



# UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE  
MEZCLAS DRENANTES PARA LA APLICACIÓN EN LA  
CONSTRUCCIÓN EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

ARMIJOS CABRERA RICARDO TEODORO  
INGENIERO CIVIL

MACHALA  
2022



# UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE  
MEZCLAS DRENANTES PARA LA APLICACIÓN EN LA  
CONSTRUCCIÓN EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

ARMIJOS CABRERA RICARDO TEODORO  
INGENIERO CIVIL

MACHALA  
2022



# UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

EXAMEN COMPLEXIVO

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE MEZCLAS  
DRENANTES PARA LA APLICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN EN PAVIMENTOS  
ASFÁLTICOS

ARMIJOS CABRERA RICARDO TEODORO  
INGENIERO CIVIL

SANCHEZ MENDIETA CARLOS EUGENIO

MACHALA, 21 DE FEBRERO DE 2022

MACHALA  
21 de febrero de 2022

# Análisis comparativo de las propiedades físicas de Mezclas Drenantes para la aplicación en la construcción en Pavimentos Asfálticos

*por Ricardo Armijos*

---

**Fecha de entrega:** 11-feb-2022 08:17a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 1760014986

**Nombre del archivo:** Trabajo\_practico\_ricardo\_armijos.docx (139.16K)

**Total de palabras:** 4654

**Total de caracteres:** 24148

# Análisis comparativo de las propiedades físicas de Mezclas Drenantes para la aplicación en la construcción en Pavimentos Asfálticos

---

## INFORME DE ORIGINALIDAD

---

1 %

INDICE DE SIMILITUD

1 %

FUENTES DE INTERNET

0 %

PUBLICACIONES

0 %

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

---

## FUENTES PRIMARIAS

---

1

prezi.com

Fuente de Internet

1 %

---

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 40 words

Excluir bibliografía

Activo

## **CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL**

El que suscribe, ARMIJOS CABRERA RICARDO TEODORO, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Análisis comparativo de las propiedades físicas de Mezclas Drenantes para la aplicación en la construcción en Pavimentos Asfálticos, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 21 de febrero de 2022



**ARMIJOS CABRERA RICARDO TEODORO**  
0704114230

## **DEDICATORIA**

A mis padres que nunca perdieron su fe en mí para alcanzar este propósito, a mi esposa la cual siempre estuvo a mi lado en cada momento, a mis hermanas que persistentemente me motivaron día a día para alcanzar mis metas, a mis hijos que son el motor principal para seguirme preparando.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco infinitamente a mis padres quienes me apoyaron desde el inicio de la carrera motivándome cada día a ser persistente con mis sueños y metas, a mis hermanas que en algún momento supieron colaborarme para que pudiera seguir estudiando.

Un agradecimiento especial a mi querida esposa por saber comprender mis sacrificios para poder alcanzar esta meta.



## RESUMEN

El presente documento hace referencia a un amplio contenido bibliográfico de artículos científicos, basado en criterios de diseño de pavimentos asfálticos drenantes, que permita abordar los diferentes problemas que se presentan como: accidentes de tránsito por hidroplaneo provocado por el encharcamiento de agua en la calzada, ruido generado por el contacto entre neumático y pavimento tradicional, contaminación del suelo y aguas residuales. El objetivo que se pretende alcanzar es un análisis comparativo de las propiedades físicas de Mezclas Drenantes para la aplicación en la construcción en Pavimentos Asfálticos, destacando una porosidad del 20 al 25%. En esta investigación se asume una metodología basada en parámetros de diseño internacionales para la construcción de pavimentos asfálticos permeables como: tipo de mezcla, vacíos de aire, tamaño máximo nominal, tipo de asfalto, vacíos en los agregados minerales, vacíos rellenos de asfalto, contenido de asfalto, métodos de compactación, pérdida de Cántabro, drenaje, espesor de la capa de rodadura. Sin embargo, en esta investigación se determina que los diseños más competentes para alcanzar nuestro objetivo son los diseños presentados en los países de Costa Rica y Malasia, con vacíos de aire del 21%, contenidos de asfalto de 5.6% y 5% respectivamente, tipo de mezclas empleadas a base de fibras de celulosa y cal hidratada, consiguiendo una reducida permeabilidad de 0.15% y una pérdida por desgaste del 21.5% en el diseño del pavimento asfáltico drenante.

**PALABRAS CLAVES:** Mezclas drenantes, pavimentos asfálticos, vacíos de aire, drenaje, aglutinantes, polímeros, contenido de asfalto, pérdida de Cántabro.

## **ABSTRACT**

This document refers to a wide bibliographic content of scientific articles, based on design criteria of draining asphalt pavements, which allows addressing the different problems that arise such as: traffic accidents due to hydroplaning caused by water puddling on the roadway, noise generated by the contact between tire and traditional pavement, soil contamination and wastewater. The objective to be achieved is a comparative analysis of the physical properties of draining mixtures for the application in the construction of asphalt pavements, highlighting a porosity of 20 to 25%. This research assumes a methodology based on international design parameters for the construction of permeable asphalt pavements such as: type of mix, air voids, maximum nominal size, type of asphalt, voids in mineral aggregates, voids filled with asphalt, asphalt content, compaction methods, Cantabro loss, drainage, thickness of the wearing course. However, in this research it is determined that the most competent designs to achieve our objective are the designs presented in the countries of Costa Rica and Malaysia, with air voids of 21%, asphalt contents of 5.6% and 5% respectively, type of mixes used based on cellulose fibers and hydrated lime, achieving a reduced permeability of 0.15% and a wear loss of 21.5% in the design of the draining asphalt pavement.

**KEYWORDS:** Drainage mixes, asphalt pavements, air voids, drainage, binders, polymers, asphalt content, Cantabrian loss.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	1
AGRADECIMIENTO.....	2
RESUMEN.....	3
ABSTRACT.....	4
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
<b>1. INTRODUCCION.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1 Importancia del tema.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2 Actualidad de la problemática.....</b>	<b>6</b>
<b>1.3 Formulación del problema científico.....</b>	<b>7</b>
1.3.1 Contextualización.....	7
1.3.2 Análisis Crítico.....	7
1.3.3 Pregunta científica.....	7
<b>1.4 Delimitación del objeto de estudio.....</b>	<b>7</b>
<b>1.5 Justificación.....</b>	<b>8</b>
<b>1.6 Objetivos.....</b>	<b>8</b>
1.6.1 Objetivo General.....	8
1.6.2 Objetivos Específicos.....	8
<b>2. DESARROLLO.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Marco Teórico.....</b>	<b>9</b>
2.1.1 Antecedentes conceptuales y referenciales.....	9
2.1.2 Antecedentes contextuales.....	9
<b>2.2 Materiales y métodos.....</b>	<b>10</b>
2.2.1 Métodos empíricos con los materiales utilizados.....	10
<b>2.3 Análisis e interpretación de resultado.....</b>	<b>14</b>
<b>3. CONCLUSIONES.....</b>	<b>16</b>
REFERENCIAS.....	17

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Parámetros de diseño en los países que utilizan mezclas asfálticas permeables.....	12
<b>Tabla 2</b> Parámetros de diseño en los países que utilizan mezclas asfálticas permeables.....	13
<b>Tabla 3</b> Resultados de la Investigación.....	14
<b>Tabla 4</b> Resultados de la Investigación.....	15

# **1. INTRODUCCION**

## **1.1 Importancia del tema**

La característica principal del pavimento asfáltico poroso es su destacado manejo del agua de lluvia para mitigar varios problemas ambientales. La estructura porosa permite que el agua drene con rapidez y sea evacuada lateralmente para reducir la pérdida de adherencia durante la conducción entre neumático y pavimento.

Los beneficios del pavimento asfáltico poroso es atenuar inundaciones por acumulación pluvial encunetada; reduce los niveles de ruido provocado por el contacto entre neumático y pavimento; reduce la temperatura superficial; previene la infiltración de contaminantes al suelo y repone las aguas residuales.

## **1.2 Actualidad de la problemática**

En la actualidad existen más ventajas que desventajas ante esta problemática sobre los diseños de mezclas drenantes para su aplicación en pavimentos asfálticos. Estas ventajas son: mejoramiento de resistencia al deslizamiento en la conducción húmeda, disminución del salpicado y rociado; reducción de nivel de ruido provocado por el contacto pavimento-neumático; producción de agua de filtrado más limpia; mejora la visibilidad durante la lluvia y reflejo de luz en el pavimento; se requiere un mínimo esfuerzo de compactación dando una mejor calidad de marcha; proporciona contacto entre agregados con alto contenido de aglutinante para resistir al agrietamiento y deformación permanente. Las limitaciones que se generan: mayor costo inicial por el alto contenido de asfalto y aditivos para las modificaciones de la mezcla drenante; debe colocarse sobre un pavimento impermeable; limitada vida útil funcional y estructural; se necesita drenaje lateral a través de drenes o canales laterales incrementando la construcción de obras complementarias.

## **1.3 Formulación del problema científico**

### **1.3.1 Contextualización**

Las mezclas drenantes o porosas son un tipo especial de mezclas asfálticas uniformes con un alto contenido de vacíos de aire entre 20% y 25% y una gradación granulométrica. Las mezclas drenantes poseen los beneficios de mejorar la seguridad de la conducción, mitigar la lluvia y el hidroplaneo, reducir el ruido y la contaminación del suelo.

### **1.3.2 Análisis Crítico**

Las desventajas que obtendremos por no utilizar las mezclas asfálticas drenantes sería el aumento de la inseguridad para la conducción debido a la acumulación de agua lluvia provocando el hidroplaneo, adicionalmente, no sería posible reducir la contaminación acústica ocasionada entre neumático-pavimento.

### **1.3.3 Pregunta científica**

¿Cuál es el método o ensayo para mezclas drenantes que me permita la construcción de superficies de pavimentos?

## **1.4 Delimitación del objeto de estudio**

Debido a que el Ecuador diseña sus carreteras con pendientes transversales para lograr evacuar el agua de lluvia y conducirla hacia los drenes o cunetas, se ven afectadas al existir lluvias de larga duración, formándose una lámina de agua sobre el pavimento asfáltico que ocasiona inseguridad para el conductor al reducir la adherencia entre neumático y pavimento debido al hidroplaneo, al mismo tiempo surge otro problema debido a la reflexión de la luz que perturba la visibilidad del conductor por las noches, lo que aumenta las posibilidades de sufrir un accidente de tránsito.

## **1.5 Justificación**

El propósito de esta investigación es analizar los múltiples beneficios que nos proporciona la elaboración de mezclas drenantes para su aplicación en pavimentos asfálticos para que mejore y solucione los problemas ambientales en las tradicionales vías de nuestro país.

La metodología implementada en varios países europeos nos muestra que el diseño de un pavimento asfáltico poroso puede drenar y evacuar el agua con rapidez, otorgándole seguridad al conductor. Del mismo modo, favorece en la reducción del ruido ocasionado por los neumáticos.

Sin embargo, las últimas investigaciones sostienen que esta metodología contribuye a gran escala en la reposición de aguas residuales, siendo muy amigable con el medio ambiente.

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 Objetivo General**

- Elaborar un análisis comparativo de las propiedades físicas de Mezclas Drenantes para la aplicación en la construcción en Pavimentos Asfálticos

### **1.6.2 Objetivos Específicos**

- Fundamentar conceptualmente mediante un análisis comparativo de las propiedades físicas de Mezclas Drenantes para la aplicación en la construcción en Pavimentos Asfálticos
- Examinar los resultados del análisis comparativo de las propiedades físicas de Mezclas Drenantes para la aplicación en la construcción en Pavimentos Asfálticos

## **2. DESARROLLO**

### **2.1 Marco Teórico**

#### 2.1.1 Antecedentes conceptuales y referenciales

El pavimento de asfalto poroso se diseñó originalmente para drenar rápidamente el agua de lluvia con el fin de mejorar la seguridad de la conducción en los días de lluvia [1], debido a sus propiedades de drenaje, reducción del ruido y antideslizamiento [2].

A mediados del siglo pasado, las mezclas asfálticas permeables (PAM), se desarrollaron en California para mejorar la resistencia a la fricción de la superficie de los pavimentos asfálticos [3], se caracterizan por un mayor contenido total de vacíos de aire (AV), del orden del 18 al 25% [4].

Según estudios existentes, una temperatura de compactación más baja y una energía de compactación insuficiente dan como resultado un mayor contenido de huecos de aire, lo que da lugar a la falla prematura de la mezcla empeorando el desempeño del pavimento [5].

El asfalto es modificado con polímeros mediante un proceso de mezclado a alta temperatura [6] debido a las características mecánicas de los pavimentos permeables que son peores que las de los pavimentos convencionales debido a su alta porosidad [7].

#### 2.1.2 Antecedentes contextuales

Para lograr una mezcla con porosidad adecuada y que mantenga una resistencia a la disgregación y que este dentro de los parámetros normados como mezcla asfáltica drenante, es necesario el empleo de asfalto modificado con aditivo mejorador de adherencia [8].

La durabilidad en condiciones secas, son mejores que en condiciones húmedas durante el proceso por humedad. El daño por humedad tiene una influencia significativa en la evolución del daño de las mezclas de pavimento asfáltico [9].

Según los resultados, el contenido de aglutinante de diseño y la densidad máxima teórica para las mezclas con relleno de diatomita fueron los más altos,

lo que indica que la diatomita tiene una capacidad de adsorción más fuerte en comparación con la cal hidratada y el cemento [10].

La inclusión de fibras de celulosa en la mezcla no parece ayudar a reducir el estirado a largo plazo durante el período de evaluación, ya que la mezcla de control que contenía fibras experimentó una reducción de permeabilidad similar a la de las mezclas de aglutinantes modificados con caucho de neumáticos triturados (GTR) y mezcla de asfalto caliente (WMA) que no incluían fibras [11].

## **2.2 Materiales y métodos**

### **2.2.1 Métodos empíricos con los materiales utilizados**

El primer paso en el proceso de diseño de la mezcla drenante es seleccionar adecuadamente los materiales, es decir, el ligante asfáltico modificados con polímeros (PMB) y los áridos gruesos mediante pruebas de laboratorio para evaluar las propiedades mecánicas [3].

Como segundo paso la selección de la gradación del diseño requiere una curva de gradación discontinua y una baja presencia de agregados finos para cumplir con el límite superior e inferior en la granulometría logrando un alto contenido de vacíos de aire del 18% al 25% [3].

El tercer paso para el procedimiento de diseño de la mezcla aplicando el ensayo Marshall para la elaboración de briquetas se compactan cuatro probetas por cada contenido de asfalto mediante 50 golpes por cara, con dimensiones de 2.5 in (63.5 mm) de altura, diámetro de 4.0 in (101.6 mm); mediante el ensayo Cántabro para las muestras secas debe ser inferior al 25% y para las muestras húmedas el límite superior permitido es 40%; se determina su gravedad específica para la obtención de los vacíos de aire [8].

Para el cuarto paso se determina el contenido óptimo de asfalto (OAC) que deberá cumplir con cuatro criterios; 1) Los vacíos de aire de la mezcla compactada debe estar entre 20% y 25%; 2) la capacidad de drenaje ( $100 \text{ cm}^3$ ) de agua deberá atravesar la muestra previamente humedecida en un tiempo no mayor a 15 segundos; 3) la pérdida de peso mediante el ensayo Cántabro no debe superar el 25% en seco y el 40% en húmedo, 4) la selección de OAC es inferior al 4,5% [3].



Las superficies porosas de dos capas permiten reducir el ruido asociado con las ruedas rodantes hasta en 8 dB en comparación con el hormigón asfáltico de grano medio [12].

Un mayor contenido de aglutinante reduce el contenido de huecos de aire, sin embargo, el coeficiente de permeabilidad se reduce con el aumento de la dosis de caucho en migajas [13].

Se ha desarrollado a nivel mundial un modo alternativo de diseñar los pavimentos de estacionamientos y calles de bajo tránsito, construyendo estructuras que permiten el paso del agua a través de la capa superficial hacia su interior [14], desafortunadamente tienen un defecto bastante costoso que es la necesidad de un mantenimiento estricto y exigente [15].

Generalmente, los agregados gruesos (mayores de 2,36 mm) se utilizan para constituir la estructura del esqueleto del concreto asfáltico poroso y la masilla asfáltica, que incluye aglutinante asfáltico, rellenos minerales y agregados finos, llena los poros formados por los agregados gruesos [16].

El efecto del carbón activado en la mezcla asfáltica porosa, indica que los resultados de las pruebas de drenaje de ligantes, el carbón activado aumenta el contenido óptimo de asfalto debido a su capacidad de absorbencia [17].

Debido a su alto contenido de vacíos de aire de tamaño medio, el hormigón poroso tiene una resistencia estática moderada en comparación con el hormigón normal, teniendo una actuación dinámica única [18].

Los pavimentos de hormigón entrelazado permeable (PICP), se implementan para proporcionar tratamiento de la escorrentía en su origen mientras soportan el tráfico vehicular [19].

Existen cuatro tipos de aglutinantes muy comunes que se utilizan para mejorar el rendimiento de las Mezclas Asfálticas Drenantes: el betún modificado con polímeros (PMB), el betún modificado con caucho triturado (CRMB), el betún modificado con estireno-butadieno-estireno (SBS) y el betún de alta viscosidad (HVB) [20].

**Tabla 1** Parámetros de diseño en los países que utilizan mezclas asfálticas permeables

País	Colombia	España	Australia	Países Bajos	Italia
<b>Normas</b>	Artículo 453 -13	Artículo 543-15	AGPT048 4B-14	N/A	N/A
<b>Tipo de Mezcla</b>	MD	PA-16 PA-11	OG-10 OG-14 OG-20	PA 0/11 PA 0/16	PA-14 PA-10
<b>AV min (%)</b>	20 - 25	20	20	20	16
<b>TMN (mm)</b>	12.5	16 11.2	9.5 13.2 19	11 16	14 10
<b>Tipo de Asfalto</b>	PMA	PMA AR	PMA AR	PG asfalto	SBS Aglutinante
<b>AC min (%)</b>	4.5	4.3	5.5 5.0 4.5	4.5	5
<b>Uso de Fibras</b>	N/A	Opcional	Mineral fibras	N/A	N/A
<b>Golpes Marshall Giros Superpave</b>	50 golpes por cara	50 golpes por cara	80 giros	50 golpes por cara	50 golpes por cara
<b>Pérdida Cantabro máximo (%)</b>	25 seco 40 húmedo	25 seco 40 húmedo	20 seco 30 húmedo	N/A	25 seco 30 húmedo
<b>Daños por humedad</b>	N/A	85	N/A	N/A	N/A
<b>Drenaje (%)</b>	N/A	N/A	0.3	N/A	0.2
<b>Espesor de la capa (mm)</b>	20 - 40	40 - 50	30	50	40
<b>Ciclo de vida (años)</b>	8 - 10	12 - 15	8 - 10	10 - 12	8 - 10

Nota. BBRC: Centro Belga de Investigación de Carreteras, REAM: Asociación de Ingeniería de Carreteras de Malasia. PG: Asfalto clasificado por penetración. PMA: Asfalto modificado con polímeros. AR: Asfalto de caucho. MA: Tipo de aglutinante grado 60/70 modificado con TPS (elastómero estireno-termoplástico). N/A: Información no disponible.

**Fuente 1** La información contenida en la Tabla 2 [3].

**Tabla 2** Parámetros de diseño en los países que utilizan mezclas asfálticas permeables

País	Malasia	Bélgica	Japón	Estados Unidos	Texas (EE UU)
<b>Normas</b>	REAM (type B)	BRRC	N/A	ASTM D7064	TxDOT Art. 342
<b>Tipo de Mezcla</b>	PA-14 PA-10	PA 0/14	PA	OGFC	PFC
<b>AV min (%)</b>	18 - 25	22	20 - 22	18	18
<b>TMN (mm)</b>	14 10	14	13.2	12.5	12.5
<b>Tipo de Asfalto</b>	PMA	PMA AR	MA	PMA AR	PMA AR
<b>AC min (%)</b>	4 - 5	4	4	6.0 - 6.5	6.0
<b>Uso de Fibras</b>	N/A	N/A	Ninguno	mineral o celulosa	mineral o celulosa
<b>Golpes Marshall</b>	50 golpes por cara	50 golpes por cara	50 golpes por cara	50 giros	50 giros
<b>Giros Superpave</b>	15 seco	20 seco	20 seco	20 seco 30 húmedo	20 seco
<b>Pérdida Cantabro máximo (%)</b>					
<b>Daños por humedad</b>	80	N/A	N/A	80	N/A
<b>Drenaje (%)</b>	0.3	N/A	N/A	0.3	0.1
<b>Espesor de la capa (mm)</b>	50	40	25 - 30	25 - 30	20 - 25
<b>Ciclo de vida (años)</b>	>8	8 - 10	7 - 10	>8	6 - 8

Nota. BRRC: Centro Belga de Investigación de Carreteras, REAM: Asociación de Ingeniería de Carreteras de Malasia. PG: Asfalto clasificado por penetración. PMA: Asfalto modificado con polímeros. AR: Asfalto de caucho. MA: Tipo de aglutinante grado 60/70 modificado con TPS (elastómero estireno-termoplástico). N/A: Información no disponible.

**Fuente 2** La información contenida en la Tabla 2 [3].

En la tabla 1 y 2 los autores [3] nos muestran parámetros de diseño en los países que utilizan mezclas asfálticas permeables con sus respectivas normas, tipo de mezcla, vacíos de aire, tamaño nominal de agregado, tipo de asfalto, contenido de asfalto, usos de fibras, tipo de ensayo, pérdida de Cántabro, daños por humedad, drenaje, espesores en calzada y el ciclo de vida.

## 2.3 Análisis e interpretación de resultado

**Tabla 3** Resultados de la Investigación

País	Colombia			Costa Rica		
<b>Normas</b>	Artículo 453 -13			N/A		
<b>Tipo de Mezcla</b>	PAM-MD	PAM-MD	OGFC	SIN FIBRA	FIBRA C.	CAL
<b>AV (%)</b>	21.2	20	16	21	21	21
<b>TMN (mm)</b>	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
<b>Tipo de Asfalto</b>	PMA			PTA		
	tipos III	tipos II	tipos II PG			
<b>VMA %</b>	25.3	N/A	24	29.4	29.6	29.3
<b>VFA %</b>	15.3	N/A	42.5	28.6	29	28
<b>AC (%)</b>	3.7	4.5	5.5	5.3	5.6	5
<b>Golpes Marshall</b>	50 golpes	50 golpes	50 golpes	50 giros	50 golpes	50 golpes
<b>Giros Superpave</b>	por cara	por cara	por cara		por cara	por cara
<b>Pérdida Cantabro (%)</b>	12.3 seco	<25 seco	12 seco	N/A	N/A	N/A
	26.5 húmedo	<40 húmedo	14.5 húmedo	N/A	N/A	N/A
<b>Drenaje (%)</b>	N/A	N/A	0.2	0.13	0.15	0.03
<b>Espesor de la capa (mm)</b>	54	40	23	N/A	N/A	N/A
<b>Referencias</b>	[3]			[6]		

**Fuente 3** Elaboración propia

En el análisis que detallamos en la Tabla 3 para los diseños de pavimento asfáltico drenante, se destaca para los autores [3] en Colombia el tipo de mezcla MD o mezcla drenante que alcanza el 21.2% de vacíos de aire con un bajo contenido de asfalto de 3.7% que fue suficiente para cumplir con los requisitos mínimos de pérdida de Cántabro, para esto, se lo comparo con el mejor diseño propuesto por los autores [6] en Costa Rica que presentan el mejor diseño en función de su drenaje de 0.15% que su diseño alcanzo el 21% de vacíos de aire con un contenido de asfalto del 5.6% dando cumplimiento a los requisitos estándares, este diseño cuenta con fibras de celulosa en su diseño de mezcla lo que le proporcionara mejor desempeño en el deshilachado y la formación de surcos, que en conclusión le proporciona mejor durabilidad.

**Tabla 4** Resultados de la Investigación

País	Ecuador	Malasia	Irán		China
<b>Normas</b>	ASTM	REAM (type B)	ASTM C131		ASTM D 7064
<b>Tipo de Mezcla</b>	PA-12	CAL	CR-10%	SBS	OGFC
<b>AV (%)</b>	22.85	21	20.98	22	20
<b>TMN (mm)</b>	12.5	14	12.5	12.5	13.2
<b>Tipo de Asfalto</b>	AC-20	PG76	PG58-22		MA
<b>VMA %</b>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
<b>VFA %</b>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
<b>AC (%)</b>	3.65	5	5	4.6	5.67
<b>Golpes Marshall Giros Superpave</b>	50 golpes por cara	50 giros	50 giros	50 giros	50 giros
<b>Pérdida Cantabro (%)</b>	16.5 seco 30 húmedo	21.5 seco N/A	27.73 seco N/A	22.42 seco N/A	N/A N/A
<b>Drenaje (%)</b>	N/A	0.28	0.15	0.15	N/A
<b>Espesor de la capa (mm)</b>	N/A	50	N/A	N/A	N/A
<b>Referencias</b>	[8]	[10]	[13]		[16]

Fuente 4 Elaboración propia

Los resultados presentados en la Tabla 4 indican que, en el país de Irán, por un lado, el caucho granulado (CR) y estireno-butadieno-estireno (SBS) reducen la permeabilidad del pavimento asfáltico con un valor de 0.15% de drenaje y, por otro lado, mejoran significativamente la resistencia a la formación de surcos [13], su diseño es balanceado para lograr alcanzar el 21 y 22% de vacíos de aire respectivamente y dando cumplimiento al contenido de asfalto mínimo permitido con 4.6 y 5%. Por otro lado, se lo contraste con el país de Malasia, otro diseño que destaca en nuestro análisis con la utilización de cal hidratada que es un aditivo que proporciona una buena unión adhesiva en la interfaz aglutinante-agregado [10], alcanzando el 21% de vacíos de aire con el 5% de contenido de asfalto y con una pérdida de 21.5% que cumple con lo permitido para el ensayo de Cántabro.

### **3. CONCLUSIONES**

Regularmente, para que sea considerada mezcla asfáltica drenante, el porcentaje de vacíos de aire debe estar entre 20-25%. Sin embargo, en países como Italia y Estados Unidos manejan un rango del 16-18% de vacíos de aire debido al tráfico pesado que manejan en sus diseños, ya que, a medida que se gana porosidad, se pierde resistencia. Se observa que el porcentaje de vacíos alcanzados por los países de Costa Rica y Malasia fueron del 21% destacando como diseños adecuados en nuestra investigación.

El contenido de asfalto recomendado es del 4.5% como mínimo, a pesar de eso, países como España, Bélgica y Japón manejan valores inferiores que van de 4-4.3% de contenido de asfalto, logrando alcanzar porosidad por encima del 20%. Analizando los resultados de los investigadores para los países de Costa Rica y Malasia fueron de 5.6% y 5% respectivamente.

En esta investigación se concluye que ambos diseños en los países de Costa Rica y Malasia son ideales para un posterior ensayo de laboratorio, para poder destacar el tipo de mezcla más sobresaliente en cuanto a fibras de celulosa y cal hidratada. Sin embargo, para Costa Rica su diseño logra una permeabilidad de 0.15% un poco reducido con lo establecido para llegar al 0.3%; para el siguiente diseño en el país de Malasia maneja una pérdida por desgaste del 21.5% en seco efectuando lo señalado de ser menor a 25%, así mismo garantiza durabilidad superior a los 8 años en el diseño del pavimento asfáltico drenante.

## REFERENCIAS

- [1] Z. Wang, J. Xie, L. Gao, Y. Liu y K. Li, «Study on Air Void Characteristics and Hydraulic Characteristics of Porous Asphalt Concrete Based on Image Processing Technology,» *Geofluids*, vol. 2021, 2021.
- [2] C. Sánchez Mendieta, J. J. Galán y I. Martínez Lage, «Physical and hydraulic properties of porous concrete,» *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, nº 19, 2021.
- [3] V. Senior Arrieta y C. Graciano, «A review of design, construction, and performance of permeable asphalt mixes in rainy countries: case of Colombia,» *International Journal of Pavement Research and Technology*, vol. 14, nº 3, pp. 334-347, 2021.
- [4] A. E. Alvarez Lugo, O. J. Reyes Ortiz y R. Miró, «A review of the characterization and evaluation of permeable friction course mixtures,» *Ingeniare*, vol. 22, nº 4, pp. 469-482, 2014.
- [5] J. Tian, S. Luo, Z. Liu, X. Yang y Q. Lu, «Determination of construction parameters of porous ultra-thin overlays based on laboratory compaction studies,» *Materials*, vol. 13, nº 20, pp. 1-21, 2020.
- [6] L. Ramírez Castro, M. Arce, F. Elizondo y M. Jiménez, «MEZCLAS DRENANTES,» *Ciudad Universitaria Rodrigo Facio*, pp. 1-23, 2005.
- [7] J. Ahn, T. H. Nguyen, I. K. Yoo y J. Oh, «Investigation of mechanical and hydrologic characteristics of porous asphalt pavement with a geocell composite,» *Materials*, vol. 14, nº 12, 2021.
- [8] A. R. Logroño Pico, H. A. Bravo Tapia, B. A. Zambrano Medranda y E. H. Ortiz Hernández , «Análisis de Mezcla Asfáltica Drenante como alternativa de Diseño para vía alterna dentro de los predios de la Universidad Técnica De Manabí,» *REVISTA RIEMAT*, vol. 5, nº 2, 2020.
- [9] X. Hu, X. Wang, N. Zheng, Q. Li y J. Shi, «Experimental investigation of moisture sensitivity and damage evolution of porous asphalt mixtures,» *Materials*, vol. 14, nº 23, 2021.
- [10] N. A. Mohd Shukry, N. A. Hassan, M. E. Abdullah, M. R. Hainin, N. I. Md Yusoff, R. P. Jaya y A. Mohamed, «Effect of various filler types on the properties of porous asphalt mixture,» *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018.
- [11] B. J. Putman y K. R. Lyons, «Laboratory Evaluation of Long-Term Draindown of Porous Asphalt Mixtures,» *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 27, nº 10, p. 04015009, 2015.
- [12] L. Bichajło y K. Kołodziej, «Porous asphalt pavement for traffic noise reduction and pavement dewatering-the pollution problem,» *E3S Web of Conferences*, 2018.
- [13] B. Shirini y R. Imaninasab, «Performance evaluation of rubberized and SBS modified porous asphalt mixtures,» *Construction and Building Materials*, vol. 107, pp. 165-171, 2016.
- [14] H. De Solminihac, C. Videla, B. Fernández y J. Castro, «Desarrollo de mezclas de hormigón poroso para pavimentos urbanos permeables,» *Materiales de Construcción*, vol. 57, pp. 23-36, 2007.
- [15] B. Mazur y A. Kotwa, «Porous Concrete as an Anti-Aquaplaning Building Material,» *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019.

- [16] W. Huang, X. Cai, X. Li, W. Cui y K. Wu, «Influence of nominal maximum aggregate size and aggregate gradation on pore characteristics of porous asphalt concrete,» *Materials*, vol. 13, nº 6, 2020.
- [17] X. Hu, K. Dai y P. Pan, «Investigation of engineering properties and filtration characteristics of porous asphalt concrete containing activated carbon,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 209, pp. 1484-1493, 2019.
- [18] A. S. Agar Ozbek, J. Weerheijm, E. Schlangen y K. Van Breugel, «Investigating porous concrete with improved strength: Testing at different scales,» *Construction and Building Materials*, vol. 41, pp. 480-490, 2013.
- [19] A. Tirpak, R. J. Winston, M. Feliciano y J. D. Dorsey, «Stormwater quality performance of permeable interlocking concrete pavement receiving run-on from an asphalt traffic lane in a cold climate,» *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 27, nº 17, pp. 21716-21732, 2020.
- [20] A. Gupta, J. Rodriguez Hernandez y D. Castro Fresno, «Incorporation of additives and fibers in porous asphalt mixtures: A review,» *Materials*, vol. 12, nº 19, 2019.
- [21] V. Senior Arrieta y J. E. Córdoba Maquilón, «Mechanical characterization of porous asphalt mixes modified with fatty acid amides -FAA-,» *Ingeniería e Investigación*, vol. 37, nº 1, pp. 43-48, 2017.
- [22] D. Günther, J. Beckmann, M. Schöneich, P. Schmidt y O. Klepel, «Porous concrete as a template for the synthesis of porous carbon materials,» *Carbon*, vol. 50, nº 8, pp. 3096-3098, 2012.
- [23] A. Holcman, G. Gorjanc y I. Štuhec, «Porous concrete block as an environmental enrichment device increases activity of laying hens in cages,» *Poultry Science*, vol. 87, nº 9, pp. 1714-1719, 2008.
- [24] K. L. Roja, E. Masad y W. Mogawer, «Performance and blending evaluation of asphalt mixtures containing reclaimed asphalt pavement,» *Road Materials and Pavement Design*, vol. 22, nº 11, pp. 2441-2457, 2021.
- [25] A. E. Alvarez Lugo, J. S. Carvajal Muñoz y L. F. Walubita, «Comparison of the air voids characteristics of different hot mix asphalt (HMA) mixture types,» *Ingeniare*, vol. 22, nº 1, pp. 74-87, 2014.
- [26] Y. V. Yee Wan , C. M. Jorge Eliécer y R. Q. Hugo Alexander , «Evaluación del desgaste por abrasión de una mezcla drenante modificada con residuo de llanta triturada (GCR),» *Tecnura*, vol. 20, nº 50, pp. 106-118, 2016.