio, en climas fríos y templados, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

- **POLÍMERO TIPO III:** Es un modificador de asfaltos que mejora la resistencia a las roderas de las mezclas asfálticas, disminuye la susceptibilidad del cemento asfáltico a la temperatura y mejora su comportamiento a altas temperaturas. Es fabricado con base en un polímero de tipo elastómero, mediante configuraciones como Etil-Vinil-Acetato (EVA) o polietileno de alta o baja densidad, entre otras. Se utiliza en climas calientes, en mezclas asfálticas para carpetas

estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

- **HULE MOLIDO DE NEUMÁTICOS:**

Es un modificador de asfaltos que mejora la flexibilidad y resistencia a la tensión de las mezclas asfálticas, reduciendo la aparición de grietas por fatiga o por cambios de temperatura. Es fabricado con base en el producto de la molienda de neumáticos. Se utiliza en carpetas delgadas de granulometría abierta, tratamientos superficiales.

El Ligante Asfáltico y las propiedades de la mezcla pueden ser diseñadas eligiendo el polímero correcto para determinada aplicación, y asegurándose que es compatible con el asfalto base. En general, se eligen elastómeros para proporcionar una mayor resiliencia, y flexibilidad al pavimento, mientras que los resultados con los elastómeros generan una mezcla de alta estabilidad y rigidez. Los resultados obtenidos de un proceso de modificación de asfalto dependen altamente de la concentración, peso molecular, composición química y orientación molecular del polímero, así como, de la fuente del crudo, del proceso de refinación y del grado del asfalto que se utiliza.

2.4.2.1.4 Efectos de los polímeros en las propiedades de la emulsión

- Disminución de la susceptibilidad térmica, produciendo:
- Incremento de la rigidez a elevadas temperaturas en la carretera (reduciendo la deformación permanente)
- Disminución de rigidez a bajas temperaturas del pavimento (disminuyen fisuración)
- Disminución de la deformación de las losas de asfalto al paso de las llantas.

- Mejora las propiedades a bajas temperaturas
- Mejora la cohesión

2.4.2.1.5 Compatibilidad emulsión/polímero

- La compatibilidad Emulsión/Polímero puede variar ampliamente, dependiendo de la composición química de la emulsión y del polímero en particular.
- La compatibilidad de un polímero con una emulsión no implica que el betún sea compatible con otros tipos de polímero.

2.4.2.1.6 Comparación entre superficies tradicionales, microaglomerados y tratamiento superficial

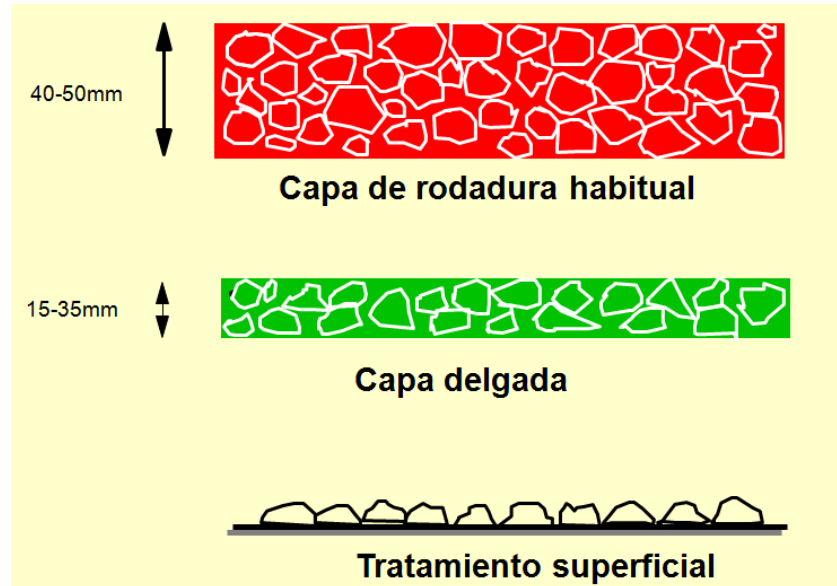


Figura 7. Comparación de alturas entre capas de rodadura

Comparación (1)

Tabla 5. Comparación 1 entre Superficie Tradicional, Microaglomerados y Tratamiento superficial

SUPERFICIE TRADICIONAL	MICROAGLOMERADOS	TRATAMIENTO SUPERFICIAL
Gran uso de materiales de calidad	Uso medio de materiales de calidad	Bajo uso de materiales de calidad
Buena capacidad para regularizar	Capacidad para regularizar	Incapacidad de regularizar
Capacidad estructural	Alguna capacidad estructural	Ninguna capacidad estructural
Proceso de extendido relativamente lento	Proceso de extendido relativamente rápido	Proceso rápido

Comparación (2)

Tabla 6. Comparación 2 entre Superficie Tradicional, Microaglomerados y Tratamiento superficial

SUPERFICIE TRADICIONAL	MICROAGLOMERADOS	TRATAMIENTO SUPERFICIAL
No requiere cuidado inicial	No requiere cuidado inicial	Requiere cuidado inicial para minimizar perdidas de material
Puede diseñarse silencioso y resistente a fatiga y deslizamiento	Puede diseñarse silencioso y resistente a fatiga y deslizamiento	Resistente al deslizamiento, ruidoso
Vida media 10 - 20 años	Vida media 8 - 10 años	Vida media 3 - 7 años

2.4.2.2 Agregados

Los agregados (excluyendo el relleno mineral) constituyen aproximadamente entre el 82 y 90 % del peso del microaglomerado, dependiendo de la gradación y aplicación de los agregados y tienen una influencia fuerte sobre el desempeño del microaglomerado. Para mejores resultados, los agregados deberán ser 100 % triturados, limpios, fuertes y partículas durables libres de materiales químicos, arcillas u otro tipo de material que haya sido absorbido y que pueda afectar la unión, en el mezclado y la construcción.

Preferiblemente el agregado triturado deberá ser angular y no tener demasiadas partículas planas o elongadas.

Gradaciones del agregado y otros componentes de la mezcla, requeridos en muchos países, siguen generalmente las recomendaciones de *la International Slurry Surfacing Association (ISSA)*, con menores variaciones.

2.4.2.2.1 Selección del agregado

Los agregados para microaglomerados deben ser de alta calidad. Diferentes tipos de agregados han sido usados exitosamente, entre los que se incluyen:

»Calizas, cenizas volantes, silicato, granito, diabase, basalto, cenizas, chert, arenisca, riolita, grava triturada, quartzita

2.4.2.3 Agua

El agua es el medio de mezclado para el microaglomerado. Es el principal factor determinante en la consistencia de la mezcla. Es introducido de tres maneras: como humedad presente en el agregado, como agua de mezclado y como uno de los dos principales constituyentes de la emulsión. Toda el agua potable puede ser

utilizada en el microaglomerado. Normalmente la calidad del agua no es tan importante como la cantidad.

Dependiendo de las condiciones climatológicas y de la tasa de absorción de los agregados, buenas muestras de microaglomerados pueden ser adecuadas sobre un rango límite del contenido total de humedad, típicamente de 4 a 12 % de peso del agregado seco. Cantidades pequeñas de agua de mezclado son utilizadas en climas fríos y cantidades más grandes se utilizan en climas calientes. Las mezclas que contengan una baja humedad pueden ser demasiado rígidas para esparcir, y habrá una pobre adhesión al pavimento existente. Por otra parte, las mezclas que contengan más del 12 % de agua, pueden volverse demasiado fluidas y segregarse. Lo que se evidencia en el asentamiento del agregado y la flotación del asfalto.

2.4.2 Requerimientos

- Trabajable en grosores de 1.5 a 4cm
- Impermeabilidad para proteger las capas inferiores (a no ser que sea pavimento drenante)
- Resistencia a la deformación permanente
- Resistencia a las fisuración por bajas temperaturas
- Resistencia a la fatiga
- Textura áspera y resistencia al deslizamiento
- Regularidad y comodidad de rodadura
- Longevidad y economía

2.4.3 Fabricación y extendido

- Cambios mínimos en los procesos de fabricación
- Transporte al tajo de obra en camiones normales
- Puede extenderse usando maquinaria convencional

- Procedimientos de compactación habituales
- Extendido más rápido que en capas de espesor normal
- La carretera puede abrirse al tráfico en 30 minutos

2.4.4 Ventajas

- Restaura la resistencia al deslizamiento y proporciona mayor regularidad
- Dependiendo del tipo de mezcla elegido, puede producir una reducción de los niveles acústicos y las salpicaduras
- Mejora las características superficiales de textura y resistencia al deslizamiento
- Puede extenderse minimizando las molestias al tráfico
- Proporciona una buena regularidad longitudinal y comodidad para la conducción
- No tiene problemas de pérdida de materiales (a diferencia de los tratamientos superficiales) y reduce la necesidad de áridos de gran calidad (a diferencia de las mezclas convencionales)
- Puede superponerse tanto sobre mezclas bituminosas como sobre hormigón.

2.4.5 Precauciones

2.4.5.1 LAS CAPAS DELGADAS DEBEN:

- Extenderse sobre capas estructuralmente sanas
- Extenderse con un buen tratamiento de adherencia

2.4.5.2 DEBE EVITARSE:

- Su aplicación en zonas sometidas a elevados esfuerzos
- Su extendido en condiciones meteorológicas adversas

3. METODOLOGÍA.

A Continuación se presenta la forma en la que se procedió a desarrollar el estudio de la macrotextura de las superficies viales construidas en la región y de las capas que se pudieren emplear para aumentar su valor.

3.1 FASE 2: CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

Actividad 1

Búsqueda de los materiales necesarios para la realización de las mezclas asfálticas en frío, obteniendo un agregado proveniente del río Pescadero ubicado en el Cañón del Chicamocha en Santander. Este material se encuentra certificado, cumpliendo de esta forma con las características aconsejadas para este tipo de mezclas.

Debido a que las mezclas se preparan en el laboratorio de manera manual se utiliza una emulsión llamada Slurry Seal bajo referencia de clasificación MPI CRL-1hm, esta es una emulsión elaborada con asfalto modificado con polímero como lo indica la denominación “m” y de rompimiento lento de características superestables. Se usa dicha emulsión generalmente para la elaboración de lechadas asfálticas y microaglomerados en frío. La Slurry Seal la proporciona Manufacturas y Procesos Industriales Ltda. Especialistas en Asfaltos (MPI Ltda.) Si se utilizara una emulsión de rompimiento rápido se tendrían inconvenientes.

3.2 FASE 3: DISEÑO DE MEZCLAS

Actividad 1

Considerando la norma del Instituto Nacional de Vías INVIAS Art 433-07 y la International Slurry Surfacing Association, se toman las dosificaciones recomendadas en dichos artículos ISSA

INVIAS Art 433-07

Gradaciones del agregado para lechadas asfálticas

Tabla 7. Tabla de Gradación del agregado para una LECHADA ASFÁLTICA

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA							
Normal	Alterno	LA-1		LA-2		LA-3		LA-4	
		<u>A</u>	<u>B</u>	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>A</u>	<u>B</u>
12.5 mm	1/2"	100	100	-	-	-	-	-	-
9.5 mm	3/8"	85	100	100	100	100	100	-	-
4.75 mm	No.4	60	85	70	90	85	100	100	100
2.36 mm	No.8	40	60	45	70	65	90	95	100
1.18 mm	No.16	28	45	28	50	45	70	65	90
600 µm	No.30	19	34	19	34	30	50	40	60
300 µm	No.50	12	25	12	25	18	30	24	42
180 µm	No.100	7	18	7	18	10	20	15	30
75 µm	No.200	4	8	5	11	5	15	10	20

Composición de las lechadas asfálticas

Tabla 8. Composición de las LECHADAS ASFÁLTICAS

TIPO DE AGREGADO	LA-1	LA-2	LA-3	LA-4
Ligante residual (% en peso sobre agregados)	5.5 - 7.5	6.5 - 12	7 - 13	10 - 15
Agua de preenvuelta (% en peso sobre agregados)	8 - 12	10 - 15	10 - 15	10 - 20
Agua total (% en peso sobre agregados)	10 - 20	10 - 20	10 - 20	10 - 30
Cantidad de lechada (Kg/m ²)	15 - 20	10 - 15	7 - 12	4 - 8
Capa en que se aplica	2 ó única		Cualquiera	1 ó única

ISSA

Gradaciones del agregado para SLURRY SEAL

Tabla 9. Tabla de Gradación del agregado para una SLURRY SEAL

Medida de Tamiz	TIPO II		TIPO III		Acopio	
	% pasante		% pasante			
	A	B	A	B		
3/8"	9.5 mm	100	100	100	100	± 5 %
#4	4.75 mm	90	100	70	90	± 5 %
#8	2.36 mm	65	90	45	70	± 5 %
#16	1.18 mm	45	70	28	50	± 5 %
#30	600 µm	30	50	19	34	± 5 %
#50	330 µm	18	30	12	25	± 5 %
#100	150 µm	10	21	7	18	± 5 %
#200	75 µm	5	15	5	15	± 5 %

Composición de las SLURRY SEAL

Tabla 10. Composición de las SLURRY SEAL

	<u>Tasa de aplicación sugerida</u>	
TIPO II	Calles urbanas y residenciales Pistas de aterrizaje	5.4 18.6 Kg/m ²
TIPO III	Rutas primarias e interestatales Bacheo	8.1 16.2 Kg/m ²

Basados en las tablas presentadas se realizan varias muestras de capas de rodadura utilizando diferentes porcentajes de agregado, emulsión y agua recomendados en cada una de ellas.

Las muestras elaboradas tienen un área de 784 cm² (molde de 28x28 cm), con esta área superficial se calcula la dosificación de los agregados y con el peso de estos se obtiene la cantidad de emulsión y agua necesarias para la muestra.

De la siguiente manera:

Diseño de lechada asfáltica tipo LA-1 A

Con el área de la muestra calculamos el peso de agregado necesario para la mezcla. Así de la **Tabla 6. Tabla de Gradación del agregado para una LECHADA ASFÁLTICA** se obtiene cuantos kilogramos de agregado por metro cuadrado se deben tener para la lechada asfáltica, este valor se encuentra entre 15-20 Kg/m², para esta muestra se toma un valor medio de 17 Kg/m², ya con este valor definido se obtiene el peso del agregado usando la siguiente ecuación:

*peso de agregado = area de la probeta * cantidad de agregado por metro cuadrado*

$$peso\ de\ agrgado = 0,0784m^2 \times \frac{17Kg}{m^2}$$

$$peso\ de\ agrgado = 1,3328Kg$$

Este es el peso total de agregado que tiene la muestra, con este valor obtenemos la gradación deseada, hallando el porcentaje de granos por cada diámetro requerido.

Para esta muestra los diámetros requeridos por cada tamaño de tamiz son los siguientes:

Tabla 11. Gradación para una LECHADA ASFALTICA LA-1

Tamaño Tamiz	% Retenido	
	LA-1	
	<u>A</u>	<u>B</u>
3/8"	15	0
# 4	25	15
# 8	20	25
# 16	12	15
# 30	9	11
# 50	7	9
# 100	5	7
# 200	3	10
Pasa 200	4	8

Teniendo estos diámetros y el porcentaje de retenidos en cada uno de los tamices hallamos el peso requerido por tamiz.

Tabla 12. Cantidad de material por tamiz

cantidad de material a pesar en cada tamiz		
<u>A</u>	<u>B</u>	
0,19992	0	Kg
0,3332	0,19992	
0,26656	0,3332	
0,159936	0,19992	
0,119952	0,146608	
0,093296	0,119952	
0,06664	0,093296	
0,039984	0,13328	
0,053312	0,106624	

Ahora se calcula el peso requerido de emulsión, en **Tabla 7. Composición de las LECHADAS ASFÁLTICAS** se lee que para este tipo de emulsión se requiere un porcentaje en peso del agregado de 6,5 a 12%, para este caso se toma un valor medio de 9%

$$\text{contenido de emulsion} = \% \text{ en peso del agregado} * \text{peso total de agregado}$$

$$\text{contenido de emulsion} = 0,09 * 1,3328\text{Kg}$$

$$\text{contenido de emulsion} = 0,119952\text{Kg}$$

Para el contenido de agua se maneja igual, se obtiene de la **Tabla 7. Composición de las LECHADAS ASFÁLTICAS** el rango requerido para la mezcla que es de 10 a 20 de porcentaje en peso del agregado, aquí se utiliza uno

del 15%

*contenido de agua = % en peso del agregado * peso total de agregado*

*contenido de emulsion = 0.15 * 1,3328Kg*

contenido de emulsion = 0,19992Kg

Después de tener todo lo anterior con la mayor precisión posible, se mezcla en un recipiente adecuado hasta obtener una solución homogénea, luego se vertiera sobre el molde mencionado anteriormente, con el fin de lograr una capa de rodadura uniforme se fabrico un rodillo con el cual fue más fácil expandir y compactar la muestra.

Lo anterior fue un cálculo tipo para una Lechada asfáltica LA-1 A, el resto de los cálculos se mostraran en tablas ubicadas en el Anexo 1

PRUBAS DE LABORATORIO



Figura 8. Tamizado

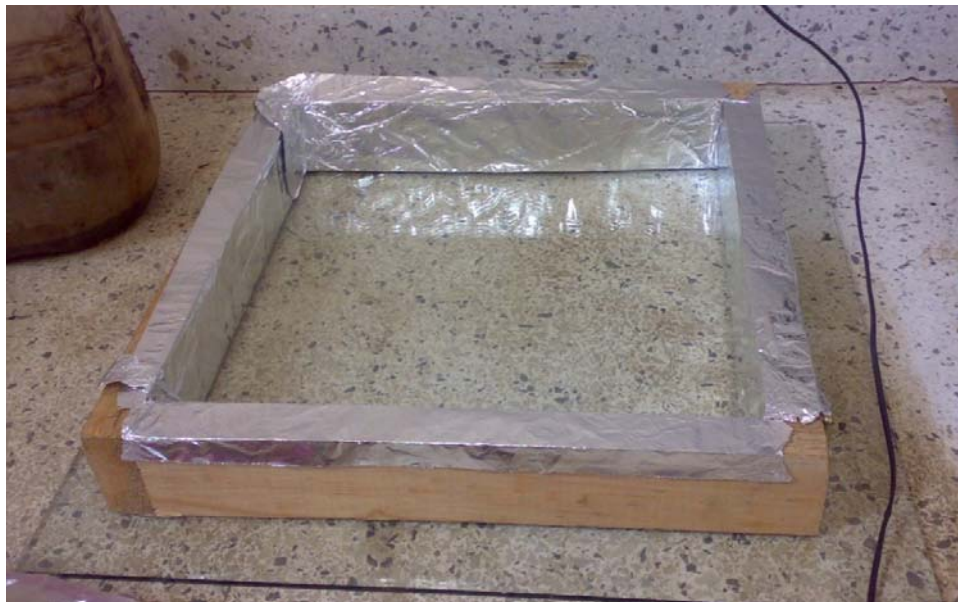


Figura 9. Molde para las Mezclas



Figura 10. Pesado de Materiales



Figura 11. Mezclado de Materiales



Figura 12. Colocación de la Mezcla en el Molde



Figura 13. Compactación Manual de la Mezcla



Figura 14. Diámetro de Arena



Figura 15. Muestras con diferentes Gradaciones

3.3 FASE 4: MEDIDA DE MACROTEXTURA EN PAVIMENTOS EXISTENTES

Se seleccionaron diferentes sitios en carreteras dentro y fuera del casco urbano de Bucaramanga, donde se evaluó la textura con la Mancha de Arena o Diámetro de Arena. Este ensayo consiste en extender un volumen conocido de arena de un diámetro de grano específico, sobre cada muestra y esparcirla con un elemento plano, al esparcirla se busca que de una figura conocida, con el fin de poder medir su área, al dividir el volumen por el área obtenemos un valor correspondiente a la textura de dicha mezcla de pavimento.

Estas pruebas fueron realizadas en laboratorio y otras en campo, en los alrededores y casco urbano de la ciudad.

PRUEBAS DE CAMPO VÍA BUCARAMANGA – SAN ALBERTO

TRAMO I DE VÍA

Primera Toma



Figura 16. Diámetro de Arena Tramo I primera toma

Segunda Toma



Figura 17. Diámetro de Arena Tramo I segunda toma

Tercera Toma



Figura 18. Diámetro de Arena Tramo I tercera toma

TRAMO II DE VÍA

Primera Toma



Figura 19. Diámetro de Arena Tramo II primera toma

Segunda Toma



Figura 20. Diámetro de Arena Tramo II segunda toma

Tercera Toma



Figura 21. Diámetro de Arena Tramo II tercera toma

PRUEBA DE CAMPO BUCARAMANGA

VÌA DEL PARQUE ROMERO



Figura 22. Diámetro de Arena PARQUE ROMERO

PRUEBA DE CAMPO GIRON

VÌA GIRON-FLORIDABLANCA, ZONA DANA TRANS EJES



Figura 23. Diámetro de Arena DANA TRANS EJES

PRUEBA DE CAMPO FLORIDA

VÌA ANTIGUA FLORIDABLANCA-BUCARAMANGA, ZONA JARDÍN BOTÁNICO



Figura 24. Diámetro de Arena JARDÍN BOTÁNICO

4. RESULTADOS

Después evaluar todas las muestras de laboratorio y de campo con la prueba de mancha de arena se o diámetro de arena se obtuvieron los siguientes resultados:

4.1 PRUEBAS DE LABORATORIO PARA MEZCLAS CON LECHADA ASFALTICA

	<u>A</u>			<u>B</u>		
LA - 1	Altura Mancha de Arena	0,063 0,636	cm mm	Altura Mancha de Arena	0,113 1,131	cm mm
LA - 2	Altura Mancha de Arena	0,044 0,440	cm mm	Altura Mancha de Arena	0,039 0,392	cm mm
LA - 3	Altura Mancha de Arena	0,049 0,497	cm mm	Altura Mancha de Arena	0,046 0,467	cm mm
LA - 4	Altura Mancha de Arena	0,069 0,698	cm mm	Altura Mancha de Arena	0,044 0,440	cm mm

4.2 PRUEBAS DE LABORATORIO PARA MEZCLAS CON SLURRY SEAL

	<u>A</u>			<u>B</u>		
Tipo I	Altura Mancha de Arena	0,259 2,598	cm mm	Altura Mancha de Arena	0,037 0,372	cm mm
Tipo II	Altura Mancha de Arena	0,044 0,442	cm mm	Altura Mancha de Arena	0,031 0,318	cm mm
Tipo III	Altura Mancha de Arena	0,056 0,565	cm mm	Altura Mancha de Arena	0,026 0,263	cm mm

4.3 PRUEBAS DE CAMPO ENSAYO MANCHA DE ARENA

Primer tramo de carretera vía San Alberto	Altura Mancha de Arena	0,058 0,585	cm mm
	Altura Mancha de Arena	0,046 0,467	cm mm
	Altura Mancha de Arena	0,049 0,497	cm mm
Segundo tramo de carretera vía San Alberto	Altura Mancha de Arena	0,035 0,352	cm mm
	Altura Mancha de Arena	0,031 0,318	cm mm
	Altura Mancha de Arena	0,035 0,352	cm mm
Zona del Parque García Rovira (Bucaramanga)	Altura Mancha de Arena	0,030 0,305	cm mm
Zona Jardín Botánico (Floridablanca)	Altura Mancha de Arena	0,021 0,217	cm mm
Zona DANA Transejes (Girón)	Altura Mancha de Arena	0,035 0,352	cm mm
Floridablanca - Piedecuesta	Altura Mancha de Arena	0,016 0,167	cm mm

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Observando los resultados obtenidos en la prueba de mancha de arena y comparando estos con cada una de las muestras tanto en laboratorio como en campo podemos decir que en el laboratorio obtuvimos 4 muestras satisfactorias las cuales presentan buena adherencia y drenaje en la rodadura con respecto a las muestras en campo.

5.1 MUESTRAS DE LABORATORIO

Al realizar cada una de las muestras de laboratorio se tuvo en cuenta la calidad de los materiales escogidos para dichas muestras, cada probeta fue realizada con material proveniente del mismo lugar, en el caso del agregado el cual fue proporcionado por PREVESA, este material fue extraído del río pescadero ubicado en el Cañón del Chicamocha, este agregado y la arena están certificados y cumple con los estándares necesarios para obtener los resultados deseados. La emulsión proporcionada por MPI Ltda. También es confiable y cumple con los ensayos necesarios para una emulsión de este tipo y el agua utilizada puede ser cualquier tipo de agua potable lo importante es el control en el momento de agregarla a la mezcla.

Después de tener todos los materiales necesarios debidamente pesados se procedió a realizar las muestras, comprobando la cantidad de cada uno de los materiales usados en la mezcla. Gracias a este manejo cuidadoso se obtuvieron las mezclas deseadas como:

La Slurry Seal tipo II A: con una altura de 0,44 mm siendo esta la muestra con mayor diámetro y por esto con mayor altura de mancha de arena, teniendo buena adherencia en vías con velocidades bajas y cumpliendo de la misma forma con las

otras características que brida este tipo de mezcla como la resistencia, pero con una desventaja por gran adherencia, este tipo de mezcla hace que se desgaste más rápidamente las llantas del automotor.

La Slurry Seal tipo II B: esta mezcla presentó características favorables a la prueba de mancha de arena con una altura de 0.318 mm siendo satisfactoria y estando entre el rango recomendado anteriormente. Esta mezcla es una mezcla resistente y con todas la demás ventajas que presenta una capa de rodadura con microaglomerados, siendo también una capa drénate que evite el Hidroplaneo y el deslizamiento del vehículo en condiciones climáticas difíciles, mostrándose apta para ser utilizada en vías rápidas haciéndolas más seguras y confiables.

De esta forma también se obtuvo mezclas con una megatextura grande las cuales no son recomendables para ningún tipo de pavimentación como la Slurry Seal tipo III A: con una altura de 2.59 mm. Esta mezcla tiene una ventaja por su gran megatextura es una capa de rodadura drenante pero afecta significativamente la estructura del pavimento al facilitar el levantamiento de la capa de rodadura y haciendo a su vez la vía ruidosa e incómoda

5.2 MUESTRAS EN EL CASCO URBANO DE BUCARAMANGA

Estas muestras resultaron satisfactorias por estar dentro del casco urbano de Bucaramanga cumplieron con la macrotextura necesaria, haciendo la vi acomodada segura y duradera.

Las muestras tomadas en vías urbanas de Bucaramanga en la zona frente al Parque Gracia Rovira tenían una altura promedio de 0,306 mm (MDC-2). Las tomadas en la vía antigua de Floridablanca frente al jardín Botánico arrojaron un resultado más bajo con una altura de 0,217mm (MDC-3), siendo esta una vía urbana también es un resultado satisfactorio para la adherencia de la llanta con el

camino.

5.3 MUESTRAS EN LAS VÍAS INTERMUNICIPALES DE BUCARAMANGA (VÍAS RÁPIDAS)

En las vías intermunicipales de Bucaramanga se tomaron muestras en el anillo vial vía Girón-Cañaveral frente a DANA Transejes teniendo allí una altura de 0,35 mm (MDC-2) siendo una vía con una macrotextura apta para esta clase de vías rápidas pues tiene mayor adherencia con altas velocidades y también es un pavimento drenante que evita el deslizamiento logrado que la vía sea más segura.

En la vía entre Floridablanca y Piedecuesta se tomaron 3 muestras que promediando dieron un diámetro de 27,6 cm dando una altura de mancha de arena de 0,167 mm teniendo esta vía una textura demasiado lisa presento varios problemas de deslizamiento por lo que tuvieron que intervenir algunos tramos haciéndole una cortes para mejorar la textura del pavimento. Hay que tener en cuenta que esta es una de las vías más rápidas que se encuentran en Bucaramanga y su área metropolitana y por esto era una capa que no funcionaría como se había esperado.

5.4 MUESTRAS TOMADAS EN SAN ALBERTO (CESAR)

En esta vía se tomaron muestras en dos tramos uno recto y otra en una curva, en el tramo recto se hallaron los siguientes resultados; una altura de mancha de arena de 0,34 mm la cual esta apta para una vía como esta que maneja un tráfico a velocidades altas y necesita de un pavimento drenante para la época de invierno.

En la curva se obtuvo una altura promedio de 0,51 con una microtextura alta, lo cual dice que es un pavimento con microtextura apta para circular a altas velocidades y con un buen drenaje de pavimento.

CONCLUSIONES

De las pruebas realizadas a los pavimentos existentes se encontraron resultados de mancha o diámetro de arena que oscilan entre 0.16 a 0.58 mm, observando estos valores podemos concluir que la red vial evaluada tiene algunos tramos con muy baja macrotextura. Las capas de rodadura con mezcla densa en caliente tipo 3 (MTC -3) ofrecen valores muy bajo de mancha de arena.

La macrotextura de las vías existentes que presentan deficiencia, se podrían mejorar aplicando una capa de rodadura con microaglomerado para hacer de estas, vías más seguras.

Las mezclas con alto contenido de finos, arrojaron índices altos de macrotextura y las que tenían alto contenido de gravas arrojaron valores superiores, no aptos, debido a las consecuencias en la incomodidad del sonido y también en el fácil levantamiento de la capa de rodadura afectando así la estructura del pavimento.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en las vías existentes pavimentadas con asfalto tradicional y las pruebas con microaglomerado se concluye que tanto con microaglomerado como con asfalto tradicional se pueden obtener capas de rodadura con textura segura y cómoda.

BIBLIOGRAFIA

Juan Carlos Calle Carmona (2002). ÍNDICE DE SEGURIDAD INTERNACIONAL. En: Revista Universidad EAFIT.

Rodrigo Miró Recasens (2006). NUEVAS MEZCLAS PARA CAPAS DE RODADURA Y SU INFLUENCIA EN EL CONFORT (RUIDO) Y LA SEGURIDAD. En: Universidad Politécnica de Cataluña.

Vargas B. y Sergio. (2000). INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA DE LOS MICROAGLOMERADOS ASFÁLTICO EN FRIO Y DISCONTINUOS EN CALIENTE. En: Universidad de Chile.

KRAEMER, C. (1997): "Retrospectiva y actualidad de las mezclas drenantes". Congreso Europeo de Mezclas Drenantes. Madrid.

Rodrigo Miró Recasens. PAVIMENTOS DE BAJA SONORIDAD. En: Universidad Politécnica de Cataluña.

ANEXOS

ANEXOS A. CALCULOS DE CANTIDAD DE MATERIALES

DISEÑO DE MICROAGLOMERADOS

SLURRY SEAL

Tamaño Tamiz	% Retenido		Aplicación aproximada 3.25 a 5.4 kg/m ² 4,5 kg/m ²	cantidad de material a pesar en cada tamiz		
	Tipo I			A	B	
3/8"	0	0	Área de 0,0784 probeta	0	0	Kg
# 4	0	0		0	0	
# 8	10	0	Peso de la 0,3528 kg mezcla	0,0353	0	
# 16	25	10		0,0882	0,0353	
# 30	25	25		0,0882	0,0882	
# 50	15	23		0,0529	0,0811	
# 100	10	12		0,0353	0,0423	
# 200	5	10		0,0176	0,0353	
Pasa 200	10	20		0,0353	0,0706	
	100	100		0,3528	0,3528	

Contenido de Emulsión
10 a 16 de % en peso del agregado

13 %
Contenido tomado 0,0459 kg
45,864 gr

Agua Total
10 a 30 de % en peso del agregado

20 %
Contenido 0,07056 kg tomado
70,56 gr

Tamaño Tamiz	% Retenido Tipo II	
	A	B
3/8"	0	0
# 4	10	0
# 8	20	10
# 16	25	20
# 30	15	20
# 50	12	20
# 100	8	9
# 200	5	6
Pasa 200	5	15

100 100

Aplicación aproximada
5.4 a 8.1 kg/m²
7 kg/m²
Área de probeta 0,0784
Peso de la mezcla 0,5488 kg

cantidad de material a pesar en cada tamiz	
A	B
0	0
0,0549	0
0,1098	0,0549
0,1372	0,1098
0,0823	0,1098
0,0659	0,1098
0,0439	0,0494
0,0274	0,0329
0,0274	0,0823

0,5488 0,5488

Kg

Contenido de Emulsión
7.5 a 13.5 de % en peso del agregado

10 %
Contenido tomado 0,0549 kg
54,88 gr

Agua Total
10 a 20 de % en peso del agregado

15 %
Contenido tomado 0,08232 kg
82,32 gr

Tamaño Tamiz	% Retenido Tipo III	
	A	B
3/8"	0	0
# 4	30	10
# 8	25	20
# 16	17	20
# 30	9	16
# 50	7	9
# 100	5	7
# 200	2	3
Pasa 200	5	15

100 100

Aplicación aproximada
6.8 kg/m²
6,8 kg/m²
Área de probeta 0,0784
Peso de la mezcla 0,5331 kg

cantidad de material a pesar en cada tamiz	
A	B
0	0
0,1599	0,0533
0,1333	0,1066
0,0906	0,1066
0,0480	0,0853
0,0373	0,0480
0,0267	0,0373
0,0107	0,0160
0,0267	0,0800

Kg

0,53312 0,53312

Contenido de Emulsión
6.5 a 12 de % en peso del agregado

9 %
Contenido tomado 0,048 kg
47,981 gr

Agua Total
10 a 20 de % en peso del agregado

15 %
Contenido tomado 0,07997 kg
79,968 gr

Resultado Ensayo Mancha de Arena para Mezclas SLURRY SEAL

ENSAYO DE LA MANCHA DE ARENA

Tipo I					
<u>A</u>			<u>B</u>		
Volumen de arena	10	cm ³	Volumen de arena	10	cm ³
Diámetro de la arena	15	cm	Diámetro de la arena	22	cm
Área ocupada	176,714587	cm ²	Área ocupada	380,132711	cm ²
Volumen extendido / Área ocupada	0,05658842	cm	Volumen extendido / Área ocupada	0,0263066	cm
	0,56588424	mm		0,26306602	mm

Tipo II					
<u>A</u>			<u>B</u>		
Volumen de arena	20	cm ³	Volumen de arena	10	cm ³
Diámetro de la arena	24	cm	Diámetro de la arena	20	cm
Área ocupada	452,389342	cm ²	Área ocupada	314,159265	cm ²
Volumen	0,04420971	cm	Volumen	0,03183099	cm

extendido / Área ocupada	0,44209706	mm	extendido / Área ocupada	0,31830989	mm
-----------------------------	------------	----	-----------------------------	------------	----

Tipo III					
A			B		
Volumen de arena	10	cm ³	Volumen de arena	10	cm ³
Diámetro de la arena	7	cm	Diámetro de la arena	18,5	cm
Área ocupada	38,48451	cm ²	Área ocupada	268,802521	cm ²
Volumen extendido / Área ocupada	0,25984481	cm	Volumen extendido / Área ocupada	0,03720203	cm
	2,59844805	mm		0,37202032	mm

DISEÑO DE MICROAGLOMERADOS

LECHADA ASFÁLTICA (ARTÍCULO 433 - 07)

Tamaño Tamiz	% Retenido		Aplicación aproximada 15 a 20 kg/m ²	cantidad de material a pesar en cada tamiz			Contenido de Emulsión 5.5 a 7.5 de % en peso del agregado	Agua Total 10 a 20 de % en peso del agregado
	A	B		A	B			
3/8"	15	0	17 kg/m ²	0,1999	0			
# 4	25	15	Área de probeta 0,0784	0,3332	0,1999			
# 8	20	25	Peso de la mezcla 1,3328 kg	0,2666	0,3332			
# 16	12	15		0,1599	0,1999	Kg		
# 30	9	11		0,1200	0,1466			
# 50	7	9		0,0933	0,1200			
# 100	5	7		0,0666	0,0933			
# 200	3	10		0,0400	0,1333			
							6 %	15 %
							Contenido tomado 0,08 kg	Contenido tomado 0,19992 kg
							79,968 gr	199,92 gr

Pasa 200	4	8
----------	---	---

100 100

0,0533	0,1066	
--------	--------	--

1,3328 1,3328

Tamaño Tamiz	% Retenido	
	A	B
3/8"	0	0
# 4	30	10
# 8	25	20
# 16	17	20
# 30	9	16
# 50	7	9
# 100	5	7
# 200	2	7
Pasa 200	5	11

100 100

Aplicación aproximada

10 a 15 kg/m²

12 kg/m²

Área de probeta 0,0784

Peso de la mezcla 0,9408 kg

cantidad de material a pesar en cada tamiz	
A	B
0	0
0,2822	0,0941
0,2352	0,1882
0,1599	0,1882
0,0847	0,1505
0,0659	0,0847
0,0470	0,0659
0,0188	0,0659
0,0470	0,1035

Kg

0,9408 0,9408

Contenido de Emulsión

6.5 a 12 de % en peso del agregado

9 %

Contenido tomado 0,0847 kg

84,672 gr

Agua Total

10 a 20 de % en peso del agregado

15 %

Contenido tomado 0,14112 kg

141,12 gr

Tamaño Tamiz	% Retenido	
	LA-3	
	A	B
3/8"	0	0
# 4	15	0
# 8	20	10
# 16	20	20
# 30	15	20
# 50	12	20
# 100	8	10
# 200	5	5
Pasa 200	5	15

100 100

Aplicación aproximada
7 a 12
kg/m²

10 kg/m²

Área de probeta 0,0784
Peso de la mezcla 0,784 kg

cantidad de material a pesar en cada tamiz

A	B
0	0
0,1176	0
0,1568	0,0784
0,1568	0,1568
0,1176	0,1568
0,0941	0,1568
0,0627	0,0784
0,0392	0,0392
0,0392	0,1176

Kg

0,784 0,784

Contenido de Emulsión
7 a 13 de % en peso del agregado

10 %

Contenido tomado 0,0784 kg
78,4 gr

Agua Total
10 a 20 de % en peso del agregado

15 %

Contenido tomado 0,1176 kg
117,6 gr

Tamaño Tamiz	% Retenido	
	LA-4	
	A	B
3/8"	0	0
# 4	0	0
# 8	5	0
# 16	30	10
# 30	25	30
# 50	16	18
# 100	9	12
# 200	5	10
Pasa 200	10	20

100 100

Aplicación aproximada

4 a 8 kg/m²

6 kg/m²

Área de probeta 0,0784

Peso de la mezcla 0,4704 kg

cantidad de material a pesar en cada tamiz

A	B
0	0
0	0
0,0235	0
0,1411	0,0470
0,1176	0,1411
0,0753	0,0847
0,0423	0,0564
0,0235	0,0470
0,0470	0,0941

Kg

0,4704 0,4704

Contenido de Emulsión

10 a 15 de % en peso del agregado

12 %

Contenido tomado 0,0564 kg

56,448 gr

Agua Total

10 a 30 de % en peso del agregado

20 %

Contenido tomado 0,09408 kg

94,08 gr

Resultado Ensayo Mancha de Arena para Mezclas LECHADA ASFALTICA

ENSAYE DE LA MANCHA DE ARENA

LA-1					
<u>A</u>			<u>B</u>		
Volumen de arena	20	cm ³	Volumen de arena	20	cm ³
Diámetro de la arena	20	cm	Diámetro de la arena	15	cm
Área ocupada	314,159265	cm ²	Área ocupada	176,714587	cm ²
Volumen extendido / Área ocupada	0,06366198	cm	Volumen extendido / Área ocupada	0,11317685	cm
	0,63661977	mm		1,13176848	mm

LA-2					
<u>A</u>			<u>B</u>		
Volumen de arena	10	cm ³	Volumen de arena	10	cm ³
Diámetro de la arena	17	cm	Diámetro de la arena	18	cm
Área ocupada	226,980069	cm ²	Área ocupada	254,469005	cm ²
Volumen	0,04405673	cm	Volumen	0,03929752	cm

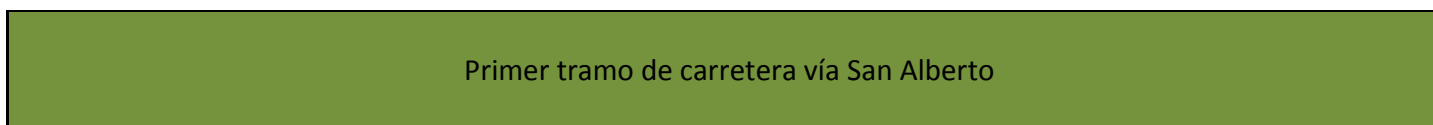
extendido / Área ocupada	0,44056732	mm	extendido / Área ocupada	0,39297517	mm
-----------------------------	------------	----	-----------------------------	------------	----

LA-3					
<u>A</u>			<u>B</u>		
Volumen de arena	10	cm ³	Volumen de arena	10	cm ³
Diámetro de la arena	16	cm	Diámetro de la arena	16,5	cm
Área ocupada	201,06193	cm ²	Área ocupada	213,82465	cm ²
Volumen extendido / Área ocupada	0,04973592	cm	Volumen extendido / Área ocupada	0,04676729	cm
	0,4973592	mm		0,46767293	mm

LA-4					
<u>A</u>			<u>B</u>		
Volumen de arena	10	cm ³	Volumen de arena	10	cm ³
Diámetro de	13,5	cm	Diámetro de	17	cm

la arena			la arena		
Área ocupada	143,138815	cm ²	Área ocupada	226,980069	cm ²
Volumen extendido / Área ocupada	0,06986225	cm	Volumen extendido / Área ocupada	0,04405673	cm
	0,69862252	mm		0,44056732	mm

Resultado Ensayo Mancha de Arena para Primer tramo Vía San Alberto



Volumen de arena 10 cm³
 Diámetro de la arena 14,75 cm
 Área ocupada 170,873188 cm²

Volumen extendido / Área ocupada 0,05852293 cm 0,58522932 mm

Volumen de arena 10 cm³
 Diámetro de la arena 16,5 cm
 Área ocupada 213,82465 cm²

Volumen extendido / Área ocupada 0,04676729 cm 0,46767293 mm

Volumen de arena	10	cm ³	
Diámetro de la arena	16	cm	-
Área ocupada	201,06193	cm ²	

Volumen extendido / Área ocupada 0,04973592 cm 0,4973592 mm

Resultado Ensayo Mancha de Arena para Segundo tramo Vía San Alberto

Segundo tramo de carretera vía San Alberto

Volumen de arena	10	cm ³	
Diámetro de la arena	19	cm	-
Área ocupada	283,528737	cm ²	

Volumen extendido / Área ocupada 0,03526979 cm 0,35269793 mm

Volumen de arena	10	cm ³	
Diámetro de la arena	20	cm	-
Área ocupada	314,159265	cm ²	

Volumen extendido / Área ocupada 0,03183099 cm 0,31830989 mm

Volumen de arena	10	cm ³	
Diámetro de la arena	19	cm	-
Área ocupada	283,528737	cm ²	

Volumen extendido / Área ocupada 0,03526979 cm 0,35269793 mm

Resultado Ensayo Mancha de Arena para Bucaramanga

Parque García Rovira (Bucaramanga)

Volumen de arena	10	cm ³	
Diámetro de la arena	20,4	cm	-
Área ocupada	326,8513	cm ²	

Volumen extendido / Área ocupada 0,03059495 cm 0,30594953 mm

Resultado Ensayo Mancha de Arena para Floridablanca

Jardín Botánico (Floridablanca)

Volumen de arena	10	cm ³	
Diámetro de la arena	24,2	cm	-
Área ocupada	459,96058	cm ²	

Volumen extendido / Área ocupada 0,02174099 cm 0,21740994 mm

Resultado Ensayo Mancha de Arena para Girón

DANA TRANSEJES (Girón)

Volumen de arena	10	cm ³	
Diámetro de la arena	19	cm	-
Área ocupada	283,528737	cm ²	

Volumen extendido / Área ocupada 0,03526979 cm 0,35269793 mm

Resultado Ensayo Mancha de Arena para Vía Floridablanca - Piedecuesta

Vía Floridablanca - Piedecuesta

Volumen de arena	10	cm ³	
Diámetro de la arena	27,6	cm	-
Área ocupada	598,284905	cm ²	

Volumen extendido / Área ocupada 0,01671444 cm 0,16714445 mm

