



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

Disertación previa a la obtención del título de Ingeniero Civil

**Diseño estructural de un pavimento permeable mediante la relación de vacíos y
su aplicación al drenaje vial**

Autor: José Enrique Nazareno Suárez

Director: Ing. Msc. Byron Morales Muñoz

Quito, octubre de 2014

HOJA DE PRESENTACION DEL TEMA DE TESIS

CARRERA: INGENIERIA CIVIL

NOMBRES Y APELLIDOS: JOSE ENRIQUE NAZARENO SUAREZ

TITULO DEL TEMA: Diseño estructural de un pavimento permeable mediante la relación de vacíos y su aplicación al drenaje vial

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA: Las temperaturas bajas afectan las propiedades del asfalto y en consecuencia las propiedades físicas de las mezclas, originando el fisuramiento de las capas asfálticas, por contracción térmica. El pavimento permeable no tiene finos o posee pocos finos. Este pavimento se usa principalmente como pavimento en aplicaciones de vialidades de bajo tráfico. Es un pavimento especial. El uso del pavimento permeable por su capacidad de almacenamiento permite disminuir las dimensiones de las cunetas y cuando se diseña la alternativa de berma - subdren, esta permite eliminar la cuneta.

OBJETIVOS:

General: Diseñar una mezcla de pavimento permeable mediante la variación de la relación de vacíos que nos permita obtener propiedades estructurales e hidráulicas óptimas para su uso en pavimentos urbanos.

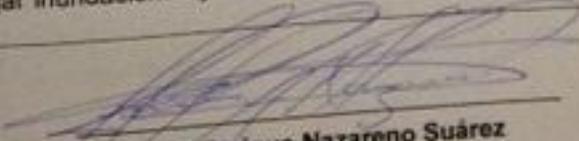
Específicos:

Establecer parámetros para el diseño estructural básico de un pavimento permeable.

Realizar ensayos requeridos para el diseño de un pavimento estructural, tomando en cuenta la normativa nacional vigente.

Establecer la metodología de diseño más apropiada y los procedimientos constructivos más adecuados para el pavimento poroso.

JUSTIFICACION: Las ventajas de los pavimentos permeables son que reduce (a casi cero) descargas máximas del agua de lluvia de las áreas pavimentadas, ayuda a mitigar inundaciones y al mismo tiempo incrementa la recarga del agua subterránea.

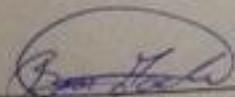

José Enrique Nazareno Suárez

APROBACION DEL TUTOR

Yo, Ingeniero Byron Morales Muñoz, tutor designado por la Universidad Internacional del Ecuador UIDE para revisar el proyecto de investigación científica con el tema: **"Diseño estructural de un pavimento permeable mediante la relación de vacíos y su aplicación al drenaje vial"** del estudiante **José Enrique Nazareno Suárez**, considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos de fondo y los méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Comité Examinador designado por la Universidad.

Quito, octubre del 2014.

EL TUTOR



Ing. Msc. Byron Morales Muñoz

C.C. 171256590-0

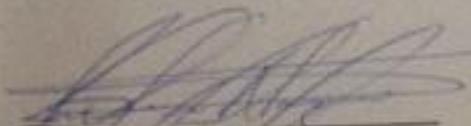
AUTORIA DEL TRABAJO DE INVESTIGACION

Yo, José Enrique Nazareno Suárez, declaro que el trabajo de investigación denominado: **"DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN PAVIMENTO PERMEABLE MEDIANTE LA RELACIÓN DE VACIOS Y SU APLICACIÓN AL DRENAJE VIAL"** es original, de mi autoría y exclusiva responsabilidad legal y académica, habiéndose citado las fuentes correspondientes y en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, sin restricción de ningún género o especial.

Quito, octubre del 2014.

EL AUTOR



José Enrique Nazareno S.

C.C. 080139867-8

DEDICATORIA

*Dedico este trabajo a aquellas personas
Que han sido mi fortaleza e impulso en
Los momentos de derrota, a quienes
Sostuvieron mi mano y guiaron mi camino
En épocas de oscuridad, a quien me miro
A los ojos y levanto la voz, cuando
Me negaba a escuchar un consejo,
A quienes siempre están ahí para reír
Y llorar... Para ellos... mi familia y amigos,
Pues este trabajo es más de ellos que mío.*

Gracias.

José Enrique Nazareno S.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios por haberme dado la fuerza necesaria para poder culminar con éxito esta etapa de mi vida; en segundo lugar a cada uno de los que son parte de mi vida, mi familia, en especial a mis dos mamás, Norma e Irma quienes a lo largo de toda mi existencia han apoyado y motivado mi formación académica, creyeron en mí en todo momento y no dudaron de mis habilidades.

A mi esposa e hijos Camilita Belén y Luisito Enrique, porque son mi motor para ser mejor persona cada día.

Este proyecto es el resultado del esfuerzo conjunto de todos ellos, mi familia, mis amigos, mi director de tesis, a mí estimado amigo y guía... Mi jefe y quienes a lo largo de este tiempo han puesto a prueba sus capacidades y conocimientos en el desarrollo de este proyecto.

A mis profesores a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual abrió y abre sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

¡Lo logramos!...

...Aunque cruce por oscuras quebradas, no temeré ningún mal, porque tú estás conmigo: tu vara y tu bastón me infunden confianza... (Salmo 23,4)

INDICE

HOJA DE PRESENTACION DEL TEMA DE TESIS	¡Error! Marcador no definido.
APROBACION DEL TUTOR	¡Error! Marcador no definido.
AUTORIA DEL TRABAJO DE INVESTIGACION	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
INDICE	vii
RESUMEN	xviii
INTRODUCCION	xix
CAPITULO I	21
1.1 PLANTEAMIENTO, FORMULACION, SISTEMATIZACION Y DESCRIPCION DEL PROBLEMA.	21
1.2 JUSTIFICACION	22
1.3 OBJETIVOS: GENERAL Y ESPECÍFICO	23
1.3.1 Objetivo General	23
1.3.2 Objetivos Específicos	23
CAPITULO II	24
2. MARCO CONCEPTUAL Y TEORICO	24
2.1 MARCO CONCEPTUAL.....	24
2.2 MARCO TEORICO.....	27
2.2.1 DEFINICION, FUNCION Y CARACTERISTICAS DE UN PAVIMENTO	30
2.2.2 ELEMENTOS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE, SU FUNCION Y CARACTERISTICAS.....	31

2.2.2.1 La carpeta	31
a) Material Bituminoso.....	31
b) Agregados Pétreos	32
2.2.2.2 La base.....	32
a) Materiales.....	32
2.2.2.3 La subbase.....	33
a) Materiales.....	34
2.2.2.3 La subrasante.....	34
a) Materiales.....	35
2.2.3 DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS	36
2.2.3.1 Características técnicas del asfalto	36
2.2.3.2 Estudio y Análisis realizado.....	37
2.2.4 LABORATORIO DE PAVIMENTOS Y PRUEBAS REALIZADAS	39
2.2.4.1 Ensayo de Penetración	39
2.2.4.2 Ensayo de Ductilidad.....	39
2.2.4.3 Ensayo de Viscosidad	40
2.2.4.4 Ensayo de Punto de Inflamación.....	40
2.2.4.5 Ensayo de Densidad Relativa	40
2.2.4.6 Ensayo de Peso Específico.....	41
2.2.4.7 Ensayo de Pérdida de masa por calentamiento	41
2.2.4.8 Referencias Normativas	42
2.2.5 PAVIMENTOS PERMEABLES.....	43
2.2.5.1 Antecedentes	43
2.2.5.2 Descripción.....	44

2.2.5.3 Diseño estructural	46
2.2.5.4 Capas Inferiores	47
2.2.5.5 Ventajas de la mezclas drenantes.....	49
a) Eliminación del hidropneumático	49
b) Resistencia al deslizamiento con pavimento mojado	49
c) Reducción de las proyecciones de agua.....	49
d) Reducción del ruido al paso del vehículo.....	49
2.2.5.6 Desventajas de la mezclas drenantes.....	50
a) Mayor costo inicial.....	50
b) Diseño geométrico riguroso	50
c) Drenaje lateral.....	50
d) Pérdida de drenabilidad	50
2.2.5.7 Consideraciones generales para el diseño de pavimentos porosos.....	51
2.2.5.8 Descripción de los métodos de diseños	53
a) Método Bruce Marshall	53
b) Método Cántabro	54
2.2.5.9 Mantenimiento del pavimento permeable.....	58
2.2.5.10 Medidas para conservar la permeabilidad.....	58
2.2.5.11 Filler.....	59
2.2.6 METODO CONSTRUCTIVO	61
2.2.6.1 Parámetros de diseño de la muestra.....	62
a) Asfalto.....	62
b) Mezcla Drenante	62
c) Formula Ideal	63

2.2.7 DRENAJE VIAL.....	64
2.2.7.1 Efectos del agua sobre el pavimento.....	65
2.2.7.2 Consideraciones de drenaje en el diseño de pavimento	66
a) Zanjas drenantes	67
b) Ubicación	68
c) Filtros y materiales drenantes	69
d) Tubería drenante.....	69
e) Subdrenes 100% sintéticos.....	69
2.2.7.3 Construcción	70
a) Precauciones para evitar la colmatación en la fase de construcción	70
b) Control de dimensiones.....	71
c) Control de calidad de materiales	71
d) Transporte de la mezcla.....	72
e) Extensión de la mezcla	72
f) Juntas transversales y longitudinales.....	73
g) Limpieza.....	73
h) Conductividad hidráulica relativa.....	74
2.2.7.4 Mantenimiento de los pavimentos drenantes	75
2.3 FUNDAMENTACION LEGAL	77
2.3.1 PARAMETROS PARA EL DISEÑO	78
2.3.2 GRANULOMETRIA DEL MATERIAL	78
2.3.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS MATERIALES	79
2.3.3.1 Fracción Granular Gruesa	79
2.3.3.2 Fracción Granular Fina.....	80

2.3.4 ELABORACION DE BRIQUETAS.....	81
2.3.5 PRUEBA DE ESTABILIDAD Y FLUJO.....	82
2.3.6 ANALISIS DE DENSIDAD Y VACIOS.....	82
2.3.6.1 Porcentaje en volumen de los agregados	83
2.3.6.2 Porcentaje total de vacíos	84
2.3.6.3 Porcentaje de vacíos en los agregados minerales	84
2.3.6.4 Volumen efectivo de asfalto	84
CAPITULO III	85
3. METODOLOGIA Y TIPO DE INVESTIGACION	85
3.1 TIPO DE INVESTIGACION.....	85
3.2 POBLACION Y MUESTRA.....	85
3.3 TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS.....	86
3.4 UBICACIÓN DE MINA.....	87
3.5 ENSAYOS Y DISEÑO DE PAVIMENTO POROSO	88
3.5.1 GRANULOMETRIA DE ARIDOS	88
3.5.1.1 Fracción Granular Gruesa Muestra (M-1).....	88
3.5.1.2 Fracción Granular Gruesa Media Muestra (M-2).....	90
3.5.1.3 Fracción Granular FINA Muestra (M-3)	92
3.5.2 GRAVEDAD ESPECIFICA.....	94
3.5.2.1 Gravedad Especifica Muestra Gruesa (M-1)	94
3.5.2.2 Gravedad Especifica Muestra Media (M-2)	95
3.5.2.3 Gravedad Especifica Muestra Fina (M-3).....	96
3.5.3 GRAVEDAD ESPECIFICA MEZCLA ASFALTICA	97
3.5.4 GRAVEDAD ESPECIFICA RICE MEZCLA ASFALTICA.....	98

3.5.5 METODO MARSHALL	99
3.5.6 ENSAYO DE CANTABRO.....	103
3.5.7 ENSAYO DE CANTABRO HUMEDO.....	104
3.5.8 ENSAYO DE PERMEABILIDAD	105
3.5.9 ENSAYO DE PELADURA	106
3.6 ANALISIS DE RESULTADOS.....	107
3.6.1 FORMULA IDEAL	107
3.6.1.1 Agregados	107
3.6.1.2 Porcentaje de Asfalto	109
3.6.1.3 Porcentajes óptimos de la fórmula ideal.....	110
CAPITULO IV.....	111
4. ANALISIS DE COSTOS.....	111
4.1 ANALISIS DE COSTO BENEFICIO	113
4.1.1 PAVIMENTO NORMAL.....	113
4.1.2 PAVIMENTO POROSO.....	113
4.1.3 ANALISIS COMPARATIVO.....	113
CAPITULO V.....	115
5.1 CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES.....	115
5.1.1 CONCLUSIONES.....	115
5.1.2 RECOMENDACIONES	117
5.2 BIBLIOGRAFIA	119
5.3 ANEXOS	121
5.3.1 NORMA NLT-327/00.....	121
5.3.2 NORMA NLT-352/86.....	124

5.3.3 NORMA NLT-362/92	126
5.3.4 NORMA NLT-365/93	129
5.3.5 NORMA NLT-166/92	132
5.3.6 HISTORIAL FOTOGRAFICO	135

INDICE DE FOTOGRAFIAS, GRAFICOS

Gráfico 2.1: Diseño de Estructural Pavimento Permeable	45
Fuente: Instituto Nacional de Vías de Colombia	45
Gráfico 2.2: Diseño de Estructural Pavimento Permeable	48
Fuente: Diseño Moderno de Pavimentos asfálticos	48
Gráfico 2.3: Zanja Drenante Longitudinal.....	68
Fuente: Control de escorrentías urbanas	68
Gráfico 3.1: Ensayo Marshall	83
Fotografía 3.0: Ubicación Mina El Colibrí	87
Gráfico 3.1: Curva Granulométrica Agregado Grueso.....	89
Gráfico 3.2: Curva Granulométrica Agregado Grueso Medio.....	91
Gráfico 3.3: Curva Granulométrica Agregado Fino.	93
Gráfico 3.2: Peso Unitario vs % de Asfalto.....	100
Gráfico 3.3: % de Vacíos vs % de Asfalto	100
Gráfico 3.4: Estabilidad vs % de Asfalto.....	101
Gráfico 3.5: VAM vs % de Asfalto	101
Gráfico 3.6: Flujo vs % de Asfalto	102
Gráfico 4.1: Curva Granulométrica Mezcla Asfáltica.....	108
Gráfico 4.2: Peso Unitario vs % de Asfalto.....	109
Gráfico 4.3: Pavimento Normal vs Pavimento Poroso.....	114
Fotografía 3.1: Juego de tamices	135
Fotografía 3.2: Agregado a utilizarse	135
Fotografía 3.3: Agregados secados en horno	136
Fotografía 3.4: Pesado de materiales	136

Fotografía 3.5: Equipo utilizado para Gravedades Especificas	137
Fotografía 3.6: Peso de muestra sumergida	137
Fotografía 3.6: Peso de muestra sumergida	138
Fotografía 3.7: Muestras para Briquetas	138
Fotografía 3.8: Muestra Caliente para elaboración Briquetas	139
Fotografía 3.9: Agregados a temperatura constante para elaboración Briquetas	139
Fotografía 3.10: Mezcla de agregados para elaboración Briquetas	140
Fotografía 3.11: Briquetas elaboradas al 3% de contenido de asfalto	140
Fotografía 3.12: Peso de Briquetas con diferentes contenidos de asfalto.....	141

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2.0: Normas para Mezclas Asfálticas</i>	42
<i>Fuente: MOP-001-F-2002</i>	42
<i>Tabla 2.0.1: Normas para Mezclas Asfálticas</i>	43
<i>Fuente: MOP-001-F-2002</i>	43
<i>Tabla 2.1: Husos Granulométricos para Mezclas Asfálticas</i>	56
<i>Drenantes de la Normativa Española.</i>	56
<i>Fuente: Norma NLT-352/86.</i>	56
<i>Tabla 2.2: Tiempos de Drenaje de la ASSHTO.</i>	67
<i>Fuente: Manual ASSHTO, 1993.</i>	67
<i>Tabla 2.3: Coeficientes de Corrección.</i>	75
<i>Fuente: Comisión Permanente del Asfalto, 2005</i>	75
<i>Tabla 3.1: Parámetros de diseño para calificar la Emulsión asfáltica.</i>	78
<i>Fuente: Normas ASSHTO, ASTM e INEN.</i>	78
<i>Tabla 3.2: Granulometría Agregado Grueso.</i>	88
<i>Fuente: José Enrique Nazareno.</i>	88
<i>Tabla 3.3: Granulometría Agregado Grueso Medio.</i>	90
<i>Fuente: José Enrique Nazareno.</i>	90
<i>Tabla 3.4: Granulometría Agregado Fino.</i>	92
<i>Fuente: José Enrique Nazareno.</i>	92
<i>Tabla 3.5: Gravedad Específica Agregado Grueso</i>	94
<i>Fuente: José Enrique Nazareno.</i>	94
<i>Tabla 3.6: Gravedad Específica Agregado Medio</i>	95
<i>Fuente: José Enrique Nazareno.</i>	95

<i>Tabla 3.7: Gravedad Específica Agregado Fino.....</i>	<i>96</i>
<i>Fuente: José Enrique Nazareno.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 3.8: Gravedad Específica Mezcla Asfáltica</i>	<i>97</i>
<i>Fuente: José Enrique Nazareno.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 3.9: RICE Mezcla Asfáltica</i>	<i>98</i>
<i>Fuente: José Enrique Nazareno.....</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 3.10: MARSHALL Mezcla Asfáltica</i>	<i>99</i>
<i>Fuente: José Enrique Nazareno.....</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 3.11: Ensayo Cántabro Mezcla Asfáltica</i>	<i>103</i>
<i>Fuente: José Enrique Nazareno.....</i>	<i>103</i>
<i>Tabla 3.12: Ensayo Cántabro Húmedo Mezcla Asfáltica</i>	<i>104</i>
<i>Fuente: José Enrique Nazareno.....</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 3.13: Ensayo Permeabilidad Mezcla Asfáltica.....</i>	<i>105</i>
<i>Fuente: José Enrique Nazareno.....</i>	<i>105</i>
<i>Tabla 3.14: Ensayo Peladura Mezcla Asfáltica</i>	<i>106</i>
<i>Fuente: José Enrique Nazareno.....</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 4.10: Granulometría Mezcla Asfáltica.....</i>	<i>108</i>
<i>Fuente: José Enrique Nazareno.....</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 4.2: Fórmula Maestra Mezcla Asfáltica.....</i>	<i>110</i>
<i>Fuente: José Enrique Nazareno.....</i>	<i>110</i>
<i>Tabla 4.3: Análisis Comparativo.....</i>	<i>113</i>
<i>Fuente: José Enrique Nazareno.....</i>	<i>113</i>

RESUMEN

Las mezclas drenantes o porosas necesitan de otro tipo de diseño, este método debe ayudar a poder determinar el desempeño que la mezcla tendrá puesta en campo. Se parte de la característica principal de estas mezclas, la cual es su alto contenido de huecos o vacíos (20 – 25%) que permiten que el agua drene a través de ella, por lo que la condición principal que debe cumplir es su resistencia a la disgregación con el mayor porcentaje de vacíos posible.

Este trabajo pretende iniciar la investigación de nuevas tecnologías en el campo de las vías, específicamente en el diseño de pavimentos con mezclas asfálticas.

El diseño estará basado en el ensayo Cántabro, el cual utiliza la máquina de los ángeles para someter probetas Marshall y simular las condiciones de abrasión del tráfico. Se determina el contenido de ligante que sea capaz de mantener una cohesión que no permita el fácil desprendimiento de las partículas con el máximo contenido de huecos posible.

El diseño de la mezcla porosa se basa fundamentalmente en dos criterios: resistencia a la disgregación y permeabilidad. Normalmente para evitar la disgregación de una mezcla se debe aumentar el contenido de finos y ligante, pero, por otra parte si se desea aumentar la permeabilidad y porosidad se tendrá que incrementar el porcentaje de gruesos y reducir la fracción fina. El diseño de la mezcla drenante buscara entonces solucionar esta problemática logrando el máximo contenido de vacíos posible compatible, con una buena resistencia al tráfico, sin disgregar, mediante el uso de los áridos y el asfalto de mejor calidad, una granulometría especial en un laboratorio adecuado.

INTRODUCCION

El pavimento permeable es un tipo especial de pavimento que se caracteriza principalmente por la carencia del contenido de agregado fino, logrando una configuración en su estructura que permite ciertas ventajas de funcionalidad como son la resistencia y permeabilidad, frente a un pavimento convencional.

El asfalto poroso es mezclado en las plantas convencionales, pero agregado fino se omite de la mezcla. Las partículas restantes grandes, del tamaño de un solo agregado dejan huecos abiertos que dan al material su porosidad y permeabilidad. Bajo la superficie de asfalto poroso es una capa de base de más agregado de tamaño único que actúa como un depósito donde el agua puede dejarse evaporar y/o filtrarse lentamente en los suelos de sonido envolvente. Superficies de asfalto poroso, llamados cursos de fricción de granulometría abierta, éstas se utiliza en las carreteras para mejorar la seguridad de conducción mediante la eliminación de agua de la superficie.

El concreto poroso aplicado como pavimento permeable ha adquirido una gran atención en la última década debido a que el calentamiento global está provocando sequías en muchos países a nivel mundial, obligando a impulsar en los países, medidas de conservación del agua y de esta manera implementando sistemas sostenibles en las ciudades, donde los pavimentos permeables se ajustan muy bien a estas iniciativas por ser muy beneficiosos; y ayudan a construir ciudades sostenibles porque permiten el tratamiento de las aguas superficiales de lluvia, infiltrando esta agua al subsuelo, recargando los acuíferos o almacenando estas aguas en depósitos para luego utilizarlas en parques, inodoros de las viviendas, como agua industrial, etc. los pavimentos permeables pueden ser de asfalto, concreto y de adoquines.

El trabajo de investigación aborda el estudio del concreto poroso o permeable para su aplicación en la construcción y la influencia de los siguientes parámetros:

- Forma de los agregados
- Granulometría de los agregados
- Porcentaje de vacíos
- Permeabilidad

CAPITULO I

1.1 PLANTEAMIENTO, FORMULACION, SISTEMATIZACION Y DESCRIPCION DEL PROBLEMA.

Las temperaturas bajas afectan las propiedades del asfalto y en consecuencia las propiedades físicas de las mezclas, originando el fisuramiento de las capas asfálticas, por contracción térmica y/o por el incremento de la rigidez con la acción combinada del tráfico pesado.

Por tal motivo, los problemas de baches, ondulaciones u otras averías en antiguos pavimentos bituminosos pueden deberse a un proyecto del pavimento inadecuado para el tráfico existente, o a una compactación insuficiente durante la construcción o a ambas.

Según Larson 1963 en su libro, explica los diferentes tipos de averías que tienen las mezclas asfálticas como lo son, las ondulaciones superficiales que se producen por exceso de asfalto, el agrietamiento de la capa superficial ocasionadas por un insuficiente contenido de asfalto, el pavimento quebradizo el cual es ocasionado por una deflexión excesiva y la acción del agua la cual puede deteriorar un asfalto debido a un mal diseño de las cunetas de drenaje.

Es difícil conocer las relaciones entre precipitación, velocidad de la precipitación y escurrimiento de agua por los drenes, duración del escurrimiento y caudal, etc.

La capacidad de drenaje estará en función de la precipitación sobre el área del proyecto. La falta de registros sobre precipitaciones, y en el caso que existieran, no son del todo confiables; dificulta una adecuada estimación del parámetro principal para el diseño de un drenaje vial, por lo tanto debemos preguntarnos:

¿Cuáles son los procesos más adecuados y óptimos para el diseño de un pavimento permeable?

1.2 JUSTIFICACION

La principal virtud del pavimento permeable es el adecuado manejo del agua de lluvia, cualidad reconocida positivamente por organismos internacionales como la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés). El pavimento permeable no tiene finos o posee pocos finos. Este pavimento se usa principalmente como pavimento en aplicaciones de vialidades de bajo tráfico, áreas de estacionamientos, senderos y caminos para peatones o ciclistas. Es un pavimento especial, resultado de la combinación de agregado grueso, cemento y agua que favorece la creación de una estructura de tipo porosa que permite el paso de agua a través de él. Es de baja resistencia; con revenimiento cero; es seco y poroso y puede usarse como pavimento de aceptable calidad estructural, que permita filtrar el agua de lluvia, y evitar el escurrimiento superficial.

El uso del pavimento permeable por su capacidad de almacenamiento permite disminuir las dimensiones de las cunetas y cuando se diseña la alternativa de berma – subdren, esta permite eliminar la cuneta.

El mantenimiento en este tipo de solución asegura el buen funcionamiento del sistema de drenaje. Se obtiene una alternativa técnica de diseño y construcción de bermas, cunetas y subdrenes utilizando como principal material de construcción el pavimento permeable y representa una apreciable ventaja desde el punto de vista económico.

Las ventajas de los pavimentos de pavimento permeable como lo describe NUÑEZ, 2001 son que reduce (a casi cero) descargas máximas del agua de lluvia de las áreas pavimentadas, ayuda a mitigar inundaciones y al mismo tiempo incrementa la recarga del agua subterránea, además, permite que el aire se infiltre en el suelo y su superficie de claro color reduce los efectos de “isla de calor” así como los costos de iluminación debido a su mayor

reflectancia de la luz. En comparación del asfalto, por lo tanto mejorando la seguridad para los vehículos y los peatones.

También se le considera ecológico porque apoya el reciclado puesto que se fabrica usando subproductos de fábricas y plantas de energía, reduciendo así la necesidad de tierras de relleno. La vida de servicio se mide en décadas, pero cuando finalmente llega, el pavimento se puede triturar y reciclar como agregado de alta calidad para cientos de aplicaciones.

El pavimento también es sano con el medio ambiente, puesto que se fabrica de materiales extraídos y procesados localmente y a diferencia del asfalto, no produce fuga toxica.

1.3 OBJETIVOS: GENERAL Y ESPECÍFICO

1.3.1 Objetivo General

Diseñar una mezcla de pavimento permeable mediante la variación de la relación de vacíos que nos permita obtener propiedades estructurales e hidráulicas óptimas para su uso en pavimentos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Establecer parámetros para el diseño básico de un pavimento permeable.
- Realizar ensayos requeridos para el diseño de un pavimento estructural, tomando en cuenta la normativa nacional vigente.
- Establecer la metodología de diseño más apropiada y los procedimientos constructivos más adecuados para el pavimento poroso.

CAPITULO II

2. MARCO CONCEPTUAL Y TEORICO

2.1 MARCO CONCEPTUAL

Absorción: La absorción en los agregados, es el incremento en la masa del agregado debido al agua en los poros del material, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje de la masa seca. El agregado se considera como "seco" cuando se ha mantenido a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por suficiente tiempo para remover toda el agua no combinada.

Agregado: Es un material granular duro de composición mineralógica, usado para ser mezclado en diferentes tamaños de partículas graduadas, como parte de una mezcla asfáltica, llamados también áridos o pétreos. Los agregados típicos incluyen la arena, la grava, la escoria de alto horno, o la roca triturada y polvo de roca.

Agregado fino: Agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (No.4) y queda retenido en el tamiz de 75 μm (No. 200).

Agregado grueso: Agregado retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4).

Base granular triturada: Es una parte del pavimento que se encuentra arriba de la sub-base y está constituida por áridos minerales cuya estabilización se consigue mediante medios mecánicos.

Briquetas: Las briquetas se preparan con diferentes contenidos de asfalto; estos contenidos tienen una variación de 0,5 %. Se deben preparar al menos tres briquetas para cada combinación de agregados con cemento asfáltico.

Calzada: Parte de la calle comprendida entre dos aceras, por donde circula el tráfico rodado.

Cántabro húmedo: Permite valorar la pérdida de cohesión que se produce por la acción del agua en la mezcla y el efecto que produce el empleo de ligantes modificados en la mejora de esa propiedad.

Cántabro seco: Se aplica a las mezclas bituminosas fabricadas en caliente y de granulometría abierta, cuyo tamaño es inferior a 25 mm. El ensayo es realizado a una temperatura de 25 °C, lo cual permite valorar indirectamente la cohesión y trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tránsito.

Capa base granular: Capa constituida por un material de calidad y espesor determinados y que se coloca entre la sub-base y la capa de rodadura.

Capa de rodadura: Es la construida en la parte superior del pavimento, debe resistir las presiones verticales de contacto aplicadas por los neumáticos, las tensiones tangenciales de frenado, las succiones debidas al comportamiento de los neumáticos, etc. La calidad de los materiales que constituyen la capa de rodadura, deben estar en consonancia con la gran importancia de las solicitudes a que se ve sometida.

Capa de sub base granular: Capa constituida por un material de calidad y espesor determinados y que se coloca entre la subrasante y la base.

Carpeta: La carpeta asfáltica es la parte superior del pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento, es elaborada con material pétreo seleccionado y un producto asfáltico dependiendo del tipo de camino que se va a construir.

Colmatación: Se denomina comúnmente colmatación a la acumulación de sedimentos.

Geomalla: Es una malla tejida formada por hilos de poliéster recubiertos de poli cloruro de vinilo (PVC).

Geomembranas: Son laminas poliméricas impermeables, utilizadas como barrera de sólidos y líquidos.

Geosintéticos: Es un producto plano fabricado a partir de materiales poliméricos, para ser usado con suelo, roca, tierra, o cualquier otro material geotécnico, como parte integral de un proyecto, estructura, o sistema realizado por el hombre.

Geotextiles: Los geotextiles como su nombre lo indica se asemejan a textiles, telas, que se pueden enrollar, cortar, coser. Se utilizan en obras de ingeniería, especialmente cuando se trata de construcciones donde intervienen diferentes tipos de suelo.

Granulometría: Es la medición y gradación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

Granulometría abierta: Está conformada por materiales pétreos de granulometría uniforme con bajo contenido de finos y alto porcentaje de vacíos.

Granulometría discontinua: Se tiene una granulometría discontinua cuando hay ciertos tamaños de grano intermedios que faltan o que han sido reducidos o eliminados artificialmente.

2.2 MARCO TEORICO

Larson (1993) definió que el pavimento poroso es un tipo especial de pavimento que se caracteriza principalmente por la carencia del contenido de agregado fino, logrando una configuración en su estructura que permite ciertas ventajas de funcionalidad frente a un pavimento convencional utilizado en pavimentación. Dada esta característica hace que algunas propiedades sean análogas la de los pavimentos sin finos, pero se distinguen de los mismos por su mayor resistencia a todas las sollicitaciones mecánicas.

El pavimento permeable debe tener una granulometría apropiada que permita tener una dimensión importante de los poros, facilitando la buena circulación del agua del material. Una gran porosidad que permita el paso del agua dentro del material aproximadamente entre el 20% al 25% de porosidad¹.

El problema en el manejo tradicional de las aguas pluviales, su escorrentía e infiltración, involucran la impermeabilización de la capa de rodamiento y grandes recolectores que intentan desalojar dichas aguas, esto en áreas urbanas es complicado ya que nuevos módulos de vivienda y con ello grandes cantidades de agua se adicionaran, las cuales no habrían sido consideradas para el diseño de los colectores, por cuanto nos lleva a una saturación de los mismos.

Por su parte Larson en su libro nos indica que la principal ventaja del pavimento permeable contra el pavimento convencional es su permeabilidad y su consecuente porosidad además se contrae menos, tiene un peso específico más bajo y sus valores como aislante térmico son superiores al del pavimento convencional. Aunque el comportamiento físico y mecánico, es superior en muchos aspectos.

Flores (2005) explica que la porosidad afecta a la resistencia, la misma que es una consecuencia de la unión de agregados y el cemento. La relación agua-cemento se debe de estudiar de una manera cuidadosa ya que la hidratación

¹ (PÚBLICAS, Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo cántabro de pérdida por desgaste NLT-352/00, 2000)

es necesaria para ligar los elementos que a su vez le dan la resistencia al material.

La estructura interna de un pavimento poroso puede describirse como un conjunto de partículas de agregado grueso, en contacto y unidas entre sí por puentes constituidos por el mortero que forma la arena y el conglomerante; estos puentes son los que movilizan la resistencia del pavimento². De hecho, la rotura de una probeta en la prensa, no es sino el resultado de la ruptura de los puentes aludidos; en contadísimas ocasiones se produce la fractura del agregado grueso.

Al aplicar este tipo de pavimento hay que añadirle las condiciones de tipo económico que influyen en gran medida en la aplicación práctica de los mismos. Análogamente a la situación que se presente con otros materiales es necesario encontrar un equilibrio entre los costos de la primera inversión y los de mantenimiento. En esta línea, cabe señalar que los pavimentos porosos resultan, en general, baratos en relación a los costos iniciales; ello es debido por un lado, al bajo contenido de cemento e incluso a la sustitución parcial de este por cenizas, y por otro lado equipos especiales. (Meneses, 2007)

La vida útil media de los elementos relacionados con estos pavimentos, es en condiciones normales, menor que la correspondiente a la de un pavimento convencional; si bien la comparación no es inmediata, dado que cubre campos de aplicaciones diferentes. Esta menor vida útil viene determinada por una menor capacidad, una granulometría más abierta y un menor contenido de cemento. No obstante la experiencia con pavimento poroso es aun escasa para fijar con gran precisión la citada vida útil, la cual, como es lógico varía en función del tipo de aplicación.

Núñez (2001). Estos pavimentos están constituidos por una base de pavimento poroso y una capa de rodadura de mezcla bituminosa porosa. Con ello se dota el pavimento de cierta capacidad de almacenamiento de agua, principalmente fluvial con lo que se laminan los caudales punta que se presentan en las

² (URBANISMO, 2008)

secciones de desagües. Por tal razón, son de gran interés y tiene una aplicación importante en pavimentos urbanos con coeficientes de escorrentía muy elevados.

Las exigencias que se les imponen a los pavimentos porosos utilizados en capa de rodadura son superiores cuando se las utilizan en bases o bermas. El material no solo debe garantizar unas características drenantes y de resistencia mecánica, sino también debe de satisfacer algunas otras condiciones, como son una estabilidad suficiente frente a los esfuerzos horizontales generados por los vehículos y en algunos casos frente a las sollicitaciones del tipo climático. Por otra parte el material debe posibilitar la obtención de una regularidad superficial y unas características antideslizantes correctas, en ocasiones puede imponérseles una reducción de los niveles sonoros del tráfico³.

El principal problema de los pavimentos porosos, sobre todo en capa de rodadura, es su colmatación, al igual que ocurre con las mezclas bituminosas drenantes. En lo que refiere a las características drenantes y de absorción de ruido los resultados son también satisfactorios. (Núñez, 2001)

La idea básica es que no todo lo que se necesita pavimentar tiene que impermeabilizarse. Con la utilización de pavimentos permeables se consigue recargar los acuíferos y reducir el volumen y el caudal máximo de escorrentía, provocado por las lluvias. Su instalación permite o bien infiltrar el agua directamente al suelo o almacenarla en la estructura del pavimento y después drenarla a otro lugar.

Cuando se habla de pavimentar en la actualidad, lo primero que se piensa es en pavimento asfáltico o pavimento hidráulico, pero este trabajo plantea que los pavimentos permeables son una solución en superficies específicas como estacionamientos, calles de tráfico ligero, banquetas, áreas peatonales, haciendo que el pavimento tradicional, en estas áreas sea cosas anti ecológica.

Una vez que la durabilidad de la mezcla se ha establecido, el siguiente paso a considerar será la resistencia mecánica y la resistencia a la abrasión de

³ (Alamilla, Anguas, Mendez, Oropeza, 2006)

pavimento permeable para su uso como una capa de rodadura, este trabajo de investigación tratara de demostrar estos parámetros. Para mantener la resistencia al deslizamiento y lograr alcanzar los objetivos de un pavimento permeable, el pavimento deberá mantener su permeabilidad en todo momento y en condiciones de servicio⁴.

2.2.1 DEFINICION, FUNCION Y CARACTERISTICAS DE UN PAVIMENTO

Los pavimentos permeables se pueden definir como secciones compuestas de varias capas de materiales de construcción que permiten el paso del agua a través suyo, desde la superficie hasta la explanada, y en conjunto ofrecen la capacidad portante necesaria para resistir un tráfico determinado.

El pavimento está compuesto por tres partes principalmente la superficie de rodadura que puede ser concreto poroso, concreto asfáltico y adoquines en todos los casos permeables el espesor de la superficie de rodadura está entre 10cm a 20cm⁵.

El pavimento es un sistema que está caracterizado por las propiedades, espesores y acomodos de distintos materiales que forman un conjunto de capas colocadas una sobre otra.

El pavimento tiene una serie de funciones las cuales se describen a continuación:

- Proporciona una superficie de rodamiento segura, cómoda y de características permanentes, bajo las cargas repetidas del tránsito a lo largo del periodo de diseño considerado.
- Resistir el transito previsto parara que sea capaz de resistir el periodo de diseño y poder distribuir las presiones verticales dadas por el tránsito.

⁴ (Ordoñez, 2006)

⁵ (MTO, Normas Ecuatorians Viales NEVI-2012, 2012)

- Constituir una estructura que sea capaz de resistir los factores climatológicos del lugar donde va hacer emplazado el proyecto.

Por su parte las características estructurales están relacionadas con las características mecánicas de los materiales utilizados para la construcción de las diferentes capas que conforman el pavimento; estas características mecánicas definen el espesor de cada capa; el análisis mecánico de una idea de los efectos producidos por el tráfico, en cuanto a estados de esfuerzo y deformaciones. De las características estructurales, depende en gran medida la vida útil del pavimento. (MTO, Normas Ecuatorians Viales NEVI-2012, 2012)

2.2.2 ELEMENTOS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE, SU FUNCION Y CARACTERISTICAS

Las Normas NEVI en su manual de especificaciones nos dice que “un pavimento está constituido por varias capas, el nombre de las capas se encuentra en orden descendente, la carpeta, base, subbase. La cimentación del pavimento se encuentra constituida por la subrasante; esta última capa se encuentra apoyada sobre otras dos en el orden siguiente, subrasante, subyacente, cuerpo del pavimento”.

2.2.2.1 La carpeta

Es la parte que soporta directamente el tránsito vehicular y es la capa que se encarga de brindar las características funcionales al pavimento. Estructuralmente absorbe los esfuerzos horizontales y transmite los verticales hacia las capas que yacen bajo ella.

La carpeta es construida con mezclas asfálticas, puede contener algún agente modificador para poder mejorar alguna característica, de acuerdo a la temperatura o intensidad pluvial de la zona en la que se construya⁶.

a) Material Bituminoso

⁶ (MTO, Normas Ecuatorians Viales NEVI-2012, 2012)

El material bituminoso para la fabricación de la mezcla, será una emulsión asfáltica o asfalto rebajado seleccionado de acuerdo al tipo de agregados que se pretenda utilizar, cumpliendo con ASSHTO M-140 y M-208.

b) Agregados Pétreos

Los agregados pétreos serán rocas o gravas trituradas siendo materiales limpios, densos y durables, libre de polvo, terrones de arcilla u otras materias indeseables, que puedan impedir la adhesión completa del asfalto a los agregados sueltos.

2.2.2.2 La base

Es la capa que se construye bajo la carpeta y su función básicamente es la de resistir los esfuerzos verticales, además de transmitirlo en forma uniforme a la subbase; debe además contar con la suficiente rigidez para no deformarse bajo la repetición constante del tránsito.

Está compuesta por materiales granulares con gravas, arenas y una pequeña cantidad de limos, estos materiales se clasifican de acuerdo al tratamiento que hayan recibido⁷.

a) Materiales

Materiales cribados: Gravas, arenas y limos; así como las rocas alteradas y fragmentadas.

Materiales parcialmente triturados: cuenta con poco o nula cohesión, son mezclas de gravas, arenas y limos.

Materiales totalmente triturados: requieren un proceso mecánico de trituración total y cribado.

Materiales mezclados: son los obtenidos mediante la mezcla de dos o más de los materiales antes mencionados, la misma que debe de ser la adecuada para satisfacer la granulometría indicada.

⁷ (MTOPI, Normas Ecuatorianas Viales NEVI-2012, 2012)

Cuando el espesor de la base sea mayor de 20 centímetros, se tendrá que hacer la compactación por capas, siempre que estas no sean mayores de 20 ni menores de 10 centímetros, para conseguir una mejor adhesión entre éstas y así evitar deslizamientos⁸.

Durante el proceso constructivo, la clasificación y la elección del material deberán constar dentro de las especificaciones y requerimientos establecidos en la tabla No. 404-1.1 de las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes.

Dentro de las normas ecuatorianas viales (NEVI, 2012) nos dice los conceptos que se ocupan en las siguientes capas de los pavimentos.

2.2.2.3 La subbase

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase. La subbase debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento⁹.

Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares. Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si éste no dispone de una subrasante o subbase adecuada.

Es la capa construida bajo la base y sobre la subrasante, esta puede ser o no ser construida dependiendo de la capacidad de soporte de la subrasante, Su función básica es la de proporcionar una cimentación uniforme, para la correcta conformación y colocación de la base; en la medida de lo posible, debe

⁸ (INEN, 2001)

⁹ (MTO, Normas Ecuatorianas Viales NEVI-2012, 2012)

también tener una función de drenante, por lo cual esta capa debe de carecer de materiales finos. También cumple una función de transición entre la subrasante y la estructura del pavimento¹⁰.

Está constituida por materiales granulares que se clasifican de acuerdo al tratamiento que recibieron.

Esta capa de material se coloca entre la subrasante y la capa de base, sirviendo como material de transición, en los pavimentos flexible.

a) Materiales

La clase de subbase que deba utilizarse en obra estará especificada en los documentos de contratos y especificaciones. Así mismo, los agregados deberán tener un coeficiente de desgaste máximo de 50%, de acuerdo con el ensayo de abrasión de los Ángeles y la porción que pase el tamiz No. 40 deberá tener un índice de plasticidad menor que 6 y un límite líquido máximo de 25. La capacidad de soporte corresponderá a un CBR igual o mayor del 30%.

El material debe estar libre de impurezas tales como: basura, materia orgánica, terrones de arcilla y cualquier otro material que pueda ocasionar problemas específicos al pavimento.

Durante el proceso constructivo, la clasificación y la elección del material deberá constar dentro de las especificaciones y requerimientos establecidos en la tabla No. 403-1.1 de las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes (Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12).

2.2.2.3 La subrasante

Subrasante se denomina al suelo que sirve como fundación para todo el paquete estructural de un pavimento. Es la capa construida bajo la subbase, su función es la de recibir las cargas transmitidas por el pavimento y transmitir las en forma uniforme hacia las subyacente y el cuerpo del terraplén. Si esta capa

¹⁰ (INEN, 2001)

es de buena calidad, el espesor del pavimento será menor con lo cual existirá un ahorro económico, sin perder calidad en el pavimento.

El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante¹¹.

a) Materiales

Tiene que estar libre de vegetación y materia orgánica, de lo contrario, el material deberá reemplazarse por material adecuado para la subrasante en el tramo correspondiente o considerar la estabilización de los suelos subyacentes.

En general los materiales apropiados para la capa de subrasante, son los suelos de preferencia granulares con porcentajes de hinchamiento según ensayos AASHTO T-193 y que no tengan características inferiores a los suelos que se encuentran en el tramo. Según AASHTO M-145, los suelos clasificados A-8, son materiales inadecuados para la capa de subrasante, ya que son suelos orgánicos constituidos por materiales vegetales o fangosos. Estos suelos generalmente tienen textura fibrosa, color café oscuro y olor a podredumbre y son altamente comprensibles, con muy baja resistencia¹².

La distribución, conformación y compactación del suelo seleccionado se efectuara de acuerdo a los requisitos de los numerales 402-2.05.1 de las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes (Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12), sin embargo, la densidad de la capa compactada deberá ser el 95% en vez del 100% de la densidad máxima, según AASHTO-T180, método D.

¹¹ (MTO, Normas Ecuatorianas Viales NEVI-2012, 2012)

¹² (INEN, 2001)

2.2.3 DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS

El asfalto es un material constituido en gran medida por una mezcla de hidrocarburos pesados, con propiedades destacables tales como: impermeabilidad, adherencia y cohesión, capaz de resistir esfuerzos instantáneos de gran magnitud y fluir bajo la acción de cargas permanentes. Al ser calentado se ablanda gradualmente hasta alcanzar una consistencia líquida, además, sus cualidades aglutinantes, propiedades físicas y químicas, lo hacen óptimo para un gran número de aplicaciones, en particular es utilizado para la construcción y mantenimiento de estructuras de pavimentos flexibles¹³.

Según el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, al asfalto se lo define como: “Material aglomerante de color entre negro a pardo oscuro, cuyos constituyentes predominantes son betunes que se encuentra en la naturaleza o son obtenidos por destilación del petróleo”.

De igual forma, el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) (1996), la define como: El material aglomerado sólido o semisólido, de color que varía de negro a pardo oscuro y que se vincula gradualmente al calentarse; sus constituyentes predominantes son betunes que se encuentran en la naturaleza en forma sólido o semisólida; también se obtiene por destilación del petróleo o combinaciones de estos entre sí con el petróleo o productos derivados de estas combinaciones.

Se utilizara cemento asfaltico de tipo AP con penetración 60 – 70.

2.2.3.1 Características técnicas del asfalto¹⁴

- Excelente adherencia.
- Óptima ductibilidad, plasticidad y elasticidad que le otorgan gran manejo, eliminando así la fragilización.

¹³ (MTO, Normas Ecuatorianas Viales NEVI-2012, 2012)

¹⁴ (INEN, 2001)

- Adecuada dureza y viscosidad, lo cual permite su uso específico para cada condición de clima.
- Presentan bajo índice de susceptibilidad térmica, permitiendo un comportamiento estable ante las variaciones de temperatura del ambiente.
- Excelente estabilidad a la oxidación.

2.2.3.2 Estudio y Análisis realizado

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas nos detalla algunas propiedades del asfalto las cuales, es primordial estudiar y analizar cada una de las propiedades físicas que lo caracterizan; detallando a continuación cada una de esas propiedades:

- Viscosidad; es la resistencia de los cuerpos a la deformación, debido al rozamiento interno molecular; la viscosidad es una medida de la resistencia al flujo (MTO, Normas Ecuatorianas Viales NEVI-2012, 2012).
- Ductilidad; es la capacidad de un material de sufrir alargamientos sin disgregación de su masa; debido a la ductilidad el asfalto puede ser sometido a la acción de continuas fuerzas de tracción y compresión; que las resiste deformándose pero sin romperse (MTO, Normas Ecuatorianas Viales NEVI-2012, 2012).
- Fragilidad; es la propiedad de los materiales a romperse frente a la presencia de determinados esfuerzos (MTO, Normas Ecuatorianas Viales NEVI-2012, 2012).
- Peso específico; es la relación del peso para unidad de volumen. El peso específico del asfalto varía según su origen y proceso de destilación manteniéndose igual a la unidad.
- Calor específico; cualidad que se tiene influencia en los efectos de transporte para generar una elevación de temperatura o mantenerla fija

en este material basándose en las pérdidas del calor producidas en un depósito.

- Conductividad calorífica; característica que tienen los cuerpos de dar peso con mayor o menor resistencia al calor.
- Dilatación térmica; propiedad que permite comparar los volúmenes medidos a temperaturas diversas y calcular los volúmenes del material a utilizar en el relleno de juntas de dilatación o huecos de cualquier forma.
- Impermeabilidad, capacidad de un material de no poder ser atravesado por agua u otro líquido; el asfalto además de actuar como ligante de moderada resistencia. Debe ser altamente impermeable.
- Adhesividad; es la resistencia opuesta por el asfalto a despegarse del material con el que ha entrado en contacto.
- Durabilidad; el asfalto debe mantenerse plástico, para cumplir su función de ligante, por diversos factores atmosféricos el asfalto pierde su plasticidad formándose quebradizo, causado por el endurecimiento progresivo, generando la destrucción del pavimento.
- Velocidad de curado; es el aumento de la consistencia del asfalto por la pérdida progresiva de disolventes por evaporación.

En nuestro país, la mayor parte del asfalto empleado se obtiene del petróleo. El asfalto es un material de alta producción en el país; hay tantas clases de caminos, construidos bajo diferentes condiciones y usando diversas formas de asfalto, debido a que se lo emplea no solo en pavimentación sino además se lo utiliza para: tratamiento superficiales, sistemas de penetración, canales de drenaje, bordes, debido a que es un material económico con propiedades impermeabilizantes y cementantes. (Camaniero, 2006).

2.2.4 LABORATORIO DE PAVIMENTOS Y PRUEBAS REALIZADAS

2.2.4.1 Ensayo de Penetración

Norma: AASHTO T-49 / ASTM D-5

El ensayo de penetración sirve para determinar la dureza o consistencia de un material bituminoso, además la penetración se emplea para determinar la capacidad de fluencia del cemento asfáltico cuando el rozamiento entre las capas del fluido se incrementa y el material se aproxima en sus propiedades de consistencia a un semisólido; esto sucede cuando se encuentra a temperatura ambiente.

La penetración consiste en la distancia, expresada de milímetro, que penetra verticalmente en el material una aguja normalizada, en condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura.

La penetración normal se realiza a una temperatura de 25°C durante un tiempo de 5 segundos, y con una carga móvil total de la aguja más accesorios de 100 gramos; aunque pueden emplearse otras condiciones previamente definidas.

2.2.4.2 Ensayo de Ductilidad

Norma: AASHTO T51-00 / ASTM D 113

El ensayo de ductilidad consiste en realizar una probeta de cemento asfáltico de dimensiones con formas determinadas y someterlas al alargamiento. La sección transversal mínima de la muestra es de 1cm². Este ensayo determina la distancia en centímetros que la muestra puede alargarse antes de romperse, cuando los dos extremos de la briqueta del material son estirados a una velocidad de 5 cm. / minutos y a temperatura de 25 ± 0,5°C.

Normalmente los asfaltos dúctiles tienen mejores propiedades aglomerantes pero son susceptibles a las variaciones de temperatura.

2.2.4.3 Ensayo de Viscosidad

Norma: ASSTHO T-59 / ASTM D-244 y D-88

El ensayo de viscosidad determina la fluidez de los asfaltos a la temperatura que se emplea durante su aplicación en la elaboración de la carpeta asfáltica; normalmente se utiliza para cementos asfálticos, emulsiones y aceites.

Este ensayo se define como el tiempo en Segundos Saybolt Furol, necesarios para que fluyan 60 ml de material a temperatura de 135°C a través de un tubo de dimensiones normalizadas. El ensayo requiere de un constante baño de temperatura que se aplican con un tipo de aceite de alto punto de ebullición.

2.2.4.4 Ensayo de Punto de Inflamación

Punto de inflamación. Vaso Cleveland.

El punto de inflamación es la temperatura a la que puede calentarse el asfalto con seguridad, sin el peligro de inflamación instantánea de los vapores liberales, cuando se ponen en contacto con una llama libre.

El ensayo de punto de inflamación consiste en calentar la muestra contenido en el vaso CLEVELAND aumentando entre 14°C a 17 °C por minuto hasta alcanzar una temperatura de 222 °C bajo el punto de inflamación probable; a continuación disminuir el calor hasta conseguir que el rango de elevación se encuentre entre 5°C y 6 °C por minuto. Aplicar llama de ensayo localizado mínimo 2mm del vaso CLEVELAND, con un movimiento armonioso y continuo aproximadamente un segundo por parada; finalmente se registra la temperatura en la cual en dos paradas consecutivas se enciende parte de la superficie de la muestra; siendo esta la temperatura que corresponde al punto de inflamación.

2.2.4.5 Ensayo de Densidad Relativa

La densidad relativa se define como la relación entre la masa de un volumen dado del material a la temperatura t_1 , y la masa de un volumen igual de agua pura a la temperatura t_2 , o lo que es lo mismo, la relación entre la densidad del

material a t_1 y la densidad del agua a t_2 . La temperatura normalizada de ensayo es la 25°C aunque puede emplearse otras temperaturas, siempre que se determine las calibraciones y correcciones correspondientes.

El procedimiento general de ensayo, aplica a los materiales líquidos, semilíquidos y sólidos, está basado en la determinación de la densidad relativa mediante el picnómetro, obtenida comparando las masas de volúmenes iguales de material y agua a la misma temperatura; ésta no específica, se entenderá la temperatura normalizada de 25°C.

2.2.4.6 Ensayo de Peso Específico

El peso específico relativo es la relación del peso de un volumen determinado de asfalto el peso de igual volumen de agua, encontrándose los dos materiales a una temperatura de 25 °C. El peso específico del cemento asfáltico depende tanto del origen como del proceso de destilación pero su valor se mantiene cerca de la unidad.

El peso específico del asfalto sirve para realizar las correcciones de volumen cuando se mide a altas temperaturas; otra de sus aplicaciones es determinar los vacíos en las mezclas asfálticas para pavimentos compactados. La aplicación principal es conocer su valor exacto para la transformación de peso o volumen puesto que la dosificación se basa generalmente en relación de volumen.

2.2.4.7 Ensayo de Pérdida de masa por calentamiento

En el ensayo de calentamiento se somete a una muestra de cemento asfáltico a condiciones de endurecimiento, similares a las que ocurre en las operaciones normales en una planta de mezcla en caliente para conformar el pavimento a temperaturas de alrededor de 150°C, dando como resultado el cambio de las propiedades del cemento asfáltico después de someterlo a este proceso.

Para determinar el endurecimiento del cemento asfáltico se realiza ensayos de penetración, viscosidad y ductilidad antes y después de introducir el material al horno. La penetración, la viscosidad y la ductilidad del cemento asfáltico se

expresan después del tratamiento, como porcentaje del ensayo realizado antes del tratamiento.

2.2.4.8 Referencias Normativas

Para cada uno de los ensayos realizados en nuestro laboratorio indicaremos las distintas referencias normativas empleadas y las que están en concordancia con dichos ensayos:

DETERMINACION	UNIDAD	INEN	NLT	ASTM	AASHTO
Penetración a 25°C, 100gr, 5s	0,1 mm	NTE INEN 917	124	D5-97	T49-74
Ductilidad a 25°C y 5 cm/min	cm	NTE INEN 916	126	D113	T 51
Viscosidad a 135°C: Saybolt - Furol	SSF	NTE INEN 1831	138/84	D 88-56	T 72-74
Punto de Inflamación: Vaso Cleveland	°C	NTE INEN 808	127	D 92-66	T 48-74
Densidad Relativa a 25/25°C	gr/cm ³		122/84	D70	
Peso Especifico	gr/cm ³			D 70-97	
Pérdida por masa por calentamiento	% m/m		185		

Tabla 2.0: Normas para Mezclas Asfálticas

Fuente: MOP-001-F-2002

ENSAYOS	60 - 70		85 - 100	
	mínimo	máximo	mínimo	máximo
Betun Original				
Penetración (25°C, 100gr, 5s), mm/10	60,0	70,0	85,0	100,0
Punto de ablandamiento A y B, °c	48,0	57,0	45,0	53,0
Undice de Penetración	-1,5	1,5	-1,5	1,5
Ductilidad (25°C, 5cm/min), cm	100,0		100,0	
Contenido de agua (en volumen)%		0,2		0,2
Solubilidad en Tricloroetileno, %	99,0		99,0	
Punto de Inflamación, Copa Cleveland	232,0		232,0	
Densidad Relativa	1,0		1,0	
Ensayo de la mancha	NEGATIVO		NEGATIVO	
Contenido de parafinas		2,2		2,2

Tabla 2.0.1: Normas para Mezclas Asfálticas

Fuente: MOP-001-F-2002

2.2.5 PAVIMENTOS PERMEABLES

2.2.5.1 Antecedentes

Los pavimentos permeables se presentan al día de hoy como una técnica más estudiada e investigada. Las primeras aplicaciones de este tipo de soluciones para el drenaje urbano se remontan a las décadas de 1970 (Rodríguez Hernández, 2008).

Los Estados Unidos fueron los pioneros en abrir el camino hacia el estudio y elaboración de guías de diseño sobre superficies permeables (Smith, 2000). Fue a partir de los años 80 cuando se trataron aspectos de calidad del agua en los pavimentos permeables, tenía la intención de aliviar la contaminación debida a los vertidos de los sistemas de saneamiento unitarios en tiempos de lluvia, reduciendo además los parámetros de diseño de las infraestructuras de drenaje urbano (Rodríguez Hernández, 2008).

Ya en Europa, y concretamente en el Reino Unido, es en donde se realiza el mayor número de publicaciones referente a los pavimentos porosos, enfocado íntegramente en la concepción de sistemas de pavimentos permeables, se

destaca “The SUDS manual”, muy empleado incluso fuera de las fronteras británicas.

En Suecia, fue en los años 80 cuando descubrieron que colocando una subbase granular bajo una capa de asfalto u hormigón poroso, se obtenían importantes ventajas y beneficios en la calidad y cantidad de las aguas pluviales; (Larson, 2007).

Finalmente, en España comienza a atisbarse, aunque tímidamente, un crecimiento de las publicaciones, investigaciones, manuales y recomendaciones. En 2008, el centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) publicó como complemento para la guía técnica sobre redes de saneamiento y drenaje urbano publicada en 2007.

En 2010 nació el proyecto “AQUAVAL”, cuyo objetivo principal es tratar de implantar planes de gestión sostenible de aguas pluviales. El proyecto AQUAVAL contempla la ejecución de pavimentos permeables entre otras técnicas, así como la monitorización de parámetros de cantidad y de calidad para estudiar el comportamiento de estas técnicas frente a eventos de lluvias.

2.2.5.2 Descripción

Los pavimentos permeables se engloban dentro de las técnicas de drenaje urbano sostenible, cuyo objetivo principal es el fomento de la retención y la infiltración de las escorrentías en el origen del sistema. Pueden utilizarse como alternativa a los pavimentos impermeables tradicionales, reduciendo el volumen y la velocidad de la escorrentía, y mejorando su calidad.

Desde el punto de vista del drenaje urbano sostenible, los pavimentos permeables se conceptualizan según la sección que a continuación se observa, compuesta por varias capas de materiales permeables. Individualmente las capas actúan de modo multifuncional, mientras que en conjunto, ofrecen la capacidad portante necesaria para resistir un tráfico determinado (Rodríguez, 2008).

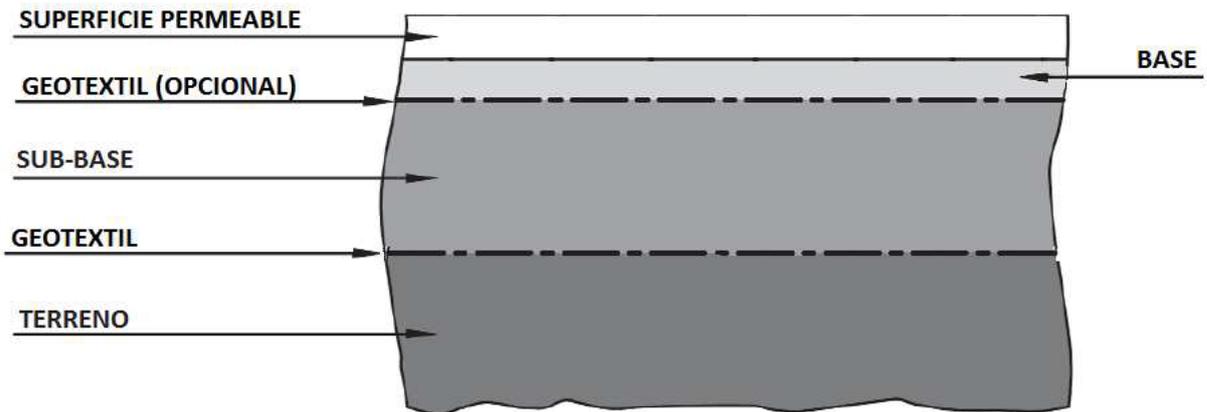


Gráfico 2.1: Diseño de Estructural Pavimento Permeable

Fuente: Instituto Nacional de Vías de Colombia

Desde el punto de vista cuantitativo, los procesos que generalmente se dan en las capas de un pavimento permeable son los siguientes:

- Infiltración/Percolación. (Entendiendo por percolación, como la infiltración a través de la superficie permeable).
- Retención.
- Transporte
- Almacenamiento.

Desde el punto de vista cualitativo, los tratamientos físicos, químicos y biológicos que ocurren en las capas son (Woods-Ballard, 2007).

- Filtración.
- Absorción.
- Biodegradación.
- Sedimentación.

2.2.5.3 Diseño estructural

El diseño estructural de un pavimento permeable se centra básicamente en la definición del espesor mínimo de la estructura. En este caso, los criterios de diseño deben ser aquellos que proporcionen la capacidad portante adecuada a la categoría de tráfico que debe soportar el pavimento, sin que este sufra deformaciones importantes¹⁵.

Aunque el procedimiento de diseño depende de la superficie permeable empleada, siempre que contemplen los siguientes pasos:

- Establecer la categoría de tráfico.
- Comprobar la calidad de la explanada para asegurar la capacidad portante de la estructura.
- Seleccionar el tipo de subbase y su espesor.
- Seleccionar el tipo y espesor de la superficie permeable.

La calidad de la explanada viene determinada según su capacidad portante y se mide a través del valor del índice CBR (The Californian Bearing Ratio). Respecto a la base y a la subbase, la primera consiste en una capa de grava de 13 mm de diámetro, y suele tener un espesor de entre 25 mm y 50 mm. La segunda está formada normalmente por grava normalmente comprendida entre 20 mm y 75 mm, y el espesor mínimo que establecen la mayoría de manuales y normativas para asegurar la funcionalidad del firme desde punto de vista estructural, es de 15 cm. Es posible reemplazar o combinar el material granular de la subbase mediante estructuras de plástico, como en depósitos modulares o los conductos planos con resistencias de hasta 500 t/m², según Atlantis (2011).

En caso de que sea necesario mejorar las características estructurales del pavimento permeable, es posible reforzarlo con geo sintéticos o estabilizarlo con ligantes, (Rodríguez Hernández, 2008).

¹⁵ (Linares, Moran, Peñate, 2010) (Nuñez, 2001)

Según Woods-Ballard (2007), el diseño estructural debe tener en cuenta ciertas consideraciones, como:

- La mayoría de normas y recomendaciones de diseño de secciones de firme están referidas a materiales convencionales (relativamente densos e impermeables).
- Se debe asegurar que no se produzcan pérdidas de resistencia ni rigidez en las capas inferiores, especialmente cuando estas capas se encuentren saturadas.
- Los geo textiles aumentan la resistencia a la fricción producida entre cada una de las capas, por lo que deben diseñarse cuidadosamente con el objetivo de evitar o minimizar la pérdida de resistencia a estos esfuerzos.
- Hay que tener especial cuidado en la elección del material granular para evitar un posible lavado de finos que provoquen una pérdida a la resistencia de las capas.

2.2.5.4 Capas Inferiores

En su libro (Rojas y Ruiz, 2005) no redacta que para completar la estructura de un pavimento permeable, debe contemplarse el siguiente conjunto de capas:

- Base
- Subbase
- Geo textil

Según Rodríguez Hernández en su publicación de 2008 nos dice que en función de la naturaleza de los materiales de estas capas, se pueden catalogar en:

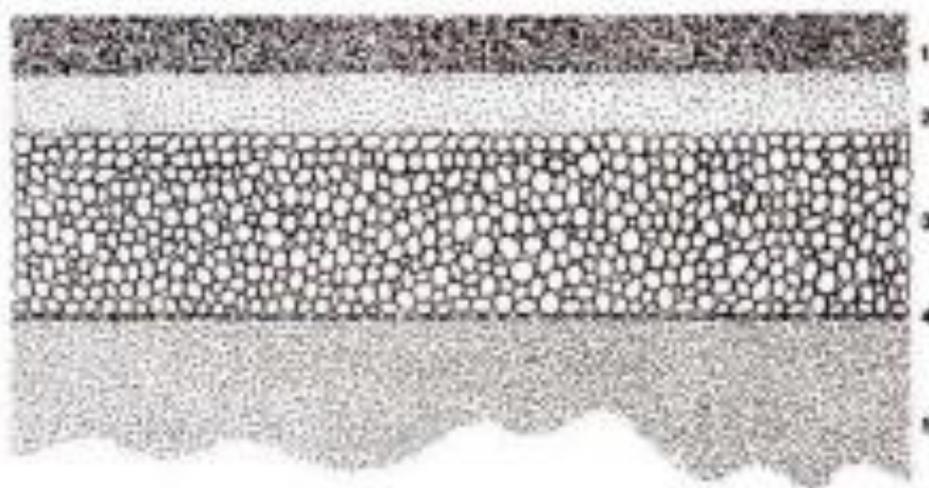
- Capas granulares.
- Estructuras de plástico

- Geo sintéticos

La base consiste en una capa de material granular (de un determinado tipo de árido y granulometría fija) que actúa a modo de cama de asiento para el pavimento. Además participa en la mejora de la calidad de la escorrentía mediante el proceso de filtrado y las altas actividades biológicas que se producen en su interior.

La subbase es una capa de material granular, encargada de almacenar y retener en sus huecos el volumen de escorrentía, para posteriormente infiltrarlo en el terreno natural o hacia los laterales. Es por tanto responsable de resolver los problemas de cantidad. Del mismo modo que ocurre en la base, también ayuda a mejorar la calidad del agua escurrida mediante el proceso de filtrado y las altas actividades biológicas que se producen en su interior (Larson, 2007).

Elementos de un pavimento poroso



1.- Carpeta de rodadura de asfalto poroso.

2.- Base o filtro granular graduado.

3.- Subbase de grava, uniformemente graduada.

4.- Filtro geo textil, o filtro granular, o membrana impermeable.

5.- Subrasante de suelo nativo.

Gráfico 2.2: Diseño de Estructural Pavimento Permeable

Fuente: Diseño Moderno de Pavimentos asfálticos

2.2.5.5 Ventajas de la mezclas drenantes

a) Eliminación del hidroplaneo

Uno de los mayores riesgos cuando se conduce por la lluvia es el hidroplaneo, esto es, la capa de agua que se forma entre el neumático y el pavimento rompe el contacto entre ambos, el neumático “flota en el agua” de modo que el conductor pierde el control de su vehículo. La evacuación rápida del agua de la superficie del camino a través de la mezcla porosa impide que se produzca este fenómeno. (Muñoz y Ruiz, 2001)

b) Resistencia al deslizamiento con pavimento mojado

Aun cuando no exista el **hidroplaneo, la lluvia puede reducir considerablemente la resistencia al deslizamiento de la superficie** del camino. Los asfaltos porosos pueden contrarrestar este efecto permitiendo, debido a su macro textura, que exista rozamiento entre el neumático y la superficie de rodadura de modo que el vehículo realice los movimientos que desea el conductor logrando así una mayor seguridad (menor distancia de frenado). (Rojas y Ruiz, 2005)

c) Reducción de las proyecciones de agua

Estas mezclas al permitir mantener la superficie del pavimento libre de agua cuando está lloviendo impiden que se produzcan el levantamiento (splash) y pulverización (spray) del agua al paso de vehículos mejorando notablemente la visibilidad del usuario. (Ruiz, 2000)

d) Reducción del ruido al paso del vehículo

Las mezclas drenantes tienen la capacidad de absorber los ruidos provocados principalmente por el contacto que se produce entre el neumático y el

pavimento cuando el vehículo está en movimiento. Los huecos interconectados entre sí permiten el paso del aire, atenuando los efectos sonoros. Tanto el conductor como el entorno, se ven favorecidos por esta reducción¹⁶.

2.2.5.6 Desventajas de la mezclas drenantes

a) Mayor costo inicial

Las mezclas deben construirse con asfaltos modificados y áridos de mejor calidad, los mismos que encarecen los costos. (Ruiz, 2000).

b) Diseño geométrico riguroso

La mezcla se debe de extender sobre una capa que sea impermeable, estructuralmente estable, y además, que tenga una geometría tal que permita la evacuación del agua. (Ruiz, 2000)

c) Drenaje lateral

El agua que ha escurrido por la mezcla drenante debe ser evacuada a través de drenes laterales, esto implica en la construcción de canales y otras obras de arte.

d) Pérdida de drenabilidad

Las mezclas porosas en el transcurso de su vida útil pueden colmatarse en la acumulación del polvo y otros agentes contaminantes como arena, materia orgánica, etc. Entre los huecos. Es importante señalar que, si bien pierde sus propiedades drenantes, seguirá funcionando como carpeta de rodadura. Actualmente existen técnicas de lavado a presión que pueden limpiar las mezclas retardando su colmatación¹⁷.

¹⁶ Rojas y Ruiz (2005). *Metodología de Diseño y Colocación de Mezclas Drenantes*

¹⁷ Rojas y Ruiz (2005). *Metodología de Diseño y Colocación de Mezclas Drenantes*

2.2.5.7 Consideraciones generales para el diseño de pavimentos porosos

El diseño de los pavimentos porosos se establece como un compromiso entre su porosidad y su resistencia al desgaste. El equilibrio de estas propiedades, trae como consecuencia una mezcla óptima, ya que al ser estas contrapuestas, el aumento de la porosidad suele inducir una disminución de la resistencia al desgaste. Esta última es necesaria para que la capa no se desintegre y pueda responder satisfactoriamente a las solicitudes de tránsito.

Las capas del pavimento poroso exponen una película ligante que rodea a los agregados a la acción de los rayos ultravioletas, catalizador de la oxidación y humedad. Resulta crítico que la película del ligante tenga suficiente espesor para poder resistir estos efectos.

El rol del ligante es mantener los agregados con suficiente cohesión para poder resistir los desprendimientos y desplazamientos. El empleo de ligante en exceso tiende a provocar un escurrimiento del ligante durante el transporte.¹⁸

Una propiedad muy importante que deben poseer las mezclas bituminosas, es una gran resistencia a la acción del agua, en particular las mezclas porosas. Por efectos del agua, pueden desintegrarse rápidamente sobre todo cuando se emplean áridos y ligantes con problemas de adhesividad.

La elección del tamaño nominal, está vinculada a las funciones de la mezcla y el espesor de capa a construirse. La composición granulométrica debe encuadrarse dentro del uso granulométrico seleccionado, sin embargo por condiciones de durabilidad es necesario una mínima cantidad de mortero para proveer junto al ligante, la cohesión necesaria de la muestra. (Camaniero, 2006) (Española, 2000)

En nuestro país no se ha desarrollado ningún método que sea el resultado de la investigación local y en condiciones existentes para nuestro medio; ésta es la razón para que no tenga validez alguna el describirlas teóricamente, solo

¹⁸ (MTOPE, Normas Ecuatorianas Viales NEVI-2012, 2012)

limitándonos aquel método que ha sido oficializado por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), que corresponde al Método AASHTO (American Association Of State Highway and Officials).

Por razones de investigación, para la elaboración de este trabajo, se consultaron diferentes tipos de métodos de diseño, los cuales se vuelcan para este proyecto; los mismos que no se encuentran detallado en los manuales oficializados por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO).

La particular estructura interna en estas mezclas, ha llevado a muchos países a desarrollar ensayos que ayudan a evaluar su comportamiento. Además, en este tipo de mezclas la energía de compactación necesaria para poder lograr la compacidad en obra es menor que en las mezclas convencionales, razón por la cual se evalúa para que energía de compactación se alcanza la máxima densidad en la metodología Marshall.

Las metodologías normalmente utilizadas son:

- Cántabro (origen España)
- Australiana (Open Graded Asphalt Design Guide, originada en la Australian Asphalt Pavement Association)
- RP (origen Chile)
- Tracción Indirecta (origen Brasil)

Es de interés estudiar estas metodologías de dosificación, con el fin de obtener una que sea segura y rápida para mezclas drenantes, como lo ha sido la metodología Marshall para las mezclas tradicionales, teniendo presente que nos vamos a encontrar con curvas granulométricas discontinuas las mismas que generan un esqueleto abierto¹⁹.

¹⁹ Normativa Española. Riesgos Auxiliares, *Mezclas Bituminosas y Pavimentos de Hormigón*

2.2.5.8 Descripción de los métodos de diseños

a) Método Bruce Marshall

El método Marshall fue desarrollado inicialmente desarrollado por Bruce Marshall ingeniero en mezclas asfálticas en el Mississippi State Highway Department, luego el Army Corps of Engineers de los Estados Unidos lo mejoró y añadió ciertas características al procedimiento de ensayo Marshall durante la segunda guerra mundial y finalmente lo hizo suyo el Asphalt Institute, alcanzando la mayor difusión para la dosificación de mezclas²⁰.

El método Marshall en principio fue aplicable solo a mezclas en caliente empleando cemento asfáltico y agregados cuyo máximo sea igual a 25 mm (1 pulgada) o menor.

Previo a la ejecución de este método se deben tener en cuenta los siguientes aspectos.

- Los materiales a utilizarse deben cumplir con las especificaciones.
- La mezcla de agregados debe cumplir con las especificaciones granulométricas.
- Se deben determinar los parámetros de todos los agregados y del asfalto para ser usados y poder establecer la relación de vacíos.

Los objetivos principales del Método Marshall son un análisis entre las relaciones entre densidad y volumen de vacíos y un ensayo para la determinación de la estabilidad y flujo de las briquetas compactadas.

El método puede utilizarse tanto para el diseño en laboratorio como in situ. Los resultados del ensayo, realizado sobre la mezcla a su salida de la planta y correspondientes al contenido de cemento asfáltico finalmente empleado, se utilizan como patrón de control en obra.

²⁰ (Institute, Manual del Asfalto , 1989)

El porcentaje óptimo de cemento asfáltico para la mezcla, será el valor que satisfaga todos los criterios de las especificaciones de cada proyecto²¹.

b) Método Cántabro²²

En 1979, Félix Pérez Jiménez y Carlos Kraemer, comenzaron a realizar trabajos para establecer una metodología de dosificación en laboratorio para estas mezclas, llegando a desarrollar dos ensayos:

- Cántabro, ensayo de pérdida por desgaste en la máquina de los Ángeles, para la caracterización mecánica.
- Permeámetro de carga variable LCS, para la caracterización hidráulica de porcentajes de vacíos, ya sea en laboratorio o en campo.

El ensayo de cántabro puede realizarse tanto en estado seco como en húmedo, simulando en laboratorio la acción abrasiva de tráfico y la influencia del agua, lo que permite el estudio y dosificación de estas mezclas.

Este método ha utilizado como base el método universal de caracterización de ligantes, ya que su mezcla puede ser utilizada en mezclas con porcentajes de vacíos mayores a 20%, situación que impide el uso del método Marshall diseñado para mezclas con porcentajes de vacíos menores al 8%.

Cuanto mayor es la calidad y porcentaje de los componentes que proporcionan la cohesión a la mezcla, menores son las pérdidas. Como resultado del ensayo se obtiene la pérdida en peso de la briqueta, en tanto por ciento referido a su peso inicial.

Cántabro Seco: La norma NLT-352/86 describe el procedimiento que debe seguirse, empleando la máquina de los Ángeles. El proceso puede emplearse tanto en el proyecto de mezclas en el laboratorio como para el control de la obra. Se aplica para mezclas bituminosas en caliente y de granulometría abierta, cuyo tamaño es inferior a 25 mm. El ensayo se lo realiza a una

²¹ Asphalt Institute (1989). *Manual Del Asfalto de Estados Unidos*

²² Normativa Española. Riesgos Auxiliares, *Mezclas Bituminosas y Pavimentos de Hormigón*

temperatura de 25°C, lo cual permite valorar indirectamente la cohesión y trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla ante los efectos abrasivos y de succión ocasionados por el tránsito²³.

Cántabro Húmedo: la norma que se refiere a esta metodología es la NLT-362/92, este ensayo nos permite valorar la pérdida de cohesión que se produce por la acción del agua en la mezcla. El procedimiento consiste en determinar la pérdida de mezclas que han permanecido sumergidas en agua durante cuatro (4) días a 49°C o veinte y cuatro (24) horas a 60°C. Pérdidas altas o un índice de aumento de las pérdidas respecto al ensayo de “Cántabro Seco” también alto, sería indicativo de una falta de resistencia de la mezcla a la acción del agua.²⁴

Cuanto mayor es la calidad y porcentaje de los componentes que proporcionan la cohesión a la mezcla, menores son las pérdidas. Como resultado del ensayo se obtiene la pérdida en peso de la briqueta, en tanto por ciento referido a su peso inicial²⁵.

Las recomendaciones más usuales para mezclas porosas para capas de rodadura establecen los siguientes valores máximos y mínimos de exigencias.

- Porcentaje de Huecos > 20% y < 25%
- Pérdida al < Cántabro seco (25°C) < 25%
- Pérdida al Cántabro tras inmersión (24 h, 60°C) < 40%

La medición de permeabilidad se hace a través de un permeámetro de carga variable LCS, (NLT 327/88 – Permeabilidad en situ de pavimentos drenantes con el Permeámetro LCS). El ensayo consiste en medir el tiempo que demora

²³ (PÚBLICAS, Resistencia al Desgaste de los Áridos por medio de la Máquina de Los Angeles NLT-149/91, 2000)

²⁴ (PÚBLICAS, Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo cántabro de pérdida por desgaste NLT-352/00, 2000)

²⁵ Normativa Española. Riesgos Auxiliares, *Mezclas Bituminosas y Pavimentos de Hormigón*

una cierta cantidad de agua en evacuarse del tubo del permeámetro pasando a través de dos marcas, filtrándose en la mezcla. Estudios españoles han podido determinar un correlación entre permeabilidad y tiempo de evacuación. Si bien esta metodología fue diseñada para medir permeabilidad in situ de las mezclas drenantes, este permeámetro se utiliza también en laboratorio²⁶.

Esta metodología contempla los siguientes pasos:

- Caracterización de los agregados y elección de la curva granulométrica.

Tamiz (mm)	Especificación Española	P		PA	
		10	12	10	12
19	20	100	100	100	100
13,2	12,5	100	75-100	100	75-100
9,5	10	80-90	60-90	70-90	60-90
4,75	5	40-50	32-50	15-30	18-30
2,36	2,5	10 - 18	10 - 18	10 - 22	10 - 22
0,6	0,63	6-12	6 - 12	6 - 13	6 - 13
0,075	0,08	3-6	3 - 6	3 - 6	3 - 6

Tabla 2.1: Husos Granulométricos para Mezclas Asfálticas

Drenantes de la Normativa Española.

Fuente: Norma NLT-352/86

- Caracterización del asfalto y elección del porcentaje de diseño

Siguiendo las normas de ensayo respectiva, se obtiene las propiedades del asfalto necesarias para caracterizarlo como un asfalto para mezclas drenantes. Se obtiene además las temperaturas de mezclado y compactación para la elaboración de las briquetas de ensayo (Española, 2000).

- Elaboración de briquetas de ensayo

Las briquetas de ensayo se fabrican siguiendo el procedimiento dado en la norma ASTM D-1559 “Resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas compactadas”. Las briquetas se compactan con un número de 50

²⁶ (Rojas y Ruiz, 2005)

golpes por cara con un martillo normalizado. Las briquetas se elaboran en número de tres por cada porcentaje de ligante desde 2.50% hasta 4.50% con un intervalo de 0.50% de peso de agregado. (Normativa Española. Riesgos Auxiliares, **Mezclas Bituminosas y Pavimentos de Hormigón**)

- Determinación de las propiedades de las briquetas de ensayo

Para las briquetas elaboradas, se determina de densidad bulk y el porcentaje de vacíos, según norma ASTM3203 o INV 735. Para la determinación de la densidad bulk de cada biqueta, el volumen se obtiene de forma geométrica.

- Ejecución del ensayo cántabro seco.

Consiste en someter al desgaste cada biqueta a 100, 200, y 300 revoluciones en la máquina de los ángeles (sin carga abrasiva), previo a mantenerles a 25°C o temperatura ambiente durante un periodo mínimo de 6 horas según la norma NLT-352 “Caracterización de mezclas bituminosas abiertas por medio del Ensayo Cántabro de pérdida por desgaste”. (Normativa Española. Riesgos Auxiliares, **Mezclas Bituminosas y Pavimentos de Hormigón**)

- Ejecución del ensayo cántabro húmedo.

Consiste en someter al desgaste cada biqueta a 100, 200 y 300 revoluciones en la máquina de los ángeles (sin carga abrasiva), previo a mantenerlas a 25°C o temperatura ambiente durante un periodo de 6 horas después de haberlas mantenido en inmersión de baño de maría a 60°C durante 24 horas, según la norma NLT-362 “Efecto del agua sobre la cohesión de mezclas bituminosas abiertas, mediante el Ensayo de Cántabro de pérdida por desgaste”. (Normativa Española. Riesgos Auxiliares, **Mezclas Bituminosas y Pavimentos de Hormigón**)

- Elección del porcentaje óptimo de ligante.

Se realiza en base a los valores de densidad bulk, porcentajes de vacíos y pérdidas al cántabro seco y húmedo versus contenido de ligante asfáltico.

2.2.5.9 Mantenimiento del pavimento permeable

Es una realidad ineludible la necesidad de trabajar seriamente en la conservación de los pavimentos drenantes, ya que estos pavimentos son capaces de drenar el agua, siempre y cuando esta capacidad drenante se mantenga, si es posible, durante todo el tiempo de la vida útil del pavimento.

Es evidente que un pavimento drenante actúa como tal, mientras su contenido de vacíos es suficientemente elevado para permitir que a través de éste pasa un flujo razonable de agua, igualmente es innegable que los poros de la mezcla tienden a colmatarse con el tiempo.

Por lo tanto conservar un pavimento permeable implica tomar, además de las medidas convencionales, otras específicas. (Institute, El Asfalto en la Preservacion y el Mantenimiento del Pavimento, 2009)

2.2.5.10 Medidas para conservar la permeabilidad

El problema de estas mezclas reside en su rápida colmatación por polución, con la consiguiente disminución de su utilidad. Es aquí en donde la vida útil toma un aspecto de máxima importancia.

Como en cualquier otro pavimento la conservación debe estar presente desde el mismo instante de su concepción. Los factores que influyen en la colmatación son:

- La calidad de la polución.
- El tamaño y la estructura de los vacíos.
- La velocidad del tránsito y el efecto de limpieza del mismo.

El mantenimiento para evitar dicho fenómeno se realiza con equipos especiales (provistos con aspiración o presión, ambos combinados con la acción del agua), en periodos de tiempo, que varían según las necesidades. Las

recomendaciones son variadas y están fundamentalmente en la experiencia, se recomienda en muchos casos, entre 6 y 36 meses, aunque lo ideal fuera una vez por año²⁷.

Se hace necesario la evaluación periódica del estado actual de un pavimento, dicha evaluación es realizada midiéndola permeabilidad mediante un permeámetro, con lo que se busca conocer el tiempo en segundos que una determinada cantidad de agua tarda en pasar a través de una superficie prefijada del pavimento. En España el dispositivo normalizado para tal fin es el LCS, NTL327/88 “Medida de la permeabilidad in situ de pavimentos drenantes”.

El comportamiento invernal es uno de los puntos delicados de las mezclas drenantes. En las zonas con heladas, la cuestión del mantenimiento invernal es una preocupación importante que limita el empleo. En climas de intensos fríos deben organizarse los equipos de mantenimiento de forma aún más efectiva que en las situaciones convencionales, actuar con anticipación y emplear más fundentes. En aquellos casos que no puedan tomarse estas preocupaciones es mejor evitar la colocación de mezclas drenantes²⁸.

2.2.5.11 Filler

Los fillers son sustancias finamente divididas, las cuales son insolubles en asfalto pero pueden ser dispersadas en él, como un medio de modificar sus propiedades mecánicas y consistencia. Usualmente son sustancias minerales y materiales orgánicos tales como madera y corcho, raramente se utilizan. Los típicos fillers minerales son: cal, cemento, polvo de tiza, cenizas de combustible pulverizada, talco, sílice, etc. (Ruiz, 2000)

²⁷ (Institute, El Asfalto en la Preservacion y el Mantenimiento del Pavimento, 2009)

²⁸ Normativa Española. Riesgos Auxiliares, *Mezclas Bituminosas y Pavimentos de Hormigón*

El efecto general de la adicción de fillers es endurecer el asfalto. En términos prácticos, significa que existirá una reducción en su deformación o fluencia producida por una carga, un incremento en su punto de ablandamiento, una reducción en su penetración y un incremento en la rigidez. La propiedad de endurecimiento o rigidez depende de la cantidad de fillers agregado o del tamaño de la partícula, así como de la forma de la misma. Fillers tales como polvo de tiza producen un efecto menor.

Fillers normales, el efecto fillers sobre la penetración y el punto de ablandamiento del asfalto es proporcional a la concentración del fillers, para concentraciones de hasta un 40% del filler / asfalto. (Institute, El Asfalto en la Preservacion y el Mantenimiento del Pavimento, 2009)

Fillers tipo fibra, el límite es menor a 40%.

Para la elección de fillers, los siguientes factores deben ser considerados:

- Fillers de abestos no son adecuados para aplicaciones en al cual la mezcla es utilizada como un sellante o un protector en continuo contacto con un líquido, debido a que las fibras de abesto pueden transportar el líquido a través del asfalto²⁹.
- Fillers que pueden absorber agua no deben ser utilizados cuando el asfalto este en contacto con el agua.
- Si el asfalto va a ser utilizado como un protectivo resistente a los ácidos, los sílices deben ser sílices.
- El uso de cal como filler mejora la adhesión del asfalto a las superficies minerales (piedra, vidrio, etc.) en presencia de agua.
- Los fillers deben ser mezclados con el asfalto en un mezclador a una temperatura tal que la viscosidad se encuentre alrededor de 200cst.

El filler debe ser agregado gradualmente para no enfriar al asfalto rápidamente, y mezclado en forma continua para permitir la salida de aire ocluido en la masa

²⁹ (Reyes, 2000)

de asfalto. Mezclas de asfalto / filler deben mantenerse en proceso de mezcla para prevenir la sedimentación del filler. (Ruiz, 2000)

Los áridos deberán clasificarse y acopiarse en al menos tres fracciones: gruesa, fina, polvo mineral (filler).

El filler total deberá estar formando por un mínimo de 50% de aportación y el porcentaje restante proviene del árido.

2.2.6 METODO CONSTRUCTIVO

Cuando la mezcla porosa llega al lugar de colocación, tiende a verse abundante debido al mayor espesor de la película y la escasez de material fino. Esto es normal. Por lo general el espesor del pavimento permeable es de 4". (Rojas y Ruiz, 2005)

Las mezclas porosas no se usan sobre superficies de pavimentos desniveladas. Las mezclas porosas no se colocan sobre climas fríos, severas fallas se atribuyen a la pérdida de vínculos entre la mezcla porosa y el clima frío. Muchos casos se especifican la temperatura mínima que va entre 16°C a 21°C para la colocación de la mezcla.

El procedimiento normal de compactación es 2 a 3 pasadas sobre la superficie con rodillo con llanta de acero de 8 a 12 toneladas de peso. No se deben utilizar rodillos neumáticos o vibratorios. El rodillo vibratorio degrada el material y el rodillo neumático tiende a levantar el asfalto. Otro problema con el rodillo neumático es que cierra excesivamente los vacíos debido a la acción de las llantas. Los valores bajos de vacíos no permiten un buen drenaje del agua a través de la superficie³⁰.

Los tiempos disponibles de compactación de la mezcla drenante son menores que en una tradicional.

³⁰ (Nuñez, 2001)

El control de calidad de las mezclas porosas es similar a las mezclas densas. La primera diferencia es que no requieren compactación de campo o laboratorio. Los ensayos generalmente son: contenido de asfalto, granulometría, espesor. Estos ensayos se realizan rutinariamente para asegurar una mezcla satisfactoria.

El proceso de control de calidad de campo debe ser realizado con un supervisor con experiencia en este tipo de mezcla. Las fallas más frecuentes que pueden ocurrir son: drenaje de asfalto, levantamiento de la mezcla detrás de la pavimentadora y el procedimiento inapropiado de pavimentación.

La superficie de la mezcla porosa debe mostrar una adecuada resistencia al patinaje, sobre todo en climas lluviosos.

Las juntas deben tratarse con cuidado. Siempre que sea posible, se extenderá a todo lo ancho para evitar juntas longitudinales. El corte de las juntas deben realizarse de manera que no se produzcan barreras a la salida de agua, lo que provocaría el afloramiento de dicha zona.

Terminar lo más rápido posible las juntas para así evitar su degradación por el paso de los equipos de trabajo o el tráfico en general. Evitar las juntas transversales en zonas de pendientes.

La apertura al tráfico debe realizarse con la mezcla suficientemente fría debido a que las condiciones extremas de calor dificultan el enfriamiento de la mezcla. Incluso le da poca estabilidad³¹.

2.2.6.1 Parámetros de diseño de la muestra

a) Asfalto

Se utilizara cemento asfaltico de tipo AP con penetración 60 – 70.

b) Mezcla Drenante

³¹ Minaya Ordoñez (2006). *Diseño Moderno de Pavimentos asfálticos*. (Lima: ICG)

La mezcla drenante deberá tener una estabilidad Marshall superior a 800 libras y un contenido de vacíos entre el 20% al 25%.

c) Formula Ideal

Es el porcentaje óptimo de cada elemento que interviene en el diseño de un compuesto, luego de haberlo diseñado con diferentes porcentajes y observado sus resultados.

Para la elaboración de la formula maestra:

- Los agregados serán calentados a una temperatura del orden de 60°C.
- El cemento asfáltico se calentará a una temperatura comprendida entre 130°C y 150°C.
- Las briquetas serán confeccionadas en molde de 4" de diámetro y compactadas con 50 golpes con el martillo de 10 libras, según método Marshall.
- El porcentaje óptimo de asfalto se lo obtendrá de la confección de juegos de briquetas con diferentes porcentajes de asfalto.
- Las briquetas serán curadas al medio ambiente (25°C) por 48 horas, luego de lo cual un set de briquetas, previo a la obtención del peso unitario, deberán ser ensayadas directamente para determinar las propiedades Marshall; el otro set de briquetas será sometidas a calentamiento durante 30°C a 40°C por medio de baño María, es decir, que el agua no esté directamente en contacto con la briqueta y posteriormente serán saturadas al medio ambiente por 48 horas y se procederá a obtener el peso unitario y las propiedades Marshall, que es la condición más desfavorable.
- Para el control en planta y obra, se observará el mismo procedimiento anterior.

Para realizar el proyecto de una mezcla por esta metodología, se escoge el huso granulométrico, se establecen distintos porcentajes de ligante, se

moldean tres probetas por cada tenor de ligante y se realiza el ensayo de penetración³².

Por definición, el cálculo de esfuerzo se realiza considerando el valor medio entre el área del pistón y área de la base de la probeta.

Los distintos esfuerzos de penetración son graficados para cada tipo de mezcla y sus respectivos porcentajes de ligante asfáltico. De dicha grafica se obtiene el máximo esfuerzo de penetración, que corresponde a un porcentaje de ligante que es adoptado como ligante de diseño.³³

2.2.7 DRENAJE VIAL

Como se sabe el agua es uno de los mayores problemas en el diseño y conservación de los caminos en razón de disminuir la resistencia de los suelos afectando los terraplenes, cortes y pavimentos. En consecuencia, el drenaje es un factor esencial para canalizar en forma adecuada las condiciones de escurrimiento. (Haba, 2011)

El drenaje longitudinal y el diseño de las cunetas para interceptar el agua que escurre de la corona, del talud de corte y del terreno adyacente cumple una función importante.

Pavimento permeable es una gama de materiales y técnicas para pavimentos permeables con una base y sub-base que permite la circulación de las aguas pluviales a través de la superficie sostenible. Además de la reducción de la escorrentía, esta trampa eficazmente los sólidos en suspensión y filtros de contaminantes del agua. Los ejemplos incluyen las carreteras, caminos, jardines y lotes que están sujetos al tráfico de vehículos ligeros, como aparcamiento de coches/lotes, ciclo-rutas, servicio o carriles de acceso de emergencia, por carretera y los hombros al aeropuerto, y las aceras residenciales y vías de acceso.

³² Muñoz y Ruiz (2001). *Metodología de diseño y colocación de mezclas drenantes*.

³³ García Haba Eduardo (2011). *Control de Escorrentías Urbanas Mediante Pavimentos Permeables: Aplicación Climas Mediterráneos*. (Valencia: Universidad Politécnica)

A pesar de algunos materiales de pavimentación porosos aparecen casi indistinguibles de materiales no porosos, sus efectos ambientales son cualitativamente diferentes. Si el concreto permeable, asfalto poroso, adoquines o adoquines base de hormigón o plástico, todos estos materiales permeables permiten que se filtre a las aguas pluviales y de infiltrarse en las superficies tradicionalmente impermeables a la tierra abajo. El objetivo es el control de las aguas pluviales en la fuente, reducir el escurrimiento y mejorar la calidad del agua mediante el filtrado de contaminantes en las capas de sustratos³⁴.

El desempeño del pavimento permeable lo hace apropiado para su utilización vial, debido a las buenas condiciones de permeabilidad y almacenamiento señaladas. Se determina que los ingresos de agua provenientes de las precipitaciones sobre el área atravesada por la carretera, sean transitados de forma tal que es posible disminuir las dimensiones de los drenajes viales (cunetas y subdrenes).

A continuación se define una serie de criterios básicos para elementos de drenaje subterráneo, los cuales son los más utilizados en la construcción de carreteras en nuestro país. (Camaniero, 2006)

2.2.7.1 Efectos del agua sobre el pavimento³⁵

Los efectos del agua cuando se encuentra atrapada dentro del pavimento son los siguientes:

- Obligadamente reduce la resistencia de los materiales granulares.
- Reduce la resistencia de los suelos de la subrasante cuando ésta se satura y permanece en similares condiciones durante largos periodos.
- Succiona los suelos de apoyo de los pavimentos de concreto con las consiguientes fallas, grietas y el deterioro de hombros.

³⁴ García Haba Eduardo (2011). **Control de Escorrentías Urbanas Mediante Pavimentos Permeables: Aplicación Climas Mediterráneos**. (Valencia: Universidad Politécnica)

³⁵ (URBANISMO, 2008)

En el diseño de pavimentos, debe siempre tratarse de que tanto la subrasante, subbase y base estén protegidas de la acción del agua. Al considerar las posibles fuentes de agua, es conveniente proteger la sección estructural de pavimento de la entrada de agua, por lo que es necesario interceptar el agua que corre superficialmente lo mejor posible, así como sellar la superficie del pavimento.

Generalmente se da una considerable atención al efecto de interceptar el agua superficial, mientras se da una menor atención al sellado de la superficie para evitar la infiltración de lluvia. Como resultado, una considerable cantidad de agua a menudo dentro de la parte inferior de la estructura de pavimento, obligando la necesidad de construir algún tipo de drenaje. (Haba, 2011)

Los métodos de diseño de pavimentos, depende de la práctica de construir pavimentos fuertes para resistir el efecto combinado de cargas y agua. Cualquiera de ellos no siempre toman en cuenta los efectos potenciales de destrucción que tiene el agua dentro de la estructura de pavimento; por lo cual se hace énfasis en la necesidad de excluir el agua del pavimento y proveer un rápido drenaje.

2.2.7.2 Consideraciones de drenaje en el diseño de pavimento

Un buen drenaje mantiene la capacidad soporte de la subrasante (mantiene el módulo de resiliencia cuando la humedad es estable) lo que hace un camino de mejor calidad, así como permite en determinado momento el uso de capas de soporte de menor espesor. (Haba, 2011)

En la siguiente tabla se dan los tiempos de drenaje que recomienda la ASSHTO. Dichas recomendaciones se basan en el tiempo que es necesario para que la capa de base elimine la humedad cuando ésta tiene un grado de saturación del 50%; pero es de hacer notar que un grado de saturación del 85% reduce en buena medida el tiempo real necesario para seleccionar la calidad de un drenaje.

Calidad del drenaje	50% de saturación	85% de saturación
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	de 10 a 15 horas
Muy pobre	El agua no drena	mayor de 15 horas

Tabla 2.2: Tiempos de Drenaje de la ASSHTO.

Fuente: Manual ASSHTO, 1993

a) Zanjas drenantes

Consisten en zanjas profundas que actúan al mismo tiempo como drenes superficiales y como sistemas de abastecimiento del nivel freático. Para que se produzca, las zanjas deben profundizarse por debajo del nivel freático. Se produce entonces un afloramiento de aguas subterráneas en las paredes de la zanja. Cuando las zanjas drenantes pretendan el rebajamiento del nivel freático, al agua fluirá a las zanjas a través de sus paredes laterales, se infiltrará por el material de relleno hasta el fondo y fluirá por este³⁶.

³⁶ García Haba Eduardo (2011). **Control de Escorrentías Urbanas Mediante Pavimentos Permeables: Aplicación Climas Mediterráneos**. (Valencia: Universidad Politécnica)

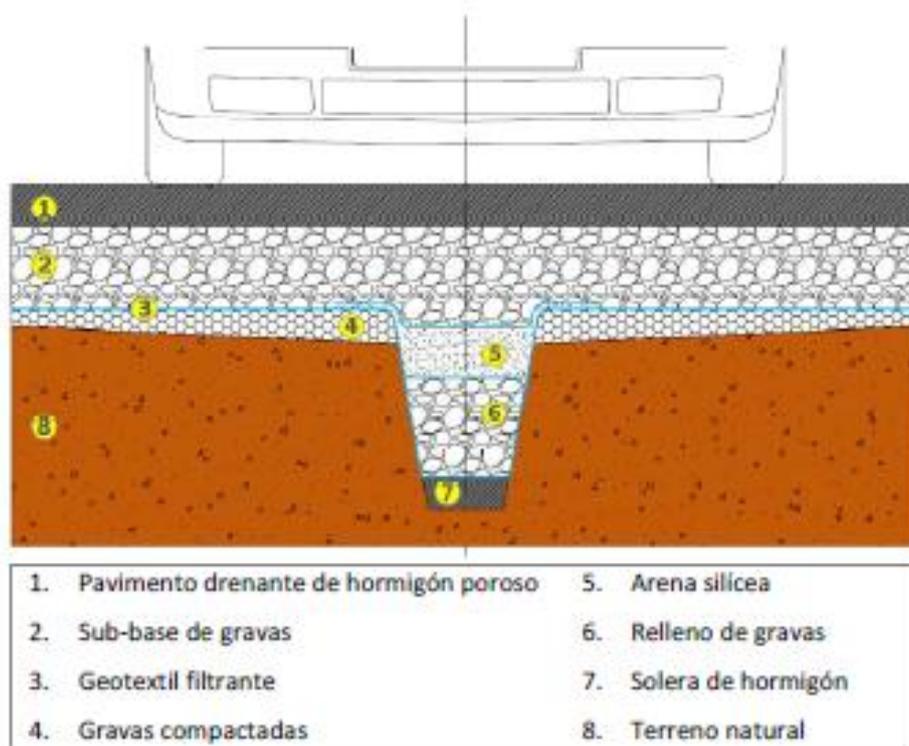


Gráfico 2.3: Zanja Drenante Longitudinal
Fuente: Control de escorrentías urbanas

b) Ubicación

El trazado y las características geométricas de las zanjas drenantes lo definirá el tipo de proyecto, que podrá ubicarse bajo cunetas revestidas siempre que se adopten medidas para que no se produzcan filtraciones bajo las mismas.

Si el terreno natural y el relleno de la zanja no cumplieran condiciones de filtro, se dispondrá un elemento separador que cumpla dichas condiciones, con el fin de evitar las migraciones de finos que podrían producir erosión interna en el terreno y colmatación en el relleno de la zanja.

Si el fondo de la zanja no estuviera situado en terreno impermeable, se deberá considerar la conveniencia de impermeabilizarlo. Cuando se lleve a cabo la impermeabilización artificial del fondo, se recomienda disponer una solera de hormigón con sección transversal en forma "V".

c) Filtros y materiales drenantes

El filtro evita una excesiva migración de partículas al suelo y simultáneamente permite el paso del agua, esto explica que el geo textil (los filtros utilizados más frecuentemente son los rellenos localizados de material drenante y los geo textiles) debe tener una abertura aparente máxima adecuada para poder retener el suelo cumpliendo simultáneamente con un valor mínimo admisible de permeabilidad, que permita el paso del flujo de manera eficiente. (Institute, El Asfalto en la Preservación y el Mantenimiento del Pavimento, 2009)

d) Tubería drenante

La tubería drenante es una tubería perforada, ranurada, etc., que normalmente estará rodeada de un relleno de material drenante o un geo textil, y que colocada convenientemente permite la captación de aguas freáticas o de infiltración³⁷.

El diámetro interior de los tubos aceptados en nuestro país será de ciento diez milímetros (110mm), salvo justificación en contra del proyecto afectado, teniendo en cuenta las necesidades de limpieza y conservación del sistema³⁸.

e) Subdrenes 100% sintéticos

Debido a la dificultad de obtener materiales naturales para los subdrenes y con el desarrollo de las mallas sintéticas, se está haciendo popular el uso de los subdrenes 100% sintéticos, los mismos que constan de tres elementos básicos:

- **Geomalla:** Se trata de una red sintética construida en tal forma que se forman unos canales que facilitan el flujo de agua.
- **Geo textil:** La geomalla se envuelve en un geo textil, el cual actúa como filtro impidiendo el paso de partículas de suelo hacia la geomalla y permitiendo a su vez el flujo de agua.

³⁷ (Gere, 2005)

³⁸ García Haba Eduardo (2011). *Control de Escorrentías Urbanas Mediante Pavimentos Permeables: Aplicación Climas Mediterráneos*. (Valencia: Universidad Politécnica)

- **Tubo colector perforado:** En el extremo inferior de la geomalla y envuelto por el geo textil se coloca una manguera perforada PVC especial para subdrenes, la cual recoge y conduce el agua recolectada por la geomalla.

(Suarez, Control de aguas superficiales y subterráneas, 2006)

2.2.7.3 Construcción

Los pavimentos porosos demandan un control y una instalación más rigurosa que los pavimentos tradicionales. En todo caso debe seguirse las recomendaciones de construcción propuestas para los pavimentos normales y agregarse las que se mencionan a continuación de manera de asegurar que adicionalmente satisfagan las condiciones de permeabilidad e infiltración que los hacen útiles para el drenaje urbano. Para ello pueden considerarse las recomendaciones contenidas en la publicación.

(Suarez, Control de aguas superficiales y subterráneas, 2006)

a) Precauciones para evitar la colmatación en la fase de construcción

Los pavimentos porosos son muy sensibles a la colmatación de la carpeta de rodadura y de los estratos o capas inferiores. Para evitar este problema es importante impedir todo aporte de tierra, para lo cual se debe aislar del pavimento las superficies que aportan los finos y proteger la entrada de agua durante la construcción, utilizando un relleno y un geo textil, evitando que la obra entre en operación antes que se encuentra. Es importante que exista una continua vigilancia de posibles fuentes de finos en la misma construcción, tales como almacenamiento de materiales en zonas cercanas, traslado de la tierra, desplazamiento de camiones y construcciones próximas. También es importante evitar el tránsito de personas y materiales sobre la obra misma en sus diferentes etapas.

En ningún caso debe permitirse la acumulación de materiales sobre los pavimentos porosos terminados, y menos aún la realización de faenas de construcción sobre ellos, como elaboración de morteros u hormigones.

En zonas urbanizadas densas ya construidas debe proveerse de accesos provisorios durante la construcción³⁹.

b) Control de dimensiones

Además de las condiciones necesarias para que el pavimento se comporte bien desde el punto de vista estructural es importante respetar las dimensiones estimadas a partir del estudio hidráulico para que se satisfagan las condiciones de infiltración y almacenamiento.

Control de la altura o espesor de cada uno de los estratos de diferentes materiales colocados en el terreno. Un espesor demasiado débil en algún estrato, puede llevar a problemas mecánicos del pavimento, o a una reducción del volumen de almacenamiento, o cambios en las condiciones de infiltración.

(Suarez, Control de aguas superficiales y subterráneas, 2006)

c) Control de calidad de materiales

Adicionalmente a las propiedades de calidad de los materiales de la superficie de rodado, los materiales de rodado para el almacenamiento de un pavimento poroso deben satisfacer diferentes requisitos. En primer lugar debe asegurarse que se encuentran limpios y lavados antes de su colocación de manera que se encuentren libres de material finos que pueda formar una capa impermeable una vez que la obra entra en servicio.

Además se debe poner atención a la porosidad eficaz, con el fin de evitar una reducción del volumen de almacenamiento. Es recomendable controlar y medir la porosidad en las condiciones de colocación de material sobre la base y de la

³⁹ García Haba Eduardo (2011). **Control de Escorrentías Urbanas Mediante Pavimentos Permeables: Aplicación Climas Mediterráneos**. (Valencia: Universidad Politécnica)

subbase del pavimento asegurando que sea al menos igual al 30%. Los materiales granulares deben poseer una dureza que asegure que no se desmenuzaran durante la construcción y nuevas obras. Para eso deben verificarse que el porcentaje de pérdida por desgaste en el ensayo de la máquina de Los Ángeles el cual debe ser menor al 35% de acuerdo a la norma chilena Nch1369. Se debe controlar la granulometría de los materiales utilizados para la base, y filtros de grava, y evitar la presencia de finos. Rojas y Ruiz (2005). *Metodología de Diseño y Colocación de Mezclas Drenantes*

d) Transporte de la mezcla

Deben consistir en camiones de caja lisa, perfectamente limpia. La caja debe ser tratada con una lechada de agua y cal, una solución de agua jabonosa o emulsión siliconada antiadherente.

No se permite el rociado de la caja con solventes derivados del petróleo como por ejemplo diesel. La forma y altura de la caja debe ser tal que, durante el vertido en la terminadora, el camión sólo toque a ésta a través de los rodillos de empuje provistos al efecto.

Los camiones deben estar siempre provistos de una lona o cobertor adecuado que cubra lateral y frontalmente con un solape mínimo de 0.30 m. debidamente ajustado a la caja. Esta condición debe observarse con independencia de la temperatura ambiente; no se permite el empleo de coberturas que posibiliten la circulación del aire sobre la mezcla⁴⁰.

e) Extensión de la mezcla

La terminadora se debe regular de forma que la superficie de la capa extendida resulte lisa y uniforme, sin segregaciones térmicas o de materiales, ni arrastres, y con un espesor tal que, una vez compactada, se ajuste a la rasante y sección transversal indicadas en los Planos del Proyecto.

⁴⁰ Rojas y Ruiz (2005). *Metodología de Diseño y Colocación de Mezclas Drenantes*

La extensión se debe realizar con la mayor continuidad posible, sincronizando la producción de la mezcla asfáltica y su transporte de modo que la terminadora no se detenga. En caso de detención, se debe comprobar que la temperatura de la mezcla que quede sin extender en la tolva de la terminadora y debajo de ésta, no baje de la prescrita en la fórmula de obra para el inicio de la compactación; de lo contrario, se debe ejecutar una junta transversal y desechar la mezcla defectuosa.

f) Juntas transversales y longitudinales

En su libro Rojas y Ruiz nos redactan como tenemos que realizar las juntas de construcción las cuales se detallan a continuación.

Cuando con anterioridad a la extensión de la carpeta asfáltica drenante se ejecuten otras capas asfálticas, se debe procurar que las juntas transversales de capas superpuestas guarden una separación mínima de 1,5 m y de 0,15 m para las longitudinales.

Las juntas longitudinales de cada franja de extendido no deben cortarse ni regarse con ligante bituminoso de liga para que no se produzcan barreras a la salida del agua, lo que provocaría afloramientos en dichas zonas.

Las juntas transversales se deben compactar transversalmente, disponiendo los apoyos adecuados fuera de la capa para el desplazamiento del rodillo. Además las juntas transversales de franjas de extensión adyacentes se deben distanciar en más de 5 m.

Los tramos cóncavos del perfil longitudinal deberán estudiarse para evitar el afloramiento del agua en los puntos bajos, conviene aumentar el espesor de la mezcla en el valle y disponer de sistemas de drenaje para asegurar la evacuación del agua⁴¹.

g) Limpieza

⁴¹ Rojas y Ruiz (2005). *Metodología de Diseño y Colocación de Mezclas Drenantes*

Se debe prestar especial atención en no afectar durante la realización de las obras la calzada existente o recién construida.

Para tal efecto, todo vehículo que se retire del sector de obra debe ser sometido a una limpieza exhaustiva de los neumáticos, de manera tal que no marque ni ensucie tanto la calzada como la demarcación.

En caso de detectarse sectores de calzada manchados y/o sucios con material de obra, dentro del área de obra o fuera de ella, debe de limpiarse para restituir el estado inicial de la carpeta.

(Suarez, Control de aguas superficiales y subterráneas, 2006)

h) Conductividad hidráulica relativa

La CHR debe ser medida sobre la mezcla colocada y enfriada a temperatura ambiente. Se debe medir en puntos situados en diagonal -cubriendo derecha, centro, izquierda- cada 50 metros de carril extendido y a 0,5 m del borde. Se debe indicar la media móvil de seis lugares de medición consecutivos y los valores individuales en segundos.

Además debe controlarse que las juntas longitudinales posean también un nivel de conductividad hidráulica acorde con lo especificado en otras zonas. Por jornada deben efectuarse como mínimo seis determinaciones. El tiempo de salida del agua debe estar entre 17 y 25 segundos medida con el permeámetro LCS (norma española NLT-327-88) corregido a 20 ° C. Se debe medir la temperatura del agua en el tubo del ensayo y efectuar las correcciones pertinentes al tiempo medido. En la tabla 5.10 se dan los coeficientes por los cuales debe dividirse la lectura en segundos cuando la temperatura del agua es distinta de 20 °C.

Temp. °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Coeficiente	1.79	1.73	1.67	1.62	1.57	1.52	1.47	1.43	1.39	1.34	1.31
Temp. °C	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Coeficiente	1.27	1.24	1.20	1.17	1.14	1.11	1.08	1.06	1.03	1.00	0.98
Temp. °C	22	23	24	25							
Coeficiente	0.96	0.94	0.91	0.89							

Tabla 2.3: Coeficientes de Corrección.

Fuente: Comisión Permanente del Asfalto, 2005

Se debe asegurar una correcta conductividad hidráulica transversal observando la pendiente tanto de la calzada como de los hombros. Antes de efectuar mediciones con el permeámetro, se deberá regar previamente sobre la zona en las que se van a efectuar las mediciones utilizando un camión regador.

2.2.7.4 Mantenimiento de los pavimentos drenantes

Sin mantenimiento, los pavimentos permeables pueden estar colmatados en tres años o pueden mantener su capacidad de infiltración más de 6. Todo depende del aporte de sedimentos que tenga la zona superficial contigua al tramo. Mientras, con un correcto mantenimiento, la vida útil de un pavimento permeable puede alcanzar los veinte años, tanto para superficies continuas, como discontinuas.

No obstante, el costo del mantenimiento puede llegar a ser elevado y la frecuencia necesaria de limpieza puede ser alta, dependiendo de las condiciones específicas de cada localización, por lo que en muchas aplicaciones se acepta la pérdida de permeabilidad y no se realiza mantenimiento alguno⁴².

⁴² (Institute, El Asfalto en la Preservación y el Mantenimiento del Pavimento, 2009)

En general, el mantenimiento de un pavimento permeable debe programarse en función de los resultados de una serie de inspecciones periódicas, realizadas con el objetivo de comprobar los aportes de sedimentos recibidos por el pavimento permeable. Así, todos los pavimentos permeables deben ser inspeccionados varias veces durante los primeros meses después de su construcción y posteriormente, como mínimo una vez al año. Las inspecciones deben realizarse después de grandes lluvias para comprobar el correcto funcionamiento de la superficie.

Los diagnósticos realizados durante estas inspecciones deben realizarse en base a ensayos de capacidad de infiltración en campo, con el permeámetro LCS⁴³.

Experiencias previas en España han mostrado gran dificultad existente en recuperar capas permeables muy colmatadas, siendo mucho más efectiva la limpieza periódica preventiva a la hora de mantener la funcionalidad del pavimento. Por esta razón, recomendaron realizar limpiezas antes de alcanzar niveles de colmatación altos, con posibilidad de recuperación. El momento adecuado para realizar la limpieza sería a inicios de la época lluviosa, y después de lluvias de alta precipitación que hayan podido ablandar depósitos de sedimentos, facilitando y mejorando la eficacia del mantenimiento⁴⁴.

Respecto a las medidas preventivas que minimicen los aportes de sedimentos, europeos analizaron la evolución a largo tiempo de dos experiencias con pavimentos permeables. De ambas experiencias extrajeron importantes conclusiones para el mantenimiento de pavimentos permeables:

Las zonas verdes no deben drenar directamente sobre el pavimento permeable, minimizando así el principal aporte natural de sedimentos.

⁴³ (PÚBLICAS, Permeabilidad in situ de Pavimentos Drenantes con el Permeámetro LCS NLT-327/00, 2000)

⁴⁴ Normativa Española. Riesgos Auxiliares, **Mezclas Bituminosas y Pavimentos de Hormigón**

Los pavimentos permeables deben ser cubiertos cuando existen obras cercanas, minimizando así el principal aporte artificial de sedimentos.

La colmatación con tierra vegetal es un riesgo cuya importancia depende del entorno del pavimento permeable y de las medidas preventivas adoptadas, siendo posible, en caso de producirse, la limpieza con agua a presión. Además, la escorrentía procedente de zonas en obra de construcción es la que más afecta la vida útil de los sistemas de infiltración. El control de la erosión debe ser más intenso en parques y zonas de obras cercanas a los pavimentos permeables. En carreteras la erosión puede ser un problema en tramos donde se ha realizado un corte de la superficie de la tierra⁴⁵.

Respecto a los mecanismos de limpieza, el más efectivo, empleado en mezclas asfálticas drenantes, consiste en las proyecciones de agua a presión y el aspirado inmediato de la suciedad movilizada por el agua, resultando una limpieza limpia y seca. Este sistema, con pasadas cada seis meses, comenzando un año después de la puesta en obra de la mezcla porosa, es capaz de recuperar del 80% al 90% de la permeabilidad inicial.

Por último, ya sea al final de la vida útil o con anterioridad, puede ser necesaria una restitución de un pavimento permeable. En las mezclas asfálticas drenantes, los españoles señalan la posibilidad de utilizar mezclas en frío abiertas para el bacheo, tratando cuidadosamente los bordes para no crear discontinuidades en la infiltración⁴⁶.

2.3 FUNDAMENTACION LEGAL

Este trabajo investigativo se basa en la recopilación bibliográfica de normas españolas NLT, normas colombianas, normas y pruebas AASHTO, ASTM y normas ecuatorianas viales (NEVI).

⁴⁵ (PÚBLICAS, Permeabilidad in situ de Pavimentos Drenantes con el Permeámetro LCS NLT-327/00, 2000)

⁴⁶ (Española, 2000)

2.3.1 PARAMETROS PARA EL DISEÑO

Los materiales que van a intervenir para el diseño de una mezcla porosa, serán clasificados y ensayados de acuerdo con los parámetros de las Normas ASSHTO y ASTM, los mismos que se detallan a continuación.

NORMAS	ENSAYOS	ESPECIFICACION
INVE 765 ASTM 244	Tamizado de las emulsiones asfálticas	0 a 0,1%
ASSHTO T-59 INEN 909	Estabilidad de las emulsiones asfálticas a las 24 horas	Diferencia del 1% Max
ASSHTO T-59 ASTM D-244	Asentamiento de las emulsiones asfálticas a los 5 días	Diferencia del 5% Max

Tabla 3.1: Parámetros de diseño para calificar la Emulsión asfáltica.

Fuente: Normas ASSHTO, ASTM e INEN.

2.3.2 GRANULOMETRIA DEL MATERIAL

Norma: AASHTO T-27 / ASTM C-136 y AASHTO T-11 / ASTM C-117.

El ensayo de granulometría se lo realiza mediante el proceso de tamizado, que determina la distribución del tamaño de las partículas de los agregados y la abundancia de cada una en la muestra. Su tamaño es quien determina si se trata de partículas finas o gruesas y de acuerdo a las especificaciones de la ISSA se determina el tipo de material, como se indica en la tabla 3.5.

Para clasificar una muestra de material es común realizar dos ensayos; granulometría seca y granulometría lavada, que certifican el tipo de agregado con el que se dispone.

2.3.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS MATERIALES

2.3.3.1 Fracción Granular Gruesa

Norma: ASSHTO T-85 y ASTM C-127.

Después del periodo de inmersión, se saca la muestra del agua y se secan las partículas sobre un paño absorbente de gran tamaño, hasta que se elimina el agua superficial visible, secando individualmente los fragmentos mayores, evitar que se evapore el agua contenida en los poros de las partículas del árido.

A continuación se determina el peso de la muestra en estado saturado superficialmente seco. Colocar inmediatamente la muestra del árido en estado saturado superficialmente seco en la canastilla metálica.

Gravedad específica seca aparente

$$G_{sa} = \frac{A}{A - B}$$

Gravedad específica Bulk

$$G_{sb} = \frac{A}{B - C}$$

Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk

$$G_{sssb} = \frac{B}{B - C}$$

$$Absorción (\%) = \frac{(B - A)100}{A}$$

Dónde:

A: peso en el aire del agregado secado al horno, gr.

B: peso en el aire del agregado saturado superficialmente seco, gr.

C: peso del agregado superficialmente seco sumergido en agua, gr.

2.3.3.2 Fracción Granular Fina

Norma: ASSHTO T-84 y ASTM C-128.

Gravedad Específica seca aparente

$$G_{sa} = \frac{A}{B + A - C}$$

Gravedad Específica seca Bulk

$$G_{sb} = \frac{A}{B + D - C}$$

Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk

$$G_{sub} = \frac{D}{B + C - C}$$

$$Absorción (\%) = \frac{(D - A)100}{A}$$

Dónde:

A: peso en el aire del agregado seco al horno, g.

B: peso del matraz (picnómetro) con agua, g.

C: peso del matraz (picnómetro) con el agregado y agua hasta la marca, g.

D: peso del material saturado superficialmente seco, g.

2.3.4 ELABORACION DE BRIQUETAS

Norma: ASTM D-1559

Los agregados serán calentados a una temperatura del orden de 60°C.

El cemento asfáltico se calentará a una temperatura comprendida entre 130°C y 150°C.

Las briquetas serán confeccionadas en molde de 4" de diámetro y compactadas con 75 golpes con el martillo de 10 libras, según método Marshall.

El porcentaje óptimo de asfalto se lo obtendrá de la confección de juegos de briquetas con diferentes porcentajes de asfalto.

Las briquetas serán curadas al medio ambiente (25°C) por 48 horas, luego de lo cual un set de briquetas, previo a la obtención del peso unitario, deberán ser ensayadas directamente para determinar las propiedades Marshall; el otro set de briquetas será sometidas a calentamiento durante 30°C a 40°C por medio de baño María, es decir, que el agua no esté directamente en contacto con la briqueta y posteriormente serán saturadas al medio ambiente por 48 horas y se procederá a obtener el peso unitario y las propiedades Marshall, que es la condición más desfavorable.

2.3.5 PRUEBA DE ESTABILIDAD Y FLUJO

Norma: ASTM D-1559

Después de que la gravedad específica se ha determinado, se desarrolla la prueba de estabilidad y flujo, que consiste en sumergir el espécimen en un baño María a 60°C de 30 a 40 minutos antes de la prueba.

Con el equipo de prueba listo se removerá el espécimen de prueba de baño María y cuidadosamente se seca la superficie, colocándolo y centrándolo en la mordaza inferior, se procede a colocar la mordaza superior y se centrara en el equipo de carga, para posteriormente aplicar la carga de prueba al espécimen a una deformación constante de 51mm (5 pulgadas) por minuto hasta que ocurra la falla. El punto de falla está definido por la lectura de carga máxima obtenida.

El número total de Newton (lb) requerido para que se produzca la falla del espécimen se registra como el valor de estabilidad Marshall. Mientras la prueba está en proceso se deberá mantener el medidor de flujo sobre la barra guía y cuando la carga empiece a disminuir que tomar la lectura y registrarla como el valor de flujo final.

2.3.6 ANALISIS DE DENSIDAD Y VACIOS

Utilizando la gravedad específica y la gravedad específica efectiva del total agregado, el promedio de las gravedades específicas de las mezclas compactadas; la gravedad específica del asfalto y la gravedad específica teórica máxima de la mezcla asfáltica (ASTM D-2041), se calcula el porcentaje de asfalto absorbido en peso del agregado seco, porcentaje de vacios (V_a); porcentaje de vacios llenados con asfalto (VFA) y el porcentaje de vacios con agregado mineral (VMA).

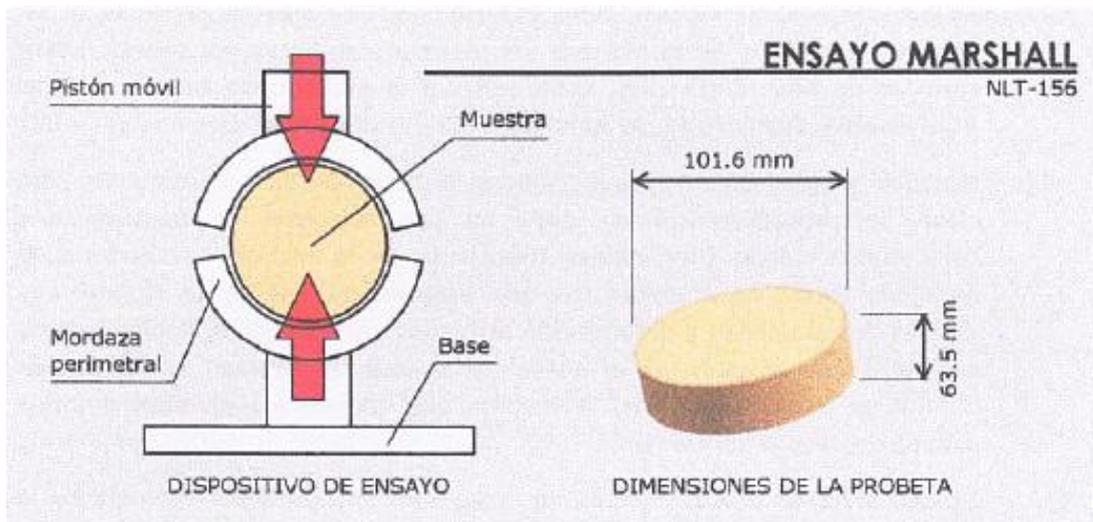


Gráfico 3.1: Ensayo Marshall

2.3.6.1 Porcentaje en volumen de los agregados

$$\%V_{agr} = \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}}$$

Dónde:

G_{mb} : bulk promedio de las 3 briquetas

G_{sb} : gravedad especifica bulk de los agregados

P_s : % agregados = % total - % asfalto utilizado

2.3.6.2 Porcentaje total de vacíos

$$Pa = 100x \frac{Gmm - Gmb}{Gmm}$$

Dónde:

Gmm: Rice

Gmb: bulk promedio de las 3 briquetas

2.3.6.3 Porcentaje de vacíos en los agregados minerales

$$Vam = 100 - \%Vagr$$

Dónde:

% Vagr: % volumen de agregados

2.3.6.4 Volumen efectivo de asfalto

$$Vea = \frac{Va}{Vam} x 100$$

Dónde:

Va: volumen de asfalto

Vam: % de vacíos en agregados mineral

CAPITULO III

3. METODOLOGIA Y TIPO DE INVESTIGACION

Para el presente estudio fue necesario caracterizar los materiales pétreos utilizados en el diseño de mezclas asfálticas drenantes con aditivo provenientes de la cantera del Colibrí.

Se realizó ensayos de laboratorios para la elaboración del diseño de mezcla drenante.

La metodología utilizada para el desenvolvimiento de la tesis consta de las siguientes etapas:

- Revisión de normas y procedimientos para la realización de ensayos para diseño de mezclas asfálticas drenantes.
- Análisis y preparación del material a utilizar.
- Recopilación de información de ensayos de laboratorios provenientes del diseño de mezcla asfáltica drenante.
- Revisión de especificación y procedimientos para el proceso constructivo.

3.1 TIPO DE INVESTIGACION

En el presente trabajo se aplicará una investigación experimental a partir de las mediciones de las características de los agregados, mediante ensayos de laboratorio y sobre diseños de mezclas asfálticas drenantes.

3.2 POBLACION Y MUESTRA

La población la definimos como los diversos tipos de metodologías que se utilizan para la realización de una mezcla asfáltica drenante.

La muestra en estudio son los materiales de la cantera el Colibrí, escogida por cumplir con las exigencias de calidad que establece el MTOP, para conformar un uso granulométrico para la realización del diseño de la mezcla asfáltica drenante, así como también la elaboración de las probetas con diferentes tipos de porcentajes de asfalto de acuerdo a la normativa utilizada para cada uno de ellos.

3.3 TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS

La recolección de datos para el diseño de la mezcla asfáltica se los realiza de acuerdo a las normas AASHTO, ASTM, NLT, LNV y MTOP.

La información se toma de los ensayos realizados en laboratorios para:

- Determinación de la calidad de materiales.
- Aplicación y comprobación del diseño mediante el método Marshall.
- Aplicación y comprobación del diseño por el método cántabro vía húmeda.

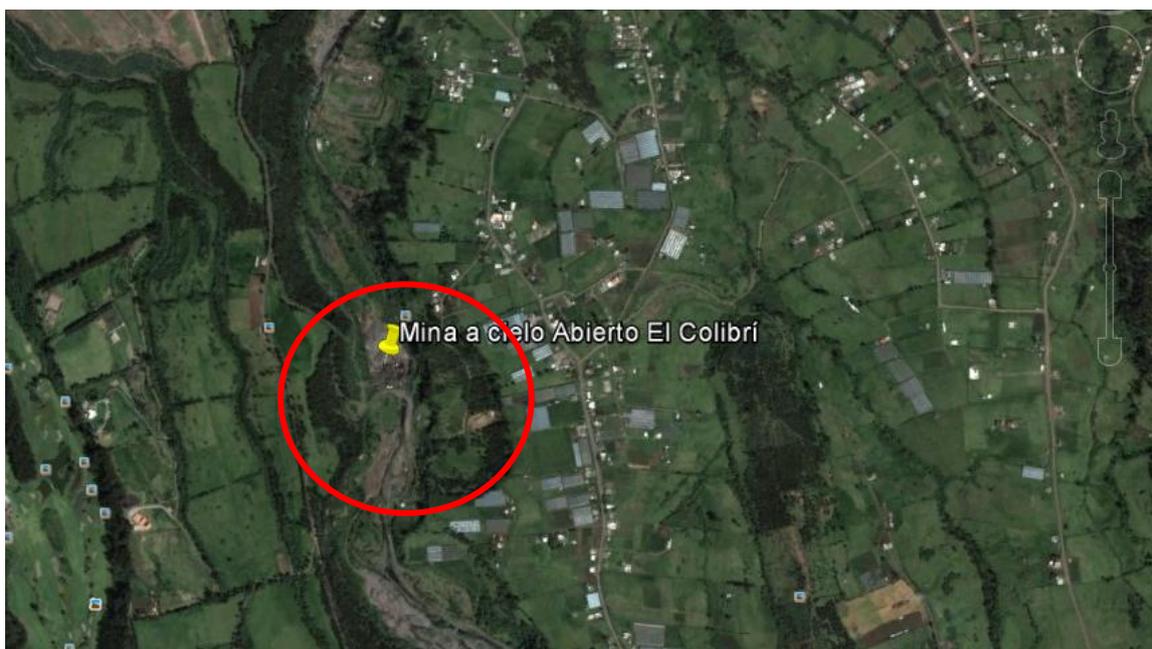
Los instrumentos utilizados para la realización de estas técnicas fueron:

- Equipo de laboratorio de suelo y asfalto.
- Equipos de oficina
- Manuales y Especificaciones de diseños de mezclas asfálticas drenantes.

3.4 UBICACIÓN DE MINA

Para la realización de los ensayos de laboratorio y la mezcla definitiva del pavimento poroso, se ha tomado los materiales provenientes de la Cantera del Colibrí, los mismos que se procesaron en la planta de trituración ubicada al sur oriente de la ciudad de Quito.

Coordenadas UTM 0° 20' 37" S
 78° 24' 57" O



Fotografía 3.0: Ubicación Mina El Colibrí

3.5 ENSAYOS Y DISEÑO DE PAVIMENTO POROSO

3.5.1 GRANULOMETRIA DE ARIDOS

3.5.1.1 Fracción Granular Gruesa Muestra (M-1)

Norma: AASHTO T 88 ASTM D 422

TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO (Gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA
2"			
1 1/2"			
1"	3.439,0	23,4	76,6
3/4"	6.929,0	47,1	52,9
1/2"	11.924,0	81,0	19
3/8"	13.412,0	91,1	8,9
No. 4	14.503,0	98,5	1,5
Pasa el No. 4	216,0	1,5	
No. 8			
No. 10			
No. 16			
No. 20			
No. 30			
No. 40			
No. 50			
No. 60			
No. 80			
No. 100			
No. 200			
Pasa el No. 200			
TOTAL	14.719,0		

Tabla 3.2: Granulometría Agregado Grueso.

Fuente: José Enrique Nazareno.

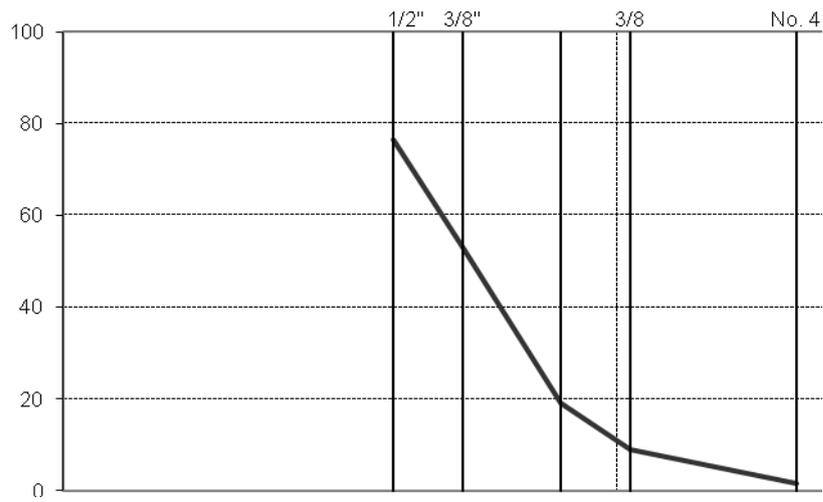


Gráfico 3.1: Curva Granulométrica Agregado Grueso.

El resultado de la granulometría del material grueso, el cual lo podemos observar en la tabla No. 3.2 y en el gráfico No. 3.1 está dentro de las especificaciones establecidas para el diseño de pavimentos determinado en las normas viales ecuatorianas.

3.5.1.2 Fracción Granular Gruesa Media Muestra (M-2)

Norma: AASHTO T 88 ASTM D 422

TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO (Gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA
3"			
2 1/2"			
1 1/2"			
1"	0,0	0,0	100
3/4"	0,0	0,0	100
1/2"	4.598,0	29,6	70,4
3/8"	6.032,0	38,9	61,1
No. 4	10.985,0	70,8	29,2
Pasa el No. 4	4.526,0	29,2	
No. 8			
No. 10			
No. 16			
No. 20			
No. 30			
No. 40			
No. 50			
No. 60			
No. 80			
No. 100			
No. 200			
Pasa el No. 200			
TOTAL	15.511,0		

Tabla 3.3: Granulometría Agregado Grueso Medio.

Fuente: José Enrique Nazareno.

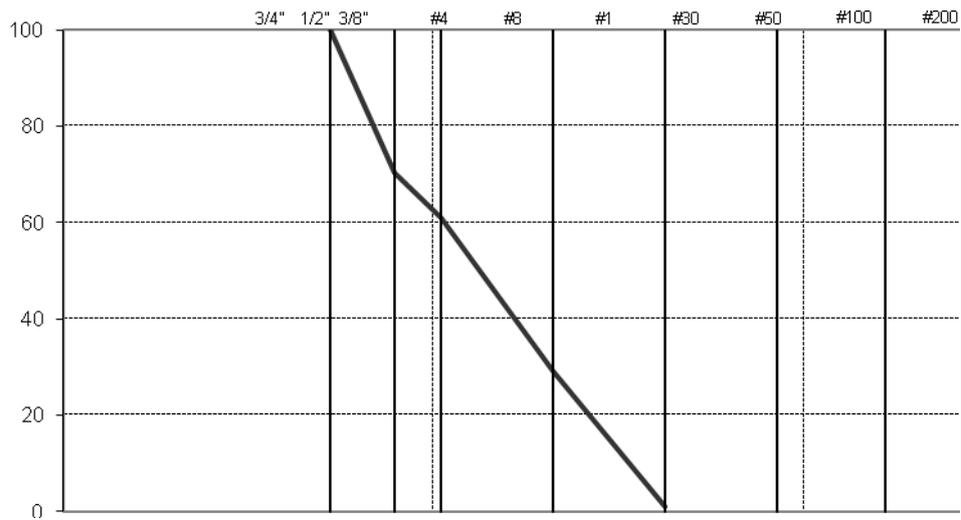


Gráfico 3.2: Curva Granulométrica Agregado Grueso Medio.

El resultado de la granulometría del material medio, el cual lo podemos observar en la tabla No. 3.3 y en el gráfico No. 3.2 está dentro de las especificaciones establecidas para el diseño de pavimentos determinado en las normas viales ecuatorianas.

3.5.1.3 Fracción Granular FINA Muestra (M-3)

Norma: AASHTO T 88 ASTM D 422

TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO (Gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA
3"			
2 1/2"			
2"			
1 1/2"			
1"			
3/4"	0,0	0,0	100
1/2"	0,0	0,0	100
3/8"	0,0	0,0	100,0
No. 4	0,0	0,0	100
Pasa el No. 4	834,5	100,0	
No. 8	106,1	17,7	82,3
No. 10			
No. 16	201,2	33,5	66,5
No. 20			
No. 30	292,6	48,8	51,2
No. 40	134,8	22,5	77,5
No. 50	346,3	57,7	42,3
No. 60			
No. 80			
No. 100	412,8	68,8	31,2
No. 200	455,9	76,0	24
Pasa el No. 200	496,8	82,8	17,2
TOTAL	834,5		

Tabla 3.4: Granulometría Agregado Fino.

Fuente: José Enrique Nazareno.

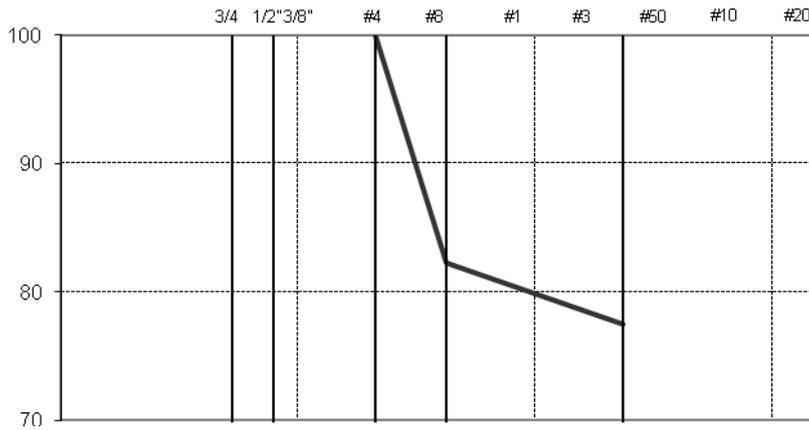


Gráfico 3.3: Curva Granulométrica Agregado Fino.

El resultado de la granulometría del material fino, el cual lo podemos observar en la tabla No. 3.4 y en el gráfico No. 3.3 está dentro de las especificaciones establecidas para el diseño de pavimentos determinado en las normas viales ecuatorianas.

Obtenida la granulometría y especificación de la muestra, se realizan ensayos que determinarán su comportamiento en el diseño. Basándose en sus propiedades, el agregado debe cumplir con los siguientes requisitos:

3.5.2 GRAVEDAD ESPECIFICA

3.5.2.1 Gravedad Especifica Muestra Gruesa (M-1)

Norma: ASSHTO T-85 y ASTM C-127.

GRAVEDADES ESPECIFICAS			
AGREGADO GRUESO			
Material que pasa el tamiz	3/4 "	y es retenido en el tamiz	# 4
A : Peso en el aire de la muestra secada al horno :			4.834,10 gr
B : Peso en el aire de la muestra saturada :			5.000,00 gr
C : Peso en el agua de la muestra saturada :			3.031,00 gr
Gravedad Especifica de masa			2,455 gr/cm3
Gravedad Especifica de s.s.s.			2,539 gr/cm3
Gravedad Especifica aparente			2,681 gr/cm3
% de absorción			3,43%

Tabla 3.5: Gravedad Especifica Agregado Grueso

Fuente: José Enrique Nazareno.

La muestra gruesa cumple con la normativa de gravedad y densidad especifica.

3.5.2.2 Gravedad Especifica Muestra Media (M-2)

Norma: ASSHTO T-85 y ASTM C-127.

GRAVEDADES ESPECIFICAS			
AGREGADO GRUESO			
Material que pasa el tamiz	1/2 "	y es retenido en el tamiz	# 4
A : Peso en el aire de la muestra secada al horno :			4.872,20 gr
B : Peso en el aire de la muestra saturada :			5.000,00 gr
C : Peso en el agua de la muestra saturada :			3.045,00 gr
Gravedad Especifica de masa			2,492 gr/cm3
Gravedad Especifica de s.s.s.			2,558 gr/cm3
Gravedad Especifica aparente			2,666 gr/cm3
% de absorción			2,62%

Tabla 3.6: Gravedad Específica Agregado Medio

Fuente: José Enrique Nazareno.

La muestra del agregado medio cumple con la normativa de gravedad y densidad especifica.

3.5.3 GRAVEDAD ESPECIFICA MEZCLA ASFALTICA

Norma: ASTM D-1559

GRAVEDAD ESPECIFICA MEZCLA ASFALTICA							
GRAVEDAD BULK	100,0					=	2,492
ARIDO 2	99,1			0,9			
	2,492		+	2,492			
GRAVEDAD BULK	100					=	2,496
	15			70		15	
	2,455	+	2,492	+	2,557		
C. ASFALTO:	6,25%						
PESO ASFALTO:	62,50						
GRAVEDAD EFECTIVA	1000 - 62,5					=	3,339
	1.000			62,5			
	2,920		+	1,014			
PORCENTAJE DE ABSORCION	100	x	$\frac{3,339}{3,339}$	-	$\frac{2,496}{2,496}$	x 1.016 =	10,28%

Tabla 3.8: Gravedad Específica Mezcla Asfáltica

Fuente: José Enrique Nazareno.

3.5.4 GRAVEDAD ESPECIFICA RICE MEZCLA ASFALTICA

Norma: ASTM D-1559

Muestra	% Asfalto	Peso del Material	Peso Picnometro + Agua	Peso Picnometro + Agua + Material	Gravedad Maxima Medida (RICE)
		gr	gr	gr	gr/cm3
1	2,5%	1.018,0	6.490	7.164	2,959
2	3,0%	1.020,0	6.490	7.163	2,939
3	3,5%	1.028,0	6.490	7.166	2,920
4	4,0%	1.024,0	6.490	7.160	2,893
5	4,5%	1.039,0	6.490	7.164	2,847

Tabla 3.9: RICE Mezcla Asfáltica

Fuente: José Enrique Nazareno.

$$Gmm = \frac{A}{A + D - E}$$

Dónde:

A: peso de la muestra

D: peso del envase (matraz + agua)

E: peso del envase (matraz + agua + muestra)

3.5.5 METODO MARSHALL

Norma: ASTM D-1559

MEZCLA No.	% DE ASFALTO	PESO EN GRAMOS			VOLUMEN	PESO ESPECIFICO		VOLUMEN - % TOTAL		VACIOS EN AGREGADOS MINERALES	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD - LB		FLUJO 0.01"	CARGA DIAL
		SECA EN AIRE	S. S. EN AIRE	EN AGUA		"BULK"	MAXIMO MEDIDO	AGREGADOS	VACIOS EN AIRE			MEDIDA	CORREGIDA		
a	b	c	d	e	f	g	i	k	l	n	q	r	s	t	u
FECHA:															
1		893,7	918,3	511,1	407,2	2,195					1,47	1.605	2.359	7	728
2		941,7	970,1	538,4	431,7	2,181					1,32	1.653	2.183	5	750
3		950,4	980,6	543,4	437,2	2,174					1,32	1.609	2.124	7	730
Promedio	2,50					2,183	2,959	85,29	26,22	14,71			2,222	6	
FECHA:															
1		1.028,1	1.056,7	591,4	465,3	2,210					1,19	1.885	2.243	8	855
2		1.034,7	1.065,6	597,6	468,0	2,211					1,19	1.929	2.296	9	875
3		1.003,1	1.031,4	579,1	452,3	2,218					1,25	1.973	2.466	8	895
Promedio	3,00					2,213	2,939	85,99	24,72	14,01			2,335	8	
FECHA:															
1		1.022,7	1.053,8	606,5	447,3	2,286					1,25	2.039	2.549	12	925
2		1.043,3	1.071,2	604,9	466,3	2,237					1,19	2.052	2.442	10	931
3		1.032,6	1.061,9	601,5	460,4	2,243					1,19	2.028	2.414	12	920
Promedio	3,50					2,256	2,920	87,20	22,77	12,80			2,468	11	
FECHA:															
		1.021,8	1.048,4	592,4	456,0	2,241					1,25	1.799	2.249	12	816
		1.029,5	1.057,1	600,6	456,5	2,255					1,19	1.817	2.162	14	824
		1.055,0	1.079,8	612,2	467,6	2,256					1,19	1.786	2.125	12	810
Promedio	4,00					2,251	2,893	86,57	22,19	13,43			2,178	13	
FECHA:															
		1.043,9	1.065,5	602,9	462,6	2,257					1,19	1.583	1.884	14	718
		1.039,3	1.058,9	598,0	460,9	2,255					1,19	1.567	1.865	16	711
		1.045,0	1.063,4	594,4	469,0	2,228					1,19	1.572	1.871	15	713
Promedio	4,50					2,247	2,847	85,96	21,08	14,04			1,873	15	

Tabla 3.10: MARSHALL Mezcla Asfáltica

Fuente: José Enrique Nazareno.

Se obtiene un porcentaje de asfalto óptimo de 4.00%, de acuerdo a los ensayos realizados por el método Marshall.

De acuerdo al porcentaje óptimo de asfalto tenemos un porcentaje de vacíos de 22.00%, el mismo que cumple con las especificaciones recomendadas.

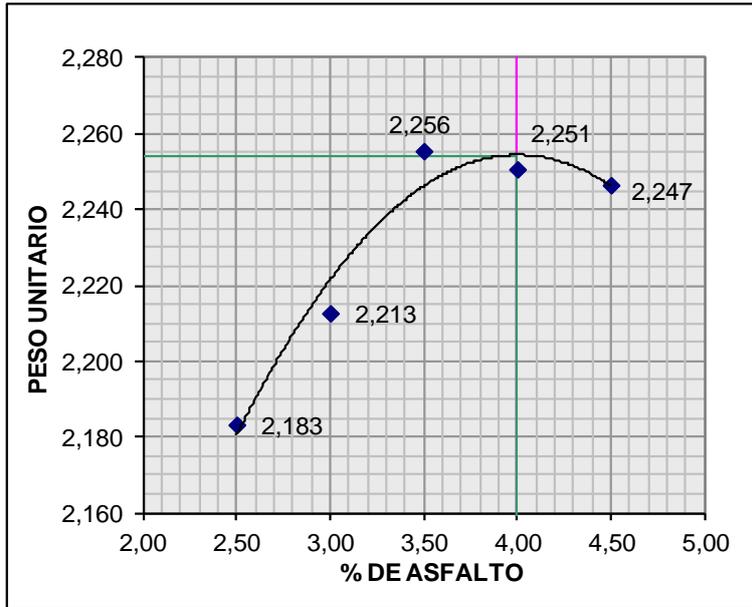


Gráfico 3.2: Peso Unitario vs % de Asfalto

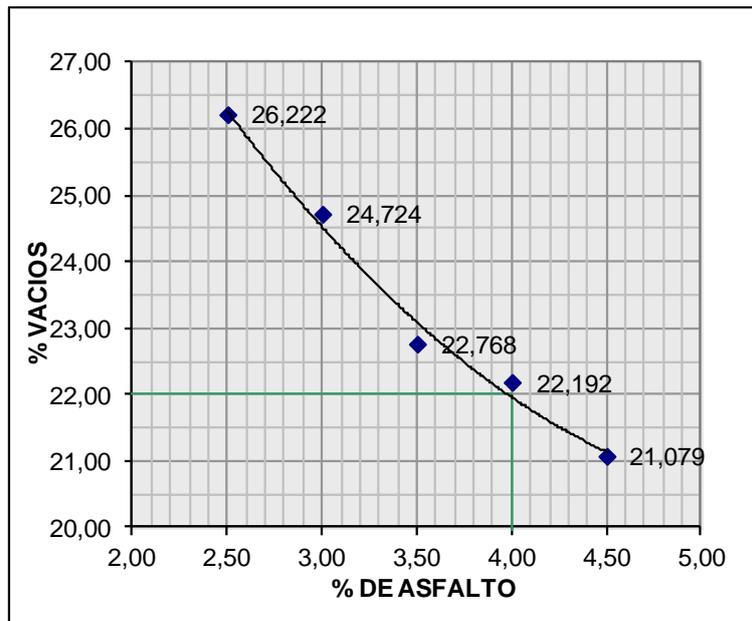


Gráfico 3.3: % de Vacíos vs % de Asfalto

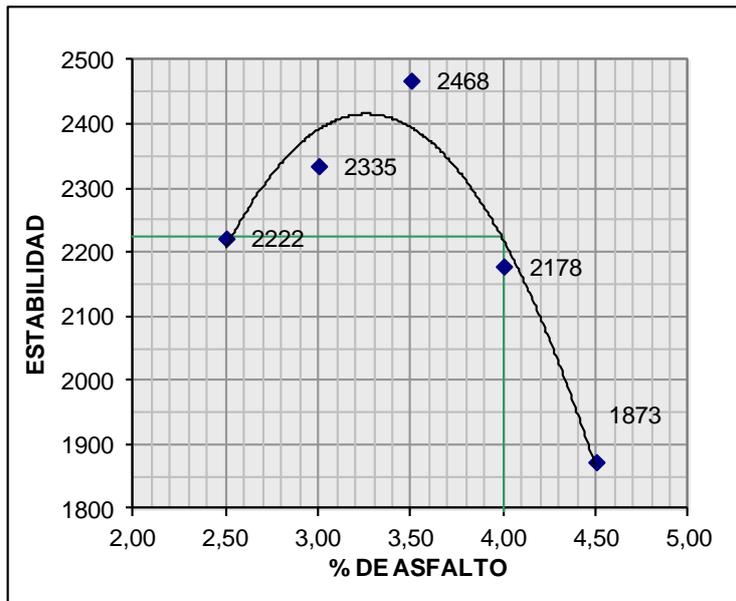


Gráfico 3.4: Estabilidad vs % de Asfalto

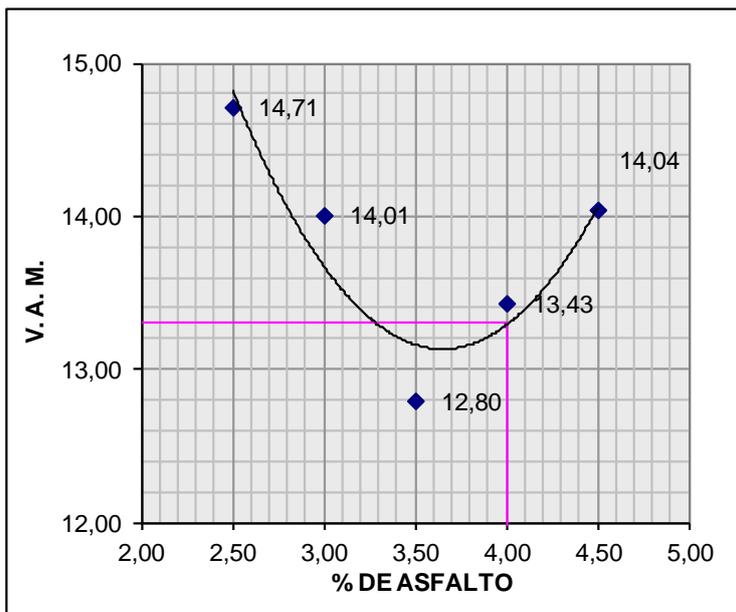


Gráfico 3.5: VAM vs % de Asfalto

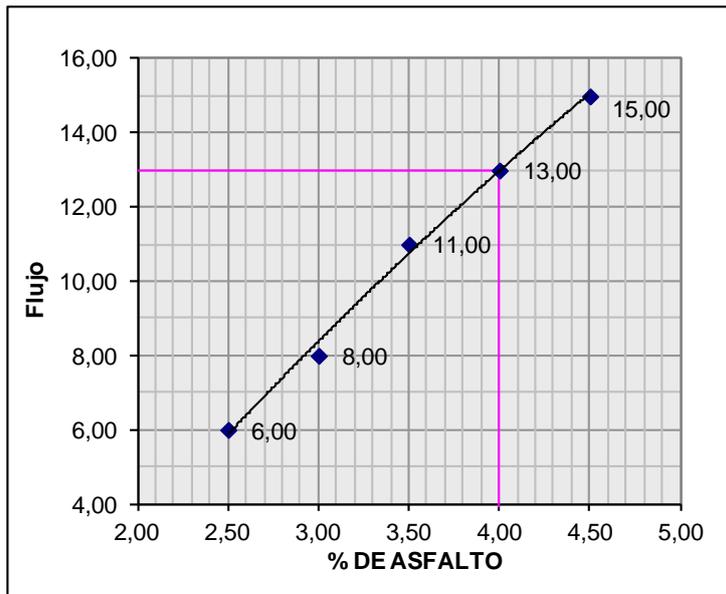


Gráfico 3.6: Flujo vs % de Asfalto

3.5.6 ENSAYO DE CANTABRO

Norma: NLT-352/00

$$P = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

ENSAYO DEL CANTABRO						
Temperatura	Muestra	P1	P2	P(%)	Especificación	
25°C	E1	1.105,00	774,66	29,90	< 25 %	
	E2	1.100,00	880,42	19,96		
	E3	1.133,00	960,80	15,20		
	E4	1.115,00	794,60	28,74		
	Promedio:	23,45 %				
Donde:	P1= masa inicial de la probeta en gramos P2= masa final de la probeta en gramos P= valor de la perdida por desgaste, en porcentaje					

Tabla 3.11: Ensayo Cántabro Mezcla Asfáltica

Fuente: José Enrique Nazareno.

Las mezclas ensayadas con el método del cántabro, el cual evalúa el envejecimiento y la pérdida de adherencia entre el agregado y el ligante, cumple con los objetivos planteados.

3.5.7 ENSAYO DE CANTABRO HUMEDO

Norma: NLT-362/92

$$\% = \frac{P_S}{P_A} \times 100$$

ENSAYO DEL CANTABRO HUMEDO						
Temperatura	Muestra	PS	PA	P (%)	Especificación	
60°C	M1	58,88	26,33	2,24	< 40 %	
inmersión	M2	45,97	26,92	1,71		
25°C	M3	40,83	15,81	2,58		
secado						
Promedio:		48,56 %				
Donde:						
M1= masa inicial de la probeta en gramos						
M2= masa final de la probeta en gramos						
P= valor de la perdida por desgaste, en porcentaje						

Tabla 3.12: Ensayo Cántabro Húmedo Mezcla Asfáltica

Fuente: José Enrique Nazareno.

En el ensayo de Cántabro Húmedo en nuestra mezcla no cumple con la especificación otorgada para este material.

En el ensayo del cántabro húmedo, no es significativa la diferencia en peso que se obtiene, ya que en los procesos anteriores se determina que cumplimos con el porcentaje de vacíos determinado para este tipo de muestras.

3.5.8 ENSAYO DE PERMEABILIDAD

Norma: NLT-327/00

$$K = \frac{aL}{At} \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right) \times Tc$$

ENSAYO DE PERMEABILIDAD								
Muestra	a (cm ²)	L (cm)	A (cm ²)	T (s)	H1 (cm)	H2 (cm)	Tc	K (x10 ⁻³ cm/s)
A								
1	0,20	7,20	81,43	10,00	26,90	1,00	0,99	5,804
2	0,20	7,20	81,43	10,00	26,60	1,00	0,99	5,784
3	0,20	7,20	81,43	10,00	26,50	1,00	0,99	5,778
B								
1	0,20	7,22	81,88	10,00	24,70	1,00	0,99	5,638
2	0,20	7,22	81,88	10,00	24,70	1,00	0,99	5,638
3	0,20	7,22	81,88	10,00	248,00	1,00	0,99	9,705
C								
1	0,20	7,08	78,74	10,00	24,30	1,00	0,99	5,720
2	0,20	7,08	78,74	10,00	24,10	1,00	0,99	5,705
3	0,20	7,08	78,74	10,00	24,20	1,00	0,99	5,712
Promedio:			6,16 x10 ⁻³ cm/s					
Donde:								
K= coeficiente de permeabilidad								
a= area interna de la bureta e carga variable								
L= altura de la muestra								
A= area de la muestra								
t= Tiempo del recorrido de la carga de agua entre H1 y H2								
h1= lectura inicial de la bureta								
h2= lectura final de la bureta								
tc= factor de corrección de temperatura para la viscosidad del agua								

Tabla 3.13: Ensayo Permeabilidad Mezcla Asfáltica

Fuente: José Enrique Nazareno.

3.6 ANALISIS DE RESULTADOS

3.6.1 FORMULA IDEAL

Una vez seleccionados los áridos proveniente de la mina El Colibrí, es necesario optar por la gradación correcta o formula maestra para el diseño de las mezclas drenantes.

Las distintas fracciones de áridos deberán combinarse en proporciones tales que la mezcla resultante cumpla con el huso granulométrico especificado y descrito anteriormente.

Tomando en cuenta estos detalles se procede a la obtención de la formula maestra.

La fórmula ideal para un diseño de mezcla drenante se la determina luego de haber calificado cada elemento que va a intervenir en la mezcla, para lo cual se realizaron los ensayos, los mismos que se encuentran normados.

Con los resultados obtenidos, se procede a realizar la definición de los porcentajes a incluirse en la muestra final.

3.6.1.1 Agregados

Una vez realizadas las granulometrías correspondientes se determina que se utilizará el agregado de tamaño máximo nominal TMN 3/4", el mismo que es proveniente de la mina del Colibrí.

COMBINACION DE AGREGADOS

TAMIZ	GRANULOMETRIA INDIVIDUAL				PORCENTAJE DE APORTE				COMB.	ESPECIFICACION		FAJA TRABAJO		TOLERANCIAS
	FRACCION:				0%	85%	15%	0%		MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	
	M-1	M-2	M-3	4	M-1	M-2	M-3	4						
3/4"	76,64	100	100		0	85	15		100	100	100	100	100	8 ±
1/2"	52,92	70,4	100		0	57	15		72	70	100	70	80	8 ±
3/8"	8,88	61,1	100		0	49	15		64	50	75	56	72	8 ±
No. 4	1,47	29,2	100		0	1	15		16	15	32	15	23	7 ±
No. 10	0	0	87		0	0	13		13	9	20	9	19	6 ±
No. 40	0	0	77,5		0	0	12		12	5	12	7	12	5 ±
No. 200	0	0	24		0	0	4		4	3	7	3	7	3 ±

Tabla 4.10: Granulometría Mezcla Asfáltica

Fuente: José Enrique Nazareno.

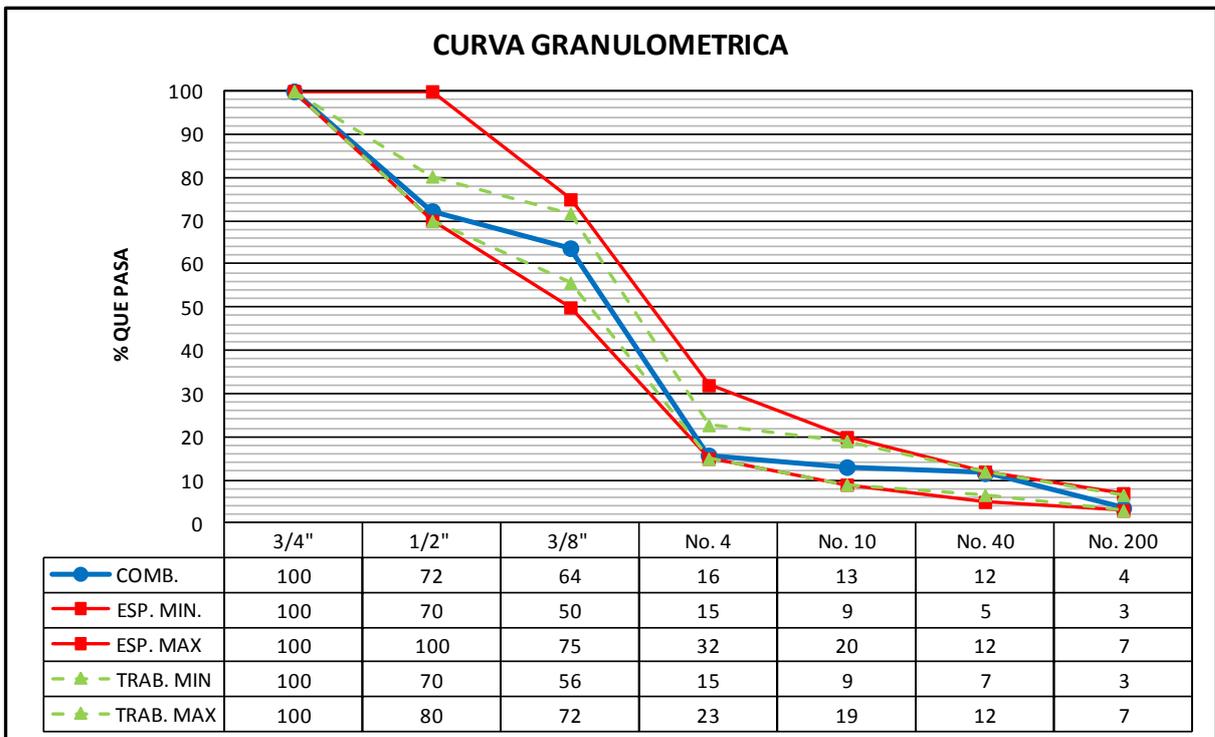


Gráfico 4.1: Curva Granulométrica Mezcla Asfáltica

Para este diseño se trabajará con un porcentaje de agregado de TMN 3/4" igual al 100%.

3.6.1.2 Porcentaje de Asfalto

El porcentaje óptimo de asfalto, definido gráficamente es del 4.00%. El mismo que es el punto máximo de la curva en la gráfica peso unitario vs porcentaje de asfalto.

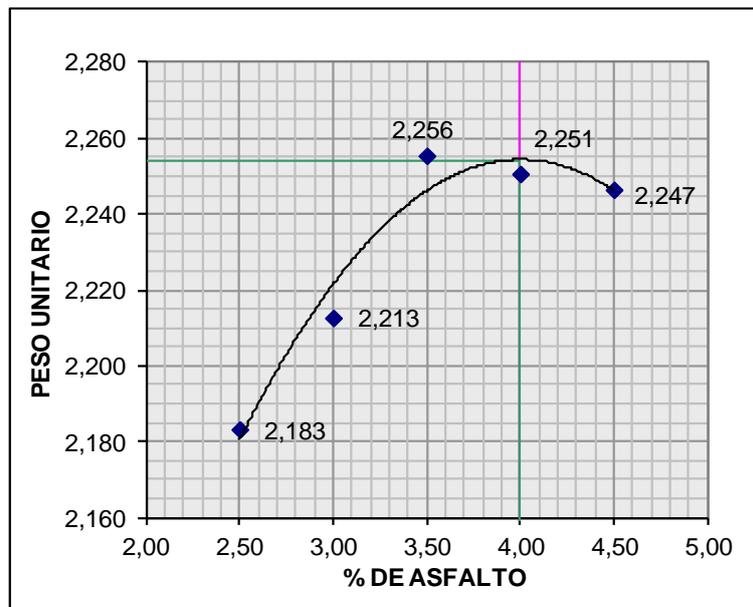


Gráfico 4.2: Peso Unitario vs % de Asfalto

Por lo tanto el porcentaje de asfalto a utilizarse en el diseño será del 4.00%.

3.6.1.3 Porcentajes óptimos de la fórmula ideal

Fórmula Maestra		
Agregado - Mina Colibrí	100.0	% (peso seco)
Emulsión AP	4.0	% (respecto al peso del agregado seco)

Tabla 4.2: Fórmula Maestra Mezcla Asfáltica

Fuente: José Enrique Nazareno.

CAPITULO IV

4. ANALISIS DE COSTOS

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Proponente: **Sr. Jose Enrique Nazareno S.**
 Rubro: **MEZCLA CONVENCIONAL**
 Unidad: **Metro Cuadrado**

Fecha: **ago-14**

EQUIPOS						
Código	Descripción	Cantidad	Costo/Hora	Costo Total	Costo m2	Porcentaje
		A	B	C=AxB	D=CxK	
	Planta de Asfalto	1,000	160,000	160,000	8,880	11,78%
	Cargadora Frontal	1,000	45,000	45,000	2,498	3,31%
	Rodillo Tandem Vibratorio	1,000	30,000	30,000	1,665	2,21%
	Rodillo Neumatico	1,000	32,000	32,000	1,776	2,36%
	Volqueta de 8 m3	2,000	15,000	30,000	1,665	2,21%
	Escoba Mecanica	1,000	25,000	25,000	1,388	1,84%
	Finisher	1,000	50,000	50,000	2,775	3,68%
	Herramienta manual	1,000	10% Mano de Obra		0,440	0,58%
SUBTOTAL M:					21,086	27,96%
MANO DE OBRA						
Código	Descripción	Cantidad	Costo Horario	Costo Hora	Costo Unitario	Porcentaje
		A	B	C=AxB	D=CxK	
	Operador Grupo 1	3,000	2,560	7,680	0,426	0,57%
	Operador Grupo 2	3,000	2,540	7,620	0,42	0,56%
	Ayudante de Maquinaria	6,000	2,470	14,820	0,82	1,09%
	Chofer Tipo E	2,000	3,770	7,540	0,42	0,55%
	Peon Cat I	16,000	2,440	39,040	2,17	2,87%
	Macanico	1,000	2,560	2,560	0,14	0,19%
SUBTOTAL N:					4,40	5,83%
MATERIALES						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Costo	Porcentaje
	Asfalto	gal	16,000	1,152	18,432	24,44%
	Piedra 1/2	m3	0,510	10,550	5,381	7,13%
	Cisco	m3	0,308	9,530	2,935	3,89%
	Piedra 3/8	m3	0,278	9,869	2,744	3,64%
	Diesel	gal	12,000	0,929	11,148	14,78%
SUBTOTAL O:					40,639	53,89%
TRANSPORTE						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	Porcentaje
	Asfalto		16,00	0,12	1,97	2,61%
	Mezcla Asfatica	20,00	1,20	0,28	6,72	8,91%
	Diesel		12,00	0,05	0,60	0,80%
SUBTOTAL P:					9,288	12,32%
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P):					75,41	100,00%
INDIRECTOS + UTILIDADES (20%):					15,08	20,00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					90,49	120,00%

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I. V. A.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Proponente: **Sr. Jose Enrique Nazareno S.**

Rubro: **MEZCLA DRENANTE**

Unidad: **Metro Cuadrado**

Fecha:

ago-14

EQUIPOS						
Código	Descripción	Cantidad	Costo/Hora	Costo Total	Costo m2	Porcentaje
		A	B	C=AxB	D=CxK	
	Planta de Asfalto	1,000	160,000	160,000	8,880	11,78%
	Cargadora Frontal	1,000	45,000	45,000	2,498	3,31%
	Rodillo Tandem Vibratorio	1,000	30,000	30,000	1,665	2,21%
	Rodillo Neumatico	1,000	32,000	32,000	1,776	2,36%
	Volqueta de 8 m3	2,000	15,000	30,000	1,665	2,21%
	Escoba Mecanica	1,000	25,000	25,000	1,388	1,84%
	Finisher	1,000	50,000	50,000	2,775	3,68%
	Herramienta manual	1,000	10% Mano de Obra		0,440	0,58%
SUBTOTAL M:					21,086	27,96%
MANO DE OBRA						
Código	Descripción	Cantidad	Costo Horario	Costo Hora	Costo Unitario	Porcentaje
		A	B	C=AxB	D=CxK	
	Operador Grupo 1	3,000	2,560	7,680	0,426	0,57%
	Operador Grupo 2	3,000	2,540	7,620	0,42	0,56%
	Ayudante de Maquinaria	6,000	2,470	14,820	0,82	1,09%
	Chofer Tipo E	2,000	3,770	7,540	0,42	0,55%
	Peon Cat I	16,000	2,440	39,040	2,17	2,87%
	Macanico	1,000	2,560	2,560	0,14	0,19%
SUBTOTAL N:					4,40	5,83%
MATERIALES						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Costo	Porcentaje
	Asfalto	gal	18,000	1,152	20,736	27,50%
	Piedra 1/2	m3	0,410	10,550	4,326	5,74%
	Cisco	m3	0,310	9,530	2,954	3,92%
	Piedra 3/8	m3	0,480	9,869	4,737	6,28%
	Diesel	gal	12,000	0,929	11,148	14,78%
SUBTOTAL O:					43,901	58,21%
TRANSPORTE						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	Porcentaje
	Asfalto		16,00	0,12	1,97	2,61%
	Mezcla Asfatica	20,00	1,20	0,28	6,72	8,91%
	Diesel		12,00	0,05	0,60	0,80%
SUBTOTAL P:					9,288	12,32%
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P):					78,67	104,33%
INDIRECTOS + UTILIDADES (20%):					15,73	20,00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					94,41	124,33%

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I. V. A.

4.1 ANALISIS DE COSTO BENEFICIO

A continuación se realiza un análisis de costo beneficio entre el pavimento normal y el pavimento drenante.

4.1.1 PAVIMENTO NORMAL

Basado en manual de normas ecuatorianas viales (NEVI 2012) el tiempo especificado para rehabilitar una vía, se detallan los siguientes datos:

Vida útil del pavimento = 7 a 8 años

Tiempo de vida útil del tratamiento = 2 a 3 años

4.1.2 PAVIMENTO POROSO

Mediante estudios realizados por laboratorios colombianos y españoles se considera:

Tiempo de vida útil del tratamiento: 3 a 5 años

4.1.3 ANALISIS COMPARATIVO

Con los datos descritos elaboramos la siguiente tabla:

Años	Pavimento Normal	Pavimento Poroso
0	75,41	78,67
1	90,41	89,67
2	105,41	104,67
3	120,41	119,67
4	135,41	134,67
5	150,41	149,67
6	165,41	164,67
7	180,41	179,67

Tabla 4.3: Análisis Comparativo
Fuente: José Enrique Nazareno.

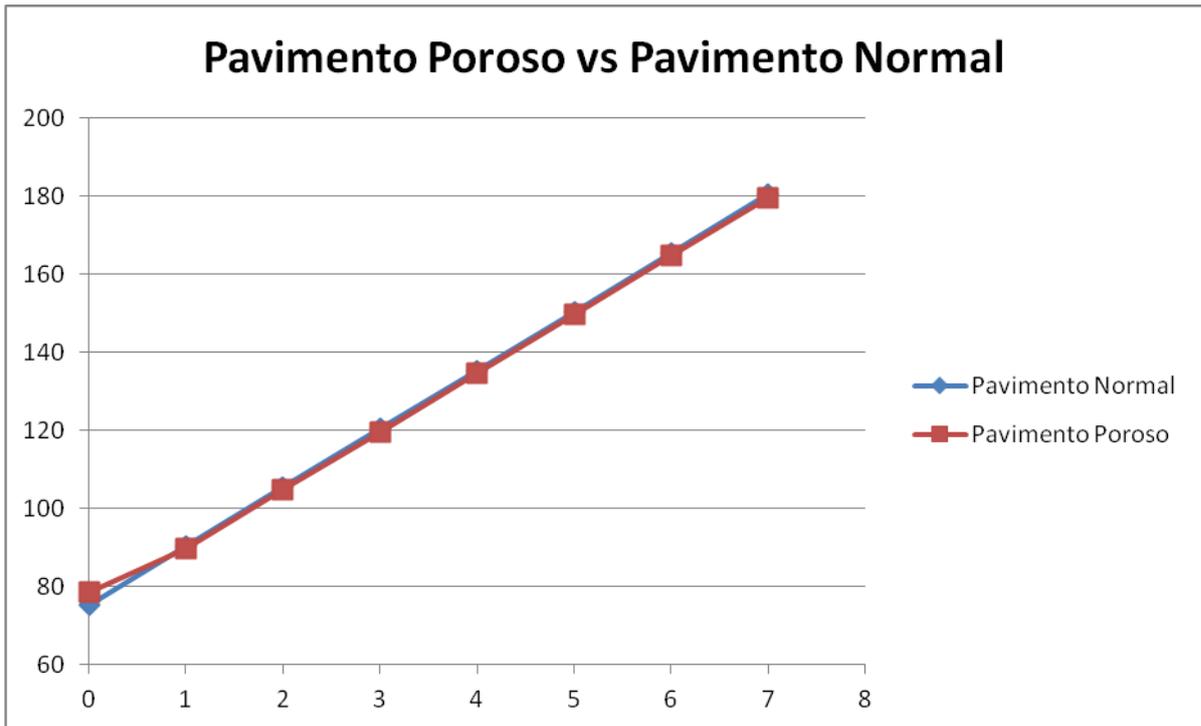


Gráfico 4.3: Pavimento Normal vs Pavimento Poroso

Este trabajo comprobó que los resultados obtenidos por el comportamiento de esta mezcla asfáltica drenante fueron positivos, cumpliendo con los parámetros de diseño Marshall y respectiva prueba de permeabilidad.

Los resultados que se alcanzaron en los ensayos de laboratorio permiten validar la hipótesis propuesta ya que:

Se comprobó que se puede diseñar una mezcla asfáltica drenante como capa de rodadura en este medio y con los agregados que se obtienen de la cantera estudiada, junto con la relación del volumen de asfalto utilizado.

Se demuestra que en laboratorio se ha validado la hipótesis dejando claro que este diseño de mezcla asfáltica drenante se puede aplicar en las carreteras del país.

CAPITULO V

5.1 CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

5.1.1 CONCLUSIONES

- Las muestras ensayadas corresponden a la mina del Colibrí, las cuales cumplen satisfactoriamente con las especificaciones vigentes.
- Se utilizó el método Marshall para el diseño de las mezclas drenantes, ya que este método se encuentra estipulado en la normativa ecuatoriana y del cual se pudo determinar el contenido óptimo de asfalto y el porcentaje de vacíos de la mezcla.
- Las mezclas ensayadas con el método del cántabro, el cual evalúa el envejecimiento y la pérdida de adherencia entre el agregado y el ligante, cumple con los objetivos planteados.
- Es necesario realizar un asfalto modificado para que cumpla con los requisitos necesarios de envejecimiento y de adherencia.
- Se confirma que para conseguir altas porosidades y buena resistencia a la disgregación de las mezclas asfálticas drenantes, solo es posible con el empleo de asfaltos modificados.
- Los agregados utilizados en esta investigación cumplen con las características necesarias para este tipo de pavimentos.
- La evacuación de aguas superficiales mediante el ensayo de permeabilidad demostró que la mezcla asfáltica drenante estudiada cumple con su objetivo característico.
- Para requerimientos que los materiales debían cumplir, se tomaron las normas colombianas, ya que estas exponen los parámetros más significativos de los materiales.

- Se obtiene un porcentaje de asfalto óptimo de 4.00%, de acuerdo a los ensayos realizados por el método Marshall.
- De acuerdo al porcentaje óptimo de asfalto tenemos un porcentaje de vacíos de 22.00%, el mismo que cumple con las especificaciones recomendadas.
- Al evaluar la susceptibilidad de la mezcla en el método del cántabro, se puede tener un mejor indicativo del comportamiento que presentara la mezcla en campo al ser sometida a mayores temperaturas.
- En el ensayo de Cántabro Húmedo en nuestra mezcla no cumple con la especificación otorgada para este material.
- En el ensayo del cántabro húmedo, no es significativa la diferencia en peso que se obtiene, ya que en los procesos anteriores se determina que cumplimos con el porcentaje de vacíos determinado para este tipo de muestras.
- En el ensayo de Cántabro Seco nuestra mezcla cumple con la especificación necesaria para este tipo de mezclas.
- Se cumple con el objetivo planteado de establecer parámetros para el diseño básico de un pavimento permeable.
- Se estudia nuevos métodos de diseño para la elaboración de mezclas asfálticas porosas.
- No se utiliza el filler porque en la curva granulométrica del material se evidencia su buen huso granulométrico.
- El método de Cántabro es un método el cual puede ser tomado como un patrón o comparación de medida para elaborar este tipo de pavimento, el mismo nos indica el porcentaje de desgaste en contacto con el agua del material a utilizarse.

5.1.2 RECOMENDACIONES

- Se debe tener mucho cuidado en el agregado, ya que se extraería de diferentes lugares de la zona de acopio, los mismos que al ser transportados se pudieran fracturar debido a la manipulación del mismo.
- Realizar las granulometrías con el material seco, para que no se alteren los valores en los ensayos.
- Utilizar metodologías adicionales a la tradicional como lo es el método Cántabro, para tener una comparación con este método y mejorar esta metodología para nuestro país.
- Añadir un aditivo al asfalto ecuatoriano, el mismo que mejore la relación entre los áridos y el ligante, porque en el ensayo del cántabro húmedo no cumple con la especificación recomendada.
- Llevar un estricto control de la temperatura en el momento de la fabricación de este tipo de mezclas, para que los termómetros proporcionen lecturas reales y así no sobre calentar el asfalto, pues si esto sucede perdería sus propiedades ligantes.
- Los agregados deben reunir características similares a las exigidas para otros tipos de mezclas.
- Realizar una relación costo beneficio como tema de trabajo con el fin de encontrar la posibilidad de aplicación de este tipo de mezclas en las carreteras del país.
- Investigar y proponer métodos aplicables a las mezclas drenantes para poder trabajar en el país.

- Realizar una investigación en un tramo con mezcla drenante en la carpeta de rodadura, para determinar la pérdida de las propiedades drenantes a lo largo de su vida útil.
- Mejorar el coeficiente de fricción, se debe colocar este tipo de pavimento en tramos donde la velocidad de diseño se pueda reducir.
- Debido a que la permeabilidad es alta, colocar este pavimento donde la pluviosidad sea muy elevada, por ejemplo en zonas urbanas.
- Realizar la clasificación y ensayos con otro tipo de material para el método del cántabro, de acuerdo a los agregados que tenemos en el país.
- Realizar un cuadro de tolerancia y curvas granulométricas con otro tipo de material, por ejemplo con materiales de conglomerados y tipo de aluviales; para tener una referencia del método.

5.2 BIBLIOGRAFIA

- Alamilla, Anguas, Mendez, Oropeza. (2006). *Influencia de las Granulometría en las Propiedades Volumétricas de la Mezcla Asfáltica*. Lima: Sanfadila.
- Badillo, J. L. (2011). *Estabilización de suelos en el diseño de Pavimentos*. Mexico: Coleccion Escuelas.
- Camaniero, R. (2006). *Dosificación de mezclas*. Quito.
- Española, N. (2000). *Mezclas Bituminosas y Pavimentos de Hormigón*. Madrid.
- G. Juyar, G. P. (2001). *Comparación de Mezclas Asfálticas Drenantes Fabricadas con asfalto modificado y sin modificar*. Mexico: McGraw-Hill.
- Gere, J. (2005). *Porous Pavements*. EUA: Taylor Francis.
- Haba, E. G. (2011). *Control de Escorrentías Urbanas Mediante Pavimentos Permeables: Aplicación Climas Mediterráneos*. Valencia: Universidad Politécnica.
- INEN. (2001). *Código Ecuatoriano de la Construcción*. Quito.
- Institute, A. (1989). *Manual del Asfalto*. Estados Unidos: Adventure Words.
- Institute, A. (2009). *El Asfalto en la Preservación y el Mantenimiento del Pavimento*. EUA: Instituto del Asfalto.
- Iturbide, J. C. (2002). *Manual centroamericano Para Diseño de Pavimentos*. Ciudad de Guatemala : McGraw-Hill.
- Jiménez, F. P. (1991). *Ensayo de Cántabro Para Mezclas drenantes*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.

- Larson, T. (1963). *Concretos de cemento Portland y Asfálticos*. Mexico: Continental.
- Linares, Moran, Peñate. (2010). *Diseño de Mezcla Asfáltica Semicaliente Drenante en el Salvador*. Santa Ana: UDS.
- MTOP. (2002). *Manual de Especificaciones Generales Para La Construcción de Caminos Y Puentes MOP-001-F-2002*. Quito: MTOP.
- MTOP. (2012). *Normas Ecuatorians Viales NEVI-2012*. Quito: MTOP.
- Muñoz y Ruiz. (2001). *Metodología de Diseño y Colocación de Mezclas Drenantes*. Valencia: Universidad Politécnica.
- Nilson, A. (2001). *Diseño de Estructuras de Concreto Asfáltico*. Bogotá: McGraw-Hill.
- Núñez, R. (2001). *Características Básicas de un Asfalto de Alta Permeabilidad*. Quito.
- Ordoñez, M. (2006). *Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos*. Lima: ICG.
- PÚBLICAS, C. D. (2000). *Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo cántabro de pérdida por desgaste NLT-352/00*. España.
- PÚBLICAS, C. D. (2000). *Permeabilidad in situ de Pavimentos Drenantes con el Permeámetro LCS NLT-327/00*. España.
- PÚBLICAS, C. D. (2000). *Resistencia a la Deformación plástica de Mezclas Bituminosas empleando el aparato Marshall NLT-159/00*. España.
- PÚBLICAS, C. D. (2000). *Resistencia al Desgaste de los Áridos por medio de la Maquina de Loa Angeles NLT-149/91*. España.
- Reyes, F. A. (2000). *Mejoramiento de Mezclas Asfálticas Modificando la composición del Llenante Convencional para Finos*. Mexico.
- Rojas y Ruiz. (2005). *Metodología de diseño y Colocación de Mezclas Drenantes*. Mexico: Espinoza.

Ruiz, C. (2000). *Las Mezclas Drenantes en Chile*. Valparaiso: Universidad Técnica Federico Santa María.

URBANISMO, M. D. (2008). *Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación*. Santiago de Chile: CDU.

5.3 ANEXOS

5.3.1 NORMA NLT-327/00

2.3 Cronómetro que tenga una precisión de 0,5 segundos

3 PROCEDIMIENTO

3.1 Se sitúa el permeámetro en el punto elegido para el ensayo y se coloca la carga tórica sobre la base.

3.2 A continuación se llena de agua el tubo transparente del permeámetro hasta unos 15 cm por encima de la marca superior de medida, y se deja que se vacíe a continuación para mojar y saturar el pavimento en la zona de medida.

3.3 Seguidamente se vuelve a llenar de la misma forma el permeámetro y se anota el tiempo de evacuación en segundos que tarda el nivel del agua en descender desde la marca superior de medida hasta la inferior.

4 RESULTADOS

El resultado del ensayo realizado sobre un punto del pavimento será el tiempo en segundos obtenido según el apartado 3.3.

Observación. En el laboratorio, para mezclas bituminosas drenantes con las siguientes características:

Tamaño máximo del árido, mm	10-12
% pasa tamiz UNE 2,5 mm	10-15
% pasa tamiz UNE 0,080 mm	2-6
% betún s/a	3,5-5,5

y espesores de la capa comprendidos entre 2 y 6 cm, se ha encontrado la siguiente correlación entre el coeficiente de permeabilidad y el tiempo de evacuación:

$$\ln K = 7,624 - 1,348 \ln T$$

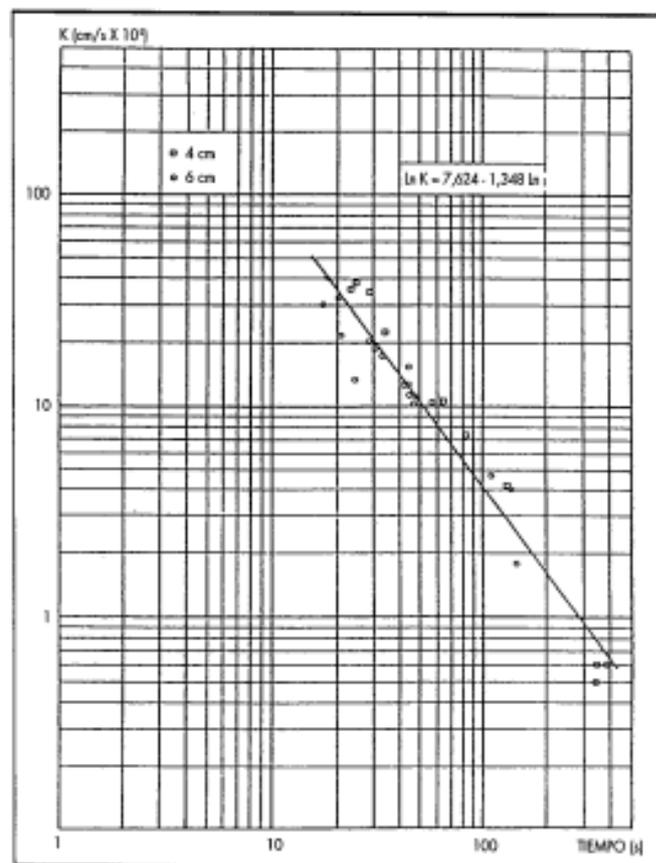


FIGURA 2. Correlación coeficiente de permeabilidad-tiempo de evacuación.

Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo cántabro de pérdida por desgaste

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION

1.1 Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación del valor de la pérdida por desgaste de las mezclas bituminosas, empleando la máquina de Los Angeles. El procedimiento puede emplearse tanto en el proyecto de mezclas en laboratorio como para el control en obra de las mismas.

1.2 El procedimiento se aplica a las mezclas bituminosas fabricadas en caliente y de granulometría abierta, cuyo tamaño máximo sea inferior a 25 mm.

1.3 El ensayo permite valorar indirectamente la cohesión, trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico.

2 APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

2.1 **Equipo de compactación.** Formado por el molde, collar, placa de base y maza de compactación, empleados en la norma NLT-159, «Resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall».

2.2 **Máquina de Los Angeles.** La máquina para el ensayo de desgaste de Los Angeles tendrá las características indicadas en la norma NLT-149, «Resistencia al desgaste de los áridos por medio de la máquina de Los Angeles».

2.3 **Termómetros.** Para medir las temperaturas de los áridos, ligante y mezcla bituminosa, se emplearán termómetros metálicos, con escala hasta 200 °C y sensibilidad de 3 °C. Para la medida de la temperatura a la que se realiza el ensayo, se utilizará un termómetro con escala 0 a 40 °C y sensibilidad de 0,5 °C.

2.4 **Balanzas.** Una balanza de 2 kg de capacidad y 0,1 g de sensibilidad para pesar las probetas y otra de 5 kg de capacidad y 1 g de sensibilidad para la preparación de las mezclas.

2.5 **Cámara termostática.** Para mantener constante la temperatura durante el ensayo, se deberá

disponer de una cámara o recinto capaz de alojar la máquina de Los Angeles, y en la que la temperatura de ensayo pueda regularse con un error máximo de ± 1 °C.

2.6 **Material general.** Bandejas, cazos, espátulas, guantes de amianto, lápices grasos, cogedores curvos, discos de papel de filtro, etc.

3 PROCEDIMIENTO

3.1 Preparación de las probetas

3.1.1 **Número de probetas.** Se prepara un mínimo de cuatro probetas para cada contenido ensayado de ligante.

3.1.2 **Preparación de los áridos.** Las distintas fracciones de áridos que componen la mezcla se secan en estufa hasta pesada constante a una temperatura de 105 a 110 °C.

3.1.3 **Temperaturas de mezcla y compactación.** Las temperaturas del ligante en la mezcla y compactación de las probetas, serán las adecuadas para hacer compatible una buena envuelta sin que se produzca escurrimiento. Como criterio orientativo, se pueden elegir las temperaturas que se prescriben, según viscosidad, en el apartado 3.1.3 de la norma NLT-159, modificándolas si fuera preciso para cumplir los requisitos de envuelta y escurrimiento indicados antes.

3.1.4 **Preparación de mezclas.** Se pesan sucesivamente en un cazo tarado las cantidades de cada fracción de los áridos necesarias para la fabricación de una probeta, de tal modo que la cantidad total de áridos sea de 1.000 g. El resto del proceso de preparación coincide con el indicado en la norma NLT-159 para la fabricación de las probetas Marshall.

3.1.5 **Compactación de las mezclas.** La energía de compactación será de 50 golpes por cara, empleando el equipo y procedimiento de compactación descritos en la norma NLT-159.

3.1.6 **Densidad y análisis de huecos.** Una vez desmoldadas las probetas, se determina su densidad

y contenido de huecos a partir de la medida geométrica de su volumen y densidad relativa de los materiales, según la norma NLT-168.

3.2 Ejecución del ensayo

3.2.1 En general, la temperatura de ensayo estará comprendida entre 15 y 30 °C, con una tolerancia máxima de ± 1 °C.

3.2.2 Se determina la masa de cada probeta con aproximación de 0,1 g y se anota este valor, P_1 . Antes de ensayarlas, las probetas se mantienen a la temperatura de ensayo un mínimo de seis horas.

3.2.3 Se introduce a continuación una probeta en el bombo de la máquina de Los Angeles y, sin la carga abrasiva de las bolas, se hace girar el tambor a la misma velocidad normalizada en la NLT-149 de 3,1 a 3,5 rad/s (30 a 33 rpm), durante 300 vueltas.

3.2.4 Al final del ensayo, se saca la probeta y se pesa de nuevo con la misma aproximación de 0,1 g, anotando este valor como P_2 .

3.2.5 El ensayo se repite de forma idéntica con cada una de las probetas análogas preparadas según 3.1.

4 RESULTADOS

4.1 Se calcula el resultado del ensayo de pérdida por desgaste para cada probeta ensayada, mediante la expresión:

$$P = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

donde:

P = valor de la pérdida por desgaste, en %.

P_1 = masa inicial de la probeta, en gramos.

P_2 = masa final de la probeta, en gramos.

4.2 Se calcula el valor medio de todas las probetas análogas ensayadas según 3.2.

4.3 En el resultado se incluirá la pérdida media por desgaste y la temperatura de ensayo.

5 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

«Estudio de la dosificación, características y comportamiento de las mezclas bituminosas porosas para capas de rodadura drenantes.» Cátedra de Caminos y Aeropuertos. ETSICCP. Universidad de Santander. 1980.

6 NORMAS PARA CONSULTA

NLT-159 «Resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall».

NLT-149 «Resistencia al desgaste de los áridos por medio de la máquina de Los Angeles».

NLT-168 «Densidad y huecos de las mezclas bituminosas compactadas».

5.3.3 NORMA NLT-362/92

NLT-362/92

Efecto del agua sobre la cohesión de mezclas bituminosas de granulometría abierta, mediante el ensayo cántabro de pérdida por desgaste

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION

1.1 Esta norma describe el procedimiento de ensayo que debe seguirse para determinar la pérdida de cohesión que se produce por la acción del agua sobre las mezclas bituminosas compactadas de granulometría abierta, de utilización en construcción de carreteras.

1.2 El procedimiento se aplica a mezclas bituminosas de granulometría abierta fabricadas en frío o en caliente, con ligantes bituminosos modificados o sin modificar, cuyo tamaño máximo de las partículas del árido sea inferior a 25 mm.

1.3 Con el método se obtiene un índice numérico del aumento de pérdida de masa habido, como consecuencia de comparar los resultados del ensayo entre series duplicadas de probetas, unas mantenidas al aire y otras sometidas a la acción del agua, en las condiciones que se prescriben en esta norma.

2 APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

2.1 Tamices, UNE 25 mm; 12,5 mm; 10 mm; 5 mm; 2,5 mm; 630 μ m; 320 μ m y 80 μ m. Conformes con las características técnicas que para los mismos se especifican en la norma UNE 7.050.

2.2 Estufa(s), ventilación forzada, que pueda alcanzar y mantener las temperaturas de 25 °C, 45 °C, 60 °C, con precisión de ± 1 °C y de hasta 200 °C con precisión de ± 2 °C.

2.3 Balanza. Hasta 2 kg de carga con 0,1 g de sensibilidad.

2.4 Conjunto y maza de compactación. El conjunto de compactación y la maza tendrán los elementos, características y dimensiones que se refieren en la norma NLT-159 para la fabricación de probetas tipo Marshall.

2.5 Malla de plástico, tipo de mosquitera de unos 2 mm de luz de malla, para sujeción de las probetas fabricadas en frío.

2.6 Baño termostático. De capacidad suficiente para alojar las probetas de ensayo y que pueda mantener la temperatura especificada constante dentro de ± 1 °C.

2.7 Máquina de Los Angeles. La máquina para el ensayo de desgaste de las probetas tendrá las características y dimensiones que se indican para este mecanismo en la norma NLT-149.

2.8 Cámara termostática. Recinto apto para alcanzar y mantener la temperatura especificada, con precisión de ± 1 °C, durante el ensayo y que pueda alojar en su interior la máquina de Los Angeles.

3 FABRICACION DE LAS PROBETAS

3.1 Preparación de los áridos

3.1.1 Se procede en primer lugar a separar en fracciones los áridos a emplear mediante su tamizado, en cantidad suficiente para fabricar una serie de un mínimo de ocho probetas, de 1000 ± 1 g cada una, por cada contenido de ligante a ensayar.

3.1.2 Las fracciones en que se separan los áridos son las siguientes:

25 mm/12,5 mm	2,5 μ m/630 μ m
12,5 mm/10 mm	630 μ m/320 μ m
10 mm/ 5 mm	320 μ m/ 80 μ m
5 mm/ 2,5 mm	polvo mineral

3.1.3 El tamizado en seco de las fracciones superiores a 2,5 mm se considera suficiente y efectivo si después de terminado el proceso no se pierde por lavado más del 1 % de la cantidad retenida en cada tamiz. En caso contrario, se procede al lavado de cada fracción en su tamiz correspondiente y a su posterior secado en estufa a la temperatura de 110 ± 5 °C hasta masa constante.

3.1.4 Las fracciones inferiores a 2,5 mm se lavan por los tamices correspondientes y posteriormente se secan en estufa a la temperatura de 110 ± 5 °C hasta masa constante.

3.1.5 Con los áridos separados en fracciones se procede a dosificarlos ponderalmente, para componer la granulometría de la fórmula de trabajo.

3.1.6 En un recipiente de tara conocida pesan sucesivamente las cantidades de cada una de las fracciones de tal modo que la cantidad total de árido sea de 1000 ± 1 g.

3.2 Preparación de las probetas

A. Mezclas en caliente

3.2.1 Elaboración de la mezcla

3.2.1.1 Se coloca a continuación el recipiente con los áridos preparados según el apartado 3.1 en una estufa o placa de calefacción y se calienta el conjunto a una temperatura que sea, como máximo, 25°C superior a la especificada para la mezcla, NLT-159.

3.2.1.2 La cantidad de ligante necesaria para la fabricación de las probetas se coloca en un cazo pequeño y se calienta en estufa a la temperatura prescrita de mezclado. El ligante no debe de estar más de 1 hora a esta temperatura. El material sobrante se desecha.

3.2.1.3 A continuación se vierten los áridos en el recipiente para el mezclado y se efectúa una mezcla ligera en seco de los mismos, se forma un cráter en su centro y se añade por pesada la cantidad exacta de ligante calculada para la mezcla.

3.2.1.4 Manteniendo la temperatura de los materiales dentro de los límites especificados para su mezcla, se inicia el proceso de mezclado, y se continúa hasta que la mezcla quede homogéneamente cubierta por el ligante.

3.2.2 Compactación de las probetas

3.2.2.1 La compactación de las probetas se realiza empleando los elementos y el procedimiento de compactación descritos en la norma NLT-159.

3.2.2.2 El número de golpes a aplicar con la maza es de 50 por cara.

3.2.2.3 La temperatura de la mezcla, inmediatamente antes de la compactación, debe estar comprendida dentro de los límites establecidos, de acuerdo con la NLT-159.

3.2.2.4 Una vez compactada la probeta, se espera un tiempo mínimo de 2 horas antes de extraerla del molde.

B. Mezclas en frío

3.2.3 Elaboración de la mezcla

3.2.3.1 Se vierten los áridos, preparados según el apartado 3.1, en el recipiente para el mezclado, y se efectúa una mezcla ligera de los mismos.

3.2.3.2 A continuación, y sólo cuando sea necesaria su aportación, se añade por pesada la cantidad exacta de agua de preenvuelta y se efectúa el mezclado hasta su homogénea distribución.

3.2.3.3 En seguida se añade por pesada la cantidad exacta de emulsión y se continúa el proceso de mezclado hasta que la mezcla quede homogéneamente cubierta.

3.2.4 Compactación de las probetas

3.2.4.1 La compactación de las probetas se realiza empleando los elementos y el procedimiento de compactación descritos en la norma NLT-159.

3.2.4.2 La compactación se realiza a temperatura ambiente después de realizada la envuelta.

3.2.4.3 El número de golpes a aplicar con la maza es de 50 por cara.

3.2.4.4 Tras la compactación se desliza la probeta dentro del molde, empleando para ello un gato hidráulico, hasta enrasarla con su borde.

3.2.4.5 A continuación se coloca el molde sobre una bandeja apoyándolo sobre su base enrasada.

3.2.4.6 La bandeja deberá tener su fondo perforado y revestido de una fina malla tipo mosquitera que permita la libre circulación del aire.

3.2.5 Curado de las probetas

3.2.5.1 Se introduce la bandeja con las probetas dentro del molde en una estufa de secado a la temperatura de $45 \pm 2^{\circ}\text{C}$, con ventilación forzada.

3.2.5.2 Transcurridas 48 horas se saca la bandeja, se dejan enfriar las probetas durante un tiempo mínimo de 2 horas, y a continuación se procede a desmoldarlas siguiendo la norma NLT-159.

3.2.5.3 Cada una de las probetas se envuelve lateralmente con una tira sujetadora de plástico, tipo mosquitera de 2 mm de luz de malla, que se fija a la probeta con dos gomas elásticas.

3.2.5.4 A continuación se vuelven a colocar de nuevo las probetas sobre la bandeja, apoyadas sobre su base, y se introduce el conjunto en la estufa para

el curado de aquéllas a 45 ± 2 °C durante 120 horas.

3.2.5.5 El tiempo empleado en desmoldar las probetas, ponerles la malla sujetadora e introducir las de nuevo en estufa no deberá superar las 4 horas.

4 DENSIDAD Y ANALISIS DE HUECOS

4.1 La densidad de las probetas se puede determinar tan pronto como se hayan enfriado a temperatura ambiente las probetas fabricadas en caliente, y cuando se haya terminado el proceso de curado de las probetas fabricadas en frío.

4.2 La determinación de las densidades y de los porcentajes de huecos se realizará de acuerdo con lo especificado en la norma NLT-168.

5 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

5.1 Las series de probetas fabricadas (y curadas si es el caso) se dividen aleatoriamente en dos grupos numéricamente iguales.

5.2 Se determina la masa de cada probeta con aproximación de 0,1 g y se anota como p_1 .

5.3 Uno de los dos grupos de probetas se coloca en la estufa o en un recinto regulado a 25 ± 1 °C, durante al menos 24 horas.

5.4 El otro grupo de probetas se sumerge durante 24 horas en un baño de agua regulado a la temperatura que proceda según lo que sigue:

Mezclas fabricadas en caliente: 60 ± 1 °C
Mezclas fabricadas en frío: 45 ± 1 °C

Seguidamente se sacan las probetas del baño y se mantienen en un recinto o estufa regulada a 25 ± 1 °C durante otras 24 horas, con ventilación forzada.

Se determina la masa de cada probeta con aproximación de 0,1 g y se anota como p_2 . La diferencia, si la hubiese, entre p_2 y p_1 , representa la masa de agua retenida por la probeta después del período de secado a 25 °C. Esta diferencia se tendrá en cuenta en el cálculo del resultado, apartado 6.1, restándole de p_2 .

5.5 Después de las acciones y períodos de tiempo que se prescriben en 5.3 y 5.4, respectivamente, se procede a determinar la pérdida por desgaste por medio del ensayo cántabro, de acuerdo con la norma

NLT-352, de cada una de las probetas de los dos grupos.

5.6 El número de vueltas del tambor de la máquina de Los Angeles durante el ensayo será:

300 vueltas para mezclas en caliente.
200 vueltas para mezclas en frío.

5.7 Al final del número especificado de vueltas del tambor, se para la máquina, se saca la probeta ensayada, se determina su masa con aproximación de 0,1 g y se anota este valor como p_2 .

5.8 El ensayo se repite de igual manera, con cada una de las probetas de cada serie fabricada.

6 CALCULOS Y RESULTADO

6.1 Se calcula para cada probeta ensayada la pérdida por desgaste expresada en tanto por ciento de la masa inicial con la siguiente expresión:

$$p \% = \frac{p_1 - p_2}{p_1} \times 100$$

p = valor de la pérdida por desgaste, en %.
 p_1 = masa inicial de la probeta, en 0,1 g.
 p_2 = masa final de la probeta, en 0,1 g.

6.2 Se determina el valor medio de los porcentajes de las pérdidas de las probetas de cada grupo por separado, anotándose como P_A el grupo conservado al aire y P_S el grupo sumergido en agua.

6.3 El resultado del ensayo se expresará:

$$\text{Índice de aumento de pérdidas, \%} = \frac{P_S}{P_A} \times 100$$

en donde,

P_S = pérdidas ensayo cántabro grupo probetas sumergidas.
 P_A = pérdidas ensayo cántabro grupo probetas no sumergidas.

6.4 El valor calculado del índice de pérdida se redondea al 1 % para expresarlo como resultado del ensayo.

6.5 En el resultado del ensayo se incluirá la información siguiente:

- Condiciones de la inmersión.
- Valor medio de la densidad de cada grupo de probetas.
- Pérdida al ensayo cántabro de cada grupo.

Ecurrimiento de ligante en mezclas bituminosas abiertas

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION

1.1 Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para determinar cuantitativamente el escurrimiento de ligante de una mezcla bituminosa, que se produce cuando se somete ésta a la acción del calor en las condiciones que se refieren en este método de ensayo.

1.2 Aunque la presente norma tiene su aplicación específica en las mezclas bituminosas porosas o drenantes, se pueden ensayar también otros tipos de mezcla, si se considera oportuno.

1.3 El ensayo permite valorar también el efecto de la incorporación de aditivos modificadores al ligante bituminoso con respecto a la propiedad que se pretende medir.

1.4 En esta norma se define el escurrimiento de ligante como la proporción del mismo que se desprende o escurre de los áridos, con los que se ha mezclado, una vez realizado tal proceso de mezcla.

1.5 Un excesivo escurrimiento del ligante de una mezcla bituminosa durante el transporte o la puesta en obra de la misma, resultará en áreas con contenidos escasos del mismo propicios a una deterioración prematura por degradación y pérdida de áridos, y en áreas ricas en ligante, que no presentarán la estructura adecuada ni la capacidad drenante deseada en las mezclas porosas, o mostrarán exudados o deformaciones permanentes en otros tipos de mezclas. El ensayo de escurrimiento determina el contenido de ligante conveniente en una mezcla, para que no se produzca escurrimiento del mismo, así como los efectos que sobre esta característica producen los distintos tipos de árido fino utilizables y la cantidad de aditivo incorporado.

2 APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

2.1 **Balanza**, hasta 2 kg de carga y $\pm 0,1$ g de precisión.

2.2 **Estufa**, exenta de vibraciones, con ventilación forzada de aire y control termostático para el campo

de temperatura de 80 °C a 200 °C, con precisión de ± 1 °C.

2.3 **Mezclador electro-mecánico**, de 8 litros de capacidad máxima, apto para mezclar unos 1.500 g de árido, polvo mineral y ligante bituminoso sin que se produzcan pérdidas de material.

2.4 **Recipientes especiales** para el ensayo de escurrimiento, en número de diez (10); serán de chapa metálica de unos 2 mm de espesor perforada con diámetro de los agujeros de $3,1 \pm 0,1$ mm, ocupando éstos un área del 38 ± 2 % de la superficie total del recipiente. Los recipientes serán de forma cúbica de 100 mm de arista con la cara superior vana. En la cara inferior y en sus respectivas esquinas dispondrá de cuatro patas, también metálicas, de dimensiones de unos 3 mm de diámetro por 5 mm de altura libre.

2.5 **Bandejas metálicas cuadradas** de aproximadamente 150 mm de lado y 10 mm de profundidad (diez unidades).

2.6 **Cajas metálicas, cúbicas**, de unos 150 mm de arista (once unidades).

2.7 **Espátula** con hoja de unos 150 mm de largo y 25 mm de ancho.

2.8 **Papel de aluminio**, comercial.

2.9 **Áridos y ligante bituminoso**. Se dispondrá de suficiente árido y ligante como para fabricar 20 kg de la mezcla bituminosa. Los áridos estarán secos y separados en las fracciones apropiadas para la granulometría especificada.

3 PROCEDIMIENTO

3.1 El ensayo se realiza a la temperatura máxima de mezclado que se ajusta, de acuerdo con el tipo de ligante, para que la viscosidad de éste sea de:

Betún de penetración . . . 180 \pm 10 cSt (90 \pm 5 SSF).
Alquitrán 27 \pm 2 grados Engler.

3.2 Se preparan once (11) amasadas de aproximadamente 1,100 kg con precisión de ± 1 g, cada una, del árido combinado que satisfaga la media del huso granulométrico especificado. Se coloca cada amasada en una caja. Se anota la masa F, del polvo mineral y la del conjunto G, de áridos más polvo mineral combinados correspondiente a cada una de las amasadas preparadas.

3.3 Con antelación, se conecta la estufa para estabilizarla a la temperatura de ensayo, máxima temperatura de mezcla; una vez alcanzada esta temperatura se introducen en la estufa las cajas con los áridos combinados durante al menos 2 horas antes del mezclado.

3.4 El ligante a utilizar se calienta, asimismo, a la temperatura de mezcla y se divide en las porciones oportunas de acuerdo con las amasadas previstas (11) siguiendo las normas establecidas al respecto (NLT-121).

3.5 Se forra con el papel de aluminio el interior de cada una de las bandejas. Se pesan con aproximación de 0,1 g y se anota esta masa como M_1 .

3.6 Previamente, se ha calentado la unidad mezcladora, durante al menos 1 hora, a la temperatura de ensayo (temperatura máxima de mezcla).

3.7 Se transfiere una de las amasadas, G de árido combinado al mezclador.

3.8 Si está prevista la adición de caucho natural, se añade la cantidad requerida del mismo al árido en el vaso para mezclado.

3.9 Se coloca el vaso para mezclado en la mezcladora y se sitúa la unidad mezcladora en posición. Se mezcla en seco durante 30 ± 5 segundos antes de proceder a la adición del ligante.

3.10 Si se va a emplear algún aditivo, excepto caucho natural (ver 3.8), éste se incorpora a la mezcla de acuerdo con las instrucciones que al respecto señale el fabricante del mismo.

3.11 Se agita el betún caliente en su recipiente y se pesa, por diferencia, la cantidad requerida del mismo con aproximación de 0,5 g, transfiriendo tal cantidad al vaso de mezclado.

3.12 Se vuelve a colocar el vaso de mezclado, con los materiales para la amasada, en la mezcladora y se pone en marcha ésta durante unos 60 segundos; con la espátula, se recoge de la superficie superior del vaso de mezcla, así como de la unidad mezcladora, la mezcla que haya podido quedar adherida a los mismos y se incorpora a la masa total de la mezcla.

Se continúa el mezclado mecánico durante otros 60 segundos.

3.13 Se desecha esta primera amasada.

3.14 Se repiten las acciones referidas en 3.7 a 3.12 con cada una de las amasadas previstas.

3.15 Se transfiere la mezcla antes preparada a uno de los recipientes especiales de ensayo, recuperando con la espátula toda la mezcla que haya podido quedar adherida a las paredes del vaso para mezclado o a la unidad mezcladora. Esta operación se debe realizar en el menor tiempo posible para disminuir la pérdida de temperatura.

3.16 El recipiente con la mezcla se sitúa sobre una de las bandejas metálicas previamente forrada con papel aluminio (masa M_1) y se introduce en la estufa regulada a la temperatura de ensayo —temperatura de mezcla máxima—, durante 3 h 10 min ± 5 min.

3.17 Después del período de permanencia en la estufa, se saca de la misma el conjunto bandeja-recipiente-mezcla. Se retira el recipiente de ensayo de la bandeja y cuando ésta se haya enfriado suficientemente, se determina su masa —bandeja, papel aluminio y ligante escurrido— con precisión de 0,1 g; se anota esta masa como M_2 .

3.18 Se repite todo el proceso descrito con una mezcla duplicada con el mismo contenido de ligante.

3.19 El ensayo se debe iniciar con el menor contenido de ligante de los considerados. Se repite el procedimiento referido (3.14 a 3.18) al menos cuatro veces, incrementando la dotación de ligante en la mezcla (3.11) en un 0,5 % (s/áridos) en masa de cada vez.

4 CALCULOS, DEFINICIONES Y RESULTADO

4.1 Para cada mezcla ensayada el ligante retenido, R, (no escurrido) expresado en porcentaje, se calcula resolviendo la siguiente ecuación:

$$R = \frac{B [1 - D/(B+F)]}{G+B} \cdot 100 \text{ (s/mezcla)}$$

donde:

B = masa inicial de ligante en la mezcla (g).

D = masa de ligante y polvo mineral escurrido, $M_2 - M_1$ (g).

F = masa inicial del polvo mineral en la mezcla (g).

G = masa inicial del conjunto de áridos (g).

Adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos en presencia de agua

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION

1.1 Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para valorar empíricamente la acción del agua sobre la película bituminosa que recubre un árido, mediante un ensayo de adhesividad pasiva con el que se pretende poner de manifiesto la afinidad recíproca entre ambos materiales.

1.2 El ensayo se aplicará sólo a materiales que vayan a usarse en obra, formando parte en tratamientos superficiales y mezclas de granulometría abierta, pero no se utilizará como una medida de su idoneidad en obra, puesto que no se ha establecido aún ninguna correlación.

1.3 El método sirve también para juzgar un árido con respecto a un ligante tipo o un ligante con respecto a un árido tipo. Asimismo, podrá valorarse la acción de los activantes que se utilicen para mejorar la adhesividad entre áridos y ligantes.

2 APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

2.1 **Tamices.** Dos tamices, UNE 10 mm y UNE 6,3 mm, respectivamente, que cumplan las especificaciones que para los mismos se refieren en la norma UNE 7-050.

2.2 **Balanza,** apta para pesar masas de hasta 200 g y con una exactitud de $\pm 0,1$ g.

2.3 **Estufa,** que pueda mantener temperaturas entre 60 y 150 °C con precisión de $\pm 1,0$ °C.

2.4 **Recipientes,** cazos de aluminio de 500 cm³ de capacidad.

2.5 **Vasos de vidrio,** forma baja de unos 500 cm³ de capacidad.

2.6 **Espátula** de hoja de acero inoxidable rígida y de unos 100 mm de largo por 10 mm de ancho.

2.7 Materiales para ensayo

2.7.1 **Materiales de obra:** Muestras de los áridos y del ligante tal como se vayan a utilizar en la obra.

2.7.2 **Árido de referencia:** Para valorar la adhesividad de los ligantes bituminosos se usará como árido de referencia uno de origen local y de adhesividad reconocida.

2.7.3 **Ligante de referencia:** Para valorar la adhesividad de los áridos se usará como ligante de referencia uno de adhesividad reconocida.

2.7.4 **Agua destilada:** Doblemente hervida o bidestilada si es necesario para que su pH esté comprendido entre 6 y 7. No se añadirán electrolitos al agua para corregir el pH.

3 PREPARACION DE LOS ÁRIDOS

3.1 Los áridos a utilizar en el ensayo tendrán un tamaño tal que el 100 % de la masa de los mismos quede retenida en el tamiz UNE 6,3 mm y pase el tamiz UNE 10 mm.

3.2 Los áridos para el ensayo de envuelta en seco se lavan con agua destilada para eliminar todo el material fino adherido; se secan en estufa a una temperatura comprendida entre 135 y 150 °C hasta masa constante y, una vez a temperatura ambiente, se almacenan en recipientes herméticos hasta su ensayo.

3.3 Los áridos para el ensayo de envuelta en húmedo se preparan como se ha indicado anteriormente y se ponen en condición de saturados superficie seca, utilizando agua destilada, tal como se describe en la norma NLT-153.

4 PROCEDIMIENTO

4.1 Áridos secos con betunes fluidificados y alquitranes

4.1.1 **Envuelta.** Se pesan en el cazo, 100 ± 1 g del árido seco a temperatura ambiente. Se añaden $5,5 \pm 0,2$ g del material bituminoso, precalentado, cuando sea necesario, a la temperatura especificada en la Tabla 1 y de acuerdo con el tipo de ligante. El material bituminoso y los áridos se mezclan vigorosamente con la espátula durante 2 minutos.

MATERIAL TIPO (*)	TEMPERATURA DE MEZCLA, °C
Betún fluidificado, IFR, FMI 100	ambiente
Betún fluidificado, IFR, FMI 150	35 ± 2
Betún fluidificado, IFR, FMI 200	70 ± 3
Alquitrán, BQ 30 y AQ 38	60 ± 3
Alquitrán, AQ 46	70 ± 3
Alquitrán, BQ 58 y BQ 62	90 ± 3

TABLA 1. Temperatura de mezcla del material bituminoso.

(*) Los betunes fluidificados IFR, FMI 100, IFR, FMI 150 y IFR, FMI 200, son equivalentes a los, hasta ahora, denominados RC, MCO, RC, MCI y IRC, MCI4, respectivamente.

Nota 1. En el caso de betunes fluidificados, se pueden calentar los materiales en el cazo sobre una placa calefactora durante el tiempo suficiente para conseguir una envuelta o mezclado correctos, pero sin que se sobrepasen los límites de temperatura indicados en la Tabla 1.

4.1.2 Curado. Los áridos envueltos dentro del cazo se introducen en la estufa durante 2 horas a 60 °C, para su curado. Se mantendrán abiertos los dispositivos de ventilación de la estufa. Después del período de curado, se continúa el proceso de mezclado con la espátula, hasta que la mezcla iguale la temperatura ambiente, o hasta que el material bituminoso no se escurra de los áridos. El cubrimiento debe ser completo después del mezclado, es decir, no es permisible que queden zonas sin cubrir de ligante.

4.1.3 Inmersión en agua. Se pasa el árido envuelto a un vaso de vidrio de 500 cm³; se cubre inmediatamente con 40 cm³ de agua destilada a temperatura ambiente (≈ 25 °C), y se deja en reposo durante 16 a 18 horas.

4.1.4 Estimación visual del área cubierta. Sin perturbar o agitar el árido envuelto, se retira cuidadosamente cualquier película que flote en la superficie del agua. Se ilumina la mezcla con una pantalla provista de una lámpara de 75 W, situada de manera que no produzca reflejos en la superficie del agua. Se observa la mezcla desde arriba, a través del agua, y se estima el porcentaje de la superficie total visible del árido que permanece cubierta por el ligante, como mayor o menor del 95 %. Se consideran totalmente cubiertas las zonas que, aun presentando un color más claro, conservan material bituminoso recubriéndolas.

4.2 Áridos secos con emulsiones bituminosas

4.2.1 Envuelta. Se pesan en el cazo, 100 ± 1 g del árido seco. Se añaden 8,0 ± 0,2 g de la emul-

sión bituminosa y se mezclan vigorosamente con la espátula el árido y la emulsión, hasta que toda la superficie del árido quede cubierta, pero el tiempo de mezclado será en todo caso de 5 minutos como máximo. Tanto los materiales como la mezcla de los mismos estarán a temperatura ambiente.

4.2.2 Curado. Los áridos envueltos se curan en la estufa tal como se describe en el apartado 4.1.2, excepto que la temperatura de curado en la estufa será de 135 °C.

4.2.3 Inmersión en agua. Se realiza de la misma manera que se describe en 4.1.3.

4.2.4 Estimación visual. Se realiza de la misma manera que se describe en 4.1.4.

4.3 Áridos húmedos con betunes fluidificados y alquitranes

4.3.1 Envuelta. Se pesan en el cazo 100 ± 1 g del árido húmedo preparado tal como se indica en el apartado 3.3. Se añaden 2 cm³ de agua destilada y se mezcla con la espátula hasta que todas las partículas de los áridos estén uniformemente mojadas. Se añaden 5,5 ± 0,2 g del material bituminoso, precalentado cuando sea necesario a la temperatura especificada en la Tabla 1, de acuerdo con el tipo de ligante. Se mezcla vigorosamente con la espátula hasta que se hayan cubierto todos los áridos, pero el tiempo de mezclado será en todo caso de 5 minutos como máximo.

4.3.2 Estimación visual de la envuelta. Se estima visualmente el porcentaje del área total visible del árido cubierta por el ligante como mayor o menor del 95 %. Se consideran totalmente cubiertas las zonas que, aun teniendo un color más claro, posean material bituminoso recubriéndolas (Nota 2).

Nota 2. Si el área cubierta del árido es al menos el 95 %, se puede concluir el ensayo realizando las etapas de curado, inmersión en agua y estimación visual, que se describen en los apartados 4.1.2, 4.1.3 y 4.1.4, respectivamente.

4.4 Áridos secos con betunes asfálticos

4.4.1 Envuelta. Se pesan en el cazo 100 ± 1 g del árido seco y se introducen en la estufa, durante 1 hora, a temperatura comprendida entre 135 y 150 °C. Después se sitúa el cazo, con el árido caliente, sobre el plato de la balanza, intercalando entre ambos una plancha de amianto u otro material aislante para retardar el enfriamiento, y se añaden 5,5 ± 0,2 g del betún previamente calentado, en otro cazo, a una temperatura comprendida entre 135 y 150 °C. Se mezclan ambos materiales vigorosamente con la espátula durante 2 a 3 minutos o

hasta que los áridos estén completamente cubiertos, permitiendo que la temperatura de la mezcla vaya disminuyendo durante el proceso de mezclado. A continuación se deja enfriar la mezcla hasta temperatura ambiente (Notas 3, 4 y 5).

Nota 3. El cubrimiento de los áridos debe ser completo; es decir, no se permitirán zonas sin cubrir por el ligante. Si no se hubiese obtenido un perfecto cubrimiento siguiendo el procedimiento descrito, se calentará suavemente el cazo sobre una placa calefactora y se continuará el proceso de mezclado hasta que el árido quede totalmente cubierto por el ligante.

Nota 4. En el caso de que el ligante tenga una consistencia tan fluida que escuma de los áridos dejando una película delgada de ligante cubriéndolos, se continúa el mezclado hasta que por enfriamiento el ligante adquiera mayor consistencia.

Nota 5. El ensayo con betunes asfálticos se efectúa solamente con áridos secos y sin período de curado.

4.4.2 Inmersión en agua. Se realiza de la misma manera que se describe en 4.1.3.

4.4.3 Estimación visual. Se realiza de la misma manera que se describe en 4.1.4.

4.5 Ensayo de materiales bituminosos con activantes

4.5.1 En el caso de que se trate de juzgar el efecto de un activante sobre la adhesividad de un material bituminoso a un árido, el ensayo se practica primero con el ligante puro y después con diferentes porcentajes del activante, siguiendo las instrucciones para cada producto, y conforme a lo descrito en los apartados anteriores, según el tipo de material implicado.

4.5.2 Como árido se utilizará uno cuyas características respecto al desplazamiento por la acción del agua sean previamente conocidas.

5 RESULTADOS

5.1 El porcentaje de la superficie del árido cubierta por el ligante se expresará como «superior al 95 %» o «inferior al 95 %».

6 PRECISION

6.1 Este método debe ser considerado como un ensayo del tipo «apto-no apto» para el nivel del 95 %, puesto que la precisión no es satisfactoria para niveles más bajos. Por tanto, no se intentará evaluar el porcentaje de superficie que permanece cubierta si éste es menor del 95 %. Esto es una limitación del método y, consecuentemente, no podrá deducirse que una mezcla de árido y ligante que presenta, después del ensayo, una superficie cubierta estimada inferior al 95 %, tenga, necesariamente, una adhesividad inaceptable en obra.

6.2 Este método, que requiere una evaluación subjetiva del resultado del ensayo, y cuya expresión se limita solamente a dos condiciones, no se presta a un estudio estadístico convencional. Actualmente no existen límites de precisión ni se prevé ningún tipo de investigación al respecto.

7 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

ASTM D 1664-85 «Standard Test Method for Coating and Stripping of Bitumen-Aggregate Mixtures».

AASHTO T 182-84 «Standard Method of Test for Coating and Stripping of Bitumen-Aggregate Mixtures».

8 NORMAS PARA CONSULTA

UNE 7-050 «Tamices de ensayo».

NLT-153 «Densidad relativa y absorción de áridos gruesos».

5.3.6 HISTORIAL FOTOGRAFICO



Fotografía 3.1: Juego de tamices



Fotografía 3.2: Agregado a utilizarse



Fotografía 3.3: Agregados secados en horno



Fotografía 3.4: Pesado de materiales



Fotografía 3.5: Equipo utilizado para Gravedades Especificas



Fotografía 3.6: Peso de muestra sumergida



Fotografía 3.6: Peso de muestra sumergida



Fotografía 3.7: Muestras para Briquetas



Fotografía 3.8: Muestra Caliente para elaboración Briquetas



Fotografía 3.9: Agregados a temperatura constante para elaboración Briquetas



Fotografía 3.10: Mezcla de agregados para elaboración Briquetas



Fotografía 3.11: Briquetas elaboradas al 3% de contenido de asfalto



Fotografía 3.12: Peso de Briquetas con diferentes contenidos de asfalto