

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE DIVERSAS ESPECIFICACIONES ACTUALES
SOBRE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES Y SU APLICACIÓN EN LAS
NORMATIVAS COLOMBIANAS**



DIEGO ANDRÉS ARIAS SÁNCHEZ

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ D.C, COLOMBIA
2018**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE DIVERSAS ESPECIFICACIONES ACTUALES
SOBRE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES Y SU APLICACIÓN EN LAS
NORMATIVAS COLOMBIANAS.**

DIEGO ANDRÉS ARIAS SÁNCHEZ

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de:
Ingeniero Civil**

**Director del proyecto:
MIC, Juan Miguel Sánchez Durán**

**Universidad Santo Tomás
Facultad de Ingeniería Civil
Bogotá D.C, Colombia
2018**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del director del proyecto de grado

Firma del par académico

Bogotá D.C, 9 de agosto de 2018

Dedicatoria

A Dios. Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre Carolina. Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi padre Mauricio. Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante

A mi padre Jorge. A quien le debo todo en la vida, le agradezco el cariño, la comprensión, la paciencia y el apoyo que me brindó para culminar mi carrera profesional.

Agradecimientos

Al Ingeniero Juan Miguel Sánchez Durán, por su decidido compromiso con el presente trabajo de investigación. Por orientar de manera clara y paciente el desarrollo técnico de cada una de las etapas del desarrollo del proyecto.

A la Ingeniera Mónica Rueda Pinto, por su orientación y colaboración en la ejecución del proyecto como par académico orientando y sugiriendo de manera pertinente.

A mi familia por el soporte moral y apoyo incondicional durante toda la etapa de mi formación profesional. Sin ellos, esto no habría sido posible.

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN	8
1. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO DE GRADO	10
1.1. DESCRIPCIÓN	10
1.2. FORMULACIÓN	10
2. OBJETIVOS.....	12
2.1. OBJETIVO GENERAL	12
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
3. JUSTIFICACIÓN	13
4. MARCO DE REFERENCIA.....	14
4.1. ANTECEDENTES.....	14
5. MARCO LEGAL O NORMATIVO	17
5.1. Marco Normativo de Colombia de Ensayos.....	17
5.2. Marco de Especificaciones de Colombia	18
6. GLOSARIO	19
7. ESTADO DEL ARTE	22
7.1. MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES (MAD)	22
7.1.1. Definición	22
7.2. GRADACIONES	25
7.3. DISEÑO	26

7.4.	CASOS DE APLICACIÓN.....	27
7.5.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS	29
7.5.1.	Ventajas	29
7.5.2.	Desventajas	30
7.6.	CUIDADOS.....	¡Error! Marcador no definido.
8.	COMPARACION ENTRE NORMATIVAS COLOMBIANAS Y EUROPEAS ..	31
8.1.	DESCRIPCIÓN.....	31
8.2.	MATERIALES:	32
8.3.	TIPOS Y COMPOSICION DE LA MEZCLA.....	36
8.4.	EQUIPO.....	41
8.5.	FORMULA DE TRABAJO.....	41
8.6.	CONTENIDO DE VACIOS.....	43
8.7.	SENSIBILIDAD AL AGUA.....	43
9.	OTRAS NORMAS	44
9.1.	NORMATIVA NEOZEOLANDESA.....	44
9.2.	NORMATIVA ESTADOUNIDENSE	49
10.	BIBLIOGRAFÍA	51

INTRODUCCIÓN

Conociendo que el pavimento es la estructura de construcción que más ha sido utilizada por el hombre y que ocupa el doble del área que las edificaciones (Karl M. Smith, 2016); desde hace algunos años se han empezado a realizar investigaciones asociadas a los beneficios y perjuicios que representa un pavimento convencional.

Dentro de los problemas más relevantes de un pavimento convencional se encuentra la producción de 2/3 del exceso de escorrentía, la contaminación del suelo por hidrocarburos, la disminución de la infiltración en un 66% y el aumento de las temperaturas urbanas en dos terceras partes, conocidas como “Islas de Calor”. (Karl M. Smith, 2016). Adicionalmente influyen en el hidro-planeo de los vehículos que transitan a grandes velocidades sobre el pavimento mojado.

Todo lo anterior llama la atención sobre la recuperación de áreas pavimentadas para el beneficio del ambiente biofísico y los seres humanos, así como disminuir cada uno de los riesgos viales.

Algunas de las soluciones a dichos problemas se encuentran los pavimentos porosos (PP). Estos son aquellos que tienen redes integradas de espacios vacíos por donde circula el agua y el aire, lo cual genera procesos cualitativamente diferentes de almacenamiento, tratamiento y flujo. Cabe resaltar que los materiales del PP son casi indistinguibles de los materiales no porosos en la construcción y el aspecto superficial, pero influyen significativamente la hidrología urbana, el hábitat de enraizamiento y la adherencia entre el neumático y la vía.

En vista de que Colombia es un país con alta precipitación y accidentalidad en la vía, nace la pregunta ¿Los pavimentos porosos pueden ser utilizados en este país?

En consecuencia, en el presente trabajo se busca identificar los puntos faltantes de la normativa utilizada en Colombia para la construcción de las mezclas asfálticas drenantes, en comparación con la normativa europea.

1. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO DE GRADO

1.1. DESCRIPCIÓN

A pesar de que el marco referencial en términos de normativa nacional vigente asociada a las mezclas asfálticas drenante está basado en la normativa de la American Society for Testing and Materials (ASTM), en Colombia no se cuenta con una legislación robusta que incluya especificaciones para su uso o la clasificación óptima en los agregados para casos específicos. Esto desdibuja la posibilidad de utilizar los pavimentos porosos como alternativas para solucionar problemáticas locales como la alta escorrentía en cuencas urbanas, la accidentalidad en vías humedecidas y su aprovechamiento en áreas que a hoy son inutilizadas.

Por lo tanto, se hará una recolección exhaustiva de las especificaciones más relevantes a nivel mundial, las cuales servirán como línea de tiempo y estado del arte de los distintos métodos para la fabricación de las mezclas asfálticas drenantes, así como de su aplicación, beneficios y limitaciones. Todo lo anterior permitirá generar conclusiones y recomendaciones para su aplicación en Colombia.

1.2. FORMULACIÓN

Colombia es un país con variedad de pisos térmicos y condiciones geomorfológicas que facilitar las altas precipitaciones en diferentes zonas del país como el Meta, la Orinoquía y el Chocó; sin embargo, hay un alto índice de inundación dado sus sistemas ineficientes o deficientes de alcantarillado. En efecto surgen problemas debido a la falta de adherencia en las vías entre los neumáticos del vehículo y el pavimento, así como una disminución de la visibilidad (Policía Nacional de Colombia, 2017)

En consecuencia, el grado de accidentabilidad dado por las lluvias de altas intensidades es muy alto (Policía Nacional de Colombia, 2017), por lo que se evidencia una deficiencia en los sistemas de drenaje, ocasionando problemáticas como el hidroplaneo, la incomodidad para el conductor generada por el rocío y el reflejo de la luz sobre la lámina de agua, además del ruido en el contacto del neumático con el pavimento húmedo.

En ese mismo sentido, el presente proyecto busca ofrecer bases sólidas relacionadas con la normativa nacional para el uso de las mezclas asfálticas drenantes que reduzcan los inconvenientes previamente mencionados.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

- Identificar los puntos faltantes de la normativa utilizada en Colombia para la construcción de las mezclas asfálticas drenantes en comparación con la normativa europea.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar y comparar la normativa vigente a nivel internacional, nacional y local correspondiente a las mezclas asfálticas drenantes.
- Encontrar la convergencia entre las normativas vigentes sobre las mezclas asfálticas drenantes e identificar los criterios que no se tienen en cuenta para el diseño de las mezclas asfálticas drenantes.
- Conceptualizar las mezclas asfálticas drenantes desde su uso, diseño, ventajas, limitaciones y evolución.

3. JUSTIFICACIÓN

La necesidad de contar con nuevas alternativas de desarrollo en la red vial de Colombia es inminente. Sin embargo, la información es deficiente para completar la planificación, instalación, operatividad y mantenimiento de tecnologías como los pavimentos porosos.

Ante la situación planteada, las mezclas asfálticas drenantes no son ampliamente conocidas ni implementadas en Colombia; a pesar de ser una alternativa de solución que, hoy por hoy, no se contempla para lugares con altos índices de accidentalidad por pavimentos mojados. Por ende, con este trabajo se busca recopilar y ordenar el suficiente conocimiento sobre los beneficios y limitaciones del uso de la mezcla asfáltica drenante, aumentando su comprensión y generando un punto de seguimiento al buscar alternativas innovadoras y que van en pro del medio ambiente, así como de la seguridad de las personas.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1. ANTECEDENTES

Las ciudades a medida que pasa el tiempo están creciendo y por ende evolucionando permanentemente, el problema que se evidencia por lo general es cuando sus sistemas de drenaje pluvial son rebasados rápidamente. Sumando las amenazas presentadas por el cambio climático, la creciente urbanización y el envejecimiento de los drenajes pluviales (Henonin, Russo, Mark, & Gourbesville, 2013), además el suelo que cubre la superficie de las ciudades no es permeable siendo todo lo que son vías, andenes, tejados o cubiertas, etc.

Los pavimentos tradicionales se han diseñado con el objeto de soportar el paso de autos que se produce para un periodo de diseño de un número de años en particular. Por lo general, estos pavimentos se componen de un numero de capas de material además del pavimento compactado y sellado haciéndolo impermeable. Una característica general del diseño del pavimento convencional es el de impedir la entrada de agua en las capas inferiores de la estructura del suelo, a través del sello o las juntas de pavimentación, para proteger la integridad de la capa base y sub-base (Lucke, Beecham, Boogaard, & Myers,).

Muchas de las inundaciones se producen en el país debido a que el sistema de evacuación de las aguas tradicional busca expulsar el agua lo antes posible llegando a su acumulación total en un corto periodo de tiempo (Daniel Castro Fresno, Joseba Rodríguez Hernández, Jorge Rodríguez Hernández, & Francisco Ballester Muñoz, 2005).

Las alternativas de los pavimentos porosos o las mezclas asfálticas drenantes no solamente son para reducir las superficies impermeables de las zonas urbanas, sino también para atrapar contaminantes que traen las aguas pluviales. (Bentarzi et al., 2013)

En Colombia se ha generado un documento técnico de soporte de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) el cual fue establecido por la secretaria distrital de ambiente en el cual se hacen claras algunas técnicas para Bogotá, pero cabe aclarar que no se tienen en cuenta los pavimentos porosos o permeables pero que lastimosamente si tienen en cuenta en los demás países a nivel mundial.

El grado de accidentabilidad dado por las lluvias altas de intensidades es muy alto (Policía Nacional de Colombia, 2017), por lo que se evidencia una deficiencia en los sistemas de drenaje, ocasionando problemáticas como el hidroplaneo, la incomodidad para el conductor generada por el rocío, el reflejo de la luz sobre la lámina de agua y el ruido en el contacto del neumático con el pavimento en la presencia de la lámina de agua, entre otros.

Colombia es un país donde la precipitación es bastante alta, en sectores como el Meta, la Orinoquía y el Chocó y donde hay un alto índice de inundación en lugares o donde se maneja un sistema de alcantarillado muy pobre, surgen problemas debido a la falta de adherencia en las carreteras entre los neumáticos del vehículo y la carretera, y también una disminución de la visibilidad. Y todo es causado por lo que ya se ha dicho: el agua, que genera una película en la superficie del pavimento creando los problemas antes mencionados y también aumenta las posibilidades de volcar los autos por manejo a altas velocidades.

De los muchos SUDS que se han ido aplicando a través del mundo, uno de los más usados es el de los pavimentos permeables, que satisface la necesidad estructural requerida para parqueaderos, caminos peatonales, ciclo rutas, vías con bajo flujo

vehicular, entre otras. El uso de pavimentos permeables permite la infiltración del agua a la sub-base, ayudando a disminuir la escorrentía y mejorando la calidad del agua. Se ha demostrado que el volumen de agua retenida en los sistemas de pavimentos permeables fluctúa entre un 45% a 75%, además en el caso de no contar con suelos de buena permeabilidad, los pavimentos permeables de todas formas pueden emplearse. La capacidad de almacenamiento de la sub-base y la capa de rodadura pueden absorber temporalmente una cantidad de agua importante. (Rivera et al., 2003).

Las mezclas asfálticas drenantes pueden construirse tanto en caliente como en frío, empleando ligantes (cementos asfálticos) o emulsiones asfálticas y sin importar si son modificadas o no. De hecho, las mezclas en frío fabricadas tradicionalmente en España, con un contenido nulo o casi nulo de arena, son drenantes en sentido estricto con porcentajes de vacíos presentes en la mezcla asfáltica del orden del 25%, sin embargo, la técnica de las mezclas drenantes ha adquirido un auge espectacular en los últimos años debido al avance de sistemas de diseño e instalación en obra como mezcla bituminosa en caliente (German Juyar Mora, Gabriel Pérez Cely, 1998).

Las principales aplicaciones de las mezclas asfálticas drenantes son las siguientes:

- Acceso vehicular
- Estabilización de taludes y control de erosiones.
- Campos deportivos.
- Parqueaderos.
- Accesos peatonales.
- Senderos de bicicletas y ecuestres.

En países como Chile se empezó el desarrollo de la mezcla asfáltica drenante en el año de 1996 cuando la Unidad de Carreteras de Codelco construyó un segmento

de vía experimental de cerca de 1.500 m² (JAIME ANDRES CAMPOS CANESSA, 2010).

5. MARCO LEGAL O NORMATIVO

5.1. Marco Normativo de Colombia de Ensayos

Tabla 1 Marco Legal o Normativo de Colombia INVIAS

AGREGADO	I.N.V. E-218 "Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 1/2") por medio de la máquina de los Ángeles"
	I.N.V. E-238 "Determinación de la resistencia del agregado grueso al desgaste por abrasión utilizando el aparato micro-deval"
	I.N.V. E-224 "Evaluación de la resistencia mecánica de los agregados gruesos por el método de 10% de finos"
	I.N.V. E-220 "Sanidad de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio"
	I.N.V. E-237 "Determinación de la limpieza superficial de las partículas de agregado grueso"
	I.N.V. E-133 "Equivalente de arena de suelos y agregados finos"
	I.N.V. E-235 "Valor de azul de metileno en agregados finos y en llenantes minerales"
	I.N.V. E-240 "Método para determinar partículas planas, alargadas o planas y alargadas en agregados gruesos"
	I.N.V. E-227 "Porcentaje de caras fracturadas en los agregados"
	I.N.V. E-757 "Efecto del agua sobre mezclas asfálticas sueltas (método rápido de cambio)"
	I.N.V. E-748 "Estabilidad y Flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el equipo Marshall"
	INV E-736 "Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas compactadas densas y abiertas"

	INV E-760 “Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo cántabro de pérdida por desgaste”
--	---

Tabla 2 Marco Legal o Normativo de Colombia INVIAS

AGGREGATES	ASTM C 131 – 06 “STANDARD TEST METHOD FOR RESISTANCE TO DEGRADATION OF SMALL-SIZE COARSE AGGREGATE BY ABRASION AND IMPACT IN THE LOS ANGELES MACHINE”
	ASTM D6928 – 10 “STANDARD TEST METHOD FOR RESISTANCE OF COARSE AGGREGATE TO DEGRADATION BY ABRASION IN THE MICRO-DEVAL APPARATUS”
	ASTM C88 - 05
	NLT 172/86 UNE 146130: 2000 Anexo C
	ASTM D 2419 - 09
	NORMA EUROPEA EN 933-9
	ASTM D4791 – 10
	ASTM D 5821 – 06
	ASTM D 6926 - 10
	ASTM D 6927 - 06
	ASTM D 3203/ D 3203, M - 11
	ASTM D 3625 – 05
	NLT 352/00

5.2. Marco de Especificaciones de Colombia

- Especificación IDU Sección 512 del 2011 “Mezcla Asfáltica Drenante en Caliente”
- Especificación INVIAS Artículo 453 del 2013 “Mezcla Drenante”

6. GLOSARIO

ADHERENCIA: Es la resistencia del asfalto a despegarse del agregado pétreo, se consigue cuando el agregado se encuentra impregnado del material asfáltico, para lo cual debe existir una correlación que permite la unión entre los materiales que participan en la adherencia. (Trujillo, Valero, & Lozano, 2015)

AGREGADO FINO: Estará constituido por arena de trituración o una mezcla de ella con arena natural. Los granos del agregado fino deberán ser duros, limpios y de superficie rugosa y angular. El material deberá estar libre de cualquier sustancia que impida la adhesión del asfalto. (Trujillo, Valero, & Lozano, 2015)

AGREGADO GRUESO: Es el material que procede de la trituración y clasificación de gravas o agregado triturado con un tamaño mayor a los 5 mm; su triturado debe de tener sus partículas limpias, resistentes y durables, mediante una buena selección en cuanto a su alargamiento, su planicidad, su redondez, etc. Normalmente su tamaño ideal fluctúa entre los 9.5 mm y los 38 mm. (Trujillo, D., Valero, C. C., & Lozano, H. J., 2015) (Hernández Hernández, 2014)

ASFALTO: Se entiende como un término informal para la mezcla de agregado con cemento asfáltico, el término técnico para el cual es concreto asfáltico en donde el agregado puede constituir entre el 60 al 90 por ciento o más del volumen de la mezcla y el cemento asfáltico es el aglutinante semifluido entre partículas del agregado. Los primeros pavimentos de asfalto se instalaron en Europa a mediados del siglo XIX (Croney y Croney, 1998, pp. 10-11). En los Estados Unidos, las primeras instalaciones exitosas se realizaron en el Distrito de Columbia en la década de 1870 (McShane, 1979). Muchas de las primeras instalaciones tenían una superficie de asfalto denso sostenida por una base de agregado, pero cuando comenzó el tráfico de automóviles, la superficie lisa del asfalto facilitó los viajes

rápidos, ampliando las áreas de mercado de las empresas locales y de tal manera mejorando las economías locales.

DENSIDAD: Se realiza esta determinación para comprobar el grado de compactación en rellenos compactados artificialmente. Es muy útil en el caso de suelos sin cohesión (gravas y arenas), los cuales, por lo general no permiten obtener muestras inalteradas, y por medio de la densidad in situ se puede reproducir el suelo natural en la densidad natural a partir de una muestra alterada. (Trujillo, Valero, & Lozano, 2015)

ENSAYO MARSHALL: Es un método ideado para dosificar las mezclas asfálticas empleando asfaltos sólidos y material granular que no supere un tamaño máximo de 2.54 cm. Mediante la prueba, se obtiene la cantidad apropiada de asfalto para poder garantizar la suficiente Estabilidad y así mismo las exigencias del servicio sin desplazamientos o distorsiones, un buen recubrimiento de partículas para obtener un pavimento durable incluyendo el factor de la compactación.

Esta infraestructura ha demostrado ser una solución rentable para gestionar los riesgos de inundación, al mismo tiempo que ofrece beneficios más amplios. (Karl M. Smith, 2016)

HIDROPLANEEO: Se produce cuando los neumáticos de un vehículo pierden contacto con el pavimento por una película de agua y por consiguiente disminuye o se elimina el poder de adherencia de las ruedas. Este fenómeno provoca la falta de control del vehículo debido a la escasa o nula adherencia de los neumáticos a la superficie de rodamiento. (López Moreno, 2013)

PAVIMENTOS PERMEABLES: La elección de qué tipo de pavimento permeable se debe usar está influenciada por el diseño específico del sitio y el uso futuro previsto de la superficie permeable. Una comparación general de las propiedades de

ingeniería de los tres principales tipos de pavimentos permeables se presenta en la Tabla 3. (Virginia DCR Stormwater Desing Specification No. 7, 2011)

PERMEABILIDAD: Capacidad de un cuerpo para permitir el paso de un fluido sin que dicho tránsito altere la estructura interna del cuerpo. Dicha propiedad se determina objetivamente mediante la imposición de un gradiente hidráulico en una sección del cuerpo, en este caso de la mezcla, y a lo largo de una trayectoria determinada. (WHITE, 1966)

Pronto, la mayoría de las calles adoquinadas, gravadas o sin pavimentar de los Estados Unidos estaban cubiertas con superficies lisas de asfalto o cemento Portland (McShane, 1979). Hoy, el asfalto cubre más de tres cuartas partes de toda el área de superficie pavimentada en América del Norte. Su marcada ventaja en comparación con otras superficies firmes y resistentes es su bajo costo inicial.

SISTEMAS SOSTENIBLES DE DRENAJE URBANO: Conocidos también por las siglas de SUDS por su nombre en inglés (Sustainable Urban Drainage Systems) o mejores prácticas de control en los países de habla hispana. (B. ROBERTO JIMENEZ GALLARDO, 1999)

7. ESTADO DEL ARTE

7.1. MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES (MAD)

7.1.1. Definición

Las mezclas asfálticas drenantes (MAD) o el asfalto poroso (AP) son un material de carretera amigable con el medio ambiente con un mínimo de 15% de porcentaje de vacíos, que se utiliza de manera efectiva en regiones con alto nivel de precipitación (Sangiorgi et al., 2017). La alta tasa de vacíos mejora la calidad de conducción durante el clima húmedo y mejora la seguridad al reducir el hidroplaneo. Además, la mezcla asfáltica drenante evita el deslizamiento en agua y la pulverización sobre la superficie de la carretera (rocío), mejorando la visibilidad al eliminar la luz reflejada desde la superficie de la carretera.

Las mezclas asfálticas drenantes tienen un porcentaje muy elevado de vacíos en la mezcla (superior al 20%) y guardan una proporción de agregado fino muy baja que llega a ser de menor del 20%, por lo tanto, el ligante maneja una gran cohesión para evitar la disgregación de la mezcla. (Montejo, 1998).

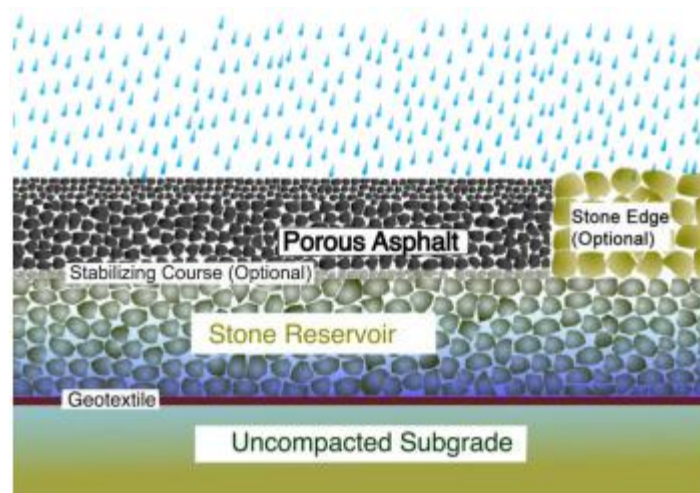
La mezcla asfáltica drenante se ha utilizado desde mediados del siglo XX en repavimentaciones de autopistas y aeródromos para mejorar el drenaje y la seguridad. En la década de 1950 se utilizó para el drenaje de establos de caballos (A.E. Bye and Jack Daft, personal communications).

Junto con todos los beneficios de la MAD, se han informado algunos puntos débiles mecánicos y de rendimiento después de las inspecciones in situ y las investigaciones experimentales previas. De las considerables limitaciones de las mezclas asfálticas drenantes, las relacionadas con una menor durabilidad y

propiedades estructurales en comparación con otras mezclas de asfalto típicas son más relevantes (López Moreno, 2013).

Un punto de referencia en el desarrollo de la tecnología de la mezcla asfáltica drenante fue una investigación a principios de la década de 1970 por Edmund Thelen y sus colegas del Instituto Franklin en Filadelfia, ya que desarrollaron la mezcla asfáltica drenante para el control de aguas pluviales (1968), y luego lo desarrollaron con investigaciones respaldadas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA).

Figura 1. Sección transversal del pavimento de mezcla asfáltica drenante típico con depósito de piedra



Fuente: Wisconsin Asphalt Pavement Association

Tal y como se muestra en la Figura 1, se observa un borde de piedra opcional sobre el depósito de piedra. Este permite que la lluvia se infiltre en el depósito de piedra en el caso de que la superficie de mezcla asfáltica drenante deja de ser efectiva debido al drenaje inadecuado (que podría ser causado por huecos de aire obstruidos, por ejemplo)

En el diseño y la construcción de pavimentos asfálticos la idea más común de tomar es la de utilizar mezclas densas muy resistentes, siempre se ha tenido cuidado de que estas capas de rodadura además de ser resistentes protejan también a las demás capas de efectos climatológicos, por ende, la impermeabilidad de los materiales usados en estas capas da lugar durante una precipitación a que se genere una delgada lámina de agua que induce el fenómeno del hidroplaneo. (Dr. Carlos Fonseca Rodríguez, Departamento de Ingeniería Civil, & ITEMS, 1999).

Las mezclas asfálticas drenantes se han desarrollado a través del mundo como una alternativa tanto de solución como de seguridad para la accidentabilidad presentada en las vías debido a los problemas que presentan las lluvias intensas y el mal o insuficiente drenaje que tienen muchos sectores viales.(Trujillo Lpez & Quiroz Lasprilla, 2013)

A lo largo de los años, algunas de las instalaciones han sufrido obstrucciones y disminución de la tasa de infiltración debido a un mal proceso constructivo o por una mala selección de los materiales para la aplicación de la tecnología. Hoy en día, se está desarrollando una tecnología mejorada para mejorar la durabilidad y confiabilidad hidrológica y estructural de la mezcla asfáltica drenante.

El agua de lluvia drena a través de la superficie de mezcla asfáltica drenante; se mantiene temporalmente en los vacíos del depósito de piedra, reduciendo la escorrentía de aguas pluviales; y luego drena lentamente en la subrasante subyacente no compactada para restaurar eventualmente los suministros de agua subterránea.

A medida que el agua de lluvia drena, los contaminantes se filtran y la actividad microbiana descompone los contaminantes, mejorando la calidad del agua.

Varios estudios han cuantificado altas tasas de remoción de sólidos en suspensión total, metales, petróleo y grasa, así como tasas moderadas de eliminación de fósforo, del uso de pavimentos de mezcla asfáltica drenante (Ferguson, 2005).

7.2. GRADACIONES USADAS SEGÚN NORMA BOE

La clasificación de los agregados que se seleccionan influye principalmente en la capacidad de drenaje de agua que tendrá la mezcla asfáltica, la resistencia a la pérdida de partículas, la resistencia a la deformación plástica y la existencia de macro texturas en la mezcla.

Para la mezcla asfáltica drenante, se han definido dos bandas de clasificación en España que son la P-12 y la PA-12 (Tabla 1).

Cuadro 1: Gradaciones

GRADING	% PASSING						
	20mm	12,5mm	10mm	5mm	2.5mm	0.63mm	0,08mm
P - 12	100	75-100	60-90	32-50	10-18	6-12	3-6
PA - 12	100	70-100	50-80	15-30	10-22	6-13	3-6

Fuente: Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1990.

Para la obtención de este tipo de mezclas de agregados (tipo P), se usan normalmente tres tipos de agregados comerciales que son (0/2,5, 2,5/5, y 5/10 hasta

12 mm). Los cuales al ser utilizados con el asfalto se pueden llegar a tener un porcentaje de vacíos entre en 15% y el 22%.

La banda de clasificación PA tiene una discontinuidad en el tamaño de 5 mm y solo necesita dos agregados comerciales e inicialmente fue diseñado para reducir la cantidad de agregados comerciales a usar y llegar a obtener mezclas más abiertas con las que se puede llegar a obtener hasta un 25% de vacíos.

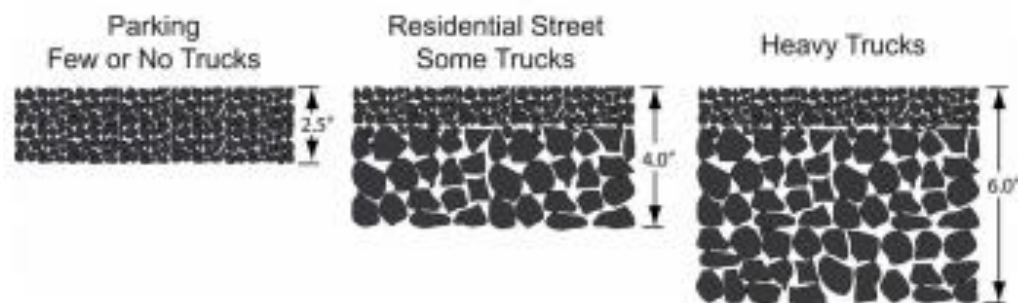
7.3. CRITERIOS DE DISEÑO

El diseño de las nuevas construcciones de vías con el uso de capas de mezclas asfálticas drenantes se han dado en el diseño estándar de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento de España (antiguamente MOPU).

En este modelo, se establece una capa de 4 cm de espesor para las mezclas asfálticas drenantes, la posibilidad de usar capas más gruesas no fue considerado porque la capacidad de captación de agua con Ya se cree que las capas de 4 cm son suficientes. Capas más finas conduciría a un mal rendimiento con fuertes lluvias y podría reducir la durabilidad de la capa.

Para pavimentos con capas de rodadura granular o asfáltica, las MAD pueden ser las sustitutas en los mismos grosores, para mezclas abiertas o semi-abiertas. Este enfoque se ha tomado debido a la experiencia y el cálculo de las bases estándar realizadas.

Figura 2: Espesores mínimos recomendados para la mezcla asfáltica drenante compactada



Fuente: Wisconsin Asphalt Pavement Association (WAPA).

7.4. CASOS DE APLICACIÓN

7.4.1 internacionales

Los sistemas de pavimento permeable son una alternativa a otros pavimentos y medidas de control de aguas pluviales en áreas donde la mitigación de los impactos adversos de las descargas de aguas pluviales es un objetivo o requisito.

Los sistemas de pavimento permeable son más efectivos en áreas donde las condiciones del subsuelo y las aguas subterráneas son adecuadas para la infiltración de aguas pluviales, y el riesgo de contaminación del agua subterránea se reduce al mínimo. (Eisenberg, Lindow, & Smith, 2015).

Los pavimentos asfálticos porosos se pueden instalar en conjunto o en parte con pavimentos de asfalto impermeables tradicionales. Cuando se instala en combinación con pavimentos impermeables o adyacentes a techos de edificios, la mezcla asfáltica drenante puede contener y tratar suficientemente la escorrentía adicional generada. (Wisconsin Asphalt Pavement Association, 2015).

Los sistemas de pavimento permeable pueden usarse en áreas donde la infiltración está prohibida por las regulaciones o limitada por las condiciones del suelo o del

agua subterránea cuando se instalan revestimientos que inhiben la infiltración y los mecanismos de drenaje del subsuelo. Sin embargo, el pavimento permeable no se puede usar en áreas industriales de almacenamiento y carga o áreas de carga y mantenimiento de vehículos. (Wisconsin Asphalt Pavement Association, 2015).

Los pavimentos asfálticos porosos se recomiendan generalmente para áreas de estacionamiento y carreteras de bajo volumen. (Robert M Roseen, Thomas P. Ballester, James Houle, Show Kristopher, 2012).

Las aplicaciones adicionales de mezcla asfáltica drenante son para:

- Caminos peatonales, senderos, aplicaciones de complejos deportivos, aceras, entradas de vehículos, carriles para bicicletas y arcenes (Hein, Strecker, Poresky, Roseen y Venner, 2013).
- Áreas donde nieva con frecuencia debido a problemas de mantenimiento durante los meses de invierno.
- Áreas urbanas o industriales donde hay un desgaste extenso debido a la abrasión o donde ocurren los impactos o derrames de petróleo o combustibles.
- Áreas en las que existe un fuerte riesgo de fisuración, ya sea por retracción o fatiga.
- Pavimentos de puentes, especialmente en áreas frías.
- En cualquier caso, es necesario colocar la mezcla asfáltica drenante en urbes impermeables y regulares, y asegurar un drenaje lateral adecuado.

La serie de normas EN-13108 son normas que exigen de carácter obligatorio y tienen por objeto establecer las especificaciones de las de las mezclas asfálticas.

En ella se encuentran los criterios mínimos a exigir en los materiales empleados y en su sistema de producción, es decir, el ensayo de tipo inicial y control de producción en planta. (Rubio, 2007).

7.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Las ventajas y desventajas dependerán de cómo el sistema cumple con un funcionamiento hidráulico y estructural adecuado dentro del tiempo de vida útil para el cual fue diseñado (Tennis et al, 2004; CIRIA, 2007).

Uno de los mayores beneficios de los pavimentos de mezcla asfáltica drenante es su efectividad para la gestión de aguas pluviales, mejorar el agua calidad de escorrentía, reducción de la escorrentía de aguas pluviales y restauración suministros de agua subterránea. (Wisconsin Asphalt Pavement Association, 2015)

7.5.1. Ventajas

Tal y como lo comunica la WAPA, las principales ventajas y desventajas son:

- Remoción eficiente de partículas contaminantes de la escorrentía superficial tales como metales pesados, aceites y sedimentos.
- Reducción significativa del volumen y de la velocidad de la escorrentía superficial.
- Uso adecuado en zonas densamente pobladas y desarrolladas.
- Alta capacidad de adaptación al entorno.
- Uso más eficiente de la tierra (Doble uso del espacio).
- Bajo costo en el mantenimiento.
- Elimina la necesidad de cunetas, tuberías de alcantarillado y pozos de inspección.
- Elimina el encharcamiento en la superficie de rodadura.

- Buena aceptación de la comunidad, no interfiere en la movilidad o en el urbanismo.

7.5.2. Desventajas

- No se puede usar en zonas con alta carga de sedimentos.
- Se usa únicamente en vías con bajo volumen de tráfico.
- La velocidad máxima de tránsito es de 48 km/h.
- Presenta alto riesgo de colmatación y proliferación de vegetación si no tiene un mantenimiento adecuado.

7.6. Recomendaciones de aplicación.

Las mezclas asfálticas drenantes nunca deben estar sellados o sellados con grietas. Si es necesario aplicar parches, se pueden usar mezclas convencionales con la verificación de que se afecte menos del 15% del área del pavimento.

No se permitirá la extensión y compactación de la mezcla en momentos de lluvia, ni cuando se tenga una temperatura ambiente a la sombra inferior a los ocho grados Celsius (8° C).(INVIAS, 2012)

La mezcla asfáltica drenante no se puede usar en áreas de almacenamiento y carga industrial o en áreas de carga y mantenimiento de vehículos. Véanse los Estándares de Práctica de Conservación WDNR 1002, "Evaluación del sitio para la infiltración de aguas pluviales", y 1008, "Pavimento permeable" (Eisenberg et al., 2015)

8. COMPARACIÓN ENTRE NORMATIVA COLOMBIANA Y EUROPEA

8.1. DESCRIPCIÓN

Cuadro 2 Descripción de la norma para las mezclas asfálticas drenantes

DESCRIPCIÓN		
IDU	INVIAS	BOE
Se realiza una descripción de la norma y los pasos que esta describirá a lo largo de toda la especificación. Este trabajo consiste en la elaboración, transporte, colocación y compactación, de una capa de mezcla asfáltica de tipo drenante, preparada y colocada en caliente, la cual se emplea como rodadura para medios y altos volúmenes de tránsito, de acuerdo con esta especificación y de conformidad con los alineamientos, cotas, secciones y espesores indicados en los planos.	Este trabajo consiste en la elaboración, transporte, colocación y compactación, de una capa de mezcla asfáltica de tipo drenante, preparada y colocada en caliente, de acuerdo con esta especificación y de conformidad con los lineamientos, cotas, secciones y espesores indicados en los planos o determinados por el interventor	Se definen como mezclas bituminosas para capa de rodadura tanto drenantes como discontinuas aquellas resultantes de la combinación de un betún asfáltico, agregados

Fuente: IDU, INVIAS y BOE

La normativa europea hace clara la definición de cada una de los materiales que incluye las mezclas asfálticas drenantes, empezando por temas como mezclas bituminosas, lo que se necesita para su fabricación como para su clasificación.

Además de esto, se hace claro su uso en capas de rodadura, aclarando el espesor necesario para su aplicación. Toca tener en cuenta que es una sola norma tanto para las mezclas bituminosas discontinuas como para las mezclas bituminosas drenantes.

Además de las definiciones que se describen también se tiene en cuenta dar a conocer las operaciones a las cuales se va a llevar la mezcla.

En la normativa IDU de Colombia la descripción se tiene más como la descripción propia de la norma mas no de la mezcla en sí, describiendo las siglas con las que se nombra la mezcla drenante, así como que tipo de mezclas clasifican dentro de la especificación.

8.2. MATERIALES:

Cuadro 3: Especificaciones granulométricas del agregado grueso

AGREGADO GRUESO		
IDU	INVIAS	BOE
• DMA 500 revoluciones Máx 30% T2-T3 / Máx 25% T4-T5	• DMA 500 revoluciones Máx 25% • DMA 100 revoluciones Máx 5% NT2-NT3	• DMA 500 revoluciones Máx 15% T00-T0 Máx 20% T1-T2 / Máx 25% T3 y andenes
• MICRODEVAL Máx 25% T2-T3 / Máx 20% T4-T5	• MICRODEVAL Máx 25%	• MICRODEVAL Máx 25%
• 10% FINOS V/r en seco Mín 75kN T2-T3 / Mín 100kN T4-T5 Húmedo/seco Mín 75%	• 10% FINOS V/r en seco Mín 110 kN Húmedo/seco Mín 75%	• No aplica
• COEFICIENTE DE PULIMENTO ACELERADO ACELERADO MINIMO = 0,5	• COEFICIENTE DE PULIMENTO ACELERADO ACELERADO MINIMO = 0,5	• COEFICIENTE DE PULIMENTO ACELERADO ≥56% T00-T0 / ≥50% T1-T31 / ≥45% T32-T4
• SOLIDEZ EN SULFATOS (MAGNESIO) 18% MÁXIMO PERMITIDO	• SOLIDEZ EN SULFATOS (SODIO) 18% MÁXIMO PERMITIDO	• SOLIDEZ EN SULFATOS (MAGNESIO) 15% MÁXIMO PERMITIDO
• CARAS FRACTURADAS 1 Cara Mín 75% T2-T3 / Mín 90% T4-T5 2 Caras Mín 60% T2-T3 / Mín 75% T4-T5	• CARAS FRACTURADAS 2 Caras Mín 100%	• CARAS FRACTURADAS 1 Cara Mín 100% T0-T31 / Mín 90% T32
• APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO Máx 25% T2-T3 / Máx 20% T4-T5	• APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO Relación 5:1 Máx 10%	• PARTICULAS REDONDEADAS 0% T00-T31 / Máx 1% T32 y andenes
¹ La norma BOE pide un valor de absorción máximo del 1% para capas de rodadura sometidas durante el invierno a heladas.		

Fuente: especificaciones INVIAS, IDU y BOE

Consideraciones Generales: El punto a analizar entre las normativas es parecido entre si ya que hace referencia a las limitantes para el uso de las mezclas asfálticas drenantes; además si el constructor tiene la intención de no cumplir estas limitantes debe de ser claro en el porqué de esto y en qué punto de la aplicación, construcción o clasificación de los materiales o de la mezcla en sí.

En la norma IDU se realiza un análisis petrográfico el cual no se realiza en la norma INVIAS y tampoco en las normas UNE, sin embargo, en la norma INVIAS se pide el

ensayo de adhesividad, el cual no se exige en la IDU; vale tener en cuenta que la norma IDU en el análisis de todos los agregados pétreos es más riguroso que la norma INVIAS, pero no más que la norma UNE.

Las normas INVIAS presentan al igual que las normas IDU tablas en donde se puede identificar los límites a los cuales se deben regir los materiales a usar, pero en las normas UNE se presentan estos límites no en tablas sino en una descripción de corrido en varios párrafos en donde se aclara por qué se debe de tener límites identificando para cada material.

En cuanto a la granulometría que se maneja en Colombia es muy diferente a la manejada en Europa pues en Colombia por ejemplo se maneja un tamaño del agregado grueso como aquella porción de material que queda retenida en el tamiz de 4.75 mm (No. 4), que a comparación en la norma UNE es aquella porción de material que queda retenida en el tamiz de 2 mm. Además de esto en la norma europea se tiene una definición de las restricciones para cada tipo de tráfico y se especifican los componentes principales por los cuales se debe de manejar el árido.

Uno de los temas a que hace referencia la norma europea pero no lo hace la norma colombiana, debido a la climatología, son las restricciones por invierno, en las que se habla de un mínimo de absorción con tratamientos de vialidad invernal.

En temas ya más específicos como los ensayos, se tiene el de desgaste en la máquina de los ángeles (LA), en donde se refiere un coeficiente de desgaste para 4 tipos de tráfico teniendo en cuenta temas como las bermas diferentes a las vías y los caminos peatonales.

Cuadro 4: Especificaciones granulométricas del agregado fino

AGREGADO FINO		
IDU	INVIAS	BOE
• PROPORCIÓN DE ARENA NATURAL EN PESO	• PROPORCIÓN DE ARENA NATURAL EN PESO	• PROPORCIÓN DE ARENA NATURAL EN PESO
	Total de agregado combinado Máx 10%	Total de agregado combinado Máx 10%
Total del agregado fino Máx 50% en peso	Total del agregado fino Máx 50% NT2 / 0% NT3	
• SOLIDEZ EN SULFATOS (MAGNESIO)		
18% MÁXIMO PERMITIDO		
• ANGULARIDAD		• DMA 500 revoluciones
45% Mínimo		Máx 25%

Fuente: especificaciones IDU, INVIAS y BOE

En el tema de los agregados finos al igual que en el anterior se tiene la diferencia en el tamaño de tamiz limitante en el cual según la normativa colombiana es la porción que va a quedar comprendida entre los tamices de 4,75 mm y el tamiz de 75 μ m. pero en la normativa europea tenemos los tamices de 2 mm y el de 0,063 mm.

Otra gran diferencia es que en la normativa europea se pide para el agregado fino un ensayo de desgaste en la Máquina de Los Ángeles (que en Colombia sólo se especifica para agregados gruesos) mientras que en la normativa colombiana existen para el agregado fino requerimientos de geometría (angularidad) y sanidad (solidez en sulfatos) que no están contemplados en la especificación europea.

Cuadro 5: Especificaciones granulométricas para el llenante mineral

LLENANTE MINERAL		
IDU	INVIAS	BOE
• En aporte (% en masa del llenante total) 100%	• En aporte (% en masa del llenante total) Mínimo 50%	• En aporte (% en masa del llenante total) 100% T00-T2 / Mín 50% T3-Arcenes
• Porcentaje que pasa por el tamiz No. 40 100%		• Porcentaje que pasa por el tamiz No. 10 100%
• Porcentaje que pasa por el tamiz No. 100 >90%	• Diferencia entre el punto de ablandamiento de una mezcla compuesta por 60% de llenante y 40% de asfalto 60-70 y la que corresponde al asfalto puro (proporciones en peso) = 10 a 20°C	• Porcentaje que pasa por el tamiz No. 120 85%-100%
• Porcentaje que pasa por el tamiz No. 200 >75%		• Porcentaje que pasa por el tamiz No. 250 >75%
• Densidad bulk (g/cm ³) 0,5-0,8	• Densidad bulk (g/cm ³) 0,5-0,8	• Densidad bulk (g/cm ³) 0,5-0,8
• Vacíos del llenante seco compactado ≥ 38%		

Fuente: especificaciones IDU, INVIAS y BOE

El llenante mineral o polvo mineral, radica su mayor diferencia entre las normativas en el tamiz de análisis, pues en la norma colombiana se utiliza el tamiz de 75 µm para separar los finos, sin embargo, la normativa europea emplea el tamiz de 63 µm (0,063 mm).

En cuanto a la procedencia y las proporciones máximas de finos, que se manejan en el agregado combinado, son iguales en ambas normativas (no mayores al 10%). La finura y actividad se evalúan en la norma europea con el ensayo de densidad aparente del polvo mineral (UNE-EN 1097-3) mientras que en las especificaciones colombianas sólo se evalúa la actividad con el ensayo de valor de azul de metileno en la especificación IDU.

8.3. TIPOS Y COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA

Cuadro 6 Recomendaciones en el diseño para la composición de la mezcla MAD

DISEÑO Y COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA		
IDU	INVIAS	BOE
Se debe de tener un valor de vacíos con aire entre el 20% y el 25%, y para saber si los vacíos con aire están bien interconectados se realizará una prueba de permeabilidad.	Los vacíos con aire de la mezcla compactada deben estar entre el 20% y el 25% del volumen total.	Se debe de entregar por parte del contratista al director de obra las características o propiedades que tendrá la mezcla. El contenido de huecos debe ser como mínimo del 20%.
Deberá de tener bajos resultados para la pérdida por abrasión en el ensayo Cántabro no superior al 25%.	Pérdidas por desgaste en ensayo Cántabro a 25°C no mayores al 25%.	Se analiza el desgaste la mezcla a 25°C en probetas compactadas con 50 golpes/cara, la cual no debe de superar el 20% de las pérdidas para trafico alto y del 25% para tráficos medio y bajo
La dosificación del material bituminoso no podrá ser inferior a 4,5% respecto al peso seco de los agregados	La dosificación del material bituminoso no será menor al 4,5% respecto a la masa seca de los agregados	Estudio de sensibilidad de las propiedades de la mezcla a variaciones de granulometría y dosificación del ligante hidrocarbonado.
Se debe comprobar la adhesividad de la mezcla entre el agregado y el ligante sometiendo a inmersión probetas en presencia de agua a 60°C durante 24 h, sin que se llegue a más del 40% en pérdidas para el ensayo Cántabro.	Para controlar la adhesividad se ensayarán probetas sometidas a un proceso de inmersión en agua a 60°C durante 24 h por abrasión en el ensayo de Cántabro, sin que se llegue a más del 40% en pérdidas	La sensibilidad al agua se determinará mediante el ensayo de resistencia conservada en tracción indirecta tras inmersión. El índice de esfuerzo tracción retenido deberá ser mayor al 85%.
- Se debe de verificar la mezcla con la medida del módulo dinámico según la hipótesis de diseño, analizando tres probetas. No debe de pasar en mas del 15% el valor de diseño y tampoco debe de estar por debaio en mas del 5%. - Se debe de tener un método de ensayo para el diseño de la mezcla de deformación controlada y de control de calidad según el ensayo de esfuerzo controlado para asegurar la buena medida de la ley de fatiga.	Prueba de permeabilidad con 100 ml de agua en una probeta midiendo el tiempo que se tarde en atravesar la muestra (máximo 15 segundos)	- Contenido de huecos, densidad bulk, resistencia a la deformación aparente, sensibilidad al agua, pérdida de partículas, escurrimiento de ligante (método de la cesta). - Temperatura de referencia para la compactación de las probetas y para la fabricación, extendido y compactación de la mezcla.

Fuente: especificaciones IDU, INVIAS y BOE

Esta es una mezcla la cual se divide en 9 tamices de diferente abertura a la conocida en Colombia pues los husos granulométricos vienen todos en milímetros, aunque en el análisis, sigue el mismo patrón que la referencia normal que se tiene para una MAD al poseer más del 70% de su contenido compuesto por gravas y alrededor de un 20% a un 25% de arenas, con un contenido de finos siempre inferior al 10%.

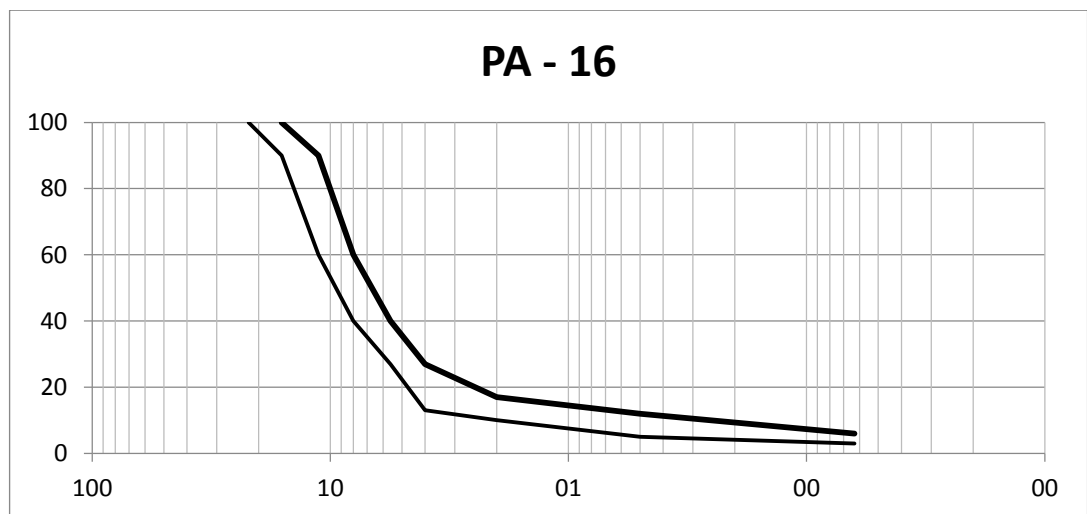
A diferencia de la norma que se tiene en Colombia, en la normativa europea se cuenta con al menos dos tipos de mezclas asfálticas drenantes tal y como se puede apreciar en el cuadro número 2, y las cuales vemos en las gráficas 1 y 2, marcando como diferencia entre estas su tamaño máximo nominal y las proporciones en las que se maneja el agregado grueso ya que en cuanto al agregado fino se maneja en las mismas proporciones

Cuadro 2: Husos Granulométricos. Material Acumulado. (% en masa)

TIPO DE MEZCLA (**)	ABERTURA DE LOS TAMICES. NORMA UNE-EN 933-2 (mm)								
	22	16	11,2	8	5,6	4	2	0,5	0,063
BBTM 8B (*)			100	90-100	42-62	17-27	15-25	8-16	4-6
BBTM 11B (*)		100	90-100	60-80		17-27	15-25	8-16	4-6
BBTM 8A (*)			100	90-100	50-70	28-38	25-35	12-22	7-9
BBTM 11A (*)		100	90-100	62-82		28-38	25-35	12-22	7-9
PA 16	100	90-100		40-60		13-27	10-17	5-12	3-6
PA 11		100	90-100	50-70		13-27	10-17	5-12	3-6

Fuente: Boletín oficial del estado español

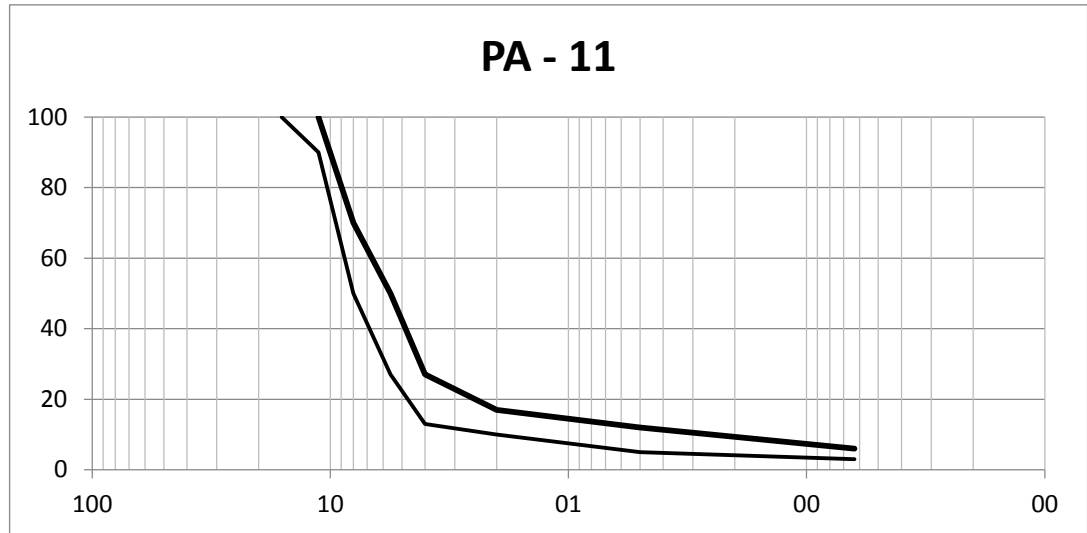
Gráfica 1: Especificación granulométrica tipo PA-16



Fuente: Boletín oficial del estado español

Tal y como se puede ver en el cuadro número 2 de husos granulométricos, la mezcla asfáltica drenante tipo PA-16 es una mezcla la cual, su tamaño máximo nominal es de 16 mm, con un bajo porcentaje de material granular

Gráfica 2: Especificación granulométrica tipo PA-11



Fuente: Boletín oficial del estado español

A diferencia de la mezcla PA-16 la mezcla asfáltica drenante PA-11 es una mezcla con un tamaño nominal menor y con una cantidad de material granular grueso menor, definiéndola como una mezcla más impermeable.

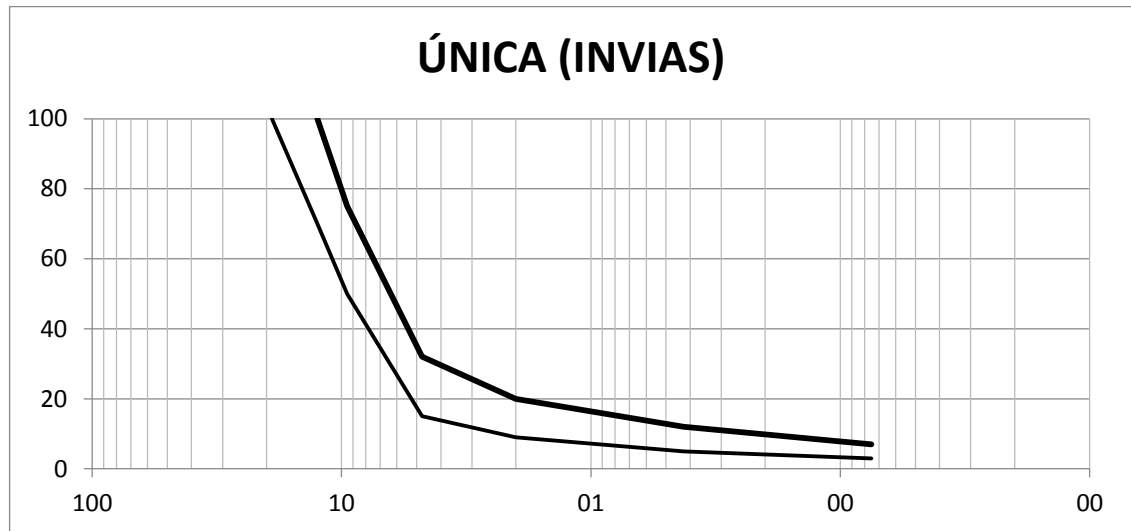
La especificación granulométrica dada por el Instituto Nacional de Vías la cual se observa en el Cuadro 3 deja muy claro a lo que se refiere a una mezcla drenante en cuanto al 70% de su composición granulométrica la cual está dada por gravas, un poco más del 20% compuesta por arenas y el excedente por material fino

Cuadro 3: Husos granulométricos. Porcentaje que pasa (% en masa)

TIPO DE MEZCLA	TAMIZ (mm / U.S. Standard)						
	19.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
	% PASA						
ÚNICA	100	70-100	50-75	15-32	9-20	5-12	3-7
TOLERANCIAS EN PRODUCCIÓN SOBRE LA FÓRMULA DE TRABAJO (±)	4 %			3 %			1 %

Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

Gráfica 3: Especificación granulométrica tipo Única



Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

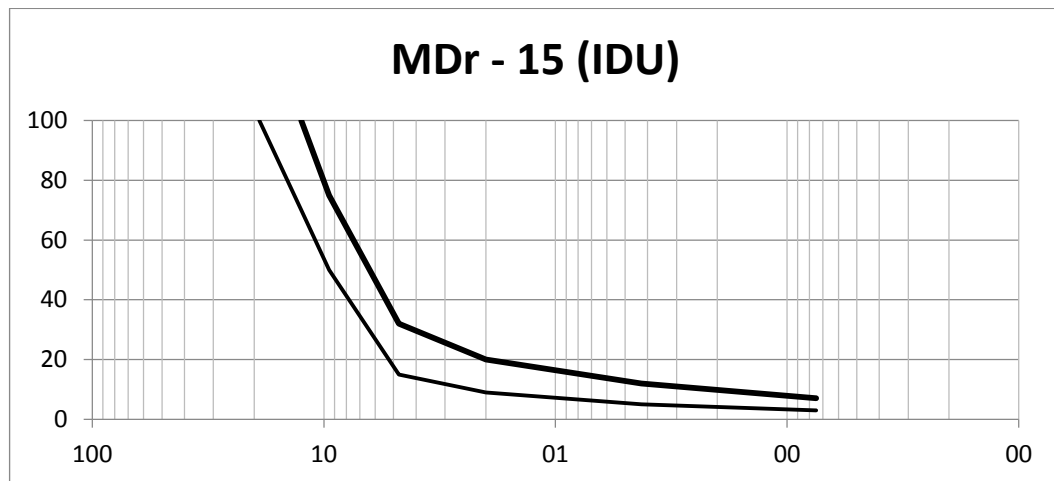
La mezcla única definida así por el instituto de desarrollo urbano IDU, maneja la misma granulometría que la MDr-15 del instituto nacional de vías, modificando simplemente su nombre, pero no su huso granulométrico, por ende, se puede decir que en la normativa colombiana solo se cuenta con un tipo de especificación para el diseño de mezclas asfálticas drenantes.

Cuadro 4: Husos granulométricos. Porcentaje que pasa (% en masa)

Tipo de Mezcla		Tamiz (mm / U.S. Standard)						
		19.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
		3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.10	No.40	No.200
		% Pasa						
Drenante	MDr15	100	70-100	50-75	15-32	9-20	5-12	3-7

Fuente: Instituto de Desarrollo Urbano (IDU)

Gráfica 4: Especificación granulométrica MDr 15



Fuente: Instituto de Desarrollo Urbano (IDU)

Se evidencia los diferentes porcentajes de árido grueso, árido fino y llenante, observando al comparar la diferencia de tamaño en los tamices.

Temas como la composición y la dotación de la mezcla, en Colombia se dejan a definición de la fórmula de trabajo del constructor mientras que en la norma europea se hacen claros los mínimos y máximos que se deben de tener en cuenta.

8.4. EQUIPO

Las diferencias principales a tener en cuenta en cuanto al equipo manejado en todo el proceso de aplicación de la mezcla asfáltica drenante, es que la normativa colombiana define cada uno de los equipos en un artículo externo al documento de especificaciones (Artículo 400), lo que hace más complicada la lectura y análisis de cada equipo en el campo, además la normativa europea analiza toda la maquinaria utilizada en el mismo documento, pero aun así, ambas definen y especifican los requerimientos de cada una claramente, sin embargo la normativa colombiana no prohíbe el uso de la mano de obra para la compactación de la mezcla, ya que al hacerlo de manera manual se corre con el riesgo de perder permeabilidad en la mezcla, se reduce la temperatura de la misma y es muy complicada su aplicación si es un asfalto modificado .

8.5. FÓRMULA DE TRABAJO

Cuadro 5: Características a tener en cuenta en la fórmula de trabajo

Granulometría de los agregados usados para la mezcla y sus debidas proporciones	La formula de trabajo debe de fijar unos minimos de características: Identificación y proporcion de cada fraccion de arido
Porcentaje de ligante asfáltico residual en relacion con el peso de la mezcla	Granulometría de los agregados combinados, dosificación del llenante mineral de aportacion, del llenante mineral de recuperación.
Porcentajes de aditivos respecto al peso del ligante asfáltico	Identificación y dosificación del ligante hidrocarbonado según masa total de la mezcla
Tiempos requeridos para la mezcla, temperaturas máximas y mínimas para calentamiento previo, para la salida del mezclador, para la mezcla en la descarga y para la mezcla al inicio y fin de la compactación	Dosificación de los aditivos al ligante según la cantidad de ligante hidrocarbonado
	Tiempos para mezcla de agregados en seco y con el ligante
	Temperaturas máximas y mínimas de calentamiento previo, la temperatura de mezclado según la viscosidad del asfalto, temperatura mínima para la mezcla en la descarga, temperatura maxima al inicio de compactacion, minima en el momento de la terminacion, adicionales.
	Dosificación de ligante hidrocarbonado según los materiales que se tengan para la mezcla y según la mezcla obtenida en la central de fabricacion

Fuente: IDU, INVIAS y BOE

En la normativa colombiana se dice que para la fórmula de trabajo se necesitara que esta considere cada uno de los agregados pétreos a usar y claro está, se debe

tener en cuenta las proporciones de mezcla de cada uno, así como los porcentajes de ligante asfáltico, pero en el caso de que se requiera usar otro material durante el desarrollo de la obra o se tome un cambio de tolerancias se deberá de formular una nueva fórmula de trabajo. Por su parte la normativa europea fija un mínimo de características que define en varios puntos los cuales son:

- Identificación y proporción de cada fracción del árido en la alimentación y, en su caso, después de su clasificación en caliente. (Ministerio de la presidencia Española, 2015).
- Granulometría de los áridos combinados, incluido el polvo mineral, por los tamices 22 mm; 16 mm; 11,2 mm; 8 mm; 5,6 mm; 4 mm; 2 mm; 0,500 mm y 0,063 mm de la norma UNE-EN 933-2 que correspondan para cada tipo de mezcla según la tabla 543.8, expresada en porcentaje del árido total con una aproximación del uno por ciento (1%), con excepción del tamiz 0,063 mm que se expresará con aproximación del uno por mil (1 ‰). (Ministerio de la presidencia Española, 2015)
- Dosificación, en su caso, de polvo mineral de aportación, expresada en porcentaje del árido total con aproximación del uno por mil (1‰). (Ministerio de la presidencia Española, 2015)
- Dosificación, en su caso, de polvo mineral de recuperación expresada en porcentaje del árido total con aproximación del uno por mil (1 ‰). (Ministerio de la presidencia Española, 2015)
- Identificación y dosificación de ligante hidrocarbonado referida a la masa total de la mezcla (incluido el polvo mineral), y la de aditivos al ligante, referida a la masa del ligante hidrocarbonado. (Ministerio de la presidencia Española, 2015)

- En su caso, tipo y dotación de las adiciones a la mezcla bituminosa, referida a la masa de la mezcla total. (Ministerio de la presidencia Española, 2015)
- En cuanto a los tiempos requeridos para mezcla, temperaturas máximas y mínimas y de adiciones es igual en ambos casos.

8.6. CONTENIDO DE VACÍOS

O según como lo llama la norma europea huecos debe tener en cuenta la norma de ensayo UNE-EN 12697-30 en la que se nombran las características de las probetas a ensayar y además de esto se habla del porcentaje de vacíos que estas deben tener como máximo ($\geq 20\%$). (Ministerio de la presidencia Española, 2015)

8.7. SENSIBILIDAD AL AGUA

Se toca el tema de la adhesividad ligante-árido y que resistencia tiene la muestra de mezcla mediante el ensayo de tracción indirecta tras inmersión que como mínimo debe de estar $ITRS \geq 85\%$, y como se habla a lo largo de toda la norma, las probetas además de cumplir con las dimensiones estas deben de haberse realizado mediante el procedimiento de la norma de ensayo UNE-EN 12697-30. Tema que no es tratado en la normativa colombiana.

9. OTRAS NORMAS

9.1. NORMATIVA NEOZEOLANDESA

En la normativa de especificaciones de Nueva Zelanda se definen tres tipos de mezcla asfáltica drenante como las más importantes y mayormente usadas, dando más alternativas para la aplicación de las mezclas asfálticas drenantes según el caso.

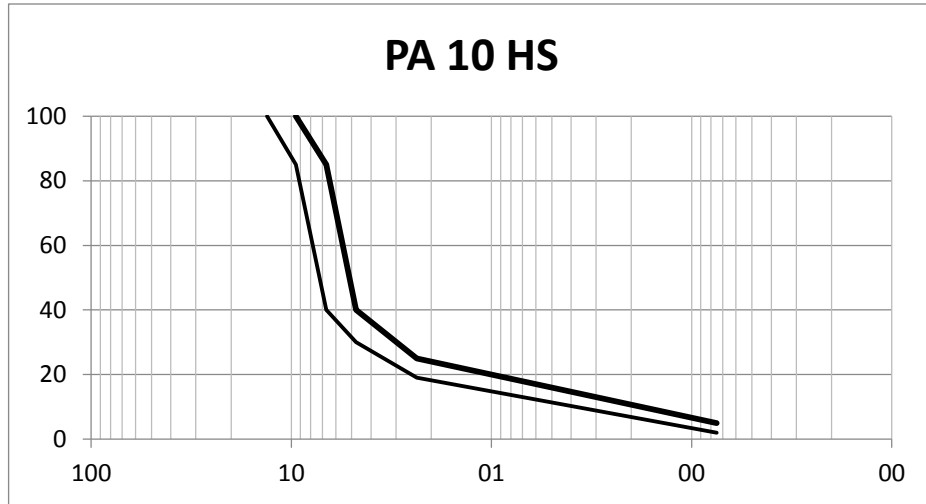
Cuadro 5: Especificaciones de las mezclas asfálticas porosas neozelandesas

Sieve Size mm	PA 10 HS	PA 10	PA 14	PA 7 HV	PA 10 HV	PA 14 HV	PA 20 HV
26.5							100
19			100			100	85-100
13.2	100	100	85-100		100	85-100	
9.5	85-100	85-100	35-50	100	85-100	10-25	10-25
6.7				85-100			
4.75	30-40	20-40	12-22	10-30	10-30	7-20	7-20
2.36	19-25	5-15	5-15	5-15	5-15	5-15	5-15
0.075	2-5	2-5	2-5	1-5	1-5	1-5	1-5
Effective Binder Content % by mass min	4.5	4.5	4.0	4.5	4.0	4.0	4.0
Minimum Thickness of Asphalt (mm)	25	25	30	20	25	30	50

Fuente: Ministerio de Transito de Nueva Zelanda.

La primera es la PA 10HS la cual es una mezcla que tiene un menor contenido de vacíos de aire y presenta una mayor resistencia al corte que la otras mezclas. Por lo tanto, puede soportar un mayor estrés de cizalladura del tráfico.

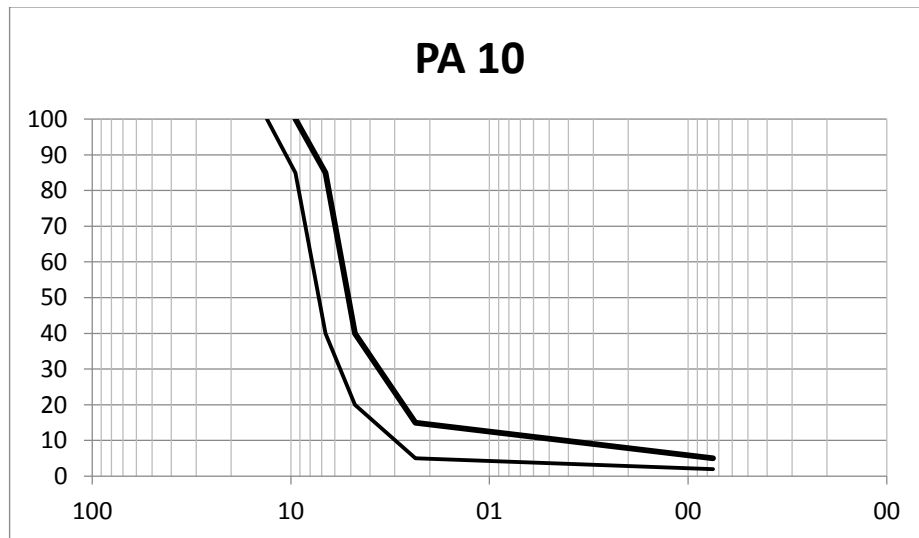
Gráfica 5: Especificación granulométrica tipo PA 10 HS



Fuente: Ministerio de Transito de Nueva Zelanda.

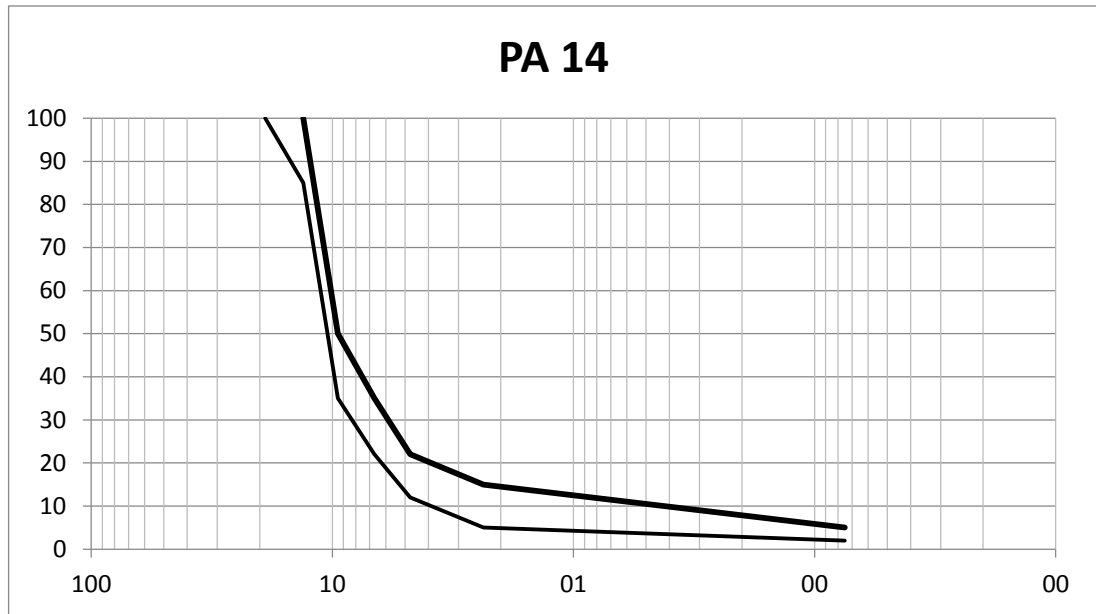
Seguidamente está la PA 10 que se caracteriza por ser una mezcla que tiene un contenido mínimo de vacío de diseño del 20% y está diseñada para ser utilizada en la mayoría de los lugares. Se puede usar con o sin modificación de polímero o aditivo.

Gráfica 6: Especificación granulométrica tipo PA 10



Fuente: Ministerio de Transito de Nueva Zelanda.

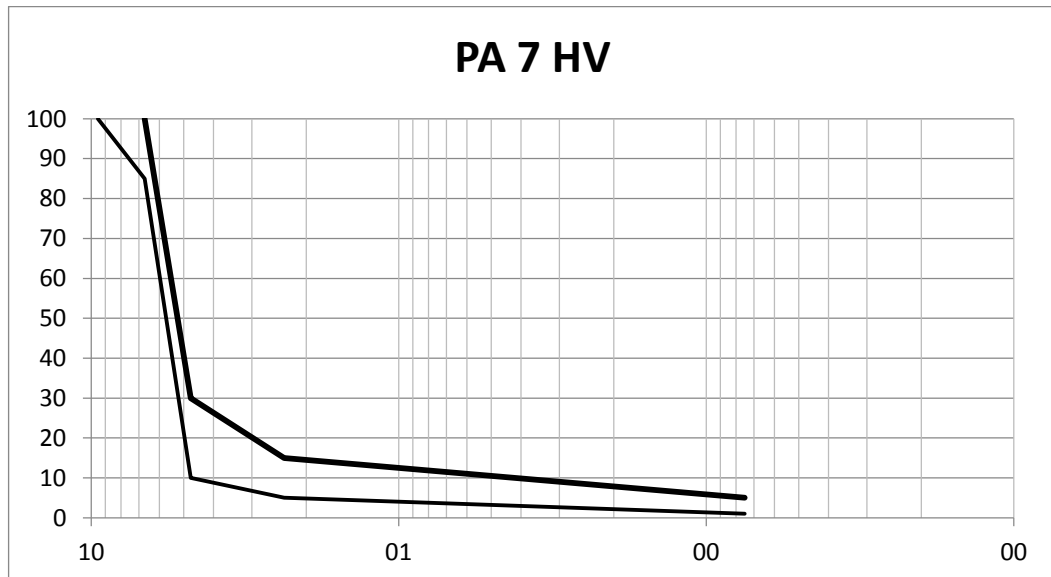
Gráfica 7: Especificación granulométrica tipo PA 14



Fuente: Ministerio de Transito de Nueva Zelanda.

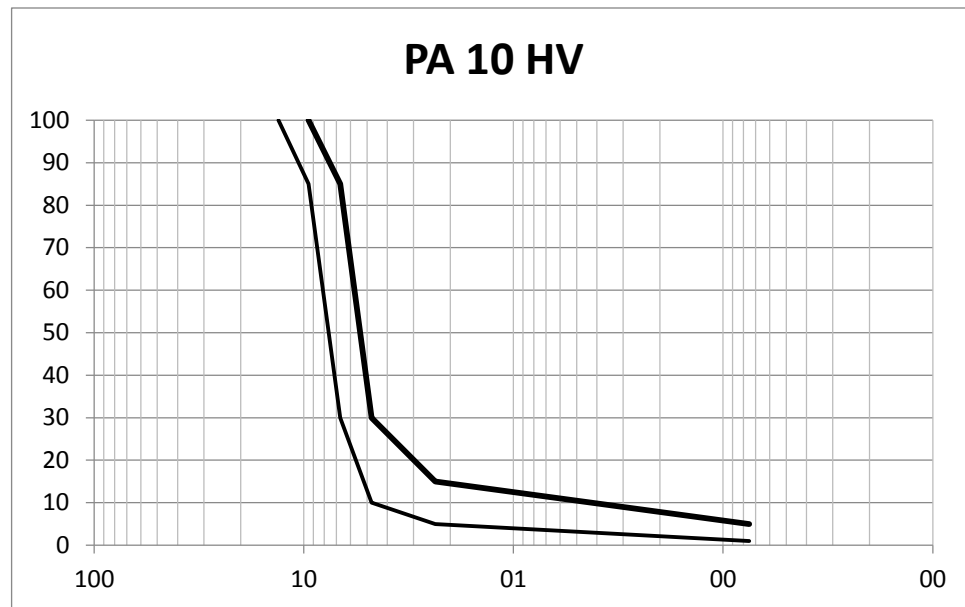
La mezcla PA 14 a diferencia de la PA 10 maneja un tamaño máximo nominal mayor, pero al igual que a la PA10 es una mezcla con un bajo índice de contenido de vacíos y la cual se puede llegar a usar en cualquier tipo de pavimentos y de tráfico.

Gráfica 8: Especificación granulométrica tipo PA 7 HV



Fuente: Ministerio de Transito de Nueva Zelanda.

Gráfica 9: Especificación granulométrica tipo PA 10 HV



Fuente: Ministerio de Transito de Nueva Zelanda.

Seguidamente esta la MAD PA 14HV, es una mezcla la cual debe tener una modificación de aglutinante para resistir el estrés abrasivo de tráfico. Esta es una mezcla de alto vacíos de aire con un contenido mínimo de vacíos de diseño del 25% en las cuales al llegar aproximadamente al 30% darán una reducción de ruido bastante identificable. Este tipo de mezclas deben presentar en su ensayo de Cántabro una pérdida máxima de material del 20%. (Transit New Zealand, 2007).

PA 14 HV

x	Upper Curve (y)	Lower Curve (y)
100	-	-
30	100	100
15	85	85
10	25	10
5	15	5
1	12	3
0.1	5	1
0.01	2	0.5

Por último, la PA 20HV es una mezcla la cual debe tener una modificación de aglutinante para resistir el estrés abrasivo de tráfico. Es una mezcla de alto vacío de aire con un contenido mínimo de vacíos de aire de diseño del 25% en las cuales al llegar aproximadamente al 30% darán una reducción de ruido bastante identificable.(Transit New Zealand, 2007).

The graph shows the relationship between distance (m) on the x-axis and a value (likely pressure or force) on the y-axis for two different conditions. The x-axis is logarithmic, ranging from 100 to 0.01. The y-axis ranges from 0 to 100. Both curves show a sharp decrease in the y-value as distance decreases from 100 to 10, followed by a more gradual decline.

Distance (m)	Value (Thin Line)	Value (Thick Line)
100	100	100
50	85	85
10	25	25
1	15	15
0.1	5	5
0.01	2	2

48

9.2. NORMATIVA ESTADOUNIDENSE

Los pavimentos porosos se han utilizado con éxito durante más de 35 años en una variedad de climas en todo el Estados Unidos. Proporcionan una superficie de pavimento que también es parte del sistema de gestión de aguas pluviales, reduciendo las aguas pluviales escorrentía y contaminantes y reposición de aguas subterráneas. Un número de estacionamientos de mezcla asfáltica drenante han durado más de 20 años sin más mantenimiento que la limpieza de rutina. (Wisconsin Asphalt Pavement Association, 2015).

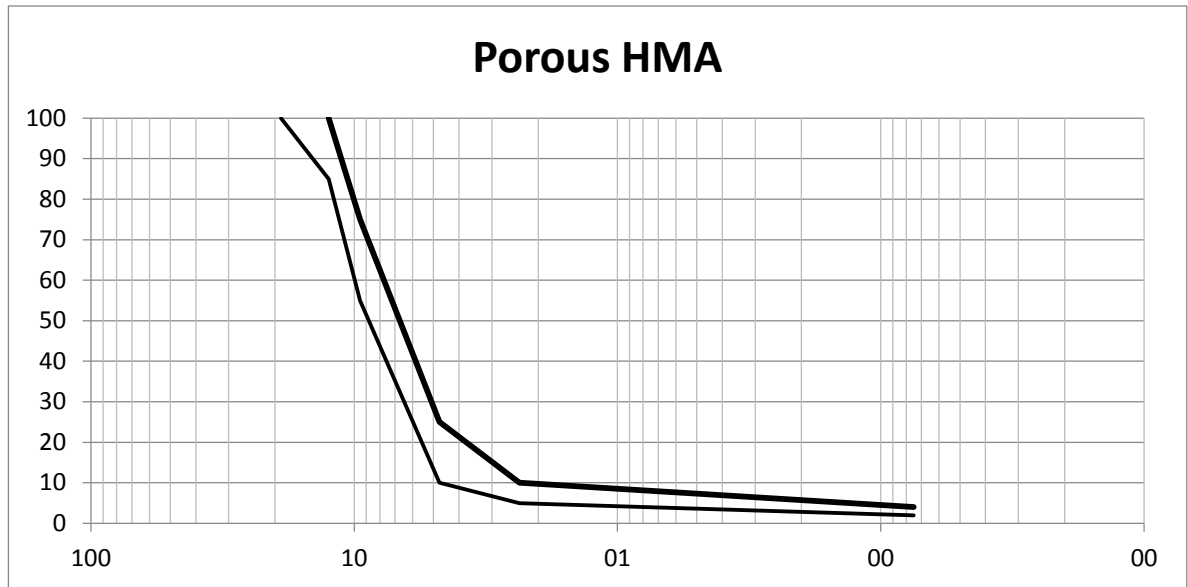
Cuadro 6: Barras de especificación para gradación del agregado de MAD

Sieve Size, mm (inch)	Porous HMA
19.0 (¾")	100
12.5 (½")	85-100
9.5 (3/8")	55-75
4.75 (#4)	10-25
2.36 (#8)	5-10
0.075 (#200)	2-4

Fuente: Wisconsin Asphalt Pavement Association (WAPA).

En el cuadro 6 se puede observar los husos granulométricos para la mezcla asfáltica drenante definida por la WAPA la cual es una de las agencias más importantes en la definición de especificaciones para asfaltos en Estados Unidos. Observando tal y como se ve en la gráfica 12 que se mantiene la misma relación que en las demás normativas con un alto grado de material grueso y poco material fino.

Gráfica 12: Especificación granulométrica tipo PA 20 HV



Fuente: Wisconsin Asphalt Pavement Association (WAPA).

10. CONCLUSIONES

- Se concluyó que a la normativa colombiana le hace falta tener una norma general para el país por la cual se pueda diseñar en todo el territorio nacional, la cual tenga en cuenta las especificaciones más exigentes de cada una de las presentes tanto la INVIAS como la IDU, tal y como lo realiza Europa, ofreciendo distintos tipos de diseños.
- Se identificó que para la normativa colombiana no se realizan pruebas de índice de plasticidad, equivalente de arena, valor de azul de metileno, impurezas, ni se habla de realizar el reporte de adhesividad en los agregados gruesos, dejando que el material usado para la fabricación de las mezclas asfálticas drenantes se haga con material que no es pasado por las mismas exigencias que el usado en Europa.
- Para el agregado fino no se solicita tener en cuenta que este sea verificado en cuanto a su dureza o desgaste según el agregado grueso, tema que si se tiene en cuenta en la normativa europea.
- No se tienen contempladas todas las normas o especificaciones de las mezclas drenantes en la norma colombiana, sino que refiere a otras especificaciones o artículos, complicando su análisis y lectura en campo como la fórmula de trabajo o las especificaciones de los equipos.

BIBLIOGRAFÍA

B. ROBERTO JIMENEZ GALLARDO. (1999). *Contaminación por escorrentía urbana*. Canales y Puertos, COLEGIO DE INGENIEROS DE CAMINOS.

Bentarzi, Y., Terfous, A., Ghenaim, A., Wanko, A., Hlawka, F., & Poulet, J. B. (2013). Hydrodynamic characteristics of a new permeable pavement material produced from recycled concrete and organic matter. *Urban Water Journal*, 10(4), 260-267. doi:10.1080/1573062X.2012.727835

Daniel Castro Fresno, Joseba Rodríguez Hernández, Jorge Rodríguez Hernández, & Francisco Ballester Muñoz. (2005). Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible(SUDS). *Interciencia*, 30(5), 255-260. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/210138258>

Eisenberg, B., Lindow, K. C., & Smith, D. R. (2015). *Permeable pavements*. Reston, VA: American Society of Civil Engineers. doi:10.1061/9780784413784 Retrieved from <http://ascelibrary.org/doi/book/10.1061/9780784413784>

Ferguson, B. K. (2005). *Porous pavements* (1st ed.). Baton Rouge: CRC Press. Retrieved from <http://www.crcnetbase.com/isbn/9781420038439>

German Juyar Mora, Gabriel Pérez Cely. (1998). *Comparación de mezclas asfálticas drenantes fabricadas con asfalto modificado y sin modificar*. Bogota, Colombia: Universidad Militar Nueva Granada.

Henonin, J., Russo, B., Mark, O., & Gourbesville, P. (2013). Real-time urban flood forecasting and modelling – a state of the art. *Journal of Hydroinformatics*, 15(3), 717. doi:10.2166/hydro.2013.132

INVIAS. (2012). *CAPÍTULO 4 – pavimentos asfálticos* ().

JAIME ANDRES CAMPOS CANESSA. (2010). Seguimiento y comparación del comportamiento de tramos con mezcla drenante, según zona geográfica y condiciones locales. *Añales De La Universidad De Chile*, doi:10.5354/0365-7779.1853.2441

Karl M. Smith. (2016). *Economic analysis of wider benefits to facilitate SUDS uptake in london, UK* (28th ed.). Londres, Reino Unido:

López Moreno, C. P. (2013). *Comportamiento mecánico de mezcla asfáltica drenante*. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/50603/>

Lucke, T., Beecham, S. C., Boogaard, F., & Myers, B. Are infiltration capacities of clogged permeable pavements still acceptable? Paper presented at the Retrieved from http://itupl-ura1.ml.unisa.edu.au:80/R/?func=dbin-jump-full&object_id=118200

Ministerio de la presidencia Española. (2015). *BOE 543 mezclas drenantes y discontinuas*

Policía Nacional de Colombia. (2017). ¿Sabe qué es el hidroplaneo o acuaplaneo en conducción? Retrieved from <https://www.policia.gov.co/noticia/sabe-que-es-hidroplaneo-o-acuaplaneo-conduccion-0>

Robert M Roseen, Thomas P. Ballesteros, James Houle, Show Kristopher. (2012). Water quality and hydrologic performance of a porous asphalt pavement as a storm-water treatment strategy in a cold climate. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/273616446_Water_Quality_and_Hydrologic_Performance_of_a_Porous_Asphalt_Pavement_as_a_Storm-Water_Treatment_Strategy_in_a_Cold_Climate/citations

Sangiorgi, C., Eskandarsefat, S., Tataranni, P., Simone, A., Vignali, V., Lantieri, C., & Dondi, G. (2017). *A complete laboratory assessment of crumb rubber porous asphalt* doi://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.016

Transit New Zealand. (2007). *Specification for open graded porous asphalt*

Trujillo Lpez, A., & Quiroz Lasprilla, D. P. (2013). Pavimentos porosos utilizados como sistemas alternativos al drenaje urbano. *Pavimentos Porosos Utilizados Como Sistemas Alternativos Al Drenaje Urbano*,

Trujillo, D., Valero, C. C., & Lozano, H. J. (2015). *Comparación del comportamiento de una mezcla asfáltica adicionada con fibras de terlenka y una convencional*

WHITE, T. D. (1966). Porous friction surface course. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-37749017276&partnerID=40&md5=0ea20efe120c293607baad2ffd64bd1f>

Wisconsin Asphalt Pavement Association. (2015). *Porous asphalt pavements*