UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Análisis de las Especificaciones de Construcción del Instituto Nacional de Vías de Colombia (INVÍAS) y el Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá (IDU) frente a los requerimientos explícitos de calidad de los materiales en los métodos de diseño de pavimentos empleados en Colombia

Analysis of Construction Specifications of Instituto Nacional de Vías de Colombia (INVIAS) and Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá (IDU) according to the explicit quality requirements for materials in the pavement design methods used in Colombia

Tatiana Marín Jaramillo

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Departamento de Ingeniería Civil
Manizales, Colombia
2018

Análisis de las Especificaciones de Construcción del Instituto Nacional de Vías de Colombia (INVÍAS) y el Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá (IDU) frente a los requerimientos explícitos de calidad de los materiales en los métodos de diseño de pavimentos empleados en Colombia

Tatiana Marín Jaramillo

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería - Infraestructura y Sistemas de Transporte

Director:
M.Sc. Luis Ricardo Vásquez Varela
Ingeniero Civil - Especialista en Vías y Transportes
Magister en Ingeniería – Geotecnia

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Departamento de Ingeniería Civil
Manizales, Colombia
2018

A mis padres, por sus consejos, confianza, fortaleza y apoyo constante. Por ser el pilar de todo lo que soy.

A mi esposo, por su motivación, soporte y amor en cada momento.

A María Antonia, mi motor y mayor anhelo en la vida.

Agradecimientos

Al profesor Luis Ricardo Vásquez Varela por todo su conocimiento, orientación, apoyo y paciencia los cuales fueron fundamentales para la realización y culminación de este trabajo de grado.

Igualmente, agradezco los aportes y conocimientos del ingeniero Julio Enrique Guevara que fueron esenciales para el desarrollo de este proyecto.

A mi familia y esposo por su apoyo incondicional para lograr culminar este sueño profesional.

Resumen

En este trabajo se comparan las especificaciones de construcción vial del Instituto Nacional de Vías de Colombia y del Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá. Se presenta la evolución de las especificaciones de construcción vial en el país desde el siglo pasado. Se analizan las diferencias en los parámetros de control de calidad de los materiales para la construcción de pavimentos. Se comparan las especificaciones colombianas con las especificaciones incluidas en los métodos de diseño empleados en Colombia como AASHTO 1993, MEPDG 2004, Asphalt Institute 1982, INVÍAS 1998 y 2008, y PCA 1984, entre otros. Se encuentran diferencias importantes entre las especificaciones citadas por los métodos de diseño y aquellas de uso en la construcción vial del país. Se formulan conclusiones sobre las divergencias más importantes y se plantean algunas recomendaciones para las tareas de diseño habituales.

Palabras clave: pavimentos, especificaciones, diseño, AASHTO, MEPDG, PCA, Guía Francesa de Diseño.

Abstract

This document compares the road construction specifications of the Highways National Institute (INVÍAS) of Colombia and the Institute of Urban Development (IDU) of Bogotá. It presents the evolution of road construction specifications in Colombia since 1905. The differences in the parameters of quality control of the materials for the construction of pavements are analyzed. The author compares the Colombian specifications with those included in the design methods used in Colombia such as AASHTO 1993, MEPDG 2004, Asphalt Institute 1982, INVÍAS 1998 and 2008, and PCA 1984, among others. There are essential differences between the specifications cited by the design methods and those used in the local and national road construction. The author proposes conclusions about the most critical divergences and makes some recommendations for routine design tasks.

Keywords: Pavements, specifications, design, AASHTO, MEPDG, PCA, French Guide.

Contenido

1. Evolución de las especificaciones de construcción vial en Colombia 7

2. Análisis comparativo de las especificaciones INVÍAS e IDU 11

2.1 Requisitos de los materiales 11
2.1.1 Ensayos sobre los agregados 11
2.1.2 Ensayos sobre productos asfálticos 13
2.1.3 Ensayos sobre pavimentos de concreto hidráulico 20
2.2 Estructura de las especificaciones 23
2.3 Niveles de tránsito 24

3. Requerimientos de las especificaciones INVIAS – IDU por materiales 27

3.1 Materiales granulares 27
3.1.1 Subbase granular 28
3.1.2 Base granular 30
3.2 Riego de imprimación 33
3.2.1 Riegos de imprimación con emulsiones asfálticas 33
3.2.2 Riego de imprimación modificado con polímeros 38
3.2.3 Riego de imprimación con asfalto líquido MC30 40
3.3 Tratamientos superficiales simples y dobles 41
3.4 Sello de arena 45
3.5 Lechada 46
3.6 Mezclas asfálticas 48
3.6.1 Mezclas asfálticas en frío (MAF) 48
3.6.2 Mezclas asfálticas en caliente (MAC) 53
3.7 Mezclas asfálticas discontinuas en caliente 58
3.8 Reciclado de pavimento asfáltico existente 59
3.9 Pavimentos de concreto hidráulico (PCCP) 61

4. Especificaciones en los métodos de diseño de pavimentos 65

4.1 AASHTO Guide for the Design of Pavement Structures (1993) 65
4.1.1 Los materiales del AASHO Road Test 66
4.1.1.1 Subbase granular (SBG) 66
4.1.1.2 Base granular (BG) 68
4.1.2 Subbase granular (SBG) 69
4.1.3 Base granular (BG) 70
4.1.4 Riego de imprimación con asfalto líquido 72
4.1.5 Tratamientos superficiales simple y doble (TSS – TSD) 73
4.1.6 Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (MADC) 76
4.1.7 Mezclas asfálticas abiertas en caliente (MAAC) 79
4.1.8 Pavimentos de concreto hidráulico (PCCP) 81
4.1.9 Control y aseguramiento de la calidad 86
4.2 Overseas Road Note 31 (1993) 87
4.2.1 Subbase granular (SBG) 89
4.2.2 Base granular (BG) 91
4.2.3 Mezclas asfálticas 94

4.2.4 Control y aseguramiento de la calidad 96
4.3 Mechanistic Empirical Pavement Design Guide (ME-PDG) 97
4.3.1 Control y aseguramiento de la calidad 98
4.4 Manuales del Instituto Nacional de Vías de Colombia 99
4.4.1 Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito 99
4.4.2 Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito 100
4.4.3 Control y aseguramiento de la calidad 101
4.5 Asphalt Institute MS-1 Thickness Design-Highways & Streets 105
4.5.1 Subbase granular (SBG) 106
4.5.2 Mezclas asfálticas 107
4.5.3 Control y aseguramiento de la calidad 108
4.6 Shell Pavement Design Manual (1978) 109
4.7 PCA Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements 110
4.7.1 Subbase granular (SBG) 111
4.7.2 Pavimentos de concreto hidráulico (PCCP) 112
4.7.3 Control y aseguramiento de la calidad 112
4.8 Conception et Dimensionnement des Structures de Chaussée – Guide Technique (1994). 113
4.8.1 Subbase granular (SBG) 114
4.8.2 Mezclas asfálticas 118
4.8.3 Control y aseguramiento de la calidad 120
5. Conclusiones y recomendaciones 121
5.1 Conclusiones 121
5.2 Recomendaciones 122
6. Referencias 125

Lista de figuras

Pág.

Figura 3-1: Granulometría subbase granular INVÍAS (SBG-50) – IDU (SB_Gr1)..... 30
Figura 3-2: Granulometría base granular INVÍAS (BG-40) – IDU (BG-Gr1) 33
Figura 3-3: Granulometría TSS INVÍAS (TSS-19) – IDU (A) 43
Figura 3-4: Granulometría TSD INVÍAS (TSD-25) – IDU (Arenas Grueso) 44
Figura 3-5: Granulometría agregados PCCP INVÍAS (AG3) – IDU (AG3)..... 64
Figura 4-1: Granulometría SBG INVÍAS – FP-14 – ensayo vial AASHO 67
Figura 4-2: Granulometría BG INVÍAS – FP-14 – ensayo vial AASHO..... 68
Figura 4-3: Granulometría subbase granular INVÍAS – IDU – FP-14..... 70
Figura 4-4: Granulometría base granular INVÍAS – IDU – FP-14 72
Figura 4-5: Granulometría tratamiento superficial simple INVÍAS – IDU – FP-14 75
Figura 4-6: Granulometría tratamiento superficial doble INVÍAS – IDU – FP-14 76
Figura 4-7: Granulometría MAC de gradación densa INVÍAS – IDU – FP-14..... 79
Figura 4-8: Granulometría MAC de gradación abierta INVÍAS – IDU – FP-14. 81
Figura 4-9: Granulometría PCCP – AG. INVÍAS – IDU – AASHTO. 84
Figura 4-10: Granulometría PCCP – AF. INVÍAS – IDU – AASHTO..... 85
Figura 4-11: Granulometría subbase granular INVÍAS – IDU – ORN 31 91
Figura 4-12: Granulometría base granular INVÍAS – IDU – ORN 31. 93
Figura 4-13: Granulometría mezcla asfáltica INVÍAS – IDU – ORN 31..... 96
Figura 4-14: Granulometría SBG INVÍAS – IDU – Asphalt Institute 107
Figura 4-15: Granulometría SBG INVÍAS – IDU – PCA..... 112
Figura 4-16: Figura Granulometrías SBG Type 1, Type 2 y SBG-50 INVÍAS – UNE-EN 118
Figura 4-17: Granulometrías MAC 0/22 y MDC-25 INVÍAS – UNE-EN..... 120

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1-1: Evolución histórica de las especificaciones – Requerimientos geométricos 7
Tabla 1-2: Evolución histórica de las especificaciones – Requerimientos materiales.... 8
Tabla 2-1: Ensayo sobre los agregados 12
Tabla 2-2: Ensayo sobre los ligantes asfálticos 14
Tabla 2-3: Ensayo sobre las mezclas asfálticas y micro aglomerado en caliente..... 17
Tabla 2-4: Ensayo sobre reciclado de pavimento asfáltico 19
Tabla 2-5: Ensayo sobre cemento Portland 21
Tabla 2-6: Ensayo sobre pavimentos de concreto hidráulico 21
Tabla 2-7: Estructura de las especificaciones INVÍAS e IDU..... 24
Tabla 2-8: Comparativo niveles de tránsito de las especificaciones INVÍAS e IDU 25
Tabla 3-1: Clasificación materiales según nivel de tránsito 27
Tabla 3-2: Comparativo requerimientos subbase granular Clase A. INVIAS – IDU..... 29
Tabla 3-3: Comparativo granulometría subbase granular INVIAS – IDU 29
Tabla 3-4: Comparativo requerimientos base granular Clase A. INVIAS – IDU..... 31
Tabla 3-5: Comparativo granulometría base granular INVIAS – IDU 32
Tabla 3-6: Comparativo requerimientos riego de imprimación CRR-1 INVIAS – IDU.. 34
Tabla 3-7: Comparativo requerimientos riego de Imprimación CRR-2 INVIAS – IDU.. 35
Tabla 3-8: Comparativo requerimientos riego de imprimación CRM INVIAS – IDU..... 35
Tabla 3-9: Comparativo requerimientos riego de imprimación CRL-0 INVIAS – IDU .. 36
Tabla 3-10: Requerimientos riego de imprimación CRL-1 INVIAS – IDU 37
Tabla 3-11: Requerimientos riego de imprimación CRL-1h INVIAS – IDU 37
Tabla 3-12: Requerimientos riego de imprimación CRR-1m INVIAS – IDU 38
Tabla 3-13: Requerimientos riego de imprimación CRR-2m INVIAS – IDU 39
Tabla 3-14: Requerimientos riego de imprimación CRM-m INVIAS – IDU 39
Tabla 3-15: Requerimientos riego de imprimación CRL-1hm INVIAS – IDU 40
Tabla 3-16: Requerimientos riego de imprimación MC30 INVIAS – IDU..... 40
Tabla 3-17: Requerimientos tratamiento superficial simple INVIAS – IDU 41
Tabla 3-18: Requerimientos tratamiento superficial doble INVIAS – IDU..... 41
Tabla 3-19: Comparativo requerimientos granulometrías TSS INVIAS – IDU..... 42
Tabla 3-20: Comparativo requerimientos granulometrías TSD INVIAS – IDU..... 43
Tabla 3-21: Comparativo requerimientos granulometrías TST IDU 44
Tabla 3-22: Comparativo requerimientos sello de arena INVIAS – IDU 45
Tabla 3-23: Granulometría sello de arena INVIAS – IDU 46
Tabla 3-24: Comparativo requerimientos lechada INVIAS – IDU..... 46
Tabla 3-25: Requerimientos lechada según tipo de agregado INVIAS – IDU 47
Tabla 3-26: Comparativo requerimientos granulometrías lechada INVIAS – IDU 47
Tabla 3-27: Comparativo requerimientos MAF densas INVIAS – IDU..... 49
Tabla 3-28: Comparativo requerimientos MAF abiertas INVIAS – IDU..... 51
Tabla 3-29: Granulometría mezclas abiertas en frío INVIAS – IDU 53

Tabla 3-30: Comparativo requerimientos MAC de gradación continua INVIAS – IDU 54
Tabla 3-31: Comparativo requerimientos MAC de gradación abierta INVIAS – IDU.. 56
Tabla 3-32: Granulometría mezclas asfálticas abiertas en caliente INVIAS – IDU 57
Tabla 3-33: Requerimientos microaglomerado en caliente INVIAS – IDU..... 58
Tabla 3-34: Requerimientos reciclado de pavimento asfáltico INVIAS – IDU..... 60
Tabla 3-35: Granulometría reciclado de pavimento asfáltico existente INVIAS – IDU 61
Tabla 3-36: Comparativo requerimientos agregado grueso PCCP INVIAS – IDU 62
Tabla 3-37: Comparativo requerimientos agregado fino PCCP INVIAS – IDU..... 63
Tabla 3-38: Granulometría agregados PCCP INVIAS – IDU. 63
Tabla 4-1: Granulometría SBG. INVÍAS – FP-14 – ensayo vial AASHO..... 67
Tabla 4-2: Granulometría BG. INVÍAS – FP-14 – ensayo vial AASHO 68
Tabla 4-3: Requerimientos ensayos SBG. INVIAS – IDU – FP-14..... 69
Tabla 4-4: Requerimientos granulometrías SBG INVÍAS – IDU – FP-14 70
Tabla 4-5: Requerimientos ensayos BG INVÍAS – IDU – FP-14 71
Tabla 4-6: Requerimientos granulometrías BG INVÍAS – IDU – FP-14..... 71
Tabla 4-7: Requerimientos ensayos riego de imprimación INVÍAS – IDU – FP-14..... 73
Tabla 4-8: Requerimientos ensayos TSS INVIAS – IDU – FP-14..... 73
Tabla 4-9: Requerimientos granulometrías TSS y TSD. INVÍAS – IDU – FP-14..... 74
Tabla 4-10: Requerimientos ensayos MADC INVÍAS – IDU – FP-14 77
Tabla 4-11: Requerimientos granulometrías MADC INVÍAS – IDU – FP-14 77
Tabla 4-12: Requerimientos ensayos MAAC INVÍAS – IDU – FP-14. 80
Tabla 4-13: Requerimientos granulometrías MAAC INVÍAS – IDU – FP-14..... 80
Tabla 4-14: Requerimientos ensayos PCCP – AG INVÍAS – IDU – FP-14. 82
Tabla 4-15: Requerimientos ensayos PCCP – AF INVÍAS – IDU – FP-14. 83
Tabla 4-16: Granulometrías PCCP – AG. INVÍAS – IDU – AASHTO. 83
Tabla 4-17: Requerimientos granulometrías PCCP – AF. INVÍAS – IDU – AASHTO. 85
Tabla 4-18: Categorización del tránsito en el método ORN31 88
Tabla 4-19: Comparación niveles de tránsito INVIAS – IDU – ORN 31..... 89
Tabla 4-20: Requerimientos ensayos SBG INVÍAS – IDU – ORN 31 90
Tabla 4-21: Requerimientos granulometrías SBG INVÍAS – IDU – ORN 31 90
Tabla 4-22: Requerimientos ensayos BG INVÍAS – IDU – ORN 31 92
Tabla 4-23: Granulometría base granular INVÍAS – IDU – ORN 31 93
Tabla 4-24: Requerimientos ensayos mezcla asfáltica INVÍAS – IDU – ORN 31..... 94
Tabla 4-25: Granulometría mezcla asfáltica INVÍAS – IDU – ORN 31..... 95
Tabla 4-26: Variables del manual de diseño de pavimentos de concreto INVÍAS.... 100
Tabla 4-27: Control de calidad sobre los agregados de subbase y base 102
Tabla 4-28: Control de calidad de agregados MAC de gradación continua..... 102
Tabla 4-29: Control de calidad de agregados PCCP..... 103
Tabla 4-30: Requerimientos ensayos SBG INVÍAS – IDU – Asphalt Institute 106
Tabla 4-31: Requerimientos granulometría SBG INVÍAS – IDU – Asphalt Institute . 106
Tabla 4-32: Requerimientos ensayos mezcla asfáltica INVÍAS – IDU – A.I. 108
Tabla 4-33: Ejemplo de ensayos para la mezcla asfáltica según MS-4..... 109
Tabla 4-34: Requerimientos ensayos SBG. INVÍAS – IDU – PCA..... 111
Tabla 4-35: Granulometría SBG. INVÍAS – IDU – PCA..... 111

Tabla 4-36: Categorización del tránsito en el método Francés. 114
Tabla 4-37: Tamaños de tamiz para especificar los tamaños de los agregados en las normas europeas e INVÍAS. 114
Tabla 4-38: Requerimientos ensayos SBG. INVIAS – IDU – Método Francés..... 115
Tabla 4-39: Requerimientos para subbase granular Type. 116
Tabla 4-40: Granulometrías de subbase granular Type 1 y Type 2 117

Introducción

Desde los primeros pavimentos construidos en el país entre los años 1890 y 1893, en las calles del centro y la Plaza de Bolívar de Bogotá (Londoño, 2014), hasta la actualidad los daños prematuros siempre han sido constantes. Por otra parte, Beleño (2010) anota que *"*(los) *sobrecostos y atrasos en obras civiles, vías en mal estado, cuellos de botella, derrumbes y cierres de paso a causa del invierno caracterizan la incompetente infraestructura vial colombiana"*. De acuerdo con el Banco Mundial, a inicios de la década de los noventa los países industrializados tenían más del 85% de sus carreteras pavimentadas en buen estado mientras que Colombia sólo contaba con el 42% de su red vial pavimentada en dicha condición (Fernandez Ordoñez, 2005).

Esta situación ha sido producida por múltiples causas como la falta de planificación, el incremento promedio anual del tránsito del 4,6%, el crecimiento de la capacidad del parque automotor con una tasa anual promedio del 5,08% y la obsolescencia y falta de control de las cargas vehiculares (Reyes Lizcano & Rondón Quintana, 2007). Asimismo, también influyen las dimensiones de los vehículos, las deficiencias en los procesos constructivos de obras nuevas, las modalidades de mantenimiento y conservación de las obras ya existentes (Bedoya, 2005).

A lo anterior se suma la práctica nacional para el control de la calidad de los materiales utilizados para la construcción de carreteras y el empleo de métodos de diseño de pavimentos basados en desarrollo foráneos.

A partir del año 1970, las especificaciones viales empleadas en el país fueron propuestas por el Ministerio de Obras Públicas dentro del plan para la pavimentación de las vías secundarias (Gaviria Correa, 1998). Sin embargo, los nuevos métodos constructivos y el incremento de las cargas de tránsito, realzaron la necesidad del Ministerio de Obras Públicas y Transportes de actualizar un documento que regulara los requerimientos de calidad de los materiales utilizados y de los ensayos de aceptación de estos. En consecuencia, el 19 de diciembre del año 1996, se presentaron las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías (Resolución 8068)

(Ministerio de Transporte, 1996), documento que estipula los requisitos de calidad, establece estándares y describe procedimientos generales de ejecución, control y recibo para los trabajos de construcción habituales en la red nacional de carreteras. (Instituto Nacional de Vías, 2013).

En el año 2000, el Instituto de Desarrollo Urbano publicó el Reglamento para el Sector Vial Urbano de Bogotá D.C. RSV-2000, con el fin de "*(…) señalar los requisitos técnicos que deben cumplir los procesos de concepción, diseño, construcción, mantenimiento, reforzamiento y control de las obras relacionadas con el Sector Vial Urbano de Bogotá D.C. y sus actividades complementarias"* (Instituto de Desarrollo Urbano, 2001). Este reglamento tenía una relación evidente con el método francés de diseño de pavimentos (Ministère de l'Èquipement, des Transports et du Logement, 1994) (LCPC - SETRA, 1997).

Posteriormente, el 01 de Junio del año 2006, entran en vigencia las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público en Bogotá D.C.(Resolución 1959) (Instituto de Desarrollo Urbano, 2006). Con estas nuevas especificaciones, el IDU pretende evaluar los requerimientos de calidad de los materiales como la durabilidad de los agregados pétreos y mezclas mediante la inclusión de nuevos ensayos; así mismo, establecer una gradualidad en el reporte de la aceptación o rechazo de los materiales por los ensayos obligatorios y los niveles de exigencia de acuerdo a la clasificación del tránsito requerido según el tipo de proyecto. Las Especificaciones de 2006 significaron una disminución de la influencia de la tecnología francesa en el diseño de pavimentos.

En 2011, el IDU actualizó una vez más sus Especificaciones y sobre esta última versión se desarrolla el contenido de este trabajo (Instituto de Desarrollo Urbano, 2011). Durante el año 2018 se ha anunciado una extensa actualización de las normas de aplicación en la ciudad de Bogotá.

En conclusión, el país cuenta con normas técnicas para el desarrollo y seguimiento de los proyectos viales. No obstante, la existencia de dos normatividades puede ocasionar que no se tenga claridad en la aplicación de las mismas en diferentes proyectos. Es necesario que las normas tengan una concordancia y no que, al momento de consultarlas, difieran

sobre las exigencias fundamentales de materiales. Asimismo, es importante que las agencias viales de Colombia como el IDU y el INVIAS promuevan estudios para el inventario de las características y propiedades de las fuentes de agregados, estableciendo niveles de calidad asociados con su comportamiento en servicio (Campagnoli & López, 2007).

En el país se emplean diferentes métodos de diseño de pavimentos que pueden definir espesores muy diferentes aun basados en la misma información de entrada. Estas diferencias se deben al criterio de falla considerado para el pavimento y sus materiales constitutivos. Es indispensable conocer si los métodos de diseño empleados en el país son compatibles con los materiales y requisitos exigibles por la normatividad colombiana. Esto llevará a conocer si la forma de diseñar es la correcta o sugerir que método se ajusta mejor a las calidades exigidas.

Los objetivos que se perciben en este trabajo consisten en establecer si las especificaciones de los materiales de construcción de carreteras del Instituto Nacional de Vías 2013 y el Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá 2011 satisfacen las hipótesis de calidad implícitas en los métodos de diseño de pavimentos asfálticos y de concreto empleados rutinariamente en Colombia.

El alcance de este trabajo consiste en revisar, compendiar y comparar los requerimientos de calidad para los materiales de construcción de pavimentos asfálticos y de concreto de acuerdo con los siguientes métodos de diseño de pavimentos: AASHTO Guide for the Design of Pavement Structures (1993), Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide – MEPDG (2004), Conception et dimensionnement des structures de chaussée – Guide technique (1994), Overseas Road Note 31 (1993), MS-1 Thickness Design-Highways & Streets (Asphalt Institute), Shell Pavement Design Manual (1978), Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements, Portland Cement Association (1984) y los método del Instituto Nacional de Vías de Colombia para pavimentos asfálticos (1988) y de concreto hidráulico (2008).

Asimismo, se realizará un análisis comparativo de las exigencias sobre calidad, tipo de ensayos de control en laboratorio y campo, y umbrales de aceptación o rechazo para los materiales de construcción de pavimentos asfálticos y de concreto de las Especificaciones

Generales de Construcción del Instituto Nacional de Vías de Colombia del año 2013 y las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público para Bogotá D.C. de 2011.

Es importante resaltar que en la revisión bibliográfica se encontró que diferentes autores en la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales han realizado estudios acerca de las especificaciones viales en Colombia y los métodos de diseño de pavimentos empleados. Moncada y Serna (1999) *"presentaron una comparación cualitativa de las especificaciones generales de construcción de carreteras del Instituto Nacional de Vías, versión 1996, con sus predecesoras; las especificaciones generales de construcción del Ministerio de Obras Públicas y Transporte del año 1970; las cuales se complementan con las del Ministerio de Obras Públicas del año 1965."*

Cardona y Ramírez (1999) realizaron un análisis comparativo de métodos de diseño de pavimento flexible donde *"(…) se relacionan y se describen métodos de diseño de pavimento flexible con las respectivas variables que intervienen y su comportamiento en ellos, se exponen las metodologías por: MOPT 1970, Nota 31 TRL de 1974, Asphalt Institute 1981, AASHTO 1993, SHELL 1978, DEPAV y otros, y finalmente se realiza una comparación de estos métodos partiendo de la sensibilidad de las variables y de las restricciones de las mismas en cada método."*

Durán y Vélez (2000) realizaron la comparación de especificaciones técnicas para la construcción de pavimentos en zonas urbanas, revisando las normas empleadas por las entidades de orden municipal de la región centro – occidental de Colombia.

Este trabajo da continuidad a la línea de investigación sobre materiales y diseño de pavimentos que se adelanta en la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Se destaca el hecho de que las Especificaciones del INVÍAS y el IDU son primordialmente idénticas, aunque con diferencias puntuales en criterios y umbrales de aceptación. En cuanto a los métodos de diseño, en general se encontró que citan muchos menos ensayos de control y sus valores de referencia suelen diferir de forma significativa de las actuales normas nacionales.

Este trabajo se divide en cinco capítulos: el primero presenta la evolución histórica de las especificaciones de construcción en Colombia, con énfasis en la recopilación realizada por Fernando Sánchez Sabogal (2013). El capítulo dos presenta el análisis comparativo general entre las especificaciones del INVÍAS 2013 y del IDU 2011, con énfasis en los métodos de ensayo, sus normas de referencia y significado. El capítulo tres desarrolla de forma detallada los requerimientos de las especificaciones sobre los materiales de construcción de pavimentos: bases y subbase granulares, riegos de imprimación, tratamientos superficiales, mezclas asfálticas y concreto hidráulico. El capítulo cuatro revisa el tratamiento que se da a las especificaciones de materiales en diferentes métodos de diseño de pavimentos empleados en Colombia como: AASHTO 1993, ORN31 de 1993, INVÍAS de 1997 y 2008, Asphalt Institute de 1982, Shell de 1978, PCA de 1984 y Guía Francesa de Diseño de 1994. Finalmente, el capítulo 5 presenta las conclusiones y recomendaciones derivadas de este trabajo.

1. Evolución de las especificaciones de construcción vial en Colombia

Hasta el alcance de la revisión bibliográfica realizada en el presente trabajo, se pudo observar que desde principios del siglo XX se ha tratado proponer normas que reglamenten la construcción de carreteras en el país. En general, las especificaciones colombianas, implantadas por el Instituto Nacional de Vías tienen influencia estadounidense, particularmente de la AASHTO. En contraste, entre el 2000 y el 2006 las especificaciones del Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá fueron de influencia francesa. En la actualidad, se encuentran muchos paralelismos entre ambas especificaciones como se puede ver más adelante en este documento.

Las especificaciones han evolucionado en dos grandes áreas: el trazado geométrico y las características de los materiales. En la **Tabla 1-1** y en la **Tabla 1-2** se resume la evolución de estas especificaciones separada por los requerimientos citados.

Tabla 1-1: Evolución histórica de las especificaciones – Requerimientos geométricos

Año	¿Qué pasó?	Observaciones
1905	Se crea el Ministerio de Obras Públicas. (Departamento Nacional de Planeación - Republica de Colombia, 1991)	- El MOP reemplaza al Ministerio de Fomento. (Molina Londoño, 2010). - Se impulsa la construcción de la carretera Central y el ferrocarril de Girardot. (Aristizabal Vargas, 2000). - Se expiden las normas para la construcción de las primeras carreteras Nacionales (Aristizabal Vargas, 2000).
1907	Se reglamentó la construcción y conservación de las carreteras y caminos de herradura nacionales.	- Se dan indicaciones para el dibujo, diseño, trazado de planos y perfiles y lo relacionado a la ejecución de obra (Sánchez Sabogal, 2013).
1909	Se publicaron las Instrucciones Reglamentarias para Proyectos y Construcción de Caminos por la sección de Ingeniería del Ministerio de Obras Públicas (Ministerio de Obras Públicas - Sección de Ingeniería, 1909).	Estas instrucciones incluían detalles sobre los requisitos de calidad de los agregados pétreos. Constaban de cuatro capítulos (dibujos, presupuesto, pliego de especificaciones e informe). Debían ser utilizadas por los ingenieros de diseño, trazado y construcción. Permitían al ingeniero imponer las especificaciones necesarias (Sánchez Sabogal, 2013).
1914	Nace la necesidad de construir un mayor número de carreteras que conectarán los principales centros poblacionales y regionales e impulsarán el comercio (Bravo, 2014).	
1926	Se elaboran Instrucciones Reglamentarias sobre Caminos Nacionales por la Dirección General de Caminos del Ministerio.	Estas instrucciones carecían de referencias en cuanto al proceso constructivo; no obstante, eran bastante detalladas en cuanto a la exploración, estudios preliminares y localización (Sánchez Sabogal, 2013).
1931	Se crea el Consejo Nacional de Vías de Comunicación con la expedición de la Ley 88 de 1931, por el cual se adopta el Plan de Carreteras	Se reglamentan 6.204 Km como longitud total de la Red Nacional de Carreteras, dividida en tres troncales: Occidental, Centro, Oriental y Transversales. (Aristizabal Vargas, 2000)

Año	¿Qué pasó?	Observaciones
	Nacionales. (Congreso de Colombia, 1931).	
1934	Se divulgan unos cuadernos con los reglamentos para la conservación y construcción de carreteras.	Estos cuadernos contenían instrucciones y normas sobre contabilidad, almacén, sanidad y drenaje (Sánchez Sabogal, 2013).
1945	Se publican las Normas de Trazado de Carreteras por la Dirección de Ferrocarriles y Carreteras Nacionales del Ministerio de Obras Públicas.	Se permitían curvas con anchos de 20 metros de radio y 5 metros de ancho de banca (Sánchez Sabogal, 2013).
1950	Creación del Programa del Plan Vial (Bravo, 2014).	Destrucción de gran parte del sistema de carreteras por causa del fuerte invierno.
1953	Nace la necesidad del Ministerio de Obras Públicas de tener Especificaciones para la Construcción de Carreteras propias (Sánchez Sabogal, 2013).	
1960	Se finalizan las Normas para Ensayo de Materiales. Se creó el Fondo Nacional de Caminos Vecinales – FNCV (Departamento Nacional de Planeación - Republica de Colombia, 1991)	Fondo encargado de la construcción de caminos de apertura.
1967	Se crea el Fondo Vial Nacional (Congreso de Colombia, 1967).	Se destinan recursos para mejorar la Red Vial Nacional por medio del Plan Vial.
1972	Se crea el Instituto de Desarrollo Urbano Bogotá D.C. (Concejo de Bogotá D.C, 1972)	Creado por el concejo de Bogotá para desarrollar obras de espacio público y viales en la ciudad de Bogotá.
1992	Se reestructura el Ministerio de Obras Públicas y Transportes y se convierte en Ministerio de Transporte (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 1992).	
1994	Comienza a funcionar el Instituto Nacional de Vías – INVIAS, como entidad adscrita del Ministerio de Transporte.	Es el encargado de la administración de la Red Vial Nacional (Gómez Hernández, 2014).
1997	Se dan por clausuradas las Especificaciones del Plan de Pavimentación del año 1970.	

Fuente: Propia.

Tabla 1-2: Evolución histórica de las especificaciones – Requerimientos materiales

Año	¿Qué pasó?	Observaciones
1940	Se publican por el Consejo Nacional de Vías de Comunicación, las Especificaciones para Pavimentos de Carreteras.	Estas especificaciones incluyen capítulos como terraplenes, materiales granulares, imprimación y tratamientos superficiales. Así mismo, normas AASHO y secciones transversales típicas (Sánchez Sabogal, 2013).
1958	Se finalizan las Normas de Materiales para Carreteras.	
1965	Se finalizan las Normas de Diseño y Especificaciones de Materiales para Carreteras.	
1966	Se publican las Normas de Construcción para Carreteras.	Se convierten las primeras especificaciones completas publicadas en el país (Sánchez Sabogal, 2013).
1970	Se crean las Normas y Especificaciones Generales de Construcción para el Plan de Recuperación de la Red Nacional Pavimentada (Sánchez Sabogal, 2013).	Nace de la necesidad de rehabilitar los pavimentos por alcanzar niveles críticos.
1980	Se publica una segunda actualización de las Normas para Ensayo de Materiales del año 1960 (Sánchez Sabogal, 2013).	Se incrementa el requisito de calidad exigible de los materiales pétreos; igualmente, se incluye el requisito de índice de trituración y la proporción de agregado triturado en las mezclas asfálticas.
1982	Se adoptan las Especificaciones del Plan de Pavimentación de 1970	Se archivan las especificaciones creadas en el año 1970 para el Plan de Recuperación, considerando esto un retroceso a

Año	¿Qué pasó?	Observaciones
	como Especificaciones Generales del MOPT.	las exigencias de calidad para la construcción de carreteras, en mayor medida a lo referente a materiales granulares y mezclas asfálticas (Sánchez Sabogal, 2013).
1996	Se publican las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías (Ministerio de Transporte, 1996)	Con estas especificaciones se estipulan los requisitos de calidad y procedimientos de ejecución, control y recibo de los trabajos de construcción (Instituto Nacional de Vías, 2013).
2000	El Instituto de Desarrollo Urbano publicó el Reglamento para el Sector Vial Urbano de Bogotá D.C. RSV-200.0 (Instituto de Desarrollo Urbano, 2001).	El reglamento daba los requisitos técnicos para construcción, diseño, mantenimiento y control de obras que se realizaban en la ciudad de Bogotá en el sector vía. Este reglamento tenía una relación muy marcada con las metodologías francesas de diseño de pavimentos.
2002	Se realiza actualización a los capítulos de subbase, base y pavimentos asfálticos (Ministerio de Transporte - Instituto Nacional de Vías, 2002).	En esta actualización se incluye la aplicación de los asfaltos modificados con polímeros.
2006	El Instituto de Desarrollo Urbano de la ciudad de Bogotá adopta las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público en Bogotá D.C. (Instituto de Desarrollo Urbano, 2006).	Se reduce la influencia de tecnología francesa en el diseño de pavimentos. Con las nuevas especificaciones se instauran los requerimientos de calidad de los materiales, ensayos y reportes de aceptación o rechazo.
2007	Se actualizan las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías del año 1996 (INVIAS - Ministerio de Transporte, 2007).	
2011	Se realiza actualización de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público en Bogotá D.C. (Instituto de Desarrollo Urbano - IDU, 2011).	
2014	Se actualizan las Especificaciones Generales de Construcción para Carreteras del Instituto Nacional de Vías del año 2007 (Ministerio de Transporte, 2014).	
2018	Se realiza actualización de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público en Bogotá D.C.	

Fuente: Propia

2. Análisis comparativo de las especificaciones INVÍAS e IDU

En este capítulo se presenta el análisis comparativo de las exigencias sobre calidad, tipo de ensayos de control en laboratorio y campo, y umbrales de aceptación o rechazo para los materiales de construcción de pavimentos asfálticos y de concreto de las Especificaciones Generales de Construcción del Instituto Nacional de Vías de Colombia del año 2013 y de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público para Bogotá D.C. de 2011.

2.1 Requisitos de los materiales

Se presentan los ensayos exigibles a cada material con la codificación del Instituto Nacional de Vías del año 2013, la descripción del método, su propósito y su variable de medida. Se toman como referencia las normas de la American Society for Testing and Materials – ASTM, las cuales son mundialmente reconocidas (ASTM International, 2017). En esta revisión se pudo observar que las normas INVIAS son, básicamente, las mismas normas de la práctica norteamericanas de la ASTM.

2.1.1 Ensayos sobre los agregados

En la **Tabla 2-1** se presentan 13 ensayos que se deben realizar a los agregados según lo establecido en las normas viales del país. De estos 13 ensayos, 10 emplean la ASTM como norma de referencia; excepto el ensayo de determinación del valor de 10% de finos, los índices de aplanamiento y de alargamiento, y el valor de azul de metileno en agregados finos, los cuales tienen como normas de referencia métodos europeos: dos de ellos británicos y uno francés.

Tabla 2-1: Ensayo sobre los agregados

Ensayo	Descripción	Norma Referencia	¿Qué mide?	¿Para qué sirve?
INV E-125-13	Determinación del límite líquido de los suelos.	ASTM D 4318-10	Contenido de humedad (agua) y consistencia de un suelo entre los estados líquido y plástico.	Caracterización de la fracción fina de los suelos.
INV E-126-13	Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.	ASTM D 4318-10	Contenido de agua y consistencia de un suelo entre los estados plástico y semisólido.	Determinar la facilidad relativa con la que se puede deformar un suelo.
INV E-133-13	Equivalente de Arena de suelos y agregados finos.	ASTM D 2419-09	Cantidad de materiales finos, plásticos indeseables o con presencia arcillosa existen en los agregados finos.	Limitar la cantidad de materiales nocivos en el agregado y determinar variaciones de calidad de los agregados.
INV E-148-13.	CBR de suelos compactados en el laboratorio y sobre muestra inalterada.	ASTM D 1883-07	Índice de resistencia del suelo y agregados que componen la estructura del pavimento.	Evaluar la resistencia potencial de los agregados y materiales de la subrasante.
INV E-211-13	Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznables en los agregados.	ASTM C 142/C 142M-10	Cantidad de terrones de arcilla y partículas deleznables en los agregados.	Evitar la inclusión de materiales nocivos en los agregados para concretos hidráulicos.
INV E-213-13	Granulometría.	ASTM C-136-06	La distribución a través de tamizajes, el tamaño del agregado grueso y fino de un material.	Determinar la distribución de las partículas de los agregados en una mezcla.
INV E-218-13	Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37.5 m (1 ½") por medio de la máquina de Los Ángeles.	ASTM C 131-06	Resistencia a la degradación de los agregados mayores a 1 ½".	Es un indicador de calidad relativa o la competencia de las fuentes de materiales.
INV E-220-13	Solidez de los agregados frente a la acción de soluciones de sulfato de sodio o de magnesio.	ASTM C 88 – 05	Resistencia de los agregados a sulfatos.	Determinar la resistencia de los agregados a la intemperie y condiciones del ambiente.
INV E-224-13	Determinación del valor del 10% de finos.	BS 812 Part 110 – 1990 y SABS Method 842	Resistencia mecánica de un agregado grueso al aplastamiento sometido a un esfuerzo de compresión.	Evaluar el comportamiento de los materiales de cada capa sometidos a degradación mecánica.
INV E-227-13	Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso.	ASTM D 5821-01 (Re-aprobada 2006)	Porcentaje de partículas con un número especificado de caras fracturadas en los agregados.	Evaluar la resistencia al corte y el incremento de la fricción de las partículas de los agregados.
INV E-230-13	Índices de aplanamiento y de alargamiento de los	BS 812-105.1: 1989	Forma de las partículas en los agregados.	Evitar problemas de modificación de granulometría y

Ensayo	Descripción	Norma Referencia	¿Qué mide?	¿Para qué sirve?
	agregados para carreteras.	BS 812-105.2: 1990		ruptura de los agregados en la compactación.
INV E-235-13	Valor azul de metileno en agregados finos.	Norma Europea EN 933-9	Cantidad de arcillas en los agregados.	Detectar la presencia de materiales nocivos en los agregados.
INV E-238-13	Determinación de la resistencia del agregado grueso a la gradación por abrasión, utilizando el aparato Micro – Deval.	ASTM D 6928-10	Determinar la resistencia de los agregados al agua y a cargas abrasivas.	Es un indicador de calidad relativa o la competencia de las fuentes de materiales.
INV E-239-13	Determinación del contenido de vacíos de agregados finos no compactados (Influenciado por la forma de las partículas, la textura superficial y la granulometría).	ASTM C-1252-06	Contenido de vacíos en una muestra de agregado fino no compactada.	Determinar la forma y textura de los agregados pétreos.

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones y normas de ensayo de materiales del INVIAS 2013.

2.1.2 Ensayos sobre productos asfálticos

- **Ligantes Asfálticos**

En la **Tabla 2-2** se presentan 19 ensayos exigibles en las normas INVIAS donde predominan como normas de referencia las ASTM en un 89.5% de los casos. Para los ligantes asfálticos, las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías emplean normas NLT como referencia en los ensayos de recuperación elástica por torsión de asfaltos modificados y pH de las emulsiones asfálticas. Por otra parte, en los ensayos sedimentación y estabilidad de las emulsiones asfálticas durante el almacenamiento, demulsibilidad de las emulsiones asfálticas, identificación de las emulsiones asfálticas catiónicas mediante la determinación de la carga de las partículas y ensayo de mezcla con cemento de las emulsiones asfálticas se referencian tanto las normas ASTM como las normas NLT.

Las normas NLT (Normas de Ensayo del Centro de Estudios de Carreteras de España) fueron creadas en el año 1958 y, aunque se realizaron posteriores ediciones y modificaciones hasta el año 2000, en la actualidad no se utilizan siendo reemplazadas por

las normas UNE (Carreteros, 2000) creadas por la Asociación Española de Normalización y Certificación – AENOR (Úrculo comunicación, 2017).

Llama la atención que, aunque se realizan actualizaciones periódicas a las normas colombianas, se siguen referenciando métodos de ensayo que no son vigentes en la actualidad.

Tabla 2-2: Ensayo sobre los ligantes asfálticos

Ensayo	Descripción	Norma Referencia	¿Qué mide?	¿Para qué sirve?
INV E-702-13	Ductilidad de los materiales asfálticos.	ASTM D 113-07	Ductilidad de los materiales asfálticos de consistencia sólida y semisólida antes de producirse la rotura.	Medir la resistencia a la tensión de los materiales bituminosos.
INV E-706-13	Penetración de los materiales bituminosos.	ASTM D 5-06	Consistencia de los productos bituminosos.	Medir la consistencia de los materiales a altas temperaturas en relación a la densidad.
INV E-710-13	Punto de inflamación de asfaltos líquidos mediante la copa abierta TAG.	ASTM D 3143-08	La temperatura a la cual se inflama un asfalto líquido al ser aproximado a una llama de prueba.	Medir contaminación por solventes.
INV E-712-13	Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (Aparato de anillo y bola).	ASTM D36/D36M – 09	Punto de ablandamiento de productos bituminosos.	Clasificar los materiales bituminosos según su susceptibilidad térmica.
INV E-713-13	Solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno.	ASTM D 2042-09	Grado de solubilidad en tricloroetileno de materiales asfálticos.	Medir porcentaje de contaminantes en el asfalto.
INV E-714-13	Viscosidad Saybolt de asfaltos.	ASTM D 88-07	Viscosidad Saybolt de productos asfálticos a temperaturas especificadas.	Determinar el estado de fluidez de los asfaltos a temperaturas entre 21°C y 99°C.
INV E-715-13	Viscosidad cinemática de asfaltos.	ASTM D2170 / D2170M - 10	Viscosidad cinemática de asfaltos líquidos a una temperatura de 60°C y de cementos asfálticos a 135°C.	Determina el tiempo y la caracterización del comportamiento del flujo, bajo condiciones controladas de temperatura y altura del líquido.
INV E-723-13	Destilación de asfaltos líquidos.	ASTM D 402 – 08	Cantidad de componentes volátiles de un asfalto líquido.	Determinar las proporciones de agua y cemento asfáltico.
INV E-727-13	Recuperación elástica por torsión de asfaltos modificados.	NLT 329/91	Elasticidad de los asfaltos modificados.	Determina la capacidad de los materiales para la recuperación elástica, en especial polímeros.
INV E-761-13	Contenido de agua en una emulsión asfáltica.	ASTM D 244-09	Cantidad de agua presente en una emulsión asfáltica.	Determinar la cantidad de ligante asfáltico a utilizar en un pavimento con precisión.

Ensayo	Descripción	Norma Referencia	¿Qué mide?	¿Para qué sirve?
INV E-762-13	Destilación de emulsiones asfálticas.	ASTM D 6997-12	Cantidad de residuo asfáltico y de aceite destilado.	Determinar las proporciones del residuo, cemento asfáltico, destilados aceitosos y agua.
INV E-763-13	Viscosidad Saybolt Furol de emulsiones asfálticas.	ASTM D 7496-11	Consistencia de las emulsiones asfálticas a una temperatura de 25°C y de 50°C.	Indicar deformación cuando la emulsión está sometida a una fuerza cortante.
INV E-764-13	Sedimentación y estabilidad de las emulsiones asfálticas durante el almacenamiento.	ASTM D 6930-10 NLT – 140/99	Permanencia de la emulsión como dispersión.	Determinar la estabilidad o sedimentación de una emulsión asfáltica durante el almacenamiento.
INV E-765-13	Tamizado de las emulsiones asfálticas.	ASTM D 6933-08	Porcentaje de partículas de asfalto que queda retenido en el tamiz No. 20.	Indicar posibles problemas en el manejo de la emulsión y la aplicación.
INV E-766-13	Demulsibilidad de las emulsiones asfálticas.	ASTM D 6936-09 NLT 141/99	Mediante ensayo de demulsibilidad, la estabilidad de las emulsiones asfálticas aniónicas y catiónicas.	Indicar la cantidad de material bituminoso que se unirá o se separará, causando la ruptura de la emulsión.
INV E-767-13	Identificación de las emulsiones asfálticas catiónicas mediante la determinación de la carga de las partículas.	ASTM D 7402-09 NLT 194/99	Emulsiones asfálticas catiónicas.	Medir la compatibilidad de una carga eléctrica con los agregados de la emulsión asfáltica.
INV E-768-13	pH de las emulsiones asfálticas.	NLT 195/92	Valor de pH en una emulsión.	Permite verificar si una emulsión es aniónica (Alcalina) o catiónica (Acida) y el comportamiento de la emulsión con los agregados.
INV E-769-13	Cubrimiento y resistencia de las emulsiones asfálticas al desplazamiento por el agua.	ASTM D 244-09	Grado de cubrimiento de los agregados con emulsión asfáltica.	Determina la habilidad de una emulsión durante el proceso de mezclado y lavado con agua, para adherirse como una película a los agregados.
INV E-770-13	Ensayo de mezcla con cemento de las emulsiones asfálticas.	ASTM D 6935-11 NLT 144/98	Porcentaje de emulsión que se rompe cuando se mezcla con cemento.	Clasificación de emulsiones de Rotura Lenta y la afectación causada por soluciones de cloruro cálcico.

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

En Colombia, los asfaltos se clasifican por grados de penetración según el Artículo 400 *"Disposiciones generales para la ejecución de riegos de imprimación, liga y curado, tratamientos superficiales, sellos de arena asfalto, lechadas asfálticas, mezclas asfálticas en frío y en caliente y reciclado de pavimentos asfálticos"* de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías del año 2013. A

su vez, y como se ha mencionado anteriormente, el INVIAS referencia una norma que se encuentra obsoleta, como ocurre en el ensayo de penetración de los materiales bituminosos (INV E-706-13) donde se cita la norma ASTM D5-06 *"Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials"*, la cual fue reemplazada por la norma ASTM D5/D5M-13.

En la actualidad se realizan ensayos como el DSR (Reómetro de Corte Dinámico) para determinar el módulo de corte dinámico y las propiedades lineales visco-elásticas de los ligantes asfálticos. Este ensayo es la base para las especificaciones por grados de desempeño del asfalto (Performance Grades, PG), las cuales se desarrollaron *"(…) para superar las desventajas de las especificaciones tradicionales de cemento asfáltico."*, este ensayo esta referenciado en la ASTM D7175-15 *"Standard Test Method for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer".* Se debe anotar que las Especificaciones de INVÍAS, aunque conservan la clasificación por grado de penetración, exigen ensayos de caracterización de los sistemas de clasificación por grados de viscosidad (AC) e incluso de comportamiento (PG). No es comprensible por qué se mantiene un sistema de clasificación impreciso, pero se exige una caracterización avanzada de los materiales cuyos resultados podrían no tener ningún efecto significativo en la calidad de las obras ejecutadas.

También es interesante mencionar que la actualización en curso (2018) de las Especificaciones del IDU adopta la clasificación de asfaltos por grados de viscosidad (AC). Esto no representa una mejora sustancial en el sistema de clasificación de ligantes asfálticos, pues los grados de viscosidad adolecen de problemas semejantes a los grados de penetración (Vásquez Varela, 2015).

- **Mezclas asfálticas**

En la **Tabla 2-3** se presentan los ensayos sobre las mezclas asfálticas y micro-aglomerados en caliente de acuerdo con lo establecido por el Instituto Nacional de Vías en sus Especificaciones. Al igual que en los casos anteriores, hay una gran influencia norteamericana (ASTM) en un 69% de los métodos. Los demás ensayos referencian normas europeas y, de nuevo, normas NLT que ya han sido sustituidas por las normas

UNE. En el caso de las mezclas asfálticas, el ensayo “Concentración crítica de llenante en mezclas de concreto asfáltico” referencia la norma del Instituto Argentino de Normalización y Certificación – IRAM, el cual es una asociación establecida desde el año 1935 que busca desarrollar y regular normas para el crecimiento de Argentina (Instituto Argentino de Normalización y Certificación).

Las metodologías de diseño empírico – mecanicistas requieren la caracterización de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas: módulo dinámico o módulo resiliente, resistencia al ahuellamiento y resistencia a la fatiga. A pesar del nivel de detalle contemplado en las normas del INVÍAS y del IDU, estos parámetros se emplean como verificación del diseño preliminar de las mezclas densas en caliente y no constituyen el criterio primordial de aceptación del material. El control de calidad se apoya sustancialmente en la valoración de los componentes (agregados y ligante) de la mezcla.

Excepcionalmente, en ambas especificaciones se exige un umbral mínimo de módulo a cierta temperatura para las denominadas “mezclas de alto módulo”.

Tabla 2-3: Ensayo sobre las mezclas asfálticas y micro aglomerado en caliente

Ensayo	Descripción	Norma Referencia	¿Qué mide?	¿Para qué sirve?
INV E-125-13	Determinación del límite líquido de los suelos.	ASTM D 4318-10	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-126-13	Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.	ASTM D 4318-10	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-133-13	Equivalente de Arena de suelos y agregados finos.	ASTM D 2419-09	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-211-13	Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznables en los agregados.	ASTM C 142/C 142M - 10	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-218-13	Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½”) por medio de la máquina de Los Ángeles.	ASTM C 131-06	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-219-13	Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños mayores de 19 mmm (3/4”) por medio de la máquina de Los Ángeles.	ASTM C 535-09	Resistencia a la degradación de los agregados gruesos.	Es un indicador de calidad de los agregados pétreos.
INV E-220-13	Solidez de los agregados frente a la acción de soluciones de sulfato de sodio o de magnesio.	ASTM C 88 – 05	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-224-13	Determinación del valor del 10% de finos.	BS 812 Part 110 – 1990 y SABS Method 842	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	

Ensayo	Descripción	Norma Referencia	¿Qué mide?	¿Para qué sirve?
INV E-227-13	Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso.	ASTM D 5821-01 (Re-aprobada 2006)	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-230-13	Índices de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras.	BS 812-105.1: 1989 BS 812-105.2: 1990	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-232-13.	Determinación del coeficiente de pulimento acelerado (CPA) de las partículas de agregado grueso.	UNE-EN 1097-8 Julio 2000	Susceptibilidad de los agregados pétreos al pulimento.	Determinar la resistencia al deslizamiento, mediante la susceptibilidad de los agregados al pulimento.
INV E-235-13	Valor azul de metileno en agregados finos.	Norma Europea EN 933-9	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados	
INV E-237-13	Determinación de la limpieza superficial de las partículas de agregado grueso.	NLT 172/86 UNE 146130: 2000 Anexo C	Limpieza superficial de los agregados.	Reducir el contenido de impurezas en el agregado grueso.
INV E-238-13	Determinación de la resistencia del agregado grueso a la gradación por abrasión, utilizando el aparato Micro – Deval.	ASTM D 6928-10	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-239-13	Determinación del contenido de vacíos en agregados finos no compactados (Influenciado por la forma de las partículas, la textura superficial y la granulometría).	ASTM C 1252-06	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-240-13	Proporción de partículas planas, alargadas o planas y alargadas en agregados gruesos.	ASTM D 4791-10	Porcentaje de partículas planas y/o alargadas en un agregado grueso.	Es un indicador de calidad de los agregados pétreos
INV E-736-13	Porcentaje de vacíos con aire en mezclas asfálticas compactadas densas y abiertas.	ASTM D3203/D3203M - 11	Porcentaje de vacíos con aire.	Conocer el valor de la compactación en la colocación y posterior compactada.
INV E-745-13	Concentración crítica de llenante en mezclas de concreto asfáltico.	IRAM 1542 – Junio 1983	La concentración crítica del llenante mineral.	Conocer la capacidad de deformación del asfalto según las características del llenante.
INV E-748-13	Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el equipo Marshall.	ASTM D 6926 -10 ASTM D 6927 -06	Determinar la deformación plástica de la mezcla asfáltica.	Conocer el comportamiento de la compactación de la mezcla asfáltica según la densidad y vacíos.
INV E-749-13	Ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de mezclas asfálticas.	ASTM D 7369 -11	Valores de módulo resiliente aplicando el ensayo de tensión indirecta	Evaluar la calidad de los materiales.

Ensayo	Descripción	Norma Referencia	¿Qué mide?	¿Para qué sirve?
			con carga repetida.	
INV E-757-13	Efecto del agua sobre las mezclas asfálticas sueltas.	ASTM D 3625-96 (Re aprobada 2005)	Susceptibilidad de los agregados cubiertos de asfalto al agua caliente.	Analizar la susceptibilidad o perdida de adherencia de los agregados a la acción del agua caliente
INV E-774-13	Adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (Método Riedel-Weber).	NLT 355/93	Adhesividad de los ligantes asfálticos a los agregados.	Determinar la adhesividad de los ligantes asfálticos a los agregados a la acción de soluciones de carbonato de sodio.
INV E-782-13	Análisis granulométrico de los agregados extraídos de mezclas asfálticas.	ASTM D 5444 -08	La distribución a través de tamizajes con malla de abertura cuadrada, el tamaño del agregado grueso y fino de las mezclas asfálticas.	Determinar la distribución de las partículas de los agregados extraídos de una mezcla asfáltica.

Fuente: Elaboración propia con base a las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

- **Reciclado de pavimento asfáltico**

Para el reciclado de pavimento asfáltico (**Tabla 2-4**) el 73% del total de 15 ensayos exigibles en las normas INVIAS tiene influencia estadounidense de las normas ASTM. Nuevamente se observa la aplicación de las normas españolas NLT.

Tabla 2-4: Ensayo sobre reciclado de pavimento asfáltico

Ensayo	Descripción	Norma Referencia	¿Qué mide?	¿Para qué sirve?
INV E-125-13	Determinación del límite líquido de los suelos.	ASTM D 4318-10.	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-126-13	Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.	ASTM D 4318-10	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-133-13	Equivalente de Arena de suelos y agregados finos.	ASTM D 2419-09	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-148-13	CBR de suelos compactados en el laboratorio y sobre muestra inalterada.	ASTM D 1883-07	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-211-13	Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznables en los agregados.	ASTM C 142/C 142M - 10	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-218-13	Resistencia a la degradación de los agregados de	ASTM C 131-06	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	

Ensayo	Descripción	Norma Referencia	¿Qué mide?	¿Para qué sirve?
	tamaños menores de 37.5 mm (1 ½") por medio de la máquina de Los Ángeles.			
INV E-220-13	Solidez de los agregados frente a la acción de soluciones de sulfato de sodio o de magnesio.	ASTM C 88 – 05	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-224-13	Determinación del valor del 10% de finos.	BS 812 Part 110 – 1990 y SABS Method 842	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-227-13	Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso.	ASTM D 5821-01 (Re-aprobada 2006)	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-230-13	Índices de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras.	BS 812-105.1: 1989 BS 812-105.2: 1990	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-235-13	Valor azul de metileno en agregados finos.	Norma Europea EN 933-9	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-238-13	Determinación de la resistencia del agregado grueso a la gradación por abrasión, utilizando el aparato Micro – Deval.	ASTM D 6928-10	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-239-13	Determinación del contenido de vacíos en agregados finos no compactados (Influenciado por la forma de las partículas, la textura superficial y la granulometría).	ASTM C 1252-06	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-240-13	Proporción de partículas planas, alargadas o planas y alargadas en agregado grueso.	ASTM D 4791-10	Explicado en la tabla de ensayos sobre las mezclas asfálticas y micro aglomerado en caliente.	
INV E-622-13	Diseño de mezclas de agregados, reciclados o sin reciclar, con emulsión asfáltica, mediante el método de inmersión.	NLT-389/00	Pérdida de resistencia a la compresión de la mezcla por la acción del agua.	Determinar el contenido óptimo de emulsión de una mezcla de agregados.

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

2.1.3 Ensayos sobre pavimentos de concreto hidráulico

- **Cemento Portland**

Para el caso del cemento Portland (**Tabla 2-5**) sólo son exigibles dos ensayos y ambos están referenciados en las normas ASTM.

Tabla 2-5: Ensayo sobre cemento Portland

Ensayo	Descripción	Norma Referencia	¿Qué mide?	¿Para qué sirve?
INV E-301-13	Muestreo y cantidad de ensayos del cemento hidráulico.	ASTM C 183-08	Busca determinar la cantidad de ensayos y muestras a realizar al producto antes de su venta.	Conocer si el cemento cumple con los diferentes requerimientos exigibles en la norma aplicable.
INV E-307-13	Densidad del cemento hidráulico.	ASTM C 188-09	Densidad del cemento hidráulico.	Para diseñar mezclas de concreto y realizar cálculos volumétricos.

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

- **Pavimento de concreto hidráulico**

En el caso de pavimentos de concreto hidráulico (**Tabla 2-6**) el 79% de los 19 ensayos exigibles en las especificaciones del Instituto Nacional de Vías tienen a las normas ASTM y el 21% restante, correspondiente a los ensayos de determinación del valor del 10% de finos, índices de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras, determinación del contenido de azufre en los agregados pétreos y valor azul de metileno en agregados finos, tienen referencia a normas europeas.

Tabla 2-6: Ensayo sobre pavimentos de concreto hidráulico

Ensayo	Descripción	Norma Referencia	¿Qué mide?	¿Para qué sirve?
INV E-125-13	Determinación del límite líquido de los suelos.	ASTM D 4318-10	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-126-13	Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.	ASTM D 4318-10	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-133-13	Equivalente de Arena de suelos y agregados finos.	ASTM D 2419-09	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-211-13	Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznables en los agregados.	ASTM C 142/C 142M - 10	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-212-13	Presencia de impurezas orgánicas en arenas usadas para la preparación de morteros o concretos.	ASTM C 40/C40M - 11	Presencia de impurezas orgánicas (productos de la descomposición de material vegetal) en arenas usadas para concretos.	Controlar las impurezas orgánicas que pueden causar interferencia entre el fraguado y endurecimiento del concreto y deterioros afectando la durabilidad de éste.
INV E-214-13	Determinación de la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 µm (No. 200) en	ASTM C 117-04	Cantidad de material fino en un agregado.	Determinar la cantidad de material fino que tienen los agregados pétreos, al ser lavado

Ensayo	Descripción	Norma Referencia	¿Qué mide?	¿Para qué sirve?
	los agregados pétreos mediante lavado.			con agua o un agente humectante.
INV E-218-13	Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½") por medio de la máquina de Los Ángeles.	ASTM C 131-06	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-220-13	Solidez de los agregados frente a la acción de soluciones de sulfato de sodio o de magnesio.	ASTM C 88 – 05	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-221-13	Cantidad de partículas livianas en un agregado pétreo.	ASTM C 123/C 123M – 12	Porcentaje de partículas livianas en los agregados pétreos.	Determina el porcentaje de partículas livianas en los agregados pétreos, donde un exceso de estas partículas puede afectar la resistencia del concreto.
INV E-222-13	Densidad, densidad relativa (Gravedad específica) y absorción del agregado fino.	ASTM C 128-07a	Densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado fino, densidad relativa y absorción.	Determinar los volúmenes que ocuparán los agregados en los concretos y facilitar los parámetros de diseño de la mezcla. La absorción indica la cantidad de agua que puede penetrar en los agregados por los poros.
INV E-224-13	Determinación del valor del 10% de finos.	BS 812 Part 110 – 1990 y SABS Method 842	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-227-13	Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso.	ASTM D 5821-01 (Re-aprobada 2006)	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-230-13	Índices de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras.	BS 812-105.1: 1989 BS 812-105.2: 1990	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-233-13	Determinación del contenido de azufre en los agregados pétreos.	UNE-EN 1744-1 Parte 1: Capítulo 11	Cantidad de azufre presente en los agregados	Evitar la presencia de compuestos de azufre que pueden producir eflorescencias y depósitos en la superficie.
INV E-234-13	Determinación de la reactividad potencial álcali sílice de agregados (Método químico).	ASTM C 289-07	Reactividad de los componentes silíceos de los agregados con los álcalis del concreto	Determinar la reactividad de los agregados, ocasionado por la reacción química entre algunos minerales del agregado y las

Ensayo	Descripción	Norma Referencia	¿Qué mide?	¿Para qué sirve?
				sustancias alcalinas del concreto, el cual absorbe agua y genera expansión.
INV E-235-13	Valor azul de metileno en agregados finos.	Norma Europea EN 933-9	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-238-13	Determinación de la resistencia del agregado grueso a la gradación por abrasión, utilizando el aparato Micro – Deval.	ASTM D 6928-10	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-239-13	Determinación del contenido de vacíos en agregados finos no compactados (Influenciado por la forma de las partículas, la textura superficial y la granulometría).	ASTM C 1252-06	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	
INV E-240-13	Proporción de partículas planas, alargadas o planas y alargadas en agregados gruesos.	ASTM D 4791-10	Explicado en la tabla de ensayos sobre los agregados.	

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

Como se pudo apreciar, las normas de los ensayos que se citan en las Especificaciones del Instituto Nacional de Vías y del Instituto de Desarrollo Urbano tienen una fuerte influencia estadounidense de normas ASTM. Por otra parte, hay normas con referencia europea (casos puntuales) y muchas de estas se encuentran obsoletas como es el caso de las normas NLT.

Se anota que el IDU no tiene métodos de ensayo propios si no que emplea los del INVÍAS con las características que se han expuesto en esta sección.

2.2 Estructura de las especificaciones

Al comparar la estructura de las Especificaciones del INVIAS 2013 y la del IDU 2011, se observa que son idénticas, salvo por una expresión en un título. Adicionalmente, se precisa que son especificaciones muy detalladas comparadas con las normas viales de otros países que fueron consultadas en este trabajo, ya que relacionan los pasos, materiales y el control del producto final.

Tabla 2-7: Estructura de las especificaciones INVÍAS e IDU

INVIAS	IDU
Descripción	Descripción
Materiales	Materiales
Equipo	Equipo
Ejecución de los trabajos	Requerimientos de ejecución de los trabajos
Condiciones para el recibo de los trabajos	Condiciones para el recibo de los trabajos
Medida	Medida
Forma de Pago	Forma de Pago
Ítems de pago	Ítems de pago

Fuente: Propia

2.3 Niveles de tránsito

El Artículo 100 *"Ámbito de aplicación, términos y definiciones"*, numeral 100.2 *"Gradualidad en las exigencias de calidad"* de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras de 2013 de INVÍAS, considera tres niveles de tránsito según el tránsito de diseño en número de ejes equivalentes de 80 kN. En contraste, el Instituto de Desarrollo Urbano, en la sección 107 *"Desarrollo de los trabajos"*, numeral 107.12 *"Gradualidad en el uso de materiales y mezclas"* de sus Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público para Bogotá D.C. de 2011, establece dos criterios para clasificar el tránsito: el primero depende del número de vehículos pesados en el carril de diseño durante el primer año de servicio de las obras, y el segundo tiene en cuenta el número de ejes equivalente de 80kN en el carril de diseño en el periodo de diseño, siendo aplicable al momento de diseñar el criterio que resulte más alto para la vía tomando considerando cada categoría por separado (Instituto de Desarrollo Urbano, 2011).

La comparación de los niveles de tránsito establecidos por cada entidad se muestra en la **Tabla 2-8**.

Tabla 2-8: Comparativo niveles de tránsito de las especificaciones INVÍAS e IDU

INVÍAS		IDU		
Categoría de Tránsito	**N_{80kN}**	**Categoría de Tránsito**	**VPDo**	**NAEE_80**
NT1	$N_{80kN} \leq 0.5$	T0	VPDo<20	NAEE_80<0.2
		T1	20≤VPDo<50	0.2≤NAEE_80<0.5
NT2	$0.5<N_{80kN}\leq 5.0$	T2	50≤VPDo<150	0.5≤NAEE_80<1.5
		T3	150≤VPDo<300	1.5≤NAEE_80<3.0
NT3	$N_{80kN}>5.0$	T4	300≤VPDo<750	3.0≤NAEE_80<7.5
		T5	VPDo≥750	NAEE_80≥7.5

Donde:

N_{80kN}: Número de ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño, N80kN, millones. (Instituto Nacional de Vías, 2013).

VPDo: Número de vehículos pesados por día en el carril de diseño, durante el primer año de servicio de las obras, donde vehículos pesados son buses y camiones con peso de 3,5 toneladas o más. (Instituto de Desarrollo Urbano, 2011)

NAEE_80: Número acumulado de ejes equivalentes de 80kN en el período de diseño, en el carril de diseño. (Instituto de Desarrollo Urbano, 2011)

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

Se observa una diferencia importante en el número de ejes equivalentes y la categorización del tránsito de cada entidad. El Instituto Nacional de Vías sólo tiene en cuenta tres categorías de tránsito mientras que el Instituto de Desarrollo Urbano clasifica su tránsito en cinco categorías. El IDU en el numeral 107.12 *"Gradualidad en el uso de materiales y mezclas"*, deja claridad de que este puede subir el nivel de tránsito en los documentos de una licitación sin importar que no coincida con el tránsito real de la vía.

3. Requerimientos de las especificaciones INVIAS – IDU por materiales

En este capítulo se presenta la clasificación y requerimientos de los materiales granulares, riego de imprimación, tratamientos superficiales, sello de arena, lechadas, mezclas asfálticas, reciclado de pavimento asfáltico y pavimento de concreto hidráulico en las especificaciones de cada entidad.

Se hará énfasis en las diferencias encontradas en cada caso. Para tal fin, se presentan tablas con los ensayos exigidos en las especificaciones de los materiales, su norma INVIAS, su norma internacional de referencia y, en las columnas finales, los valores exigidos por el INVIAS y por el IDU.

3.1 Materiales granulares

En la **Tabla 3-1** se presenta las clasificaciones de materiales granulares propuestas por las especificaciones del INVÍAS y del IDU según sus respectivos niveles de tránsito.

Tabla 3-1: Clasificación materiales según nivel de tránsito

TIPO DE CAPA	Categorías de Tránsito			
INVÍAS	NT1	NT2	NT3	
IDU	T0-T1	T2-T3	T4-T5	PEATONAL (1)
Pavimento asfáltico				
Base granular	BG_C	BG_B	BG_A	
Subbase granular	SBG_C	SBG_B	SBG_A	
Pavimento de Losas de Concreto de Cemento Portland				
Base Granular	BG_B	BG_A	NA	
Subbase granular	SBG_C	SBG_B	SBG_A	
Andenes y Estructuras peatonales				
Base granular				NA
Subbase granular				SBG PEA

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

El INVÍAS y el IDU proponen la misma nomenclatura para la calidad de los agregados de base y subbase granulares: Clases A, B y C. Sin embargo, esta clasificación no es consistente en ambas especificaciones. Asimismo, el IDU incluye en la clasificación del material otros criterios como la importancia de la vía, el tipo de pavimento y la posición de la capa dentro de la estructura de pavimento.

A continuación, se resumen los ensayos empleados para evaluar el cumplimiento de los requisitos de calidad de los materiales granulares propuestos por ambas entidades.

3.1.1 Subbase granular

Las especificaciones de subbase granular del INVÍAS y el IDU son similares, excepto en las exigencias de los siguientes ensayos de control de calidad:

- Desgaste en la máquina de Los Ángeles (500 revoluciones): El INVIAS tiene una exigencia menor en este parámetro relacionado con la capacidad del material de soportar las actividades de construcción y operación sin degradarse mecánicamente.
- Evaluación de la resistencia mecánica por el método del 10% de finos: El INVIAS no incluye este método en la evaluación de subbase granular.
- Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de sodio: El IDU no exige este ensayo, el cual permite determinar la resistencia de los agregados al intemperismo.
- Índice de plasticidad: El IDU acepta fracciones finas de los agregados más sensibles al cambio de humedad.
- Equivalente de arena: El IDU acepta una mayor cantidad de material fino nocivo como polvo y finos arcillosos indeseables en el agregado.
- Valor azul de metileno: El IDU acepta mayores cantidades de arcillas nocivas en el agregado.
- Partículas fracturadas mecánicamente: El INVIAS no exige trituración en los materiales de subbase. La trituración incrementa la resistencia de la capa compactada y es exigida por el IDU para la Clase A.
- CBR: El INVIAS acepta materiales de menor resistencia al corte sin drenaje medida con esta prueba.

En la **Tabla 3-2** se presenta el comparativo para las subbases granulares Clase A de ambas entidades.

Tabla 3-2: Comparativo requerimientos subbase granular Clase A. INVIAS – IDU

	SUB BASE GRANULAR CLASE A	Norma Ensayo INV	Normas de Referencia	INVIAS	IDU
Dureza	Desgaste en la máquina de los ángeles, máximo (%), 500 revoluciones	E-218	ASTM C 131-06	50	40
	Degradación por abrasión en el equipo Micro - Deval, máximo (%)	E-238	ASTM D 6928-10.	30	30
	10% de finos. Valor en seco, kN mínimo	E-224	BS 812 Part 110 – 1990 y SABS Method 842	N.A	60
	10% de finos. Relación húmedo/seco, % mínimo				75
Durabilidad	Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de sodio, máximo (%)	E-220	ASTM C 88 – 05	12	N.A
	Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, máximo (%)			18	18
Limpieza	Límite líquido, máximo (%)	E-125	ASTM D 4318-10	25	25
	Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	ASTM D 4318-10	6	3
	Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	ASTM D 2419-09	25	20
	Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%)	E-211	ASTM C 142/C 142M-10	2	2
	Valor de Azul de Metileno, máximo	E-235	Norma Europea EN 933-9	N.A	10
Geometría de las Partículas	Partículas fracturadas mecánicamente (1 cara), mínimo (%)	E-227	ASTM D 5821-01 (Re-aprobada 2006)	N.A	50
	Partículas fracturadas mecánicamente (2 caras), mínimo (%)			N.A	30
	Índice de aplanamiento, % máximo	E-230	BS 812-105.1: 1989 BS 812-105.2: 1990	N.A	N.A
	Índice de alargamiento, % máximo	E-230		N.A	N.A
	Angularidad del Agregado fino, % mínimo (RO)	E-239	ASTM C-1252-06	N.A	N.A
Resistencia del Material	CBR, % mínimo. Porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro días de inmersión.	E-148	ASTM D 1883-07	40	60

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

En la **Tabla 3-3** se presenta la comparación entre gradaciones de ambas entidades.

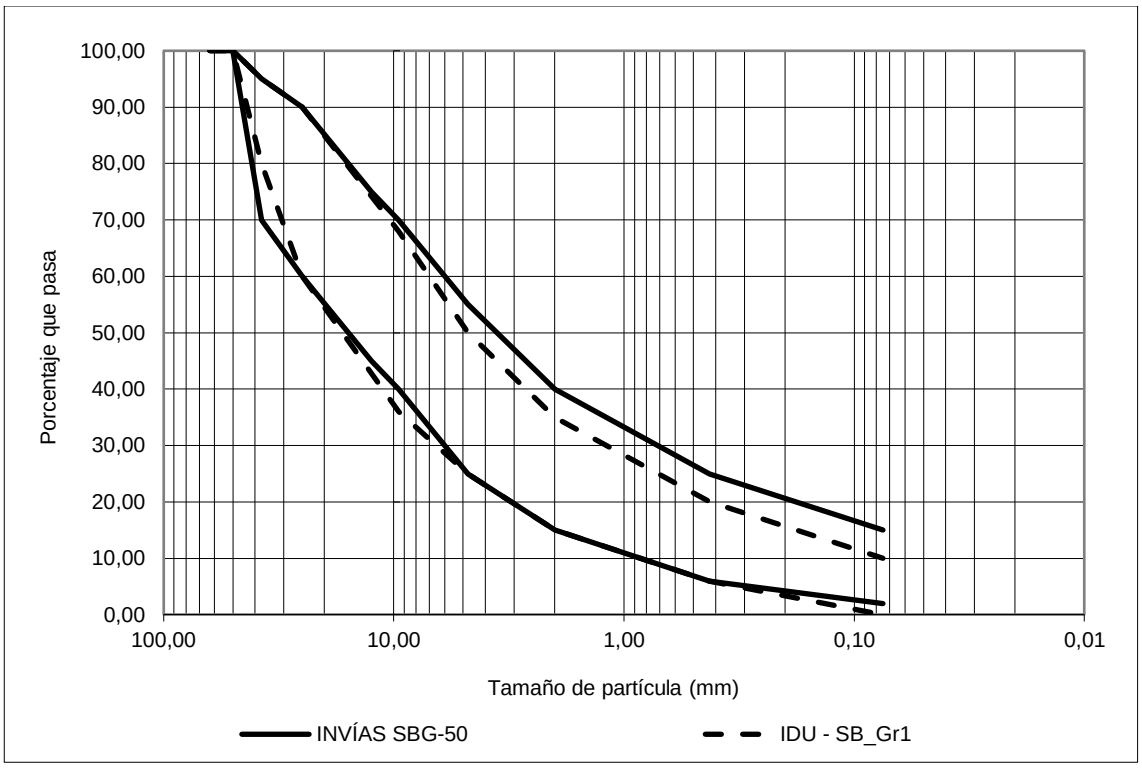
Tabla 3-3: Comparativo granulometría subbase granular INVIAS – IDU

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S Standard)										
	63.0	50.0	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	2 ½”	2"	1 ½”	1"	¾”	½”	⅜”	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
		% pasa									
INVIAS (SBG-50)	100	100	70-95	60-90	-	45-75	40-70	25-55	15-40	6-25	2-15
IDU (SB_Gr1)	100	100	80-95	60-90	-	-	36-68	25-50	15-35	6-20	0-10
% pasa											
INVIAS (SBG-38)	-	-	100	75-95		55-85	45-75	30-60	20-45	8-30	2-15
IDU (SB_Gr2)	-	-	100	75-95	62-88		42-78	28-55	16-40	6-22	0-12

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

En la **Figura 3-1** se comparan las gradaciones con tamaño máximo de 50 milímetros y se observa que la gradación del IDU sería comparativamente más gruesa y con una franja más estrecha para definir la fórmula de trabajo.

Figura 3-1: Granulometría subbase granular INVÍAS (SBG-50) – IDU (SB_Gr1)



Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

Para concluir sobre las diferencias entre especificaciones, al parecer la menor exigencia del IDU sobre la presencia de materiales finos deletéreos (plasticidad, equivalente de arena, valor de azul de metileno) se intenta compensar con la trituración de la fracción gruesa del agregado en la Clase A de dicha entidad.

3.1.2 Base granular

Al igual que el caso anterior, las especificaciones de base granular del INVÍAS y el IDU son similares con las siguientes salvedades:

- Desgaste en la máquina de Los Ángeles (100 revoluciones): El IDU no solicita este ensayo relacionado con la degradación mecánica del agregado grueso.
- Degradación por abrasión en el equipo Micro Deval: El INVIAS permite materiales de menor calidad relativa frente a IDU.
- Evaluación de la resistencia mecánica por el método del 10% de finos: El INVIAS acepta materiales de menor calidad relativa frente al IDU. El Desgaste Los Ángeles, el Micro Deval y el 10% de finos evalúan características similares (TRL, 1993).
- Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de sodio: El IDU no exige este ensayo, el cual permite determinar la resistencia de los agregados al intemperismo.
- Límite líquido: El IDU restringe la susceptibilidad a la humedad de la fracción fina, mientras que el INVIAS solo evalúa el límite líquido de la base granular en la Clase C.
- Equivalente de arena: El IDU acepta una mayor cantidad de material fino nocivo como polvo y finos arcillosos indeseables en el agregado.
- Partículas fracturadas mecánicamente: El IDU exige menor porcentaje de trituración.
- CBR: El INVIAS acepta materiales de menor resistencia al corte sin drenaje medida con esta prueba.

En la **Tabla 3-4** se presenta el comparativo para las bases granulares Clase A de ambas entidades.

Tabla 3-4: Comparativo requerimientos base granular Clase A. INVIAS – IDU

	BASE GRANULAR CLASE A	Norma Ensayo INV	Normas de Referencia	INVIAS	IDU
Dureza	Desgaste en la máquina de los ángeles, máximo (%), 500 revoluciones	E-218	ASTM C 131-06	35	35
	Desgaste en la máquina de los ángeles, máximo (%), 100 revoluciones			7	N.A
	Degradación por abrasión en el equipo Micro - Deval, máximo (%)	E-238	ASTM D 6928-10.	25	20
	10% de finos. Valor en seco, kN mínimo	E-224	BS 812 Part 110 – 1990 y SABS Method 842	90	100
	10% de finos. Relación húmedo/seco, % mínimo			75	75
Durabilidad	Pérdidas en ensayo de solidez en Sulfato de sodio, máximo (%)	E-220	ASTM C 88 – 05	12	N.A
	Pérdidas en ensayo de solidez en Sulfato de magnesio, máximo (%)			18	18
Limpieza	Límite líquido, máximo (%)	E-125	ASTM D 4318-10	N.A	25
	Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	ASTM D 4318-10	0	NP
	Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	ASTM D 2419-09	30	20
	Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%)	E-211	ASTM C 142/C 142M-10	2	2

	BASE GRANULAR CLASE A	Norma Ensayo INV	Normas de Referencia	INVIAS	IDU
	Valor de Azul de Metileno, máximo	E-235	Norma Europea EN 933-9	10	10
Geometría de las Partículas	Partículas fracturadas mecánicamente (1 cara), mínimo (%)	E-227	ASTM D 5821-01 (Re-aprobada 2006)	100	85
	Partículas fracturadas mecánicamente (2 caras), mínimo (%)			70	60
	Índice de aplanamiento, % máximo	E-230	BS 812-105.1: 1989 BS 812-105.2: 1990	35	35
	Índice de alargamiento, % máximo	E-230		35	35
	Angularidad del Agregado fino, % mínimo (RO)	E-239	ASTM C-1252-06	35	35
Resistencia del Material	CBR, % mínimo. Porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro días de inmersión.	E-148	ASTM D 1883-07	≥ 95	100

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

En la **Tabla 3-5** se presenta la comparación entre gradaciones de base granular de ambas entidades.

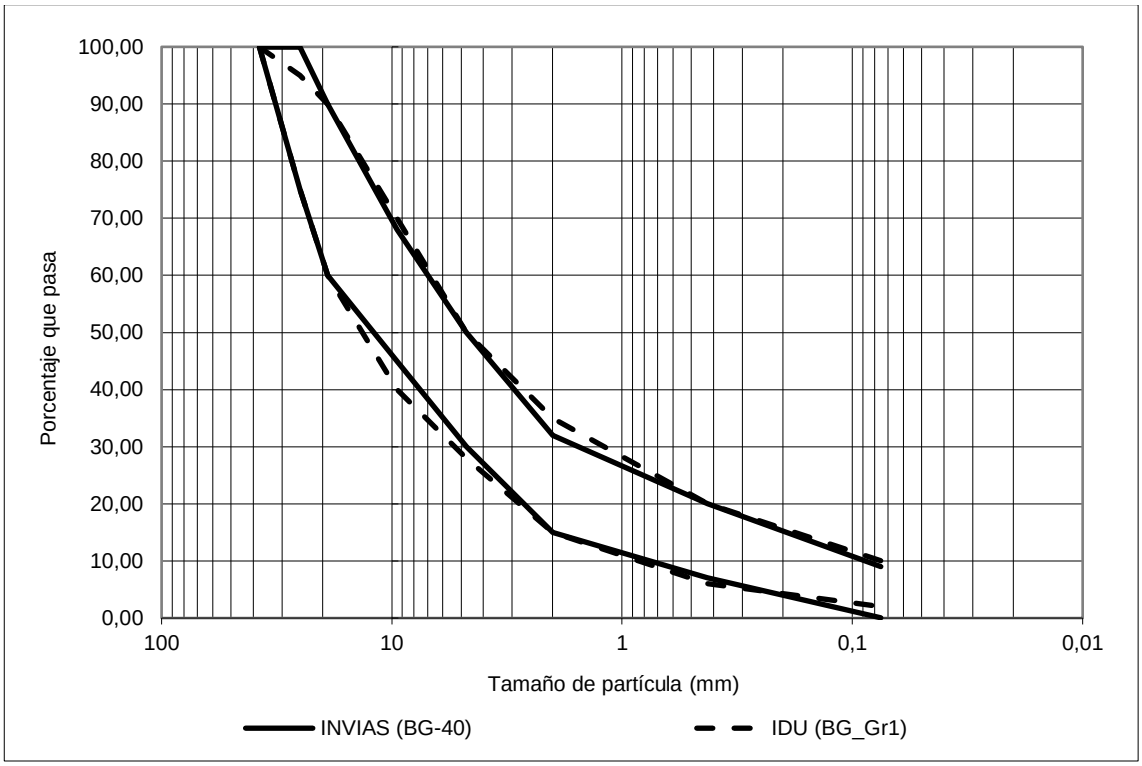
Tabla 3-5: Comparativo granulometría base granular INVIAS – IDU

Tipo de gradación	TAMIZ (mm / U.S Standard)								
	50.0	37.5	25.0	19.0	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	2"	1 ½"	1"	¾"	⅜"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
% PASA									
INVIAS (BG-40)	-	100	75-100	65-90	45-68	30-50	15-32	7-20	0-9
INVIAS (BG-38)	-	100	70-100	60-90	45-75	30-60	20-45	10-30	5-15
IDU (BG_Gr1)	-	100	75-95	60-90	40-70	28-50	15-35	6-20	2-10
% PASA									
INVIAS (BG-27)	-	-	100	75-100	52-78	35-59	20-40	8-22	0-9
INVIAS (BG-25)	-	-	100	70-100	50-80	35-65	20-45	10-30	5-15
IDU (BG_Gr2)	-	-	100	75-95	50-80	35-60	20-40	8-22	2-10

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

En la **Figura 3-2** se presenta la comparación de las franjas granulométricas de bases granulares con tamaño máximo de 38 mm. Las franjas son similares, aunque la especificación del IDU define un huso ligeramente más ancho que la norma del INVÍAS.

Figura 3-2: Granulometría base granular INVÍAS (BG-40) – IDU (BG-Gr1)



Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

3.2 Riego de imprimación

En esta sección se presenta el comparativo, con la metodología expuesta, de los requerimientos de los riegos de imprimación, de imprimación modificado con polímeros y de imprimación con asfalto líquido MC30.

3.2.1 Riegos de imprimación con emulsiones asfálticas

En esta sección se comparan las especificaciones de los riegos de imprimación con emulsiones de rotura rápida CRR-1 y CRR-2, rotura media CRM y rotura lenta CRL-0, CRL-1 y CRL-1h.

Las especificaciones del INVÍAS y el IDU son similares para las emulsiones CRR-1 y CRR-2, excepto en los siguientes aspectos:

- Viscosidad Saybolt – Furol para emulsión CRR-1: El INVÍAS y el IDU difieren en la temperatura de ensayo de la emulsión CRR-1 con 25°C y 50°C, respectivamente. Posiblemente, para representar las condiciones prevalecientes de uso en el territorio nacional para el INVÍAS y solo en Bogotá para el IDU.
- El rango de viscosidad para la emulsión CRR-2 es diferente entre INVÍAS e IDU para 50°C. La viscosidad mínima para INVÍAS es mucho mayor que para IDU.
- Estabilidad durante almacenamiento (24 horas) y sedimentación a los 5 días: El INVÍAS tiene valores máximos de 1% y 5% para cada ensayo, mientras que el IDU unifica el umbral en 5% para ambos casos.
- Solubilidad en tricloroetileno: El INVÍAS es ligeramente más exigente en la pureza del residuo de destilación.

En la **Tabla 3-6** y en la **Tabla 3-7** se presentan las comparaciones entre emulsiones CRR-1 y CRR-2 para imprimación en ambas entidades.

Tabla 3-6: Comparativo requerimientos riego de imprimación CRR-1 INVIAS – IDU

RIEGO DE IMPRIMACIÓN ROTURA RÁPIDA CRR-1	Norma Ensayo INV	INVIAS		IDU	
		Min	Max	Min	Max
ENSAYOS SOBRE LA EMULSIÓN					
Viscosidad					
Saybolt Furol a 25°C	E-763	20	100	-	-
Saybolt Furol a 50 °C		-	-	20	100
Contenido de agua, %	E-761	-	40	-	40
Estabilidad durante almacenamiento (24 horas),%	E-764	-	1	-	5
Sedimentación a los 5 días % (IDU 7 días)		-	5	-	
Destilación					
Contenido de asfalto residual, %	E-762	60	-	60	-
Contenido de aceite, %		-	3	-	3
Tamizado	E-765	-	-	-	-
Retenido tamiz N° 20 (850 µm), %		-	0.10	-	0.10
Demulsibilidad, %	E-766	40	-	40	-
Rotura en ensayo de mezcla con cemento. %	E-770	-	-	-	-
Carga de partícula	E-767	Positiva		Positiva	
pH	E-768	-	6	-	6
Ensayos sobre el residuo de destilación					
ARD	E-706	60	100	60	100
ARB		100	250	100	250
Ductilidad (25°C, 5 cm/min), cm	E-702	40	-	40	-
Solubilidad en tricloroetileno, %	E-713	97.5	-	97	-

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

Tabla 3-7: Comparativo requerimientos riego de Imprimación CRR-2 INVIAS – IDU

RIEGO DE IMPRIMACIÓN ROTURA RÁPIDA CRR-2	Norma Ensayo INV	INVIAS		IDU	
		Min	Max	Min	Max
ENSAYOS SOBRE LA EMULSIÓN					
Viscosidad					
Saybolt Furol a 50 °C	E-763	100	400	20	300
Contenido de agua, %	E-761	-	35	-	35
Estabilidad durante almacenamiento (24 horas),%	E-764	-	1	-	5
Sedimentación a los 5 días % (IDU 7 días)		-	5	-	
Destilación					
Contenido de asfalto residual, %	E-762	65	-	65	-
Contenido de aceite, %		-	3	-	3
Tamizado	E-765	-	-	-	-
Retenido tamiz N° 20 (850 µm), %		-	0,1	-	0,1
Demulsibilidad, %	E-766	40	-	40	-
Rotura en ensayo de mezcla con cemento. %	E-770	-	-	-	-
Carga de partícula	E-767	Positiva		Positiva	
pH	E-768	-	6	-	6
Ensayos sobre el residuo de destilación					
ARD	E-706	60	100	60	100
ARB		100	250	100	250
Ductilidad (25°C, 5 cm/min), cm	E-702	40	-	40	-
Solubilidad en tricloroetileno, %	E-713	97,5	-	97	-

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

Las especificaciones para la emulsión de rotura media, CRM, son similares en INVÍAS e IDU, salvo por las mismas divergencias de: viscosidad de la emulsión como en CRR-2, requerimientos de estabilidad durante el almacenamiento como en CRR-1 y solubilidad en tricloroetileno como en CRR-1. Además, INVÍAS e IDU difieren en el contenido mínimo de asfalto residual o riqueza de la emulsión. En la **Tabla 3-8** se presenta la comparación entre emulsiones CRM para imprimación en ambas entidades.

Tabla 3-8: Comparativo requerimientos riego de imprimación CRM INVIAS – IDU

RIEGO DE IMPRIMACIÓN ROTURA MEDIA CRM	Norma Ensayo INV	INVIAS		IDU	
		Min	Max	Min	Max
ENSAYOS SOBRE LA EMULSIÓN					
Viscosidad					
Saybolt Furol a 50 °C	E-763	50	450	20	450
Contenido de agua, %	E-761	-	35	-	35
Estabilidad durante almacenamiento (24 horas),%	E-764	-	1	-	5
Sedimentación a los 5 días % (IDU 7 días)		-	5	-	
Destilación					
Contenido de asfalto residual, %	E-762	65	-	60	-
Contenido de aceite, %		-	12	-	12
Tamizado					
Retenido tamiz N° 20 (850 µm), %	E-765	-	0,1	-	0,1
Carga de partícula	E-767	Positiva		Positiva	

RIEGO DE IMPRIMACIÓN ROTURA MEDIA CRM	Norma Ensayo INV	INVIAS		IDU	
		Min	Max	Min	Max
pH	E-768	-	6	-	6
Cubrimiento del agregado y resistencia al desplazamiento					
con agregado seco	E-769	Buena		Buena	
con agregado seco y acción del agua		Satisfactoria		Satisfactoria	
con agregado húmedo		Satisfactoria		Satisfactoria	
con agregado húmedo y acción del agua		Satisfactoria		Satisfactoria	
Ensayos sobre el residuo de destilación					
Penetración 25°C, 100 gr, 5 S), 0.1 mm		100	250	100	250
Ductilidad (25°C, 5 cm/min), cm	E-702	40	-	40	-
Solubilidad en tricloroetileno, %	E-713	97,5	-	97	-

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

Al igual que en los casos anteriores, la emulsión de rotura lenta CRL-0 tiene exigencias similares en INVÍAS e IDU salvo por la solubilidad en tricloroetileno como en CRR-1. En la **Tabla 3-9** se presenta la comparación entre emulsiones CRL-0 para imprimación en ambas entidades.

Tabla 3-9: Comparativo requerimientos riego de imprimación CRL-0 INVIAS – IDU

RIEGO DE IMPRIMACIÓN ROTURA LENTA CRL-0	Norma Ensayo INV	INVIAS		IDU	
		Min	Max	Min	Max
ENSAYOS SOBRE LA EMULSIÓN					
Viscosidad					
Saybolt Furol a 25°C	E-763	-	50	-	50
Contenido de agua, %	E-761	-	50	-	50
Estabilidad durante almacenamiento (24 horas),%	E-764	-	-	-	10
Sedimentación a los 5 días % (IDU 7 días)		-	10	-	
Destilación					
Contenido de asfalto residual, %	E-762	40	-	40	-
Contenido de aceite, %		10	20	10	20
Tamizado					
Retenido tamiz N° 20 (850 µm), %	E-765	-	0,1	-	0,1
Carga de partícula	E-767	Positiva		Positiva	
pH	E-768	-	6	-	6
Ensayos sobre el residuo de destilación					
Penetración 25°C, 100 gr, 5 S), 0.1 mm		200	300	200	300
Ductilidad (25°C, 5 cm/min), cm	E-702	40	-	40	-
Solubilidad en tricloroetileno, %	E-713	97,5	-	97	-

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

Las exigencias para las emulsiones de rotura lenta CRL-1 y CRL-1h son similares en ambas especificaciones, excepto por la ausencia de límite inferior de viscosidad Saybolt Furol a 50°C en IDU. Por otra parte, se observan las mismas diferencias en estabilidad durante el almacenamiento y solubilidad en tricloroetileno de la emulsión CRR-1. En la

Tabla 3-10 y en la **Tabla 3-11** se presenta la comparación entre emulsiones CRL-1 y CRL-1h para imprimación en ambas entidades.

Tabla 3-10: Requerimientos riego de imprimación CRL-1 INVIAS – IDU

RIEGO DE IMPRIMACIÓN ROTURA LENTA CRL-1	Norma Ensayo INV	INVIAS		IDU	
		Min	Max	Min	Max
ENSAYOS SOBRE LA EMULSIÓN					
Viscosidad					
Saybolt Furol a 25°C	E-763	20	200	-	200
Contenido de agua, %	E-761	-	43	-	43
Estabilidad durante almacenamiento (24 horas),%	E-764	-	1	-	5
Sedimentación a los 5 días % (IDU 7 días)		-	5	-	
Destilación					
Contenido de asfalto residual, %	E-762	57	-	57	-
Tamizado					
Retenido tamiz N° 20 (850 µm), %	E-765	-	0,1	-	0,1
Carga de partícula	E-767	Positiva		Positiva	
pH	E-768	-	6	-	6
Ensayos sobre el residuo de destilación					
ARD	E-706	60	100	60	100
ARB		100	250	100	250
Ductilidad (25°C, 5 cm/min), cm	E-702	40	-	40	-
Solubilidad en tricloroetileno, %	E-713	97,5	-	97	-

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

Tabla 3-11: Requerimientos riego de imprimación CRL-1h INVIAS – IDU

RIEGO DE IMPRIMACIÓN ROTURA LENTA CRL-1h	Norma Ensayo INV	INVIAS		IDU	
		Min	Max	Min	Max
ENSAYOS SOBRE LA EMULSIÓN					
Viscosidad					
Saybolt Furol a 25°C	E-763	20	100	-	100
Contenido de agua, %	E-761	-	43	-	43
Estabilidad durante almacenamiento (24 horas),%	E-764	-	1	-	5
Sedimentación a los 5 días % (IDU 7 días)		-	5	-	
Destilación					
Contenido de asfalto residual, %	E-762	57	-	57	-
Tamizado					
Retenido tamiz N° 20 (850 µm), %	E-765	-	0,1	-	0,1
Rotura en ensayo de mezcla con cemento. %	E-770	-	2	-	2
Carga de partícula	E-767	Positiva		Positiva	
pH	E-768	-	6	-	6
Ensayos sobre el residuo de destilación					
Penetración 25°C, 100 gr, 5 S), 0.1 mm		60	100	60	100
Ductilidad (25°C, 5 cm/min), cm	E-702	40	-	40	-
Solubilidad en tricloroetileno, %	E-713	97,5	-	97	-

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

3.2.2 Riego de imprimación modificado con polímeros

Las especificaciones de riego de imprimación con emulsión asfáltica modificada con polímeros del INVÍAS y el IDU son similares. En todos los casos de rotura rápida, media y lenta se presentan las siguientes divergencias:

- Estabilidad durante almacenamiento (24 horas) y sedimentación a los 5 días: El INVÍAS tiene valores máximos de 1% y 5% para cada ensayo, mientras que el IDU unifica el umbral en 5% para ambos casos.
- Sedimentación: El IDU tiene el mismo umbral de sedimentación máxima de 5%, pero exige un ensayo de 7 días, más largo que el definido por el INVÍAS de 5 días.

De la **Tabla 3-12** a la **Tabla 3-15** se presenta la comparación de las especificaciones INVÍAS e IDU para emulsiones asfálticas modificadas con polímeros de rotura rápida, media y lenta.

Tabla 3-12: Requerimientos riego de imprimación CRR-1m INVIAS – IDU

ROTURA RÁPIDA CRR - 1m	Unidad	Norma Ensayo INV	INVIAS		IDU	
			Min	Max	Min	Max
ENSAYOS SOBRE LA EMULSIÓN						
Viscosidad						
Saybolt Furol a 50 °C	s	E-763	20	100	20	100
Contenido de agua en volumen	%	E-761	-	40	-	40
Estabilidad durante almacenamiento (24 horas)	%	E-764	-	1	-	5
Sedimentación a los 5 días (IDU 7 días)	%		-	5	-	
Destilación						
Contenido de asfalto residual	%	E-762	60	-	60	-
Contenido de disolventes	%		-	3	-	3
Retenido tamiz N° 20 (850 µm)		E-765	-	0,1	-	0,1
Rotura		E-766	40	-	-	-
Dioctilsulfocinato sódico	%	E-770			40	-
Carga de partícula		E-767	Positiva		Positiva	
pH		E-768	-	6	-	6
Ensayos sobre el residuo de destilación						
Penetración 25°C, 100 gr, 5 S)	0,1 mm	E-706	60 100	100 250	60 100	100 250
Punto de ablandamiento con aparato de anillo y bola	1C	E-712	55 45	-	55 45	-
Ductilidad (25°C, 5 cm/min) (IDU 5ºC)	cm	E-702	10	-	10	-
Recuperación elástica por torsión 25°C	%	E-727	12	-	12	-

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

Tabla 3-13: Requerimientos riego de imprimación CRR-2m INVIAS – IDU

ROTURA RÁPIDA CRR - 2m	Unidad	Norma Ensayo INV	INVIAS		IDU	
			Min	Max	Min	Max
ENSAYOS SOBRE LA EMULSIÓN						
Viscosidad						
Saybolt Furol a 50 °C	s	E-763	20	300	20	300
Contenido de agua en volumen	%	E-761	-	35	-	35
Estabilidad durante almacenamiento (24 horas)	%	E-764	-	1	-	5
Sedimentación a los 5 días (IDU 7 días)	%		-	5	-	
Destilación						
Contenido de asfalto residual	%	E-762	65	-	65	-
Contenido de disolventes	%		-	3	-	3
Retenido tamiz N° 20 (850 µm)		E-765	-	0,1	-	0,1
Rotura		E-766	40	-	40	-
Dioctilsulfocinato sódico	%	E-770			-	-
Carga de partícula		E-767	Positiva		Positiva	
pH		E-768	-	6	-	6
Cubrimiento del agregado y resistencia al desplazamiento						
con agregado seco		E-769	Buena		Buena	
con agregado seco y acción del agua			Satisfactoria		Satisfactoria	
con agregado húmedo			Satisfactoria		Satisfactoria	
con agregado húmedo y acción del agua			Satisfactoria		Satisfactoria	
Ensayos sobre el residuo de destilación						
Penetración 25°C, 100 gr, 5 S)	0,1 mm	E-706	60 100	100 250	60 100	100 250
Punto de ablandamiento con aparato de anillo y bola	1C	E-712	55 45	-	55 45	-
Ductilidad (25°C, 5 cm/min) (IDU 5ºC)	cm	E-702	10	-	10	-
Recuperación elástica por torsión 25ºC	%	E-727	12	-	12	-

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

Tabla 3-14: Requerimientos riego de imprimación CRM-m INVIAS – IDU

ROTURA MEDIA CRM - m	Unidad	Norma Ensayo INV	INVIAS		IDU	
			Min	Max	Min	Max
ENSAYOS SOBRE LA EMULSIÓN						
Viscosidad						
Saybolt Furol a 50 °C	s	E-763	20	450	20	450
Contenido de agua en volumen	%	E-761	-	35	-	35
Estabilidad durante almacenamiento (24 horas)	%	E-764	-	1	-	5
Sedimentación a los 5 días (IDU 7 días)	%		-	5	-	
Destilación						
Contenido de asfalto residual	%	E-762	60	-	60	-
Contenido de disolventes	%		-	12	-	12
Retenido tamiz N° 20 (850 µm)		E-765	-	0,1	-	0,1
Carga de partícula		E-767	Positiva		Positiva	
pH		E-768	-	6	-	6
Ensayos sobre el residuo de destilación						
Penetración 25°C, 100 gr, 5 S)	0,1 mm	E-706	100	250	100	250
Punto de ablandamiento con aparato de anillo y bola	1C	E-712	40	-	40	-
Ductilidad (25°C, 5 cm/min) (IDU 5ºC)	cm	E-702	10	-	10	-
Recuperación elástica por torsión 25ºC	%	E-727	12	-	12	-

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

Tabla 3-15: Requerimientos riego de imprimación CRL-1hm INVIAS – IDU

ROTURA LENTA CRL - 1hm	Unidad	Norma Ensayo INV	INVIAS		IDU	
			Min	Max	Min	Max
ENSAYOS SOBRE LA EMULSIÓN						
Viscosidad						
Saybolt Furol a 25°C	s	E-763	-	100	-	100
Contenido de agua en volumen	%	E-761	-	43	-	43
Estabilidad durante almacenamiento (24 horas)	%	E-764	-	1	-	5
Sedimentación a los 5 días (IDU 7 días)	%		-	5	-	
Destilación						
Contenido de asfalto residual	%	E-762	57	-	57	-
Contenido de disolventes	%		-	0	-	0
Retenido tamiz N° 20 (850 µm)		E-765	-	0,1	-	0,1
Mezcla con cemento	%	E-770	-	2	-	2
Carga de partícula		E-767	Positiva		Positiva	
pH		E-768	-	6	-	6
Ensayos sobre el residuo de destilación						
Penetración 25°C, 100 gr, 5 S)	0,1 mm	E-706	60	100	60	100
Punto de ablandamiento con aparato de anillo y bola	1C	E-712	55 45	-	55 45	-
Ductilidad (25°C, 5 cm/min) (IDU 5ºC)	cm	E-702	10	-	10	-
Recuperación elástica por torsión 25ºC	%	E-727	12	-	12	-

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

3.2.3 Riego de imprimación con asfalto líquido MC30

Para riego de imprimación con asfalto líquido MC30 no se encuentran diferencias entre las Especificaciones del INVIAS y del IDU. La comparación de ambas entidades se presenta en la **Tabla 3-16**:

Tabla 3-16: Requerimientos riego de imprimación MC30 INVIAS – IDU

RIEGO DE IMPRIMACIÓN ASFALTO LÍQUIDO MC30	Unidad	Norma Ensayo INV	Norma de Referencia	INVIAS		IDU	
				Min	Max	Min	Max
Punto de inflamación (Copa abierta de TAG.)	°C	E-710	ASTM D 3143-08	38	-	38	-
Viscosidad cinemática (60ºC)	cSt	E-715	ASTM D2170/D2170M - 10	30	60	30	60
Viscosidad Saybolt Furol (25ºC)	s	E-714	ASTM D 88-07	75	150	75	150
Destilado A 225ºC	%	E-723	ASTM D 402 – 08	-	25	-	25
Destilado A 260ºC	%			40	70	40	70
Destilado A 316ºC	%			75	93	75	93
Residuo de destilación a 360ºC (% en volumen por diferencia)	%	E-723	ASTM D 402 – 08	50	60	50	60
Ensayos sobre el residuo de la destilación							
Penetración (25ºC, 100 g, 5s)	0,1 mm	E-706	ASTM D 5-06	120	300	120	300
Ductilidad (25ºC, 5 cm/minuto)	cm	E-702	ASTM D 113-07	100	-	100	-
Solubilidad en tricloroetileno	%	E-713	ASTM D 2042-09	99,5	100	99,5	100

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

3.3 Tratamientos superficiales simples y dobles

El INVÍAS considera los tratamientos superficiales para tránsitos de los niveles NT1 y NT2. En contraste, el IDU los considera para todo el espectro de agresividad del tránsito como se muestra en la **Tabla 3-17** y **Tabla 3-18**. Aunque las exigencias no son directamente comparables debido a las diferencias en los rangos de las categorías de tránsito, se aprecia que los parámetros son iguales en ambas entidades.

Tabla 3-17: Requerimientos tratamiento superficial simple INVIAS – IDU

Tratamiento Superficial Simple		Norma Ensayo INV	Norma Referencia	INVIAS		IDU		
				NT1	NT2	T0-T1	T2-T3	T4-T5
Dureza	Desgaste en la máquina de los ángeles, 500 revoluciones. Máx. (%)	E-218	ASTM C 131-06	25	25	≤25	≤25	≤25
	Desgaste en la máquina de los ángeles, 100 revoluciones. Máx. (%)			5	5	-	-	-
	Degradación por abrasión en el equipo Micro - Deval, máximo (%)	E-238	ASTM D 6928-10		25	-	≤25	≤25
	Coeficiente de pulimento acelerado, mínimo	E-232	UNE-EN 1097-8	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Durabilidad	Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, agregado grueso máximo (%)	E-220	ASTM C 88-05	18	18	18	18	18
Limpieza	Impurezas en agregado grueso, máximo (%)	E-237	NLT 172/86 UNE 146130:2000	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Geometría de las Partículas	Partículas fracturadas mecánicamente (1 cara), mín. (%)	E-227	ASTM D 5821-01	75	75	75	75	90
	Partículas fracturadas mecánicamente (2 caras), mín. (%)			-	60	-	60	85
	Índice de aplanamiento, % máximo	E-230	BS 812-105.1: 1989 BS 812-105.2: 1990	30	30	30	30	30
	Índice de alargamiento, % máximo	E-230				30	30	30
Adhesividad	Bandeja, mínimo (%)	E-740	RTA Test Method T 230, Feb 2001	80	80	80	80	80

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

Tabla 3-18: Requerimientos tratamiento superficial doble INVIAS – IDU

Tratamiento Superficial Doble		Norma Ensayo INV	Norma Referencia	INVIAS		IDU		
				NT1	NT2	T0-T1	T2-T3	T4-T5
Dureza	Desgaste en la máquina de los ángeles, 500 revoluciones. Máx. (%)	E-218	ASTM C 131-06	25	25	≤25	≤25	≤25

Tratamiento Superficial Doble		Norma Ensayo INV	Norma Referencia	INVIAS		IDU		
				NT1	NT2	T0-T1	T2-T3	T4-T5
	Desgaste en la máquina de los ángeles, 100 revoluciones. Máx. (%)			5	5	-	-	-
	Degradación por abrasión en el equipo Micro - Deval, máximo (%)	E-238	ASTM D 6928-10	-	25	-	≤25	≤25
	Coeficiente de pulimento acelerado, mínimo	E-232	UNE-EN 1097-8	0.45	0.45	0,45	0,45	0,45
Durabilidad	Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, agregados fino y grueso máximo (%)	E-220	ASTM C 88-05	18	18	18	18	18
Limpieza	Impurezas en agregado grueso, máximo (%)	E-237	NLT 172/86 UNE 146130:2000	0.5	0.5	0,5	0,5	0,5
Geometría de las Partículas	Partículas fracturadas mecánicamente (1 cara), mín. (%)	E-227	ASTM D 5821-01	75	75	75	75	90
	Partículas fracturadas mecánicamente (2 caras), mín. (%)			-	60	-	60	85
	Índice de aplanamiento, % máximo	E-230	BS 812-105.1: 1989	30	30	30	30	30
	Índice de alargamiento, % máximo	E-230	BS 812-105.2: 1990			30	30	30
Adhesividad	Bandeja, mínimo (%)	E-740	RTA Test Method T 230, Feb 2001	80	80	80	80	80

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

En la **Tabla 3-19** y la **Tabla 3-20** se presenta la comparación entre gradaciones de los tratamientos superficiales simple y doble de ambas entidades.

Tabla 3-19: Comparativo requerimientos granulometrías TSS INVIAS – IDU

Tipo de Gradación		TAMIZ (mm / U.S Standard)							
		19.0	15.9	12.5	9.5	6.3	4.75	2.36	0.425
		¾”		½”	⅜”	¼”	No. 4	No. 8	No. 40
TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE - % PASA									
INV	TSS-19	100	-	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-
	TSS-13	-	-	100	90-100	10-40	0-15	0-5	-
IDU	A	100	90-100	40-70	0-15	0-2	-	-	-
	B	-	100	90-100	40-70	0-10	0-3	-	-
	C	-	-	100	90-100	40-70	0-10	-	0-3

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

Tabla 3-20: Comparativo requerimientos granulometrías TSD INVIAS – IDU

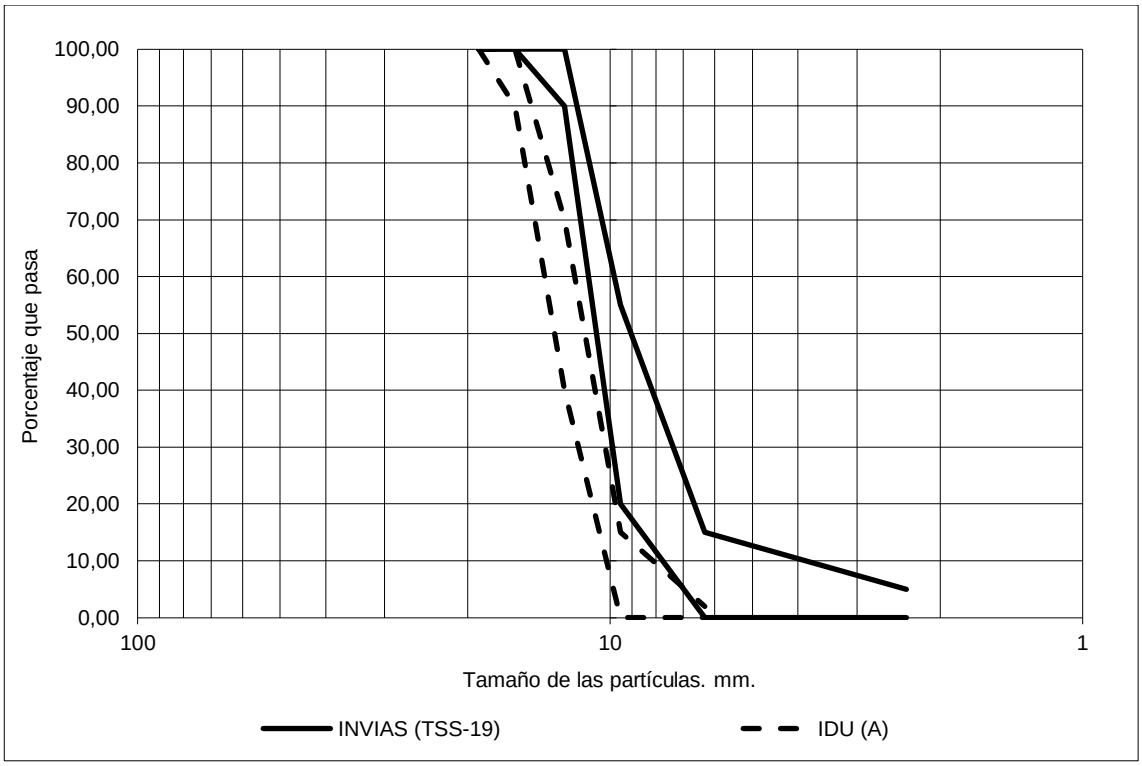
Tipo de Gradación		TAMIZ (mm / U.S Standard)										
		25.0	19.0	15.9	12.5	9.5	6.3	4.75	2.36	1.18	0.425	0.15
		1"	¾"		½"	⅜"	¼"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 40	No. 200
TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE - % PASA												
INVÍAS	TSD-25	100	90-100	-	10-45	0-15	-	0-5	-	-	-	-
	TSD-19	-	100	-	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-	-	-
	TSD-13	-	-	-	100	90-100	10-40	0-15	0-5	-	-	-
	TSD-10	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	0-5	-	-
IDU	Arenas grueso		100	80-100	50-80	-	0-10	-	-	-	0-1	-
	Arenas fino		-	-	-	100	75-100	0-15	-	-	0-2	-
	Gravas grueso		-	100	90-100	-	0-15	0-5	-	-	0-1	-
	Gravas fino		-	-	-	100	95-100	30-60	-	-	0-10	0-2

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

En la **Figura 3-3** se presenta la comparación de las franjas granulométricas del tratamiento superficial simple con tamaño máximo de 19 mm. No se tiene similitud en las franjas evaluadas pues el IDU establece materiales más gruesos.

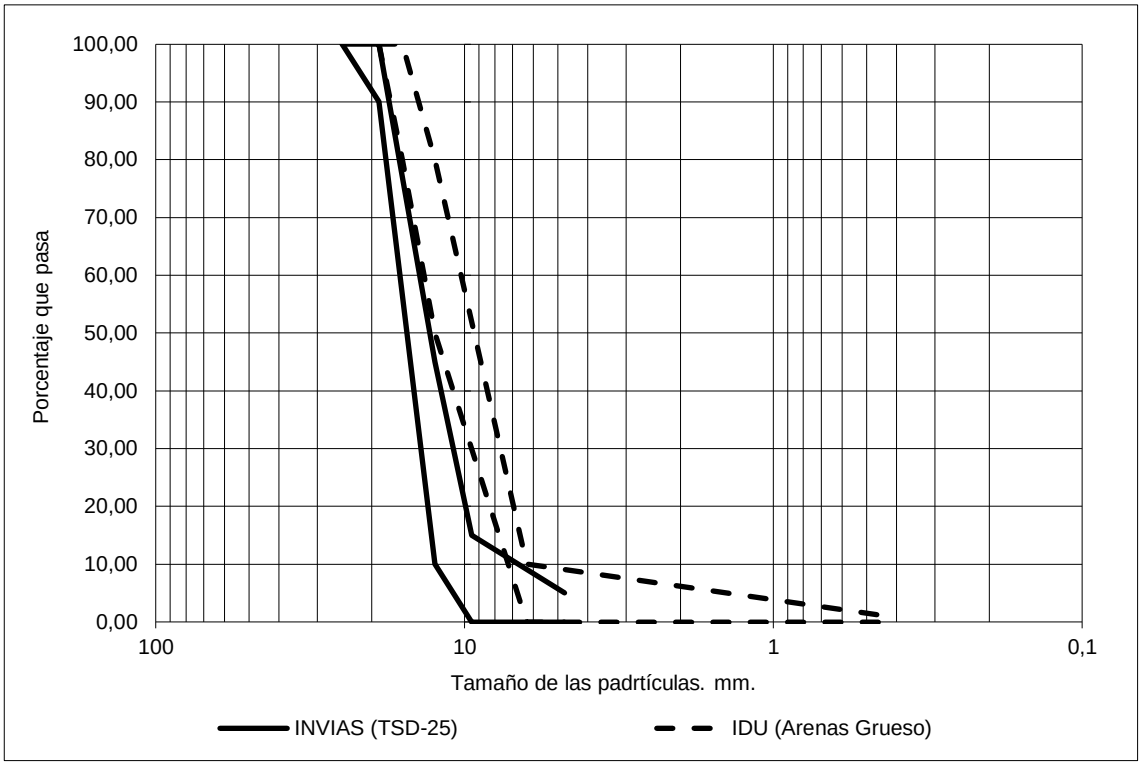
En la **Figura 3-4** se presenta la comparación de las franjas granulométricas del tratamiento superficial doble con tamaño máximo de 25 mm. Al igual que en el tratamiento superficial simple, no se tiene similitud en las franjas evaluadas.

Figura 3-3: Granulometría TSS INVÍAS (TSS-19) – IDU (A)



Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

Figura 3-4: Granulometría TSD INVÍAS (TSD-25) – IDU (Arenas Grueso)



Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

En la **Tabla 3-21** se presentan los requerimientos granulométricos para el tratamiento superficial triple del IDU. El INVÍAS no considera tratamientos tricapa.

Tabla 3-21: Comparativo requerimientos granulometrías TST IDU

Tipo de Gradación		TAMIZ (mm / U.S Standard)										
		37.5	32.0	25.4	19.0	15.9	12.5	9.5	6.3	4.75	0.425	0.15
		1 ½"		1"	¾"		½"	⅜"	¼"	No. 4	No. 40	No. 200
TRATAMIENTO SUPERFICIAL TRIPLES - % PASA												
IDU	Arenas grueso	100	90-100	40-80	15-45	-	0-5	-	-	-	0-2	-
	Arenas intermedio	-	-	-	-	100	90-100	-	20-45	0-5	0-2	-
	Arenas fino	-	-	-	-	-	-	100	85-100	0-15	0-3	-
	Gravas grueso	100	90-100	40-80	15-45	-	0-5	-	0-1	-	-	-
	Gravas intermedio	-	-	-	-	100	90-100	-	20-60	0-5	0-1	-
	Gravas fino	-	-	-	-	-	-	100	95-100	30-60	0-10	0-2

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

3.4 Sello de arena

La comparación de las especificaciones de sello de arena es similar a la de los tratamientos superficiales, pues, aunque INVÍAS e IDU difieren en los niveles de tránsito, las exigencias son iguales, salvo los siguientes casos:

- El IDU no tiene en cuenta el ensayo de equivalente de arena.
- El INVÍAS no tiene en cuenta el ensayo de terrones de arcilla y partículas deleznables.

En la **Tabla 3-22** se presenta el comparativo de los requerimientos exigidos para el sello de arena de ambas entidades.

Tabla 3-22: Comparativo requerimientos sello de arena INVIAS – IDU

Sello DE Arena – Asfalto		Norma Ensayo INV	Norma Referencia	INVIAS		IDU
				NT1	NT2	Todas las categorías
Durabilidad	Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, máximo (%)	E-220	ASTM C 88-05	18		18
Limpieza	Índice de plasticidad	E-125 y E-126	ASTM D 4318-10	NP		NP
	Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	ASTM D 2419-09	50		-
	Terrenos de arcilla y partículas deleznables, % máximo	E-211	ASTM C 142/C 142M-10	-		2
	Valor de azul de metileno (si aplica), máximo	E-235	Norma Europea EN 933-9	10		10
Geometría de las Partículas	Angularidad de la fracción fina, mínimo (%)	E-239	ASTM C 1252-06	45		45
Adhesividad	Riedel Webber, mínimo (%)	E-774	NLT 355/93	4		4

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

En la **Tabla 3-23** se presenta la comparación entre gradaciones de sello de arena de ambas entidades. No se presenta gráfica granulométrica, ya que tanto el INVÍAS como el IDU establecen los mismos valores en las franjas evaluadas.

Tabla 3-23: Granulometría sello de arena INVIAS – IDU

Tipo de Gradación		TAMIZ (mm / U.S Standard)						
		9.5	4.75	2.36	1.15	0.600	0.300	0.150
		⅜"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100
% PASA								
INV	SAA-10	100	95-100	80-100	50-85	25-60	10-30	2-10
IDU	SAA3	100	95-100	80-100	50-85	25-60	10-30	2-10

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

3.5 Lechada

En la **Tabla 3-24** y la **Tabla 3-25** se presenta el comparativo de los requisitos de la lechada de ambas entidades. El INVÍAS tiene en cuenta la clasificación de tránsitos NT1, NT2 y NT3 por separado. El IDU agrupa las seis categorías de tránsito en un solo grupo de requisitos. En el comparativo de ambas normas se encuentra similitud en algunos ensayos; no obstante, el IDU exige la realización de todos los ensayos correspondientes a dureza, durabilidad, limpieza y geometría de las partículas frente al INVIAS que no exige la evaluación de la resistencia mecánica por el método del 10% de finos y los ensayos de geometría de las partículas.

Tabla 3-24: Comparativo requerimientos lechada INVIAS – IDU

LECHADA		Norma Ensayo INV	Norma Referencia	INVIAS			IDU
				NT1	NT2	NT3	Todas las categorías
Dureza	Desgaste en la máquina de los ángeles, máximo (%), 500 revoluciones	E-218	ASTM C 131-06	25	25	25	25
	Degradación por abrasión en el equipo Micro - Deval, máximo (%)	E-238	ASTM D 6928-10	-	25	20	20
	10% finos, Valor en seco, kN mínimo	E-224	BS 812 Part 110 SABS METHOD 842	-	-	-	75
	10% finos, Relación húmedo/seco, % mínimo			-	-	-	75
Durabilidad	Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, agregado grueso máximo (%)	E-220	ASTM C 88-05	18	18	18	18
Limpieza	Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 Y E-126	ASTM D 4318-10	NP	NP	NP	NP
	Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	ASTM D 2419-09	50	50	50	40
	Valor azul de metileno, máximo	E-235	Norma Europea EN 933-9	10	10	10	8

LECHADA		Norma Ensayo INV	Norma Referencia	INVIAS			IDU
				NT1	NT2	NT3	Todas las categorías
Geometría de las Partículas	Partículas fracturadas mecánicamente (1 cara), mín. (%)	E-227	ASTM D 5821-01	-	-	-	90
	Partículas fracturadas mecánicamente (2 caras), mín. (%)			-	-	-	75
	Índice de aplanamiento, % máximo	E-230	BS 812-105.1: 1989 BS 812-105.2: 1990	-	-	-	25
	Índice de alargamiento, % máximo	E-230		-	-	-	25
	Angularidad de la fracción fina, método A, mínimo (%)	E-239	ASTM C 1252-06	45	45	45	45
Resistencia al pulimiento	Coeficiente de Pulimento Acelerado para capas de rodadura, valor mínimo	E-232	UNE-EN 1097-8	-	-	-	0.45
Adhesividad	Riedel Webber, mínimo	E-774	NLT 355/93	4	4	4	-

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

Tabla 3-25: Requerimientos lechada según tipo de agregado INVIAS – IDU

Tipos de agregado	IDU (LA-10)	IDU (LA-5)	IDU (LA-4)	IDU (LA-2)
	INV (LA-13)	INV (LA-10)	INV (LA-5)	INV (LA.3)
Ligante residual (% en peso sobre agregados).	5.5 a 7.5	6.5 a 12.0	7.0 a 13.0	10.0 a 15.0
Agua de pre-envuelta (% en peso sobre agregados).	8 a 12	10 a 15	10 a 15	10 a 20
Agua total (% en peso sobre agregados).	10 a 20	10 a 20	10 a 20	10 a 30
Cantidad de lechada (kg/m²).	15 a 20	10 a 15	7 a 12	4 a 8
Capa en que se aplica	2da ó única		Cualquiera	1ra ó única

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

En la **Tabla 3-26** se presenta la comparación entre gradaciones de lechada de ambas entidades. No se presenta curva granulométrica porque el INVÍAS y el IDU definen los mismos valores en las franjas evaluadas.

Tabla 3-26: Comparativo requerimientos granulometrías lechada INVIAS – IDU

Tipo de Gradación	TAMIZ (mm / U.S Standard)								
	12.5	9.5	4.75	2.36	1.15	0.600	0.300	0.180	0.075
	½"	⅜"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 80	No. 200
% PASA									
INVIAS (LA-13)	100	85-100	60-85	40-60	28-45	19-34	12-25	7-18	4-8
IDU (LA-10)	100	85-100	60-85	40-60	28-45	19-34	12-25	7-18	4-8
% PASA									
INVIAS (LA-10)	-	100	70-90	45-70	28-50	19-34	12-25	7-18	4-8
IDU (LA-5)	-	100	70-90	45-70	28-50	19-34	12-25	7-18	5-11
% PASA									
INVIAS (LA-5)	-	100	85-100	65-90	45-70	30-50	18-30	10-20	5-15
IDU (LA-4)	-	100	85-100	65-90	45-70	30-50	18-30	10-20	5-15

Tipo de Gradación	TAMIZ (mm / U.S Standard)								
	12.5	9.5	4.75	2.36	1.15	0.600	0.300	0.180	0.075
	½"	⅜"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 80	No. 200
% PASA									
INVIAS (LA-3)	-	-	100	95-100	65-90	40-60	24-42	15-30	10-20
IDU (LA-2)	-	-	100	95-100	65-90	40-60	24-42	15-30	10-20

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

3.6 Mezclas asfálticas

En esta sección se analizan las mezclas asfálticas en frío y en caliente. Tanto el INVÍAS como el IDU separan los parámetros de evaluación de las mezclas de acuerdo con el nivel de tránsito. Como ya se ha dicho, esto dificulta la comparación entre especificaciones pues los niveles de agresividad del tránsito de ambas entidades no son coincidentes.

3.6.1 Mezclas asfálticas en frío (MAF)

En la **Tabla 3-27** se presenta el comparativo de los requerimientos de las mezclas asfálticas *densas* en frío. Existen muy pocas similitudes entre los valores exigidos por cada entidad en cada uno de los ensayos:

- Desgaste en la máquina de Los Ángeles: Para la capa de rodadura, el INVIAS es más exigente para tránsito menor a 5 millones de ejes equivalente de 80 kN; caso contrario ocurre para las vías de mayor tráfico, donde la exigencia del IDU es superior, requiriendo materiales de mejor calidad para soportar las actividades de construcción y operación sin degradarse mecánicamente.
- Degradación por abrasión en el equipo Micro Deval: El INVIAS no emplea este ensayo para materiales en vías con menos de 0.5 millones de ejes equivalente de 80 kN. Para las otras categorías de tránsito, los valores establecidos son similares a los del IDU.
- Evaluación de la resistencia mecánica por el 10% de finos – valor en seco: El INVIAS sólo exige este ensayo para las vías con tránsito NT3 y acepta materiales con menor dureza en la capa intermedia.
- Evaluación de la resistencia mecánica por el 10% de finos – relación húmedo/seco: Al igual que el ensayo anterior, el INVIAS sólo lo exige para vías con tránsito NT3 y establece el mismo valor de cumplimiento que el IDU.

- Proporción máxima de arena natural: El INVÍAS define un solo valor de 50% máximo del agregado fino para cualquier capa y nivel de tránsito. El IDU tiene valores diferenciados desde 25% hasta 100%, este último en capas de base asfáltica con tráfico T0-T1.
- El IDU no exige los ensayos de impurezas en agregado grueso, índice de plasticidad, equivalente de arena y valor azul de metileno.
- Caras fracturadas: El IDU es más exigente en la calidad de los materiales frente a la resistencia a compresión, flexión y adherencia entre la mezcla y el agregado.
- Ensayo de geometría de las partículas: El INVÍAS emplea el ensayo de partículas planas y alargadas, mientras que el IDU considera el índice de alargamiento y aplanamiento.
- Angularidad de la fracción fina: El IDU exige más cantidad de partículas angulares, las cuales son importantes para el desempeño de la mezcla.
- Adhesividad: No exigible por el IDU.

Tabla 3-27: Comparativo requerimientos MAF densas INVIAS – IDU

	Ensayo	Norma Ensayo INV	Norma de Referencia	INVIAS			IDU		
				NT1	NT2	NT3	T0-T1	T2-T3	T4-T5
Dureza	**Desgaste en la máquina de los ángeles, máximo (%)**								
	Capa de Rodadura	E218	ASTM C 131-06	25	25	25	30	30	25
	Capa Intermedia			35	35	35	35	35	30
	Capa Base			N.A	35	35	35	35	30
	Degradación por abrasión en el equipo micro-Deval, máximo (%)								
	Capa de Rodadura	E-238	ASTM D 6928-10	N.A	25	20	25	25	20
	Capa Intermedia			N.A	30	25	30	30	25
	Capa Base			N.A	25	25	30	30	25
	Resistencia mecánica por el método del 10% de finos. Valor en seco. Mínimo (kN)								
	Capa de Rodadura	E-224	BS 812 Part 110 SABS METHOD 842	N.A	N.A	110	75	75	110
	Capa Intermedia			N.A	N.A	90	60	60	75
	Capa Base			N.A	N.A	75	60	60	75
	Resistencia mecánica por el método del 10% de finos. Relación húmedo/seco. Mínimo (%)								
	Capa de Rodadura	E-224	BS 812 Part 110 SABS METHOD 842	N.A	N.A	75	75	75	75
	Capa Intermedia			N.A	N.A	75			
	Capa Base			N.A	N.A	75			
	Coeficiente de pulimento acelerado para rodadura, mínimo	E-232	UNE-EN 1097-8	0.45	0.45	0.45	0.40	0.45	0.50
Contenido de Arena natural	**Proporción máxima de arena natural, en peso**								
	Capa de Rodadura	-	-	≤25 (Agregado combinado) ≤50 (Agregado fino)			50	35	25
	Capa Intermedia						75	40	25
	Capa Base						100	75	50
Durabilidad	Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de	E-220	ASTM C 88-05	18	18	18	18	18	18

	Ensayo	Norma Ensayo INV	Norma de Referencia	INVIAS			IDU		
				NT1	NT2	NT3	T0-T1	T2-T3	T4-T5
	magnesio, agregados fino y grueso, máximo (%)								
Limpieza, agregado grueso	Impurezas en agregado grueso, máximo (%)	E-237	NLT 172/86 UNE 146130: 2000	0.5	0.5	0.5	N.A	N.A	N.A
Limpieza, gradación combinada	Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	ASTM D 4318-10	NP	NP	NP	N.A	N.A	N.A
	Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	ASTM D 2419-09	50	50	50	N.A	N.A	N.A
	Valor de azul de metileno, máximo (%)	E-235	Norma Europea EN 933-9	10	10	10	N.A	N.A	N.A
Geometría de las Partículas, agregado grueso	Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%)	E-240	ASTM D 4791-10	10	10	10	N.A	N.A	N.A
	Caras fracturadas - 1 cara. Mínimo (%)								
	Capa de Rodadura	E-227	ASTM D 5821-01	75	75	85	75	75	90
	Capa Intermedia			60	75	75			
	Capa Base			N.A	60	60			
	Caras fracturadas - 2 caras. Mínimo (%)								
	Capa de Rodadura	E-227	ASTM D 5821-01	N.A	60	70	50	60	75
	Capa Intermedia			N.A	N.A	N.A			
	Capa Base			N.A	N.A	N.A			
	Índice de Aplanamiento, % máx.	E-230	BS 812-105.1: 1989 BS 812-105.2: 1990	N.A	N.A	N.A	25	25	20
	Índice de Alargamiento, % máximo			N.A	N.A	N.A	25	25	20
Geometría de las partículas, agregado fino	**Angularidad de la fracción fina, método A, mínimo (%)**								
	Capa de Rodadura	ASTM C 1252-06	AASHTO T-304	40	45	45	40	40	40
	Capa Intermedia			35	40	40	40	40	45
	Capa Base			N.A	35	35	45	45	45
Adhesividad	Agregado grueso: cubrimiento de los materiales con los agregados asfálticos en presencia de agua hirviendo, (%)	E-757	ASTM D 3625-96	Reportar			N.A	N.A	N.A
	Agregado fino: adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (métodos Riedel-weber), índice mínimo	E-774	NLT 355/93	4			N.A	N.A	N.A

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

En la **Tabla 3-28** se presenta el comparativo de las exigencias a las mezclas asfálticas *abiertas* en frío. Se tienen pocas similitudes en los valores establecidos por cada entidad para cada uno de los ensayos. Estas diferencias son analizadas a continuación:

- Desgaste en la máquina de Los Ángeles: Para la capa de rodadura, el INVIAS es más exigente para tránsito menor a 5 millones de ejes equivalente de 80 kN; para la capa intermedia, es el IDU el que exige materiales de mayor dureza.
- Degradación por abrasión en el equipo Micro Deval: El INVIAS es más exigente para la capa de rodadura y el IDU para la capa intermedia. El INVIAS no tiene valores establecidos para el tránsito NT1.
- Evaluación de la resistencia mecánica por el 10% de finos – valor en seco: El INVIAS sólo exige este ensayo para las vías con tránsito NT3 y es más exigente al evaluar la dureza del material.
- Evaluación de la resistencia mecánica por el 10% de finos – relación húmedo/seco: Al igual que el ensayo anterior, el INVIAS sólo lo exige para vías con tránsito NT3 y establece el mismo valor de cumplimiento que el IDU.
- EL IDU no exige los ensayos correspondientes a impurezas en agregado grueso y partículas planas y alargadas.
- Caras fracturadas: El IDU es más exigente en la calidad de los materiales frente a la resistencia a compresión, flexión y adherencia entre la mezcla y el agregado.
- Ensayo de geometría de las partículas: El INVÍAS emplea el ensayo de partículas planas y alargadas, mientras que el IDU considera el índice de alargamiento y aplanamiento.
- Angularidad y proporción máxima de arena natural: El INVÍAS no exige estos ensayos mientras que el IDU tiene umbrales de aceptación para las categorías de tránsito.
- Adhesividad: El INVÍAS solo exige reportar el resultado del ensayo, mientras que el IDU tiene umbrales de aceptación para las categorías de tránsito.

Tabla 3-28: Comparativo requerimientos MAF abiertas INVIAS – IDU

	Ensayo	Norma Ensayo INV	Norma Referencia	INVIAS			IDU		
				NT1	NT2	NT3	T0-T1	T2-T3	T4-T5
Dureza, agregado grueso	**Desgaste de la máquina de los ángeles, máximo (%)**								
	Capa Rodadura	E-218	ASTM C 131-06	25	25	25	30	30	25
	Capa Intermedia			35	35	35			
	Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)								
	Capa Rodadura	E-238	ASTM D 6928-10	N.A	25	20	25	25	20
	Capa Intermedia			N.A	30	25			
	Resistencia mecánica por el método del 10% de finos. Valor en seco. Mínimo (kN)								
	Capa Rodadura	E-224	BS 812 Part 110 SABS method 842	N.A	N.A	110	75	75	100
	Capa Intermedia			N.A	N.A	90			
	Resistencia mecánica por el método del 10% de finos. Relación húmedo/seco. Mínimo (%)								

	Ensayo	Norma Ensayo INV	Norma Referencia	INVIAS			IDU		
				NT1	NT2	NT3	T0-T1	T2-T3	T4-T5
	Capa Rodadura	E-224	BS 812 Part 110 SABS METHOD 842	N.A	N.A	75	75	75	75
	Capa Intermedia			N.A	N.A	75			
	Coeficiente de pulimento acelerado para rodadura, mínimo	E-232	UNE-EN 1097-8	0.45	0.45	0.45	0.40	0.45	0.50
Durabilidad	Pérdidas de ensayo de solidez en sulfato de Magnesio, agregado grueso y fino, máximo (%)	E-220	ASTM C 88-05	18	18	18	18	18	18
Limpieza, agregado grueso	Impurezas en agregado grueso, máximo (%)	E-237	NLT 172/86 UNE 146130: 2000	0.5	0.5	0.5	N.A	N.A	N.A
Geometría de las partículas, agregado grueso	Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%)	E-240	ASTM D 4791-10	10	10	10	N.A	N.A	N.A
	Caras fracturadas - 1 cara, mínimo (%)								
	Capa Rodadura	E-227	ASTM D 5821-01	75	75	85	75	75	90
	Capa Intermedia			-	60	70			
	Caras fracturadas - 2 caras, mínimo (%)								
	Capa Rodadura	E-227	ASTM D 5821-01	60	75	75	50	60	75
	Capa Intermedia			N.A	N.A	N.A			
	Índice de aplanamiento, Máx. (%)	E-230	BS 812-105.1: 1989 BS 812-105.2: 1990	N.A	N.A	N.A	25	25	20
	Índice de alargamiento, Máx. (%)			N.A	N.A	N.A	25	25	20
Adhesividad	Agregado grueso: cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia de agua hirviendo, mínimo (%)	E-757	ASTM D 3625-96	Reportar			0.40	0.45	0.50
Contenido de Arena natural	Proporción máxima de arena natural, en peso	-	-	N.A			50	35	25
Geometría de las partículas, agregado fino	Angularidad del Agregado fino, % mínimo	ASTM C 1252-06	AASHTO T-304	N.A			45	45	45

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

En la **Tabla 3-29** se presenta la comparación entre gradaciones de las mezclas asfálticas en frío del INVÍAS y el IDU. No se presenta gráfica pues los valores son iguales.

Tabla 3-29: Granulometría mezclas abiertas en frío INVIAS – IDU

TIPO DE MEZCLA	Tamiz (mm / U.S Standard)							
	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.36	0.075
	1 ½"	1"	¾"	½"	⅜"	No. 4	No. 8	No. 200
	% PASA							
INV. (MAF-38)	100	70-95	-	20-55	-	0-15	0-5	0-2
IDU (MAF-25)	100	70-95	-	25-55	-	0-15	0-5	0-2
INV. (MAF-25)	-	100	70-95	-	20-45	0-20	0-10	0-2
IDU (MAF-20)		100	70-95		20-45	0-20	0-10	0-2
INV. (MAF-19)	-	-	100	70-95	-	10-30	0-10	0-2
IDU (MAF-12)			100	70-95	-	10-30	0-10	0-2

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

3.6.2 Mezclas asfálticas en caliente (MAC)

Como se observa en la **Tabla 3-30**, y al igual que en las mezclas asfálticas en frío, se encuentran pocas similitudes en los valores exigidos por el INVÍAS y el IDU para las mezclas asfálticas en caliente de gradación *continua*:

- Desgaste en la máquina de Los Ángeles (500 revoluciones): Para la capa de rodadura, el INVIAS es más exigente para tránsito menor a 5 millones de ejes equivalente de 80 kN; caso contrario ocurre para las vías de mayor tráfico, donde la exigencia del IDU es superior, requiriendo materiales de mejor calidad. El IDU incluye requerimientos para las mezclas de alto módulo y tráfico T4-T5.
- Desgaste en la máquina de Los Ángeles (100 revoluciones): El IDU no solicita este ensayo relacionado con la degradación mecánica del agregado grueso.
- Degradación por abrasión en el equipo Micro Deval: El INVIAS no exige este ensayo para materiales en vías con menos de 0.5 millones de ejes equivalente de 80 kN. Para las otras categorías de tránsito, los valores establecidos son idénticos en ambas entidades.
- Evaluación de la resistencia mecánica por el 10% de finos – valor en seco: El INVIAS sólo exige este ensayo para las vías con tránsito NT3 y requiere materiales con mayor dureza para la capa intermedia. Nuevamente, el IDU incluye requerimientos para las mezclas de alto módulo y tráfico T4-T5.
- Evaluación de la resistencia mecánica por el 10% de finos – relación húmedo/seco: Al igual que el ensayo anterior, el INVIAS sólo lo exige para vías con tránsito NT3 y establece el mismo valor de cumplimiento que el IDU.

- El IDU no exige los ensayos de impurezas en agregado grueso, índice de plasticidad, equivalente de arena y valor azul de metileno.
- Caras fracturadas: El IDU es más exigente en la calidad de los materiales frente a la resistencia a compresión, flexión y adherencia entre la mezcla y el agregado y establece un mismo parámetro para cada una de las capas.
- Índice de alargamiento y aplanamiento: Ensayo no exigible por el INVIAS. Se puede observar que, frente a los ensayos de geometría de las partículas del agregado grueso, el IDU es más exigente.
- Ensayo de geometría de las partículas: El INVÍAS emplea el ensayo de partículas planas y alargadas, mientras que el IDU considera el índice de alargamiento y aplanamiento.
- Angularidad de la fracción fina: El IDU exige más cantidad de partículas angulares.
- Adhesividad del agregado fino: No exigible por el IDU.
- Contenido de arena natural: No exigible por el INVIAS. EL IDU contempla diversos umbrales entre 25% y 100% según el tipo de capa y el nivel de tránsito.

Tabla 3-30: Comparativo requerimientos MAC de gradación continua INVIAS – IDU

Ensayo		Norma Ensayo INV	Norma Referencia	INVIAS			IDU		
				NT1	NT2	NT3	T0-T1	T2-T3	T4-T5
Dureza, agregado grueso	**Desgaste de la máquina de los ángeles, 500 revoluciones. Máximo (%)**								
	Capa Rodadura	E-218	ASTM C 131-06	25	25	25	30	30	25
	Capa Intermedia			35	35	35	35	35	30
	Capa Base			N.A	35	35	35	35	30
	Mezclas de alto módulo			N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	25
	Desgaste de la máquina de los ángeles, 100 revoluciones. Máximo (%)								
	Capa Rodadura	E-218	ASTM C 131-06	5	5	5	N.A	N.A	N.A
	Capa Intermedia			7	7	7	N.A	N.A	N.A
	Capa Base			N.A	7	7	N.A	N.A	N.A
	Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)								
	Capa de Rodadura	E-238	ASTM D 6928-10	N.A	25	20	25	25	20
	Capa Intermedia			N.A	30	25	30	30	25
	Capa Base			N.A	30	25	30	30	25
	Mezclas de alto módulo			N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	20
	Resistencia mecánica por el método del 10% de finos. Valor en seco. Mínimo (%)								
	Capa Rodadura	E-224	BS 812 Part 110 SABS METHOD 842	N.A	N.A	110	75	75	110
	Capa Intermedia			N.A	N.A	90	60	60	75
	Capa Base			N.A	N.A	75	60	60	75
	Mezclas de alto módulo			N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	110
	Resistencia mecánica por el método del 10% de finos. Relación húmedo/seco. Mínimo (%)								
	Capa Rodadura	E-224	BS 812 Part 110 SABS METHOD 842	N.A	N.A	75	75	75	75
	Capa Intermedia			N.A	N.A	75			
	Capa Base			N.A	N.A	75			

Ensayo		Norma Ensayo INV	Norma Referencia	INVIAS			IDU		
				NT1	NT2	NT3	T0-T1	T2-T3	T4-T5
	Coeficiente de pulimento acelerado para rodadura, mínimo	E-232	UNE-EN 1097-8	0.45	0.45	0.45	0.40	0.45	0.50
Durabilidad	Pérdidas de ensayo de solidez en sulfato de Magnesio, agregado grueso y fino, máximo (%)	E-220	ASTM C 88-05	18	18	18	18	18	18
Limpieza, agregado grueso	Impurezas en agregado grueso, máximo (%)	E-237	NLT 172/86	0.5	0.5	0.5	N.A	N.A	N.A
			UNE 146130: 2000				N.A	N.A	N.A
Limpieza, gradación combinada	Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	ASTM D 4318-10	NP	NP	NP	N.A	N.A	N.A
	Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	ASTM D 2419-09	50	50	50	N.A	N.A	N.A
	Valor de azul de metileno, máximo	E-235	Norma Europea EN 933-9	10	10	10	N.A	N.A	N.A
Geometría de las partículas, agregado grueso	Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%)	E-240	ASTM D 4791-10	10	10	10	N.A	N.A	N.A
	Caras fracturadas - 1 cara. Mínimo (%)								
	Capa Rodadura	E-227	ASTM D 5821-01	75	75	85	75	75	90
	Capa Intermedia			60	75	75			
	Capa Base			N.A	60	60			
	Caras fracturadas - 2 caras. Mínimo (%)								
	Capa Rodadura	E-227	ASTM D 5821-01	N.A	60	70	50	60	75
	Capa Intermedia			N.A	N.A	N.A			
	Capa Base			N.A	N.A	N.A			
	Índice de aplanamiento, (%) máximo	E-230	BS 812-105.1: 1989	N.A	N.A	N.A	25	25	20
	Índice de alargamiento, (%) máximo		BS 812-105.2: 1990	N.A	N.A	N.A	25	25	20
Geometría de las partículas, agregado fino	**Angularidad de la fracción fina, método A. Mínimo (%)**								
	Capa Rodadura	E-239	ASTM C 1252-06 AASHTO T-304	40	45	45	45	45	45
	Capa Intermedia			35	40	40	40	40	45
	Capa Base			N.A	35	35	40	40	40
Adhesividad	Agregado grueso: cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia de agua hirviendo (%)	E-757	ASTM D 3625-96	Reportar			0.40	0.45	0.50
	Agregado fino: adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (método Riedel-Weber), índice mínimo	E-774	NLT 355/93	4			-	-	-
Contenido de Arena Natural	Capa Rodadura	-	-	N.A	N.A	N.A	50	35	25
	Capa Intermedia			N.A	N.A	N.A	75	40	25
	Capa Base			N.A	N.A	N.A	100	75	50

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

En la **Tabla 3-31**, se presenta la revisión comparativa de las mezclas asfálticas en caliente de gradación *abierta*. Se encuentra similitud en los requerimientos del INVÍAS y el IDU, excepto en los siguientes ensayos:

- Desgaste de la máquina de Los Ángeles: El IDU es más exigente en la modalidad de 500 ciclos, pero no exige la modalidad de 100 ciclos para evaluar la degradación mecánica del agregado grueso.
- Degradación por abrasión en el equipo Micro Deval: El INVIAS no emplea este ensayo para el control de calidad de materiales en vías con menos de 0.5 millones de ejes equivalente de 80 kN. Para las otras categorías de tránsito, los valores establecidos son idénticos para INVÍAS e IDU.
- Resistencia mecánica por el 10% de finos – valor en seco: El INVIAS sólo exige este ensayo para las vías con tránsito NT3.
- El IDU no exige los ensayos de impurezas en agregado grueso y partículas planas y alargadas.
- Caras fracturadas: El IDU es más exigente en la calidad de los materiales frente a la resistencia a compresión, flexión y adherencia entre la mezcla y el agregado y establece un mismo parámetro para cada una de las capas.
- Ensayo de geometría de las partículas: El INVÍAS emplea el ensayo de partículas planas y alargadas, mientras que el IDU considera el índice de alargamiento y aplanamiento.
- Adhesividad del agregado grueso: El INVÍAS pide reportar los resultados y el IDU no exige su realización.

Tabla 3-31: Comparativo requerimientos MAC de gradación abierta INVIAS – IDU

Ensayo		Norma Ensayo INV	Norma Referencia	INVIAS			IDU		
				NT1	NT2	NT3	T0-T1	T2-T3	T4-T5
Dureza, agregado grueso	**Desgaste de la máquina de Los Ángeles, máximo (%)**								
	500 Revoluciones	E-218	ASTM C 131-06	35	35	35	35	35	30
	100 revoluciones			7	7	7	-	-	-
	Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	ASTM D 6928-10	-	30	25	30	30	25
	Resistencia mecánica por el método del 10% de finos								
	Valor en seco (kN), mínimo (%)	E-224	BS 812 Part 110 SABS METHOD 842	-	-	90	60	60	75
	Relación húmedo seco, mínimo (%)			-	-	75	75	75	75

Ensayo		Norma Ensayo INV	Norma Referencia	INVIAS			IDU		
				NT1	NT2	NT3	T0-T1	T2-T3	T4-T5
Durabilidad	Pérdidas de ensayo de solidez en sulfato de Magnesio, agregado grueso y fino, máximo (%)	E-220	ASTM C 88-05	18	18	18	18	18	18
Limpieza, agregado grueso	Impurezas en agregado grueso, máximo (%)	E-237	NLT 172/86 UNE 146130: 2000	0.5	0.5	0.5	-	-	-
Geometría de las partículas, agregado grueso	Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%)	E-240	ASTM D 4791-10	10	10	10	-	-	-
	Caras fracturadas, mínimo (%)								
	Una cara:	E-227	ASTM D 5821-01	60	75	75	75	75	90
	Dos caras:			-	-	-	50	60	75
	Índice de aplanamiento, (%) máximo	E-230	BS 812-105.1: 1989	-	-	-	25	25	20
	Índice de alargamiento, (%) máximo		BS 812-105.2: 1990	-	-	-	25	25	20
Adhesividad	Agregado grueso: cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia de agua hirviendo, mínimo (%)	E-757	ASTM D 3625-96	Reportar			-	-	-

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

En la **Tabla 3-32** se presenta la comparación entre gradaciones de las mezclas asfálticas en caliente de gradación abierta del INVÍAS y el IDU. No se presenta curva granulométrica comparativa pues los valores de las franjas son iguales, aunque sus denominaciones indican tamaños máximos diferentes, por ejemplo, la mezcla INV MAC-75 coincide con la IDU MAC-60, aunque en el primer caso se trataría de un tamaño máximo de 75 mm y en el segundo de un tamaño máximo de 60 mm, lo cual influye en las condiciones de elaboración, extendido y compactación.

Tabla 3-32: Granulometría mezclas asfálticas abiertas en caliente INVIAS – IDU

Tipo de mezcla	Tamiz (mm / U.S Standard)								
	75	63	50	37.5	19	9.5	4.75	2.26	0.150
	3"	2 ½"	2"	1 ½"	¾"	⅜"	No. 4	No. 8	No. 100
	% PASA								
INV. (MAC-75)	100	95-100	-	30-70	3-20	0-5	-	-	-
IDU (MAC-60)	100	95-100	-	30-70	3-20	0-5	-	-	-
INV. (MAC-63)	-	100	-	35-70	5-20	-	-	0-5	-
IDU (MAC-50)	-	100	-	35-70	5-20	-	-	0-5	-
INV. (MAC-50)	-	-	100	75-90	50-70	-	8-20	-	0-5
IDU (MAC-40)	-	-	100	75-90	50-70	-	8-20	-	0-5

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

3.7 Mezclas asfálticas discontinuas en caliente

Las mezclas asfálticas discontinuas en caliente también se denominan microaglomerados en caliente. En la **Tabla 3-33** se presenta un análisis comparativo de las diferencias encontradas en las exigencias de calidad del INVIAS y del IDU. En la revisión realizada, se encuentran similitudes en la mayoría de los ensayos; sin embargo, los valores no son totalmente comparables debido a las diferencias en los rangos de las categorías de tránsito de ambas entidades. Las diferencias más notables son:

- Desgaste de la máquina de Los Ángeles: El IDU no exige la modalidad de 100 ciclos para evaluar la degradación mecánica del agregado grueso.
- El IDU no exige los ensayos de impurezas en agregado grueso, índice de plasticidad, equivalente de arena y valor azul de metileno.
- Ensayo de geometría de las partículas: El INVÍAS emplea el ensayo de partículas planas y alargadas, mientras que el IDU considera el índice de alargamiento y aplanamiento.
- El INVÍAS es más exigente en el ensayo de partículas fracturadas del agregado grueso.
- Adhesividad del agregado grueso: El INVÍAS pide reportar los resultados y el IDU no exige su realización.
- Contenido de arena natural: No exigible por el INVIAS. EL IDU contempla diversos umbrales entre 10% y 20% según el nivel de tránsito.

Tabla 3-33: Requerimientos microaglomerado en caliente INVIAS – IDU

	Ensayo	Norma Ensayo INV	Norma Referencia	INVIAS	IDU	
				NT2-NT3	T2-T3	T4-T5
Dureza	Desgaste en la máquina de Los Ángeles, máximo (%), 500 revoluciones	E-218	ASTM C 131-06	25	30	25
	Desgaste en la máquina de Los Ángeles, máximo (%), 100 revoluciones			5	N.A	N.A
	Degradación por abrasión en el equipo Micro - Deval, máximo (%)	E-238	ASTM D 6928-10	20	25	20
	10% de finos. Valor en seco, kN mínimo	E-224	BS 812 Part 110 SABS METHOD 842	110	75	110
	10% de finos. Relación húmedo/seco, % mínimo			75	75	75
	Coeficiente de pulimento acelerado, mínimo	E-232	UNE-EN 1097-8	0.50	0.45	0.50

	Ensayo	Norma Ensayo INV	Norma Referencia	INVIAS	IDU	
				NT2-NT3	T2-T3	T4-T5
Durabilidad	Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, máximo (%)	E-220	ASTM C 88-05	18	18	18
Limpieza, Agregado Grueso	Impurezas en agregado grueso, máximo (%)	E-237	NLT 172/86 UNE 146130: 2000	0.5	N.A	N.A
Limpieza	Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	ASTM D 4318-10	NP	N.A	N.A
	Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	ASTM D 2419-09	50	N.A	N.A
	Valor de Azul de Metileno, máximo	E-235	Norma Europea EN 933-9	10	N.A	N.A
Geometría de las Partículas, Agregado Grueso	Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%)	E-240	ASTM D 4791-10	10	N.A	N.A
	Partículas fracturadas mecánicamente, mínimo (%). 1 cara	E-227	ASTM D 5821-01	100	75	90
	Partículas fracturadas mecánicamente, mínimo (%). 2 caras			100	60	75
	Índice de aplanamiento, % máximo	E-230	BS 812-105.1: 1989	N.A	25	20
	Índice de alargamiento, % máximo		BS 812-105.2: 1990	N.A	25	20
Geometría de las Partículas, agregado fino	Angularidad del Agregado fino, % mínimo (RO)	E-239	ASTM C 1252-06	45	45	45
Adhesividad	Agregado grueso: Cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua hirviendo, mínimo (%)	E-757	ASTM D 3625-96	Reportar	N.A	N.A
	Agregado fino: Adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (método Riedel-weber), índice mínimo	E-774	NLT 355/93	Reportar	N.A	N.A
Contenido de Arena Natural	Proporción máxima de área natural, en peso	-	-	N.A	20	10

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

3.8 Reciclado de pavimento asfáltico existente

Los requerimientos del IDU para los agregados provenientes del reciclado de pavimento asfáltico existente son los mismos requisitos de los agregados para bases granulares de dicha entidad. Caso contrario sucede en el INVIAS donde las características del agregado son clasificadas por las categorías de tránsito. No obstante, en la **Tabla 3-34** se presenta

el cotejo de exigencias correspondiente sin gran dificultad. Se observan algunas diferencias significativas como:

- Ensayo de geometría de las partículas: El INVÍAS emplea el ensayo de partículas planas y alargadas, mientras que el IDU considera el índice de alargamiento y aplanamiento.
- Caras fracturadas: El INVÍAS solo tiene requerimiento para una cara fracturada, el IDU tiene requerimiento para una y dos caras fracturadas.
- Adhesividad de la gradación combinada: Solo el INVÍAS evalúa la adhesividad.

Tabla 3-34: Requerimientos reciclado de pavimento asfáltico INVIAS – IDU

	Reciclado de Pavimento Asfáltico Existente	Norma Ensayo INV	Norma Referencia	INVIAS			IDU
				NT1	NT2	NT3	Todas
Dureza	Desgaste en la máquina de los ángeles, máximo (%), 500 revoluciones	E-218	ASTM C 131-06	40	40	40	40
	Degradación en el equipo Micro - Deval, máximo (%)	E-238	ASTM D 6928-10	-	30	25	30
	10% de finos. Valor en seco, kN mínimo	E-224	BS 812 Part 110 SABS method 842	-	-	70	60
	10% de finos. Relación húmedo/seco, % mínimo			-	-	75	75
Durabilidad	**Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos de magnesio, máximo (%)**						
	Agregado grueso	E-220	ASTM C 88-05	18	18	18	18
	Agregado fino			18	18	18	18
Limpieza, gradación combinada	Limite liquido	E-125	ASTM D 4318-10	-	-	-	25
	Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	ASTM D 4318-10	NP	NP	NP	3
	Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	ASTM D 2419-09	30	30	30	20
	Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%)	E-211	ASTM C 142/C 142M-10	2	2	2	2
	Valor de Azul de Metileno, máximo	E-235	Norma Europea EN 933-9	10	10	10	10
Geometría de las Partículas, Agregado grueso	Índice de aplanamiento	E-230	BS 812-105.1: 1989 BS 812-105.2: 1990	-	-	-	35
	Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%)	E-240	ASTM D 4791-10	10	10	10	N.A
	Caras fracturadas, mínimo (%) Una cara Dos caras	E-227	ASTM D 5821-01	50 -	50 -	50 -	60 40
Geometría de las partículas, agregado fino	Angularidad de la fracción fina, método A, mínimo (%)	E-239	ASTM C 1252-06	-	35	35	35
Resistencia del Material	CBR, (%): Porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca en el artículo	E-148	ASTM D 1883-07	80	80	100	80

	Reciclado de Pavimento Asfáltico Existente	Norma Ensayo INV	Norma Referencia	INVIAS			IDU
				NT1	NT2	NT3	Todas
	330, "base granular" medido en una muestra sometida a cuatro días de inmersión, mínimo.						
Adhesividad, gradación combinada	Resistencia conservada inmersión-compresión, mínimo (%)	E-622	NLT-389/00	50	50	50	N.A

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

En la **Tabla 3-35** se presenta la comparación entre gradaciones del material reciclado de pavimento asfáltico existente de ambas entidades. Los requerimientos granulométricos son los mismos, por lo cual no se presenta gráfica.

Tabla 3-35: Granulometría reciclado de pavimento asfáltico existente INVIAS – IDU

Material		TAMIZ (mm / U.S Standard)							
		37.5	25	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
		1 ½"	1"	¾"	⅜"	No 4	No 10	No 40	No 200
		(%) Porcentaje que pasa							
Pulverizado del pavimento existente, ajustado con material de adición cuando se requiera	**INVIAS**	100	75-100	65-100	45-75	30-60	20-45	10-30	5-20
	IDU	100	75-100	65-100	45-75	30-60	20-45	10-30	5-20

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

3.9 Pavimentos de concreto hidráulico (PCCP)

En la **Tabla 3-36** y la **Tabla 3-37** se presenta el comparativo entre los requisitos exigibles por el INVÍAS y el IDU para los agregados grueso y fino de pavimentos de concreto hidráulico. El INVIAS sólo tiene un valor establecido para todas las categorías de tránsito, mientras que el IDU diferencia estas exigencias en tres categorías de tránsito.

Existen similitudes significativas entre las dos especificaciones, salvo las siguientes excepciones:

- Desgaste de la máquina de Los Ángeles: El IDU no exige la modalidad de 100 ciclos para evaluar la degradación mecánica del agregado grueso.
- El IDU no considera el ensayo de sanidad con sulfato de Sodio para los agregados grueso y fino.

- Ensayo de geometría de las partículas: El INVÍAS emplea el ensayo de partículas planas y alargadas, mientras que el IDU considera el índice de alargamiento y aplanamiento para el agregado grueso.
- El IDU no considera la evaluación de la reacción álcali – agregado.
- El INVÍAS no exige límite líquido ni azul de metileno para el agregado fino.

Tabla 3-36: Comparativo requerimientos agregado grueso PCCP INVIAS – IDU

	Ensayo	Norma Ensayo INV	Norma Referencia	INVIAS	IDU		
					T0-T1	T2-T3	T4-T5
Dureza	Desgaste en la máquina de los ángeles, máximo (%), 500 revoluciones	E-218	ASTM C 131-06	40	35	30	30
	Desgaste en la máquina de los ángeles, máximo (%), 100 revoluciones			8	N.A	N.A	N.A
	Degradación por abrasión en el equipo Micro - Deval, máximo (%)	E-238	ASTM D 6928-10	30	30	25	25
	Resistencia mecánica por el 10% de finos. Valor en seco, kN mínimo	E-224	BS 812 Part 110 SABS METHOD 842	90	60	75	75
	Resistencia mecánica por el 10% de finos. Relación húmedo/seco, % mínimo			75	75	75	75
Durabilidad	**Perdidas en el ensayo de solidez de sulfatos, máximo (%)**						
	Sulfato de Sodio	E-220	ASTM C 88-05	10	N.A	N.A	N.A
	Sulfato de magnesio			15	18	18	18
Limpieza	Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%)	E-211	ASTM C 142/C 142M-10	3	0.25	0.25	0.25
	Partículas livianas , máximo %	E-221	ASTM C 123/C 123M-12	0.5	1.0	1.0	1.0
Geometría de las Partículas	**Partículas fracturadas mecánicamente, mínimo (%)**						
	1 Cara	E-227	ASTM D 5821-01	60	60	75	85
	2 Caras			N.A	35	50	70
	Partículas planas y alargadas (relación 5:1), máximo (%)	E-240	ASTM D 4791-10	10	N.A	N.A	N.A
	Índice de aplanamiento, % máx.	E-230	BS 812-105.1: 1989	N.A	25	25	20
	Índice de alargamiento, % máx.	E-230	BS 812-105.2: 1990	N.A	25	25	20
Características químicas (o)	Proporción de sulfatos del material combinado, expresado como $SO_4^{=}$, máximo (%)	E-233	UNE-EN 1744-1 Parte 1: Capítulo 11	1.0	1.0	1.0	1.0
	Reactividad álcali agregado grueso y fino: Concentración SiO_2 y reducción de alcalinidad R	E-234	ASTM C 289-07	$SiO_2 \leq R$ Cuando $R \geq 70$ $SiO_2 \leq 35 + 0.5 R$ Cuando $R < 70$	N.A	N.A	N.A

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

Tabla 3-37: Comparativo requerimientos agregado fino PCCP INVIAS – IDU.

	Ensayo	Norma Ensayo INV	Norma Referencia	INVIAS	IDU
Durabilidad	**Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, % máximo**				
	Sulfato de Magnesio	E-220	ASTM C 88-05	15	15
	Sulfato de Sodio			10	N.A
Limpieza	Limite líquido, % máximo	E-125	ASTM D 4318-10	N.A	NP
	Índice de plasticidad, % máximo	E-126	ASTM D 4318-10	NP	NP
	Equivalente de arena, % mínimo	E-133	ASTM D 2419-09	60	50
	Valor de azul de metileno, máximo	E-235	Norma Europea EN 933-9	N.A	5
	Terrones de arcilla y partículas deleznables, % máximo	E-211	ASTM C 142/C 142M-10	3	1
	Partículas livianas, % máximo	E-221	ASTM C 123/C 123M-12	0.5	0.5
	Material que pasa el tamiz de 75 µm (No 200), % máximo	E-214	ASTM C 117-04	3	5
Contenido de material orgánico	Color más oscuro permisible	E-212	ASTM C 40/C40M-11	Igual a la muestra patrón	Igual a muestra patrón
Características químicas	Contenidos de sulfatos expresado como $SO_4^{=}$, % máximo	E-233	UNE-EN 1744-1 Parte 1: Capítulo 11	1.2	1.2
Absorción	Absorción de agua, % máximo	E-222	ASTM C 128-07a	4	4

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

En la **Tabla 3-38** se presenta la comparación entre gradaciones de los agregados para pavimentos de concreto hidráulico de ambas entidades. Se observan diferentes tamices de control en cada normativa.

En la **Figura 3-5** se presenta la comparación de las franjas granulométricas de los agregados para pavimento de concreto hidráulico INVÍAS AG-3 e IDU AG-3. Aunque coinciden en la denominación, las franjas son ligeramente diferentes para el material de ½”.

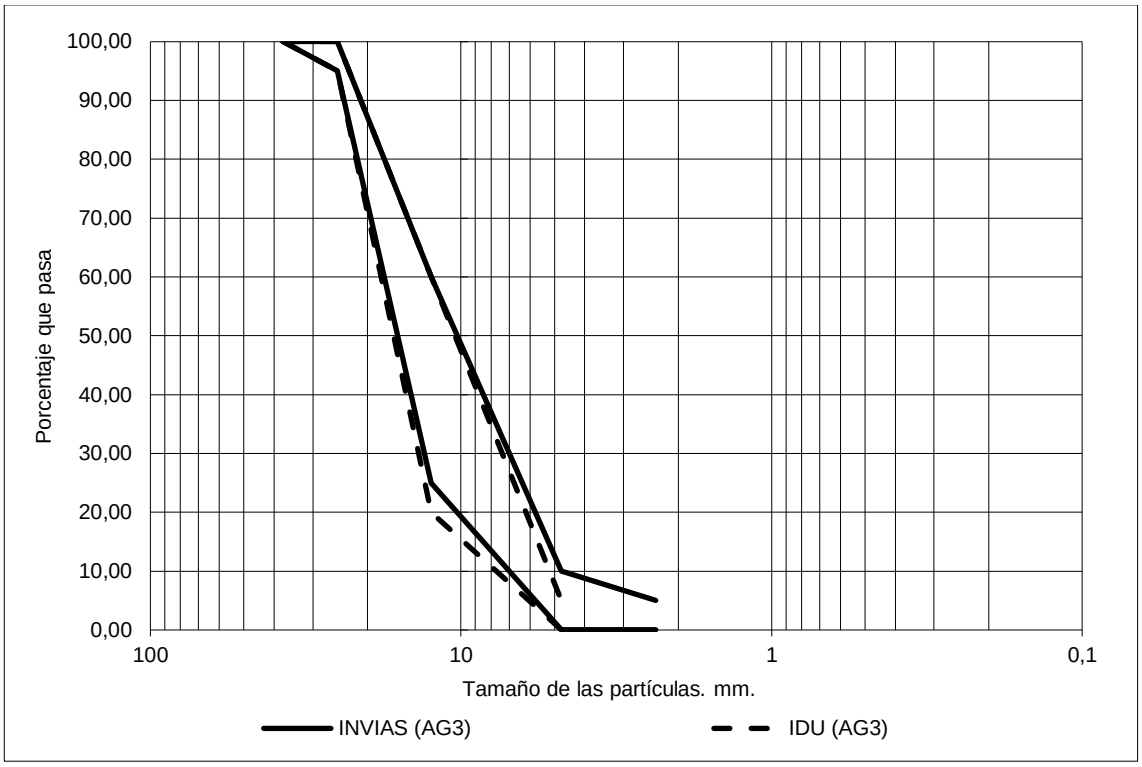
Tabla 3-38: Granulometría agregados PCCP INVIAS – IDU.

Tipo de Gradación		TAMIZ (mm / U.S Standard)									
		63.0	57.0	50.0	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.36
		2 ½”	2 ¼”	2"	½”	1"	¾”	½”	⅜"	No. 4	No. 8
		% PASA									
AG1 INVIAS	**Fracción 1: 2½" a 1"**	100	-	90-100	35-70	0-15	-	0.5	-	-	-
	Fracción 2: 1½" a No. 4	-	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0.10	0.5

Tipo de Gradación		TAMIZ (mm / U.S Standard)									
		63.0	57.0	50.0	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.36
		2 ½”	2 ¼”	2"	½”	1"	¾”	½”	⅜"	No. 4	No. 8
		% PASA									
AG1 IDU	T0 a T1	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-
AG2 INVIAS	Fracción 1: 2" a ¾”"	-	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0.5	-	-
	Fracción 2: 1" a No. 4	-	-	-	-	100	90-100	-	20-5	0-10	0-5
AG2 IDU	T0 a T3	-	-	100	95-100	-	30-70	-	10-30	0-5	-
AG3 INVIAS	1½" a No. 4	-	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5
AG3 IDU	T0 a T5	-	-	-	100	95-100	-	20-60	-	0-5	-
AG4 IDU	T0 a T5	-	-	-	-	100	95-100	-	20-55	0-5	-

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

Figura 3-5: Granulometría agregados PCCP INVÍAS (AG3) – IDU (AG3).



Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

4. Especificaciones en los métodos de diseño de pavimentos

4.1 AASHTO Guide for the Design of Pavement Structures (1993)

La American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) representa a los Departamentos de Transporte de los cincuenta estados de los EE.UU., el Distrito de Columbia y Puerto Rico. El objetivo principal de la asociación se centra en el fomento del desarrollo, la operación y el mantenimiento del sistema integrado multimodal de transporte de forma eficiente e innovadora (AASHTO, 2015).

La primera guía de diseño para pavimentos flexibles se desarrolló como consecuencia del AASHO Road Test (Highway Research Board, 1962) y se conoce como “AASHO-62”, la cual tuvo problemas en la definición del tránsito y se consideró un documento provisional.

En 1972 se publica un método mejorado para la determinación de espesores conocido como “Guía AASHTO-72”, la cual se conservó hasta 1983 con el mismo carácter provisional. En 1986 se publica la primera “Guía de Diseño de Pavimentos”, sin el apelativo de “provisional”, la cual incluye cambios sustanciales en el procedimiento de diseño, incluyendo la incorporación del análisis mecanicista mediante la teoría de capas elásticas (TRB, 2007).

En 1993 se presenta una revisión del procedimiento de diseño de pavimentos, conocido como “AASHTO-93”, en el cual se elimina el factor regional de evaluación de la subrasante de las primeras versiones y se sustituye por el concepto de módulo resiliente. La guía incluye previsiones sobre confiabilidad, drenaje del pavimento y diseño de obras de refuerzo de pavimentos (AASHTO, 1993).

La Guía AASHTO de 1993 no especifica requerimientos detallados de calidad para los materiales de construcción de los pavimentos, salvo sendas menciones a las

especificaciones ASTM D 2940 *"Graded Aggregate Material for Bases or Subbase for Highways and Airports"* y ASTM D3515 para el diseño de mezclas asfálticas para pavimentación. En el caso de la base granular, la Guía AASHTO indica que (AASHTO, 1993):

> *"Although no specific quality requirements for base courses are presented in this Guide, the specifications included in AASHTO's Manual for Highway Construction or in ASTM Specification D 2940, 'Graded Aggregate Material for Bases or Subbase for Highways and Airports,' are often used.*

En consecuencia, y con el fin de realizar el análisis entre la práctica de diseño norteamericana y las especificaciones colombianas, en este documento se emplearán las normas del Proyecto Federal FP-14 *"Standard Specifications for the Construction of Roads and Bridges on Federal Highway Projects"*, las cuales regulan los ensayos de calidad, la ejecución de los trabajos y los materiales a utilizar en la construcción de pavimentos (U.S. DOT, 2014).

4.1.1 Los materiales del AASHO Road Test

Como se ha indicado, el método AASHTO se basa primordialmente en los resultados del AASHO Road Test (Highway Research Board, 1962), en consecuencia, en esta sección se presenta un comparativo entre las especificaciones de los materiales empleados en dicho experimento, las normas FP-14 y las especificaciones INVÍAS para los materiales de subbase y base granular.

4.1.1.1 Subbase granular (SBG)

En la **Tabla 4-1** se presenta el comparativo de las granulometrías para la subbase granular del INVÍAS, FP-14 y ensayo vial de la AASHO.

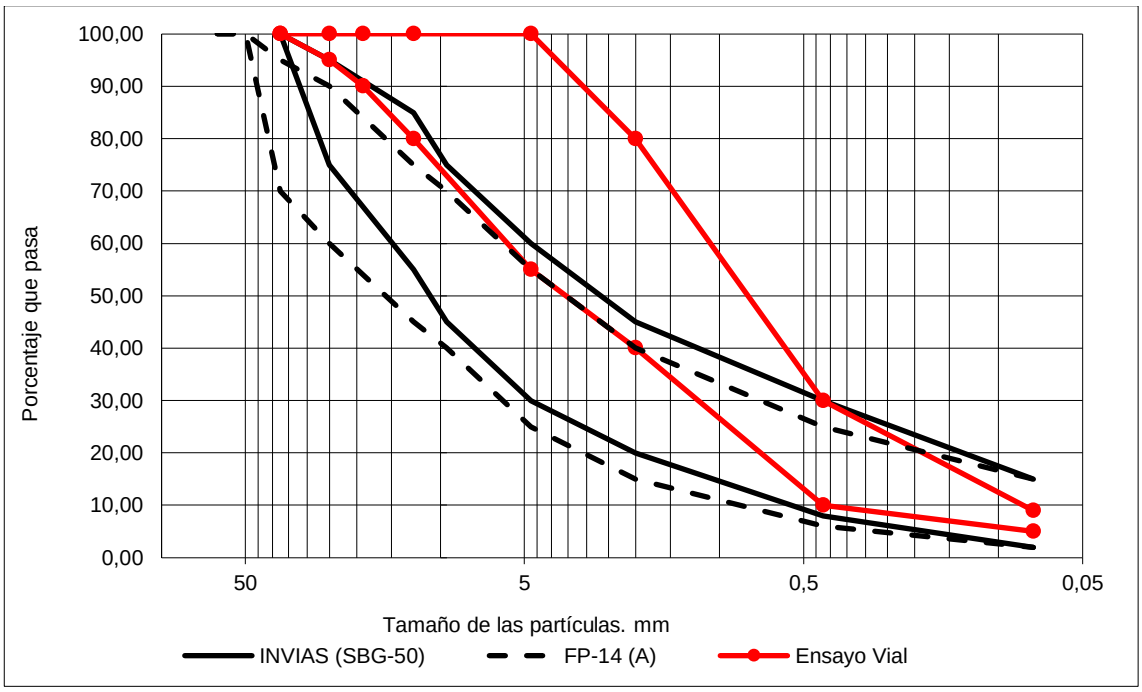
Tabla 4-1: Granulometría SBG. INVÍAS – FP-14 – ensayo vial AASHO

Tipo de Gradación		TAMIZ (mm / U.S Standard)									
	63.0	50.0	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	2 ½"	2"	1 ½"	1"	¾"	½"	⅜"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
		% PASA									
INVIAS (SBG-50)	100	100	70-95	60-90	-	45-75	40-70	25-55	15-40	6-25	2-15
FP-14 (A)	100	97-100	-	65-79	-	45-59	-	28-42	-	9-17	4-8
Ensayo Vial	-	-	100	95-100	90-100	80-100	-	55-100	40-80	10-30	5-9

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS, del FP14 y del AASHO Road Test.

En la **Figura 4-1** se observa que la franja granulométrica del ensayo vial de la AASHO tiene a materiales más finos que la exigida por el INVÍAS y la FP-14; así mismo, su huso es más amplio, incluso su línea media está por encima del límite superior de las normas comparadas.

Figura 4-1: Granulometría SBG INVÍAS – FP-14 – ensayo vial AASHO



Fuente: Propia.

4.1.1.2 Base granular (BG)

En la **Tabla 4-2** se presentan las gradaciones para la base granular del INVÍAS, FP-14 y ensayo vial.

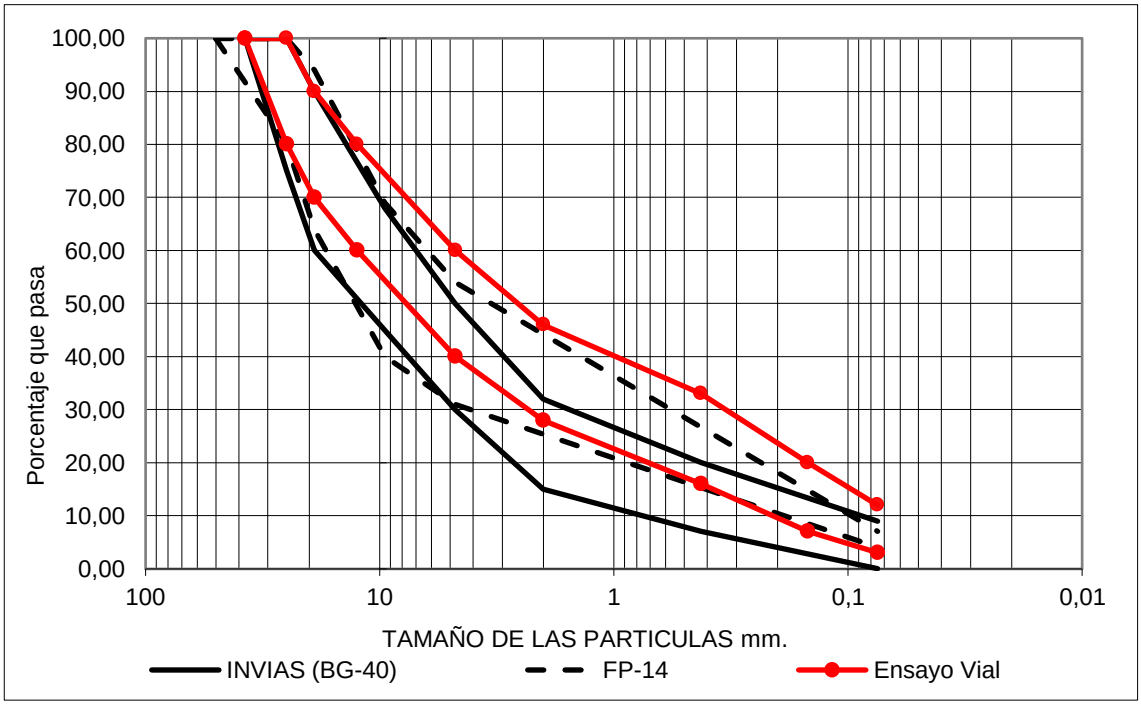
Tabla 4-2: Granulometría BG. INVÍAS – FP-14 – ensayo vial AASHO

Tipo de Gradación	TAMIZ (mm / U.S Standard)										
	50.0	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.149	0.075
	2"	1 ½"	1"	3/4"	½"	⅜"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 100	No. 200
% PASA											
INVIAS (BG-40)	-	100	75-100	65-90	-	45-68	30-50	15-32	7-20	-	0-9
FP-14	100	-	80-100	64-94	-	40-69	31-54	-	-	-	4-7
Ensayo Vial	-	100	80-100	70-90	60-80	-	40-60	28-46	16-33	7-20	3-12

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS, del FP14 y el AASHO Road Test.

En la **Figura 4-2**, se realiza un comparativo de las gradaciones con tamaño máximo de 38 mm. La franja granulométrica del ensayo vial de la AASHO es más fina y su línea media tiende al límite superior de las dos normas citadas.

Figura 4-2: Granulometría BG INVÍAS – FP-14 – ensayo vial AASHO



Fuente: Propia.

A continuación se presenta la comparación entre las normas FP-14 y las especificaciones INVÍAS e IDU aplicadas al método de diseño AASHTO de 1993.

4.1.2 Subbase granular (SBG)

En la **Tabla 4-3** se presenta el comparativo de los requerimientos de INVIAS e IDU con las especificaciones FP-14. Para el análisis se considera la subbase granular clase A por ser la de mayor exigencia en las normas colombianas. En los numerales siguientes solo se conservará la referencia a los métodos de ensayos nacionales (INV-E).

Tabla 4-3: Requerimientos ensayos SBG. INVIAS – IDU – FP-14

	Subbase granular Clase A	Norma Ensayo INV	INVIAS	IDU	FP-14
Dureza	Desgaste en la máquina de los ángeles, máximo (%), 500 revoluciones	E-218	50	40	50
Durabilidad	Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%)				
	Sulfato de sodio	E-220	12	N.A	12
	Sulfato de magnesio		18	18	-
Limpieza	Límite líquido, máximo (%)	E-125	25	25	25
	Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	6	3	7-13
	Valor de Azul de Metileno, máximo	E-235	N.A	10	0
Geometría de las partículas	Partículas fracturadas mecánicamente, mínimo (%)				
	1 cara	E-227	N.A	50	50

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS, del IDU y FP-14.

En general, las especificaciones FP-14 solo consideran el ensayo de Los Ángeles y no la multiplicidad de pruebas para dureza de las normas colombianas. En este caso, coinciden las normas INVIAS y FP-14 en dureza. La especificación norteamericana es menos exigente en plasticidad de la fracción fina.

En la **Tabla 4-4** se presentan las granulometrías de subbase granular de las normas colombianas y la FP-14.

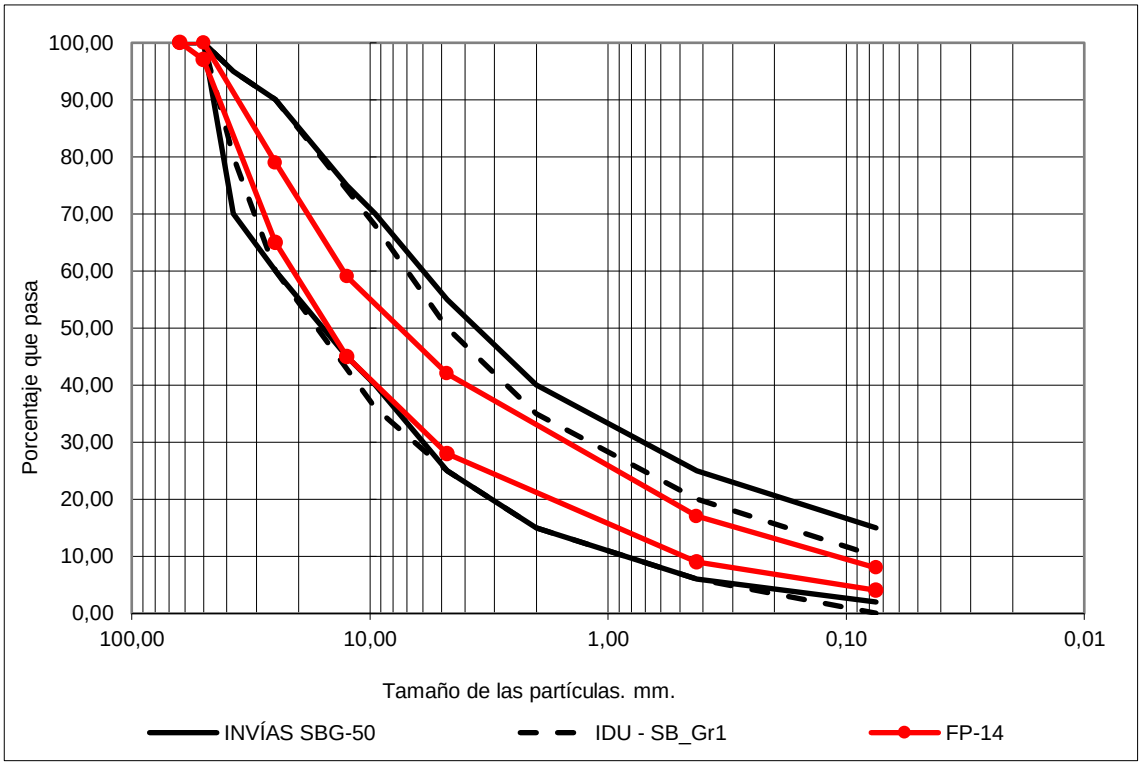
En la **Figura 4-3** se observa que la franja granulométrica de la norma norteamericana es más estrecha que las franjas colombianas y cercana al límite inferior de las mismas (materiales gruesos). En la práctica, esto implicaría mayores exigencias en los procesos de fabricación de los materiales en la planta de producción de agregados, lo cual podría explicar la menor exigencia en algunos aspectos de calidad.

Tabla 4-4: Requerimientos granulometrías SBG INVÍAS – IDU – FP-14

Tipo de Gradación		TAMIZ (mm / U.S Standard)									
	63.0	50.0	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	2 ½"	2"	1 ½"	1"	¾"	½"	⅜"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
		% PASA									
INVIAS (SBG-50)	100	100	70-95	60-90	-	45-75	40-70	25-55	15-40	6-25	2-15
IDU (SB_Gr1)	100	100	80-95	60-90	-	-	36-68	25-50	15-35	6-20	0-10
FP-14 (A)	100	97-100	-	65-79	-	45-59	-	28-42	-	9-17	4-8
% PASA											
INVIAS (SBG-38)	-	-	100	75-95		55-85	45-75	30-60	20-45	8-30	2-15
IDU (SB_Gr2)	-	-	100	75-95	62-88		42-78	28-55	16-40	6-22	0-12
FP-14 (B)	-	100	97-100	-	-	-	-	40-60	-	-	4-12

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS, del IDU y FP-14.

Figura 4-3: Granulometría subbase granular INVÍAS – IDU – FP-14



Fuente: Propia.

4.1.3 Base granular (BG)

En la **Tabla 4-5** se presentan los requerimientos exigidos por el INVÍAS y el IDU frente a los establecidos en las normas federales FP-14.

Tabla 4-5: Requerimientos ensayos BG INVÍAS – IDU – FP-14

	BASE GRANULAR CLASE A	Norma Ensayo INV	INVIAS	IDU	FP-14
Dureza	Desgaste en la máquina de los ángeles, máximo (%), 500 revoluciones	E-218	35	35	50
Durabilidad	Pérdidas en ensayo de solidez				
	Sulfato de sodio, máximo (%)	E-220	12	N.A	12
Limpieza	Límite líquido, máximo (%)	E-125	N.A	25	25
	Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	0	NP	7-13
Geometría de las Partículas	Partículas fracturadas mecánicamente, mínimo (%)				
	1 cara	E-227	100	85	50
Resistencia del Material	CBR, % mínimo. Porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro días de inmersión.	E-148	≥ 95	100	95

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS, del IDU y FP-14.

Las normas FP-14 permiten mayores porcentajes de desgaste Los Ángeles y mayores valores de plasticidad de la fracción fina. Asimismo, la exigencia de partículas fracturadas mecánicamente es significativamente menor; no obstante, la exigencia de CBR es similar a las especificaciones colombianas.

En la **Tabla 4-6** se presentan las gradaciones de base granular definidas en la FP-14 y las del INVIAS e IDU para los mismos tamaños máximos.

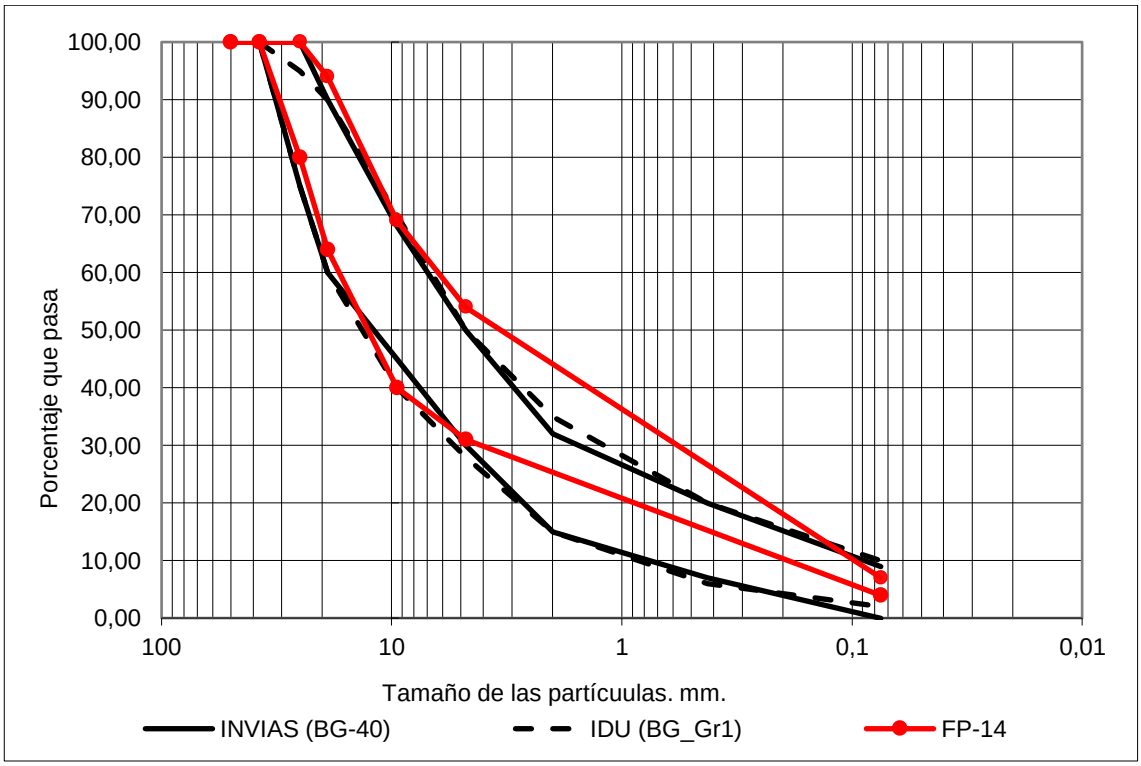
Tabla 4-6: Requerimientos granulometrías BG INVÍAS – IDU – FP-14

Tipo de Gradación	TAMIZ (mm / U.S Standard)								
	50.0	37.5	25.0	19.0	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	2"	1 ½"	1"	¾"	⅜"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
% PASA									
INVIAS (BG-40)	-	100	75-100	65-90	45-68	30-50	15-32	7-20	0-9
INVIAS (BG-38)	-	100	70-100	60-90	45-75	30-60	20-45	10-30	5-15
IDU (BG_Gr1)	-	100	75-95	60-90	40-70	28-50	15-35	6-20	2-10
AASHTO (C)	100	-	80-100	64-94	40-69	31-54	-	-	4-7
% PASA									
INVIAS (BG-27)	-	-	100	75-100	52-78	35-59	20-40	8-22	0-9
INVIAS (BG-25)	-	-	100	70-100	50-80	35-65	20-45	10-30	5-15
IDU (BG_Gr2)	-	-	100	75-95	50-80	35-60	20-40	8-22	2-10
AASHTO (D)	-	-	100	86-100	51-82	36-64	-	12-26	4-7
AASHTO (E)	-	-	-	100	62-90	36-74	-	12-26	4-7

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS, del IDU y FP-14.

En la **Figura 4-4** se observa que la franja granulométrica norteamericana es similar a las colombianas con tamaño máximo de 38 mm, para la fracción retenida en tamiz No.4 (4.75 mm). Para las fracciones de arenas y finos, la franja granulométrica de FP-14 es más cerrada y su línea media coincide con los límites superiores de las normas colombianas, es decir, es un material más fino.

Figura 4-4: Granulometría base granular INVÍAS – IDU – FP-14



Fuente: Propia.

4.1.4 Riego de imprimación con asfalto líquido

En la **Tabla 4-7** se presentan los requisitos del FP-14 frente a las normas colombianas sobre el riego de imprimación con asfalto líquido. La norma norteamericana sólo exige dos de los diez ensayos solicitados por el INVIAS y el IDU. Las tres normas coinciden en el valor de aceptación de la viscosidad Saybolt Furol a 25°C y difieren significativamente en los rangos de penetración del residuo de destilación.

Tabla 4-7: Requerimientos ensayos riego de imprimación INVÍAS – IDU – FP-14

RIEGO DE IMPRIMACIÓN ASFALTO LÍQUIDO MC30	Unidad	Norma Ensayo INV	INVIAS		IDU		FP-14	
			Min	Max	Min	Max	Min	Max
Punto de inflamación (Copa abierta de TAG.)	ºC	E-710	38	-	38	-	-	-
Viscosidad cinemática (60ºC)	cSt	E-715	30	60	30	60	-	-
Viscosidad Saybolt Furol (25ºC)	s	E-714	75	150	75	150	15	150
Destilado A 225ºC	%	E-723	-	25	-	25	-	-
Destilado A 260ºC	%		40	70	40	70	-	-
Destilado A 316ºC	%		75	93	75	93	-	-
Residuo de destilación a 360ºC (% en volumen por diferencia)	%	E-723	50	60	50	60	62	-
Ensayos sobre el residuo de la destilación								
Penetración (25ºC, 100 g, 5s)	0,1 mm	E-706	120	300	120	300	40	200
Ductilidad (25ºC, 5 cm/minuto)	cm	E-702	100	-	100	-	-	-
Solubilidad en Tricloroetileno	%	E-713	99,5	100	99,5	100	97,5	-

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS, del IDU y FP-14.

4.1.5 Tratamientos superficiales simple y doble (TSS – TSD)

En la **Tabla 4-9** se presentan los requerimientos de las especificaciones FP-14 sobre tratamientos superficiales (“chip seals”) comparados con las especificaciones locales para tratamientos superficiales simples.

Tabla 4-8: Requerimientos ensayos TSS INVIAS – IDU – FP-14

Tratamiento Superficial Simple		Norma Ensayo INV	INVIAS		IDU			FP-14	
			NT1	NT2	T0-T1	T2-T3	T4-T5	Min.	Máx.
Dureza	Desgaste en la máquina de los ángeles, 500 revoluciones. Máx. (%)	E-218	25	25	≤25	≤25	≤25	-	40
	Desgaste en la máquina de los ángeles, 100 revoluciones. Máx. (%)		5	5	-	-	-	-	-
	Degradación por abrasión en el equipo Micro - Deval, máximo (%)	E-238		25	-	≤25	≤25	-	-
	Coeficiente de pulimento acelerado, mínimo	E-232	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	-	-
Durabilidad	Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, agregado grueso máximo (%)	E-220	18	18	18	18	18	-	12
Limpieza	Impurezas en agregado grueso, máximo (%)	E-237	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	-	1,0
Geometría de las Partículas	Partículas fracturadas mecánicamente (1 cara), mín. (%)	E-227	75	75	75	75	90	90	-
	Partículas fracturadas mecánicamente (2 caras), mín. (%)		-	60	-	60	85	-	-

Tratamiento Superficial Simple		Norma Ensayo INV	INVIAS		IDU			FP-14	
			NT1	NT2	T0-T1	T2-T3	T4-T5	Min.	Máx.
	Índice de aplanamiento, % máximo	E-230	30	30	30	30	30	-	-
	Índice de alargamiento, % máximo	E-230			30	30	30	-	-
Adhesividad	Bandeja, mínimo (%)	E-740	80	80	80	80	80	-	-

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS y del IDU.

La especificación norteamericana evalúa cinco de los once criterios de las normas INVÍAS e IDU. La exigencia del FP-14 es mucho menor en dureza (Los Ángeles) y limpieza del agregado grueso; y mayor en sanidad y porcentaje de trituración. La geometría de las partículas se controla con el método ASTM D4791, mientas que las normas locales emplean los índices de aplanamiento y alargamiento.

En la **Tabla 4-9** se presentan las franjas granulométricas de agregados para tratamientos superficiales de acuerdo con las normas comparadas.

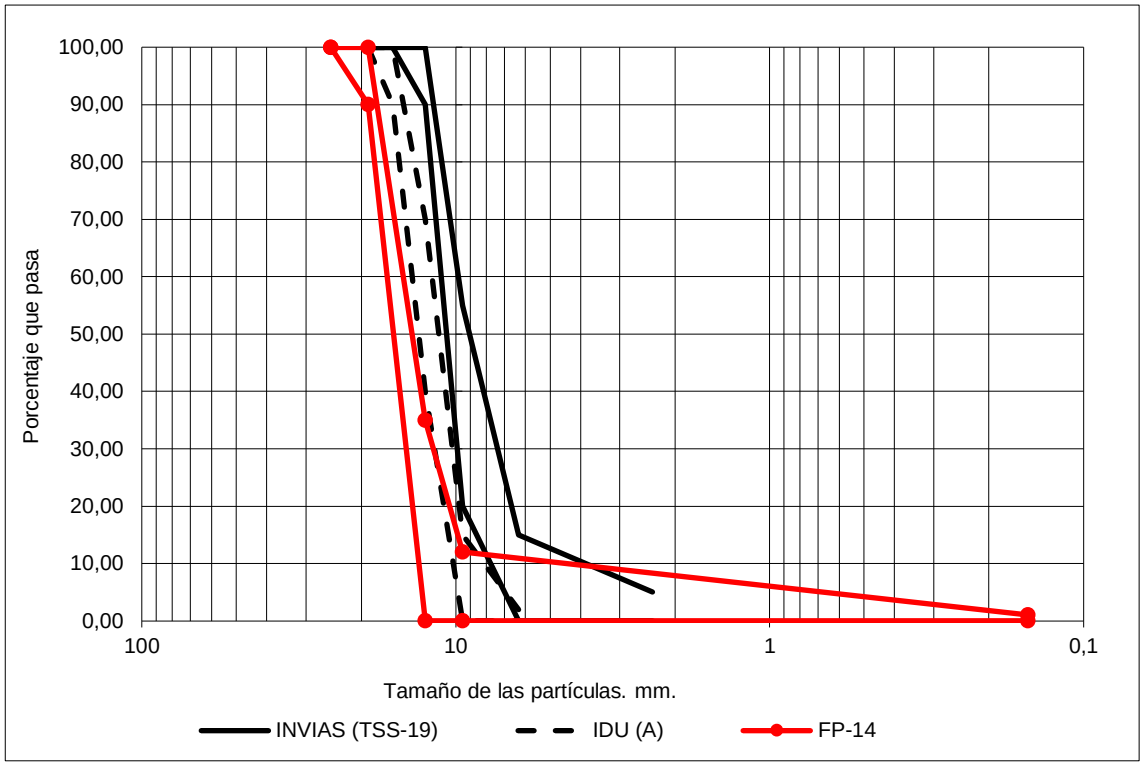
Tabla 4-9: Requerimientos granulometrías TSS y TSD. INVÍAS – IDU – FP-14

Tipo de Gradación		TAMIZ (mm / U.S Standard)										
		25.0	19.0	15.9	12.5	9.5	6.3	4.75	2.36	1.18	0.425	0.15
		1"	¾"		½"	⅜"	¼"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 40	No. 200
TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE Y DOBLES - % PASA												
INVÍAS TSS	TSS-19	-	100	-	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-	-	-
	TSS-13	-	-	-	100	90-100	10-40	0-15	0-5	-	-	-
INVÍAS TSD	TSD-25	100	90-100	-	10-45	0-15	-	0-5	-	-	-	-
	TSD-19	-	100	-	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-	-	-
	TSD-13	-	-	-	100	90-100	10-40	0-15	0-5	-	-	-
	TSD-10	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	0-5	-	-
IDU TSS	A	-	100	90-100	40-70	0-15	0-2	-	-	-	-	-
	B	-	-	100	90-100	40-70	0-10	0-3	-	-	-	-
	C	-	-	-	100	90-100	40-70	0-10	-	-	0-3	-
IDU TSD	Arenas grueso		100	80-100	50-80	-	0-10	-	-	-	0-1	-
	Arenas fino		-	-	-	100	75-100	0-15	-	-	0-2	-
	Gravas grueso		-	100	90-100	-	0-15	0-5	-	-	0-1	-
	Gravas fino		-	-	-	100	95-100	30-60	-	-	0-10	0-2
FP-14	A	100	90-100	-	0-35	0-12	-	-	-	-	-	0-1
	B	-	100	-	90-100	0-35	-	0-12	-	-	-	0-1
	C	-	-	-	100	85-100	-	0-35	0-8	-	-	0-1
	D	-	-	-	-	100	-	85-100	0-23	-	-	0-1

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS, del IDU y FP-14.

En la **Figura 4-5** se presenta la comparación de las franjas granulométricas del tratamiento superficial simple (TSS) con tamaño máximo de 19 mm. La norma estadounidense considera un material más grueso que las especificaciones colombianas.

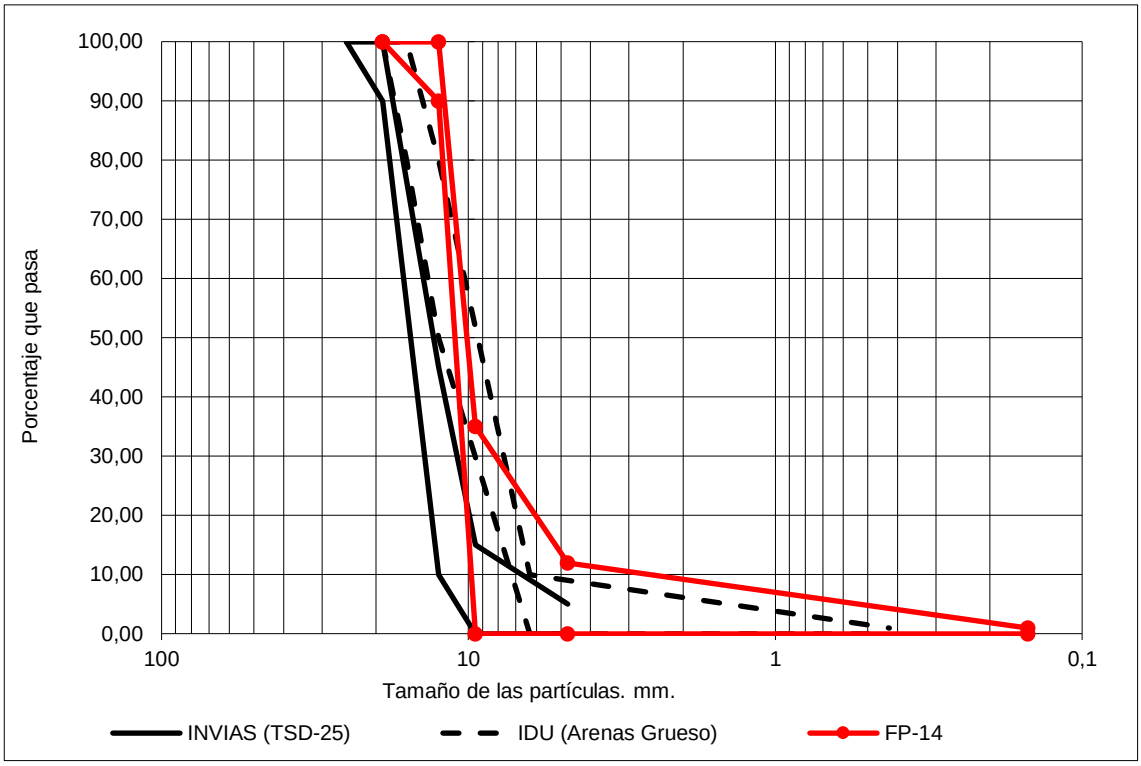
Figura 4-5: Granulometría tratamiento superficial simple INVÍAS – IDU – FP-14



Fuente: Propia.

En la **Figura 4-6** se presenta la comparación de las franjas granulométricas del tratamiento superficial doble con tamaño máximo de 25 mm. La franja de la especificación estadounidense corresponde a un material más fino que las normas nacionales.

Figura 4-6: Granulometría tratamiento superficial doble INVÍAS – IDU – FP-14



Fuente: Propia.

4.1.6 Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (MADC)

En este análisis se observan similitudes entre las normas comparadas, teniendo en cuenta que las normas INVÍAS e IDU separan los requerimientos por niveles de tránsito que no son completamente compatibles.

Como se observa en la **Tabla 4-10**, la especificación FP-14 coincide con el menor nivel de exigencia de las normas INVÍAS e IDU en desgaste (Los Ángeles), limpieza (equivalente de arena) y angularidad de la fracción fina. Por el contrario, FP-14 coincide con las mayores exigencias en trituración de una y dos caras. FP-14 incluye el ensayo de sanidad, el cual no se exige en las normas colombianas.

Tabla 4-10: Requerimientos ensayos MADC INVÍAS – IDU – FP-14

ENSAYO		Norma ensayo INV	INVIAS			IDU			FP-14
			NT1	NT2	NT3	T0-T1	T2-T3	T4-T5	
Dureza, agregado grueso	**Desgaste de la máquina de los ángeles, máximo (%) - 500 Revoluciones**								
	Rodadura	E-218	25	25	25	30	30	25	35
	Intermedia		35	35	35	35	35	30	
	Base		N.A	35	35	NA	NA	NA	
Durabilidad	Pérdidas de ensayo de solidez en sulfato de Sodio, agregado grueso y fino, máximo (%)	E-220	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	12
Limpieza, gradación combinada	Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	50	50	50	N.A	N.A	N.A	45
Geometría de las partículas, agregado grueso	Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%)	E-240	10	10	10	N.A	N.A	N.A	10
	Caras fracturadas - 1 Cara, mínimo (%)								
	Rodadura	E-227	75	75	85	75	75	90	90
	Intermedia		60	75	75				
	Base		N.A	60	60				
	Caras fracturadas - 2 Caras, mínimo (%)								
	Rodadura	E-227	N.A	60	70	50	60	75	75
	Intermedia		N.A	N.A	N.A				
	Base		N.A	N.A	N.A				
Geometría de las partículas, agregado fino	**Angularidad de la fracción fina, método A, mínimo (%)**								
	Rodadura	E-239	40	45	45	45	45	45	40
	Intermedia		35	40	40	40	40	45	
	Base		N.A	35	35	40	40	40	

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS, del IDU y FP-14.

En la **Tabla 4-11** se presenta el comparativo de los husos granulométricos de INVÍAS, IDU y FP-14 para todas las clases de mezclas asfálticas, incluidas las mezclas de alto módulo, las cuales sólo son consideradas en las normas nacionales.

Tabla 4-11: Requerimientos granulometrías MADC INVÍAS – IDU – FP-14

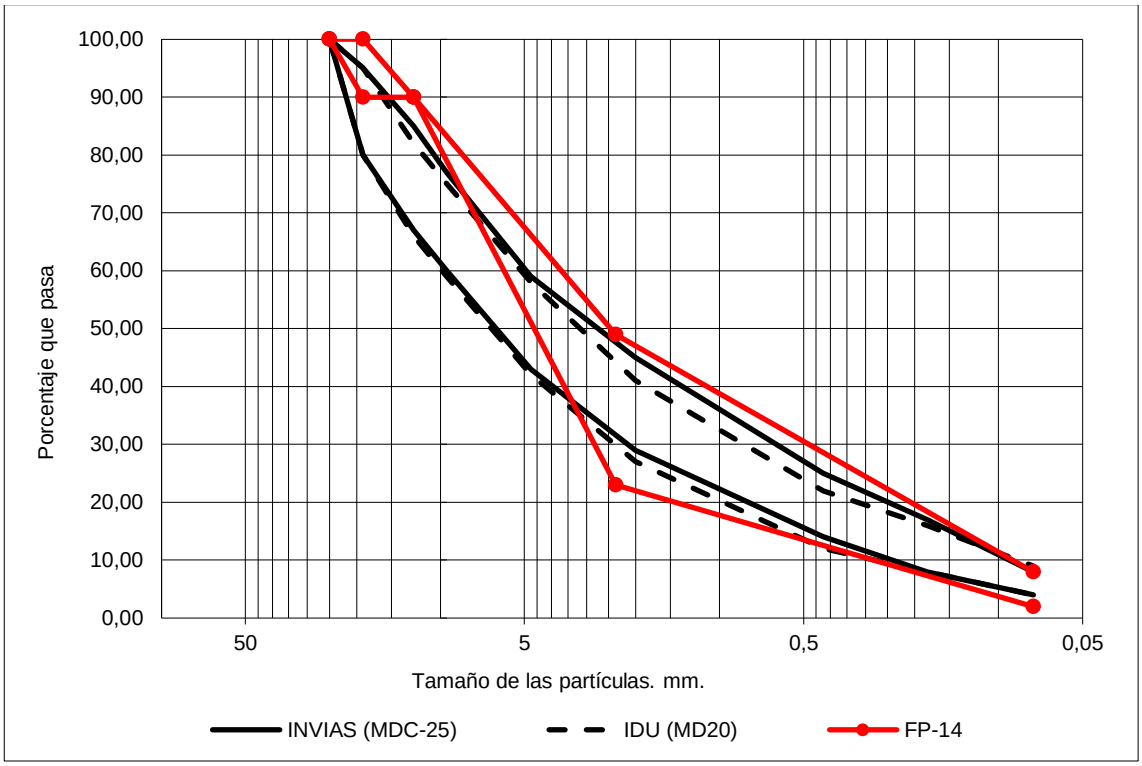
TIPO DE MEZCLA		Tamiz (mm / U.S Standard)										
		37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.36	2.00	0.425	0.180	0.075
		1 ½"	1"	¾"	½"	⅜"	No. 4	No. 8	No. 10	No. 40	No. 80	No. 200
% PASA												
DENSA	INV (MDC-25)	-	100	80-95	67-85	60-77	43-59	-	29-45	14-25	8-17	4-8
	IDU (MD20)	-	100	80-95	66-82	59-75	42-58	-	27-41	12-22	8-16	4-9
	INV (MDC-19)	-	-	100	80-95	70-88	49-65	-	29-45	14-25	8-17	4-8
	IDU (MD12)	-	-	100	80-95	71-87	49-65	-	30-44	14-22	8-16	4-9
	INV (MDC-10)	-	-	-	-	100	65-87	-	43-61	16-29	9-19	5-10
	IDU (MD10)	-	-	-	100	80-95	59-76	-	36-51	15-25	9-18	5-10

TIPO DE MEZCLA		Tamiz (mm / U.S Standard)										
		37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.36	2.00	0.425	0.180	0.075
		1 ½"	1"	¾"	½"	⅜"	No. 4	No. 8	No. 10	No. 40	No. 80	No. 200
% PASA												
SEMI DENSA	INV (MSC-25)	-	100	80-95	65-80	55-70	40-55	-	24-38	9-20	6-12	3-7
	IDU (MS25)	100	80-95	73-89	60-76	53-69	33-49	-	23-39	10-20	6-13	3-8
	INV (MSC-19)	-	-	100	80-95	65-80	40-55	-	24-38	9-20	6-12	3-7
	IDU (MS20)	-	100	80-95	66-82	55-71	35-51	-	23-39	10-20	6-13	3-8
	IDU (MS12)	-	-	100	80-95	67-83	40-56	-	23-39	10-20	6-13	3-8
% PASA												
GRUESA	INV (MGC-38)	100	75-95	65-85	47-67	40-60	28-46	-	17-32	7-17	4-11	2-6
	IDU (MG25)	100	75-95	65-85	47-67	40-60	29-46	-	17-32	7-17	4-11	2-6
	INV (MGC-25)	-	100	75-95	55-75	40-60	28-46	-	17-32	7-17	4-11	2-6
	IDU (MG20)	-	100	75-95	55-75	46-66	28-46	-	17-32	7-17	4-22	2-6
% PASA												
ALTO MÓ	INV (MAM-25)	-	100	80-95	65-80	55-70	40-55	-	24-38	10-20	8-14	6-9
	IDU (MAM20)	-	100	80-95	66-82	55-71	35-51	-	23-39	10-20	8-14	6-9
% PASA												
FP-14	1"	100	90-100	90	-	-	-	19-45	-	-	-	1-7
	¾"	-	100	90-100	70-90	-	-	23-49	-	-	-	2-8
	½"	-	-	100	90-100	90	-	28-58	-	-	-	2-10
	⅜"	-	-	-	100	90-100	90	32-67	-	-	-	2-10
	No. 4	-	-	-	-	100	95-100	70-80	-	-	-	4-10
	A	-	-	-	-	100	30-45	5-15	-	-	-	2-5
	B	-	-	-	100	95-100	50-70	5-15	-	-	-	2-5

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS, del IDU y FP-14.

En la **Figura 4-7**, se presentan las franjas granulométricas de la mezcla densa en caliente con tamaño máximo de 25 mm, la cual corresponde a la MDC25 para el INVÍAS, MD20 para el IDU y ¾" para FP-14 con cinco tamices de control. Los husos son semejantes, aunque la norma estadounidense puede incluir tamices adicionales de control de acuerdo con las tolerancias definidas en las mismas especificaciones.

Figura 4-7: Granulometría MAC de gradación densa INVÍAS – IDU – FP-14



Fuente: Propia.

4.1.7 Mezclas asfálticas abiertas en caliente (MAAC)

Al igual que en el caso anterior, la comparación entre las especificaciones nacionales y la FP-14 estadounidense debe tener en cuenta los diferentes niveles de tránsito definidos por INVÍAS e IDU.

En la **Tabla 4-12** se presentan los requerimientos para las MAC de gradación abierta encontrando similitud en los ensayos solicitados, salvo por el ensayo de sanidad que no es exigido en las normas colombianas.

La norma estadounidense coincide con el INVÍAS en la exigencia de desgaste (Los Ángeles) y trituración del agregado grueso. Las normas del IDU son más exigentes en ambos aspectos para su nivel de tránsito más alto (T3-T4).

Tabla 4-12: Requerimientos ensayos MAAC INVÍAS – IDU – FP-14.

ENSAYO		NORMA ENSAYO INV	INVIAS			IDU			FP-14
			NT1	NT2	NT3	T0-T1	T2-T3	T4-T5	
Dureza, agregado grueso	Desgaste de la máquina de los Ángeles - 500 revoluciones, máximo (%)	E-218	35	35	35	35	35	30	35
Durabilidad	Pérdidas de ensayo de solidez en sulfato de Sodio, agregado grueso y fino, máximo (%)	E-220	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	12
Geometría de las partículas, agregado grueso	Caras fracturadas, mínimo (%). Una cara:	E-227	60	75	75	75	75	90	75

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS, del IDU y FP-14.

En la **Tabla 4-13** se presentan los requisitos granulométricos para las MAC de gradación abierta. Se observa una diferencia importante entre las normas colombianas, coincidentes entre sí para tres gradaciones con tamaño máximo hasta 3”, y las normas FP-14 cuyos tamaños máximos son de ½” y ⅜”.

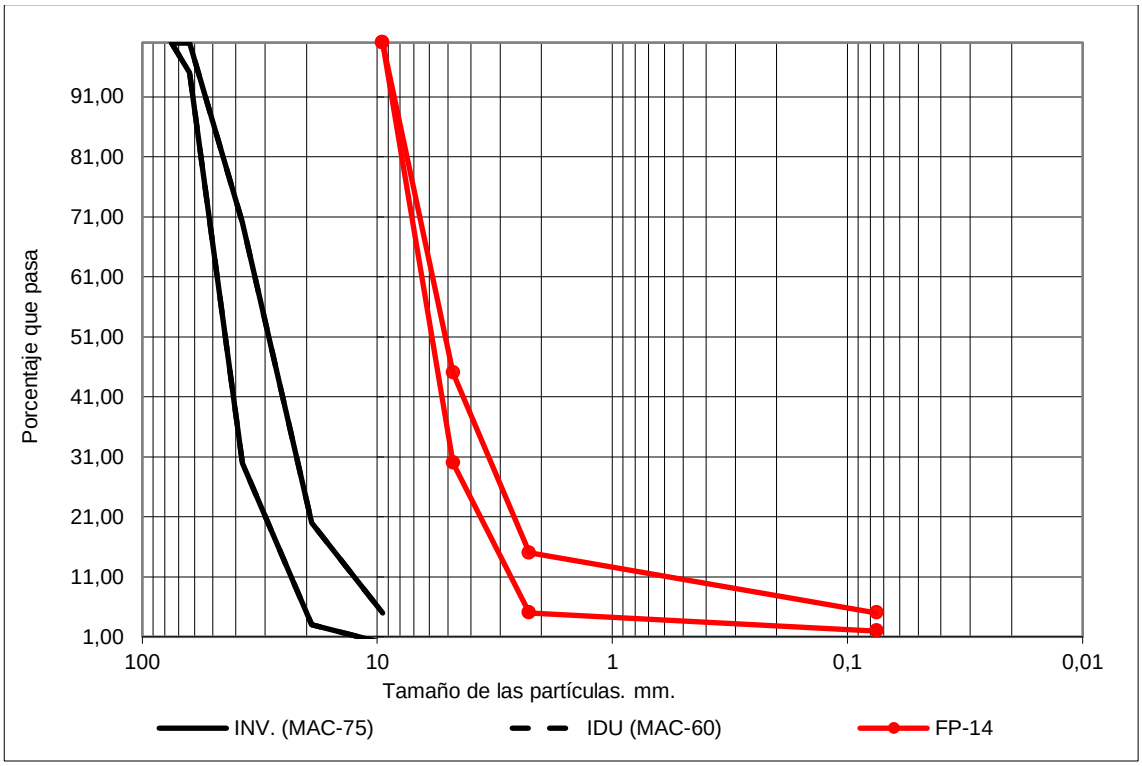
Tabla 4-13: Requerimientos granulometrías MAAC INVÍAS – IDU – FP-14.

TIPO DE MEZCLA	Tamiz (mm / U.S Standard)										
	75	63	50	37.5	19	12.5	9.5	4.75	2.26	0.150	0.075
	3"	2 ½”	2"	1 ½”	¾”	½”	⅜"	No. 4	No. 8	No. 100	No. 200
% PASA											
INV. (MAC-75)	100	95-100	-	30-70	3-20	-	0-5	-	-	-	-
IDU (MAC-60)	100	95-100	-	30-70	3-20	-	0-5	-	-	-	-
INV. (MAC-63)	-	100	-	35-70	5-20	-	-	-	0-5	-	-
IDU (MAC-50)	-	100	-	35-70	5-20	-	-	-	0-5	-	-
INV. (MAC-50)	-	-	100	75-90	50-70	-	-	8-20	-	0-5	-
IDU (MAC-40)	-	-	100	75-90	50-70	-	-	8-20	-	0-5	-
FP-14 A	-	-	-	-	-	-	100	30-45	5-15	-	2-5
FP-14 B	-	-	-	-	-	100	95-100	50-70	5-15	-	2-5

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS, del IDU FP-14.

En la **Figura 4-8** se muestra la diferencia en las gradaciones INVÍAS e IDU de mayor tamaño máximo (3”) con la gradación FP-14 A de ⅜”.

Figura 4-8: Granulometría MAC de gradación abierta INVÍAS – IDU – FP-14.



Fuente: Propia.

4.1.8 Pavimentos de concreto hidráulico (PCCP)

En la **Tabla 4-14** se presentan los requisitos de calidad exigibles al agregado grueso (AG) para pavimentos de concreto hidráulico. En este caso, solo el IDU define niveles de exigencia de acuerdo con el tránsito. La especificación FP-14 cita las normas *AASHTO M80 "Standard Specification for Coarse Aggregate for Hydraulic Cement Concrete – Class A"* y *AASHTO M43 "Standard Specification for Sizes of Aggregate for Road and Bridge Construction"* (AASHTO, 2008), de las cuales se han tomado los valores de referencia para esta sección.

La exigencia de desgaste (Los Ángeles) de la norma FP-14 coincide con la del INVÍAS y es mayor que la misma norma AASHTO M80. No se indican características relacionadas con la forma de las partículas ni la trituración del agregado. La evaluación de la reactividad álcali – agregado es la misma descrita por el INVÍAS.

Tabla 4-14: Requerimientos ensayos PCCP – AG INVÍAS – IDU – FP-14.

	Ensayo	Norma Ensayo INV	INVIAS	IDU			FP-14	
				T0-T1	T2-T3	T4-T5	MIN	MAX
Dureza	Desgaste en la máquina de los ángeles, máximo (%), 500 revoluciones	E-218	40	35	30	30	-	40
	Desgaste en la máquina de los ángeles, máximo (%), 100 revoluciones		8	N.A	N.A	N.A	-	-
	Degradación por abrasión en el equipo Micro - Deval, máximo (%)	E-238	30	30	25	25	-	-
	Resistencia mecánica por el 10% de finos. Valor en seco, kN mínimo	E-224	90	60	75	75	-	-
	Resistencia mecánica por el 10% de finos. Relación húmedo/seco, % mínimo		75	75	75	75	-	-
Durabilidad	Perdidas en el ensayo de solidez de sulfatos, máximo (%)							
	Sulfato de Sodio	E-220	10	N.A	N.A	N.A	-	12
	Sulfato de magnesio		15	18	18	18	-	18
Limpieza	Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%)	E-211	3	0.25	0.25	0.25	-	2.0
	Partículas livianas , máximo %	E-221	0.5	1.0	1.0	1.0	-	-
Geometría de las Partículas	Partículas fracturadas mecánicamente, mínimo (%)							
	1 Cara	E-227	60	60	75	85	-	-
	2 Caras		N.A	35	50	70	-	-
	Partículas planas y alargadas (relación 5:1), máximo (%)	E-240	10	N.A	N.A	N.A	-	-
	Índice de aplanamiento, % máx.	E-230	N.A	25	25	20	-	-
	Índice de alargamiento, % máx.	E-230	N.A	25	25	20		
Características químicas	Proporción de sulfatos del material combinado, expresado como $SO_4^{=}$, máximo (%)	E-233	1.0	1.0	1.0	1.0		
	Reactividad álcali agregado grueso y fino: Concentración SiO_2 y reducción de alcalinidad R	E-234	$SiO_2 \leq R$ Cuando $R \geq 70$ $SiO_2 \leq 35 + 0.5\ R$ Cuando $R < 70$	N.A	N.A	N.A		

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS, del IDU y FP-14.

En la **Tabla 4-15** se presentan los requerimientos para el agregado fino (AF) para concreto hidráulico. La especificación FP-14 cita la norma *AASHTO M6 "Fine Aggregate for Hydraulic Cement Concrete – Class B"* (AASHTO, 2008). Las especificaciones norteamericanas coinciden en los criterios de durabilidad, limpieza y contenido de material orgánico con las especificaciones colombianas.

Tabla 4-15: Requerimientos ensayos PCCP – AF INVÍAS – IDU – FP-14.

	Ensayo	Norma Ensayo INV	INVIAS	IDU	FP-14	
					MIN	MAX
Durabilidad	**Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, % máximo**					
	Sulfato de Magnesio	E-220	15	15	-	15
	Sulfato de Sodio		10	N.A	-	10
Limpieza	Limite líquido, % máximo	E-125	N.A	NP	-	-
	Índice de plasticidad, % máximo	E-126	NP	NP	-	-
	Equivalente de arena, % mínimo	E-133	60	50	-	-
	Valor de azul de metileno, máximo	E-235	N.A	5	-	-
	Terrones de arcilla y partículas deleznables, % máximo	E-211	3	1	-	3
	Partículas livianas, % máximo	E-221	0.5	0.5	-	-
	Material que pasa el tamiz de 75 µm (No 200), % máximo	E-214	3	5		3
Contenido de material orgánico	Color más oscuro permisible	E-212	Igual a muestra patrón		Igual a muestra patrón	
Características químicas	Contenidos de sulfatos expresado como $SO_4^{=}$, % máximo	E-233	1.2	1.2	(*)	
Absorción	Absorción de agua, % máximo	E-222	4	4		

(*) La norma FP-14 define un procedimiento extendido de evaluación del potencial de reacción álcali – agregado, incluyendo petrografía de los agregados.

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS, del IDU y FP-14.

Respecto a las franjas granulométricas comparativas entre el INVÍAS, IDU y FP-14, se separan en agregado grueso y fino según las exigencias de cada entidad. En la **Tabla 4-16** se presentan las gradaciones del agregado grueso teniendo en cuenta AASHTO M80.

Tabla 4-16: Granulometrías PCCP – AG. INVÍAS – IDU – AASHTO.

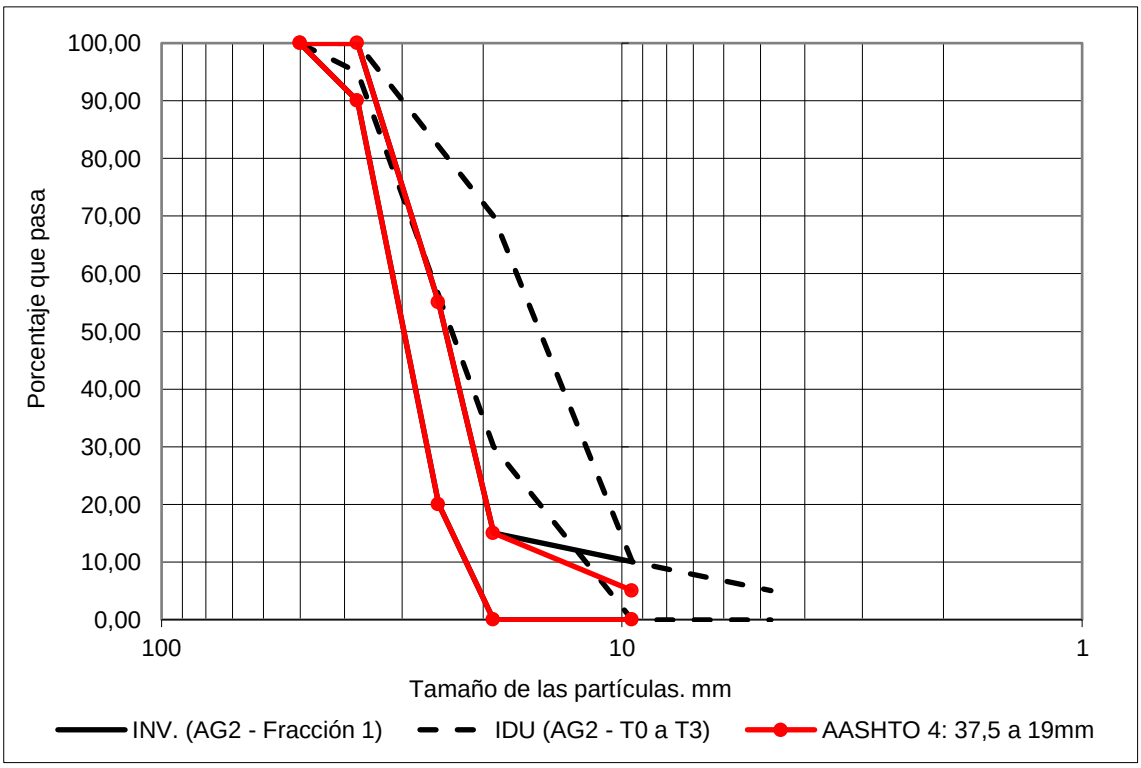
Tipo de Gradación		TAMIZ (mm / U.S Standard)										
		75	63.0	57.0	50.0	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.36
		3"	2 ½"	2 ¼"	2"	1 ½"	1"	¾"	½"	⅜"	No. 4	No. 8
		% PASA										
AG1 - INVIAS	**Fracción 1: 2 ½" a 1"**	-	100	-	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-
	Fracción 2: 1 ½" a No. 4	-	-	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5
AG1 - IDU	**T0 a T1**	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-
AG2 - INVIAS	**Fracción 1: 2" a ¾"**	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-10	-	-
	Fracción 2: 1" a No. 4	-	-	-	-	-	100	90-100	-	0-5	0-10	0-5
AG2 - IDU	**T0 a T3**	-	-	-	100	95-100	-	30-70	-	0-10	0-5	-
AG3 - INVIAS	**1 ½" a No. 4**	-	-	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5
AG3 - IDU	**T0 a T5**	-	-	-	-	100	95-100	-	20-60	-	0-5	-
AG4 - IDU	**T0 a T5**	-	-	-	-	-	100	95-100	-	20-55	0-5	-
AASHTO - AGREGADO GRUESO	**2: 63 a 37,5 mm**	100	90-100	-	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-
	24: 63 a 19mm	100	90-100	-	-	25-60	-	0-10	0-5	-	-	-
	3: 50 a 25mm	-	100	-	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-
	357: 50 a 4,75mm	-	100	-	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-

Tipo de Gradación		TAMIZ (mm / U.S Standard)										
		75	63.0	57.0	50.0	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.36
		3"	2 ½"	2 ¼"	2"	1 ½"	1"	¾"	½"	⅜"	No. 4	No. 8
		% PASA										
	4: 37,5 a 19mm	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-	-
	467: 37,5 a 4,75mm	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-
	5: 25 a 12,5mm	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-10	0-5	-	-
	56: 25 a 9,5mm	-	-	-	-	100	90-100	40-85	10-40	0-15	0-5	-
	57: 25 a 4,75mm	-	-	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5
	6: 19 a 9,5mm	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	0-5	-
	67: 19 a 4,75mm	-	-	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5
	7: 12,5 a 4,75mm	-	-	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS, del IDU y AASHTO.

En la **Figura 4-9** se presentan las curvas granulométricas del INVÍAS (AG2 - Fracción 1: 2" a ¾"), IDU (T0 a T3) y para AASHTO (4: 37,5 a 19mm), para tamiz de tamaño máximo de 50mm. Se observa que la franja granulométrica norteamericana es similar a la del INVÍAS

Figura 4-9: Granulometría PCCP – AG. INVÍAS – IDU – AASHTO.



Fuente: Propia.

En la **Tabla 4-17** se muestran los requerimientos granulométricos para el agregado fino según AASHTO M6 con tamaño máximo de ⅜”.

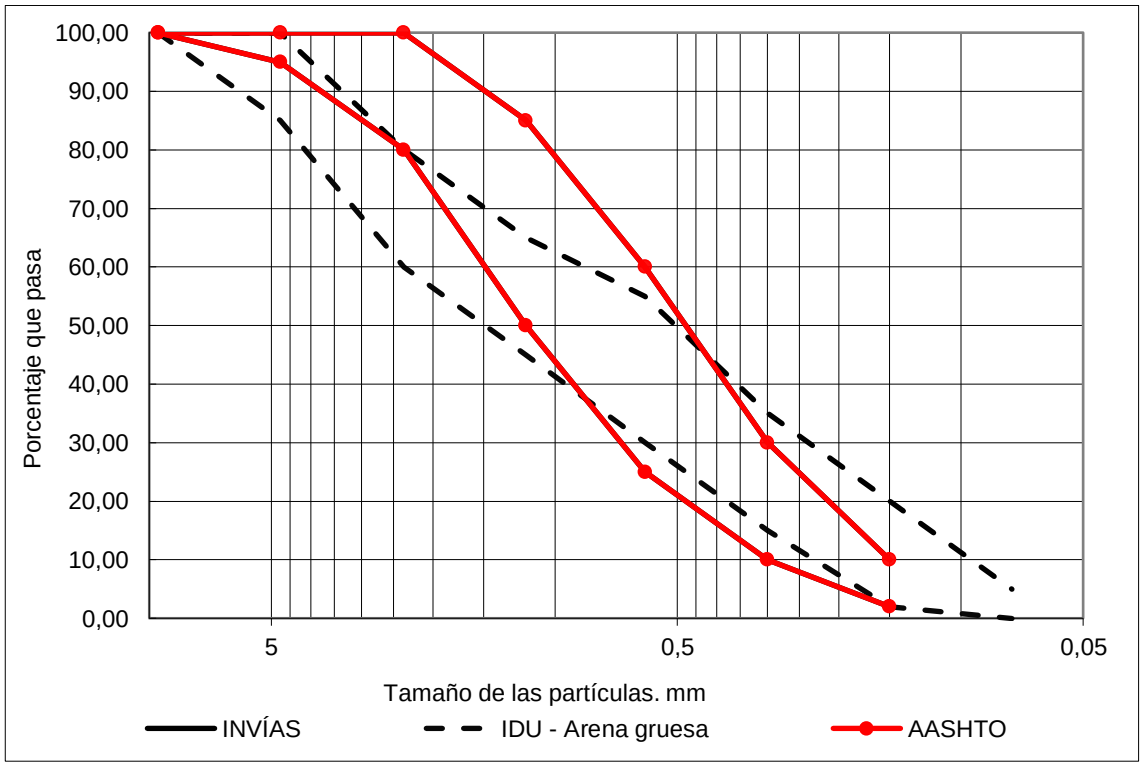
Tabla 4-17: Requerimientos granulometrías PCCP – AF. INVÍAS – IDU – AASHTO.

Tipo de Gradación		TAMIZ (mm / U.S Standard)							
		9.5	4.75	2.36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,075
		3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
		% PASA							
INVÍAS	ÚNICA	100	95-100	80-100	50-85	25-60	10-30	2-10	-
IDU	Arena Fina	-	100	90-100	85-90	75-85	30-50	0-20	0-5
	Arena Gruesa	100	85-100	60-80	45-65	30-55	15-35	2-20	0-5
AASHTO	Agregado Fino	100	95-100	80-100	50-85	25-60	10-30	2-10	-

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS, del IDU y AASHTO.

En la **Figura 4-10** se muestran las fracciones de agregado fino del INVÍAS, IDU y AASHTO, donde se aprecia que la franja granulométrica de AASHTO coincide con la exigida por el INVÍAS.

Figura 4-10: Granulometría PCCP – AF. INVÍAS – IDU – AASHTO.



Fuente: Propia.

4.1.9 Control y aseguramiento de la calidad

El propósito del control y aseguramiento de la calidad ("Quality Control / Quality Assurance [QC/QA]") es construir pavimentos de mejor calidad y más duraderos reduciendo la variabilidad de la mezcla asfáltica en caliente y sus costos de producción, ya que estos aumentan en el momento de realizar pruebas y muestreos (Ksaibati & Butts, 2003).

Tradicionalmente, en los EE.UU. y en Colombia las entidades viales han elaborado especificaciones conocidas como "especificaciones de receta", las cuales brindan los parámetros a seguir en la construcción y control de calidad de las capas de concreto asfáltico o concreto hidráulico y las otras actividades necesarias para la construcción de pavimentos y estructuras. En la experiencia norteamericana, las actividades de control de calidad y ejecución en campo están a cargo de la entidad vial, la cual asume la responsabilidad cuando los proyectos fracasan y pierde los pleitos legales con los constructores quienes argumentan que "se siguieron las especificaciones y los métodos, pero los materiales fallaron" (Federal Highway Administration, 2013).

El Departamento de Transporte de California (CALTRANS) ha propuesto transformar las "especificaciones de receta" en "especificaciones de desempeño" mediante la implementación del control y aseguramiento de la calidad (QC/QA) a cargo del constructor, quien debe buscar la mejora e innovación permanentes pues los factores de pago de los ítems están vinculados a los resultados de la evaluación de los materiales.

En esta metodología se prescribe al contratista el uso de materiales específicos, en proporciones definitivas, con tipos específicos de equipos y métodos para disponer los materiales, buscando un control directo sobre su operación mediante un constante monitoreo que permite realizar ajustes de manera efectiva y lograr una mayor vida útil del pavimento. En consecuencia, las entidades viales solo se encargarían de la aceptación de la obra (TRB, 1999).

En la Guía AASHTO de Diseño de 1993 no se incluyen métodos específicos de medición de las características finales del producto. Las especificaciones FP-14 asignan dicha

responsabilidad a las entidades viales e incluyen en su sección 106 las definiciones generales de lote, muestreo y aceptación o rechazo de los trabajos (U.S. DOT, 2014).

4.2 Overseas Road Note 31 (1993)

En 1933, el gobierno británico instituyó el Road Research Laboratory (RRL) para la investigación sobre diseño y materiales para carreteras y algunos temas de seguridad vial. Durante la Segunda Guerra Mundial (1939-1945), el laboratorio se enfocó en investigaciones bélicas, incluyendo el desarrollo de armas. En 1945, debido al incremento de la accidentalidad, comienzan las investigaciones sobre tránsito y seguridad vial como, por ejemplo, el desarrollo del cruce peatonal tipo “cebra” a finales de la década de 1940. En 1955 se creó la sección de ultramar (overseas) para investigar los problemas viales de las colonias británicas. Posteriormente, se desarrollaron investigaciones sobre el desempeño de los sistemas vehiculares de frenos, luces y direccionales; sobre cascos de seguridad y sobre iluminación vial. En 1960 se introdujo la regla de prioridad para la operación de glorietas. En 1972 el laboratorio cambió su nombre a Transport and Road Research Laboratory (TRRL) pues su campo de actuación incluía estudios de carga, tránsito y medioambiente. En 1992, el laboratorio obtuvo su denominación actual, Transport Research Laboratory (TRL). En 1996 fue privatizado y, desde entonces, continúa sus actividades como centro de excelencia en investigación, consultoría y asesoría en amplios temas del sector transporte para instituciones públicas y privadas (TRL Limited, 2016).

La *Overseas Road Note 31 “A Guide to the Structural Design of Bitumen-Surfaced Roads in Tropical and Sub-Tropical Countries”* fue publicada por primera vez en 1962, con revisiones en 1966, 1977 y 1993. La Guía se basa en investigaciones desarrolladas en el Reino Unido y su adaptación a través de las experiencias acumuladas en más de 30 países con climas subtropicales y tropicales. La edición actual de la Guía permite diseñar pavimentos para tráficos hasta 30 millones de ejes estándar y toma en consideración la variabilidad de las propiedades de los materiales y del control de construcción, la incertidumbre en la predicción del tránsito, los efectos del clima y de los ejes vehiculares sobrecargados, y la variabilidad estadística general del comportamiento de la vía. La Guía

contempla un catálogo con múltiples materiales y recomendaciones detalladas sobre especificaciones y técnicas aplicables a los mismos (TRL, 1993).

En Colombia se han empleado las diferentes ediciones de este método. Los métodos del Ministerio de Obras Públicas y Transporte de 1970 y 1975 fueron elaborados con apoyo británico e implementaron el uso de los ejes estándar de 80 kN antes que la edición de la ORN31 de 1977. Tal como lo indican Cardona & Ramírez (1999), el criterio de diseño de las primeras versiones de la ORN31 era limitar los esfuerzos inducidos por el tránsito en la subrasante hasta un nivel seguro para que el pavimento no se deteriore en grado excesivo dentro de un periodo de tiempo determinado.

El catálogo de 1993 incluye estructuras con hasta 150 milímetros de concreto asfáltico sobre capas de bases granulares y bases tratadas con ligantes hidráulicos, en tal sentido, el método indica que se han hecho verificaciones mecanicistas de comportamiento (fatiga) para complementar el criterio de diseño basado en el CBR de las versiones anteriores.

La ORN31 incluye capítulos específicos sobre cada material empleado en la elaboración de las cartas de diseño, los cuales definen los valores de aceptación para diferentes métodos de ensayo y niveles de exigencia de acuerdo con las clases de tránsito consideradas en el método. En la **Tabla 4-18** se presentan las clases de tránsito del método.

Tabla 4-18: Categorización del tránsito en el método ORN31

Clase de tránsito	Rango (millones de ejes sencillos equivalentes)
T1	<0.3
T2	0.3-0.7
T3	0.7-1.5
T4	1.5-3.0
T5	3.0-6.0
T6	6.0-10
T7	10-17
T8	17-30

Fuente: ORN31.

Es necesario aclarar que el procedimiento de cálculo de los ejes estándar de 8.2 toneladas de la ORN31 difiere del propuesto por AASHTO (1993), dando una agresividad mayor para sistemas de ejes múltiples con cargas superiores al valor de referencia indicado. La misma

situación se observa en los métodos del Instituto Nacional de Vías de Colombia que prescriben una forma de cálculo de los ejes equivalentes de 80 kN que asigna una mayor agresividad a los ejes sencillos direccionales.

No obstante, la práctica común es aceptar la equivalencia entre el tránsito obtenido mediante la metodología AASHTO y el tránsito requerido para aplicar la ORN31. Para conocer el error potencial de esta aproximación se requiere información de la distribución de ejes y pesos que permita aplicar rigurosamente cada metodología. No obstante, los rangos o clases de tránsito se han creado precisamente para compensar este tipo de incertidumbre.

De acuerdo con lo anterior, en la **Tabla 4-19** se presentan las equivalencias entre los niveles de tránsito propuestos por el INVÍAS, el IDU y la ORN31.

Tabla 4-19: Comparación niveles de tránsito INVIAS – IDU – ORN 31

Categoría de tránsito	INVÍAS	IDU	ORN 31
NT1	$N_{80kN} \leq 0.5$	NAEE_80<0.2	0.3<ESAL<0.7
		0.2≤NAEE_80<0.5	
NT2	$0.5<N_{80kN}\leq 5.0$	0.5≤NAEE_80<1.5	0.7≤ESAL<6.0
		1.5≤NAEE_80<3.0	
NT3	$N_{80kN}>5.0$	3.0≤NAEE_80<7.5	6.0≤ESAL<30
		NAEE_80≥7.5	

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS, del IDU y la ORN31.

La ORN31 considera un espectro amplio de materiales, algunos de los cuales no cuentan con especificación en Colombia como los macadams. A continuación, se analiza la divergencia entre los requerimientos de las especificaciones del INVIAS, del IDU y la ORN31 para subbase granular, base granular y mezclas asfálticas. La ORN31 no considera pavimentos rígidos.

4.2.1 Subbase granular (SBG)

En la **Tabla 4-20** se presentan los ensayos requeridos por la ORN31 frente a las exigencias del INVÍAS y del IDU. Se observa que la exigencia de la ORN31 es menor que la de las normas colombianas en plasticidad y resistencia, considerando incluso valores elevados de límite líquido (55) e índice plástico (20) para zonas áridas y semiáridas. En las

normas colombianas no se proponen distinciones relacionadas con el régimen hídrico de la zona del proyecto. El valor de CBR de la ORN31 es inferior al exigido por las normas colombianas y corresponde al umbral tradicional para este tipo de material.

Tabla 4-20: Requerimientos ensayos SBG INVÍAS – IDU – ORN 31

	Subbase granular Clase A	Norma Ensayo INV	INVIAS	IDU	NOTE 31
Limpieza	Límite líquido, máximo (%)	E-125	25	25	<35 Moist and wet tropical <45 Seasonally wet tropical <55 Arid and semi-arid
	Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 E-126	6	3	<6 Moist and wet tropical <12 Seasonally wet tropical <20 Arid and semi-arid
	Contracción lineal (Nota 31 Pág. 26)	-	N.A	N.A	<3 Moist and wet tropical <6 Seasonally wet tropical <10 Arid and semi-arid
Resistencia del Material	CBR, % mínimo asociado con el valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro días de inmersión.	E-148	40	60	30

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS, del IDU y la ORN31.

En la **Tabla 4-21** se presentan las franjas granulométricas de subbase granular para el INVÍAS, IDU y la ORN 31. Para esta última se ha considerado una conversión flexible entre los tamices del estándar británico (BS) y los ASTM empleados en Colombia.

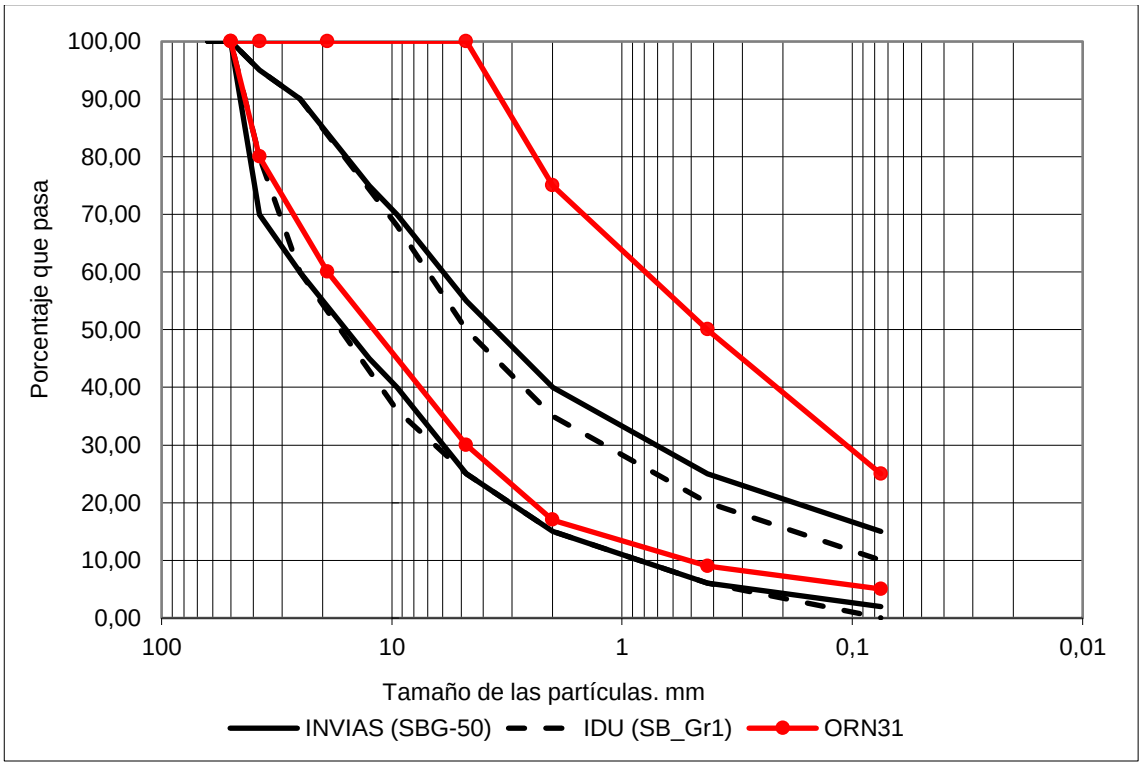
Tabla 4-21: Requerimientos granulometrías SBG INVÍAS – IDU – ORN 31

Tipo de Gradación	TAMIZ (mm / U.S Standard)										
	63.0	50.0	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	2 ½"	2"	1 ½"	1"	¾"	½"	⅜"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
	% PASA										
INVIAS (SBG-50)	100	100	70-95	60-90	-	45-75	40-70	25-55	15-40	6-25	2-15
IDU (SB_Gr1)	100	100	80-95	60-90	-	-	36-68	25-50	15-35	6-20	0-10
% PASA											
INVIAS (SBG-38)	-	-	100	75-95		55-85	45-75	30-60	20-45	8-30	2-15
IDU (SB_Gr2)	-	-	100	75-95	62-88	-	42-78	28-55	16-40	6-22	0-12
ORN31 (GS)	-	100	80-100	-	60-100	-	-	30-100	17-75	9-50	5-25

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS, del IDU y la ORN31.

E la **Figura 4-11** se presentan las franjas granulométricas para tamaño máximo de 50 milímetros (2"). El huso de subbase granular de la ORN31 es significativamente más amplio que el de las normas colombianas y su línea media se acerca al límite superior de estas últimas.

Figura 4-11: Granulometría subbase granular INVÍAS – IDU – ORN 31



Fuente: Propia.

4.2.2 Base granular (BG)

En la **Tabla 4-22** se presenta el comparativo de las exigencias del INVÍAS, IDU y ORN 31 y se observan las siguientes diferencias:

- Evaluación de la resistencia mecánica por el método del 10% de finos – valor en seco: La ORN31 exige materiales de mayor calidad que el INVÍAS y el IDU.
- Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio: La ORN 31 exige menor resistencia de los agregados al intemperismo.
- Límite líquido: El INVÍAS no exige este ensayo para la base granular clase A. El IDU y la ORN 31 restringen la susceptibilidad a la humedad de la fracción fina, siendo más exigente método británico.
- Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables: La ORN31 es menos exigente a la hora de evaluar la limpieza del material.

- Partículas fracturadas mecánicamente: La ORN 31 exige un menor porcentaje de trituración que las normas colombianas.
- Índice de aplanamiento y alargamiento: El IDU y la ORN 31 comparten el mismo parámetro de exigencia. El INVÍAS no establece la realización de este ensayo.
- CBR: La ORN 31 acepta materiales de menor resistencia al corte sin drenaje medida con esta prueba. El valor indicado es el tradicionalmente indicado para materiales de base granular en las ORN31.

Tabla 4-22: Requerimientos ensayos BG INVÍAS – IDU – ORN 31

	Base granular Clase A	Norma Ensayo INV	INVIAS	IDU	ORN31
Dureza	10% de finos. Valor en seco, kN mínimo	E-224	90	100	110
	10% de finos. Relación húmedo/seco, % mínimo		75	75	Tropical: 75 Árido: 60
Durabilidad	Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%). Sulfato de magnesio	E-220	18	18	20
Limpieza	Límite líquido, máximo (%)	E-125	N.A	25	20
	Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 E-126	0	NP	6
	Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%)	E-211	2	2	3
Geometría de las Partículas	Partículas fracturadas mecánicamente, mínimo (%). 2 caras	E-227	70	60	40
	Índice de aplanamiento, % máximo	E-230	N.A	35	35
	Índice de alargamiento, % máximo	E-230	N.A	35	35
Resistencia del Material	CBR, % mínimo asociado con el valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro días de inmersión.	E-148	≥ 95	100	80

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS, del IDU y la ORN31.

En la **Tabla 4-23** se presenta el comparativo para las granulometrías de base granular Clase A de INVÍAS e IDU con la franja de tamaño máximo de 50 mm de la ORN31.

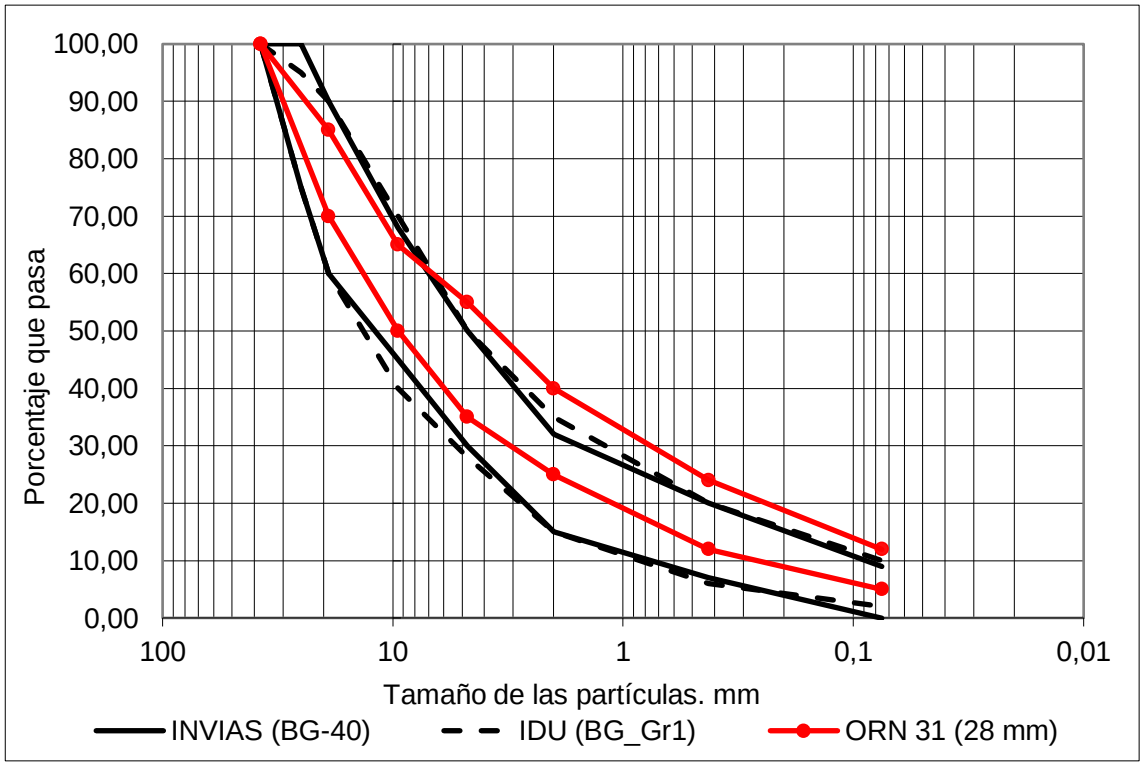
En la **Figura 4-12** se presenta la comparación de las franjas granulométricas de bases granulares con tamaño máximo de 38 mm. Las franjas son similares, aunque la el ORN 31 define un huso ligeramente menor que las especificaciones colombianas.

Tabla 4-23: Granulometría base granular INVÍAS – IDU – ORN 31

Tipo de Gradación	TAMIZ (mm / U.S Standard)								
	50.0	37.5	25.0	19.0	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	2"	1 ½"	1"	¾"	⅜"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
% PASA									
INVIAS (BG-40)	-	100	75-100	65-90	45-68	30-50	15-32	7-20	0-9
INVIAS (BG-38)	-	100	70-100	60-90	45-75	30-60	20-45	10-30	5-15
IDU (BG_Gr1)	-	100	75-95	60-90	40-70	28-50	15-35	6-20	2-10
ORN31 (37.5 mm)	100	95-100	-	60-80	40-60	25-40	15-30	7-19	5-12
ORN31 (28 mm)	-	100	-	70-85	50-65	35-55	25-40	12-24	5-12
% PASA									
INVIAS (BG-27)	-	-	100	75-100	52-78	35-59	20-40	8-22	0-9
INVIAS (BG-25)	-	-	100	70-100	50-80	35-65	20-45	10-30	5-15
IDU (BG_Gr2)	-	-	100	75-95	50-80	35-60	20-40	8-22	2-10
ORN31 (20 mm)	-	-	100	90-100	60-75	40-60	30-45	13-27	5-12

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS, del IDU y la ORN31.

Figura 4-12: Granulometría base granular INVÍAS – IDU – ORN 31.



Fuente: Propia.

4.2.3 Mezclas asfálticas

Los requerimientos de calidad para los agregados de las mezclas asfálticas de la ORN31 incluyen un mayor número de pruebas con métodos BS, AASHTO y ASTM que, por ejemplo, las especificaciones FP-14 previamente analizadas. El TRL publicó la *ORN 19 "A Guide to the Design of Hot Mix Asphalt in Tropical and Sub-Tropical Countries"* con procedimientos detallados para la selección de materiales y el diseño y producción de mezclas asfálticas, incluyendo umbrales de tránsito (TRL, 2002). En la **Tabla 4-24** se presentan los requerimientos de calidad de los agregados de las mezclas asfálticas según lo establecido por el INVÍAS, IDU y la ORN 31. El comparativo de estas normas presenta similitudes, salvo en los siguientes casos:

- Desgaste en la máquina de Los Ángeles (500 revoluciones): La ORN 31 sólo exige este parámetro para la capa de rodadura y permite materiales de menor calidad.
- Evaluación de la resistencia mecánica por el 10% de finos – valor en seco: La ORN31 es significativamente más exigente que las normas colombianas.
- Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio: La ORN31 clasifica el valor de aceptación según el tamaño de los agregados; adicionalmente es más exigente en la aceptación del agregado grueso.
- Índice de plasticidad: La ORN31 permite materiales más plásticos que los exigidos por el INVÍAS. El IDU no establece requerimiento para este ensayo.
- Equivalente de arena: La ORN31 tiene un criterio menos exigente y es función del tránsito de diseño del proyecto.

Tabla 4-24: Requerimientos ensayos mezcla asfáltica INVÍAS – IDU – ORN 31

Ensayo		Norma Ensayo INV	INVIAS			IDU			ORN31
			NT1	NT2	NT3	T0-T1	T2-T3	T4-T5	
Dureza, agregado grueso	**Desgaste de la máquina de Los Ángeles, 500 revoluciones. Máximo (%)**								
	Capa Rodadura	E-218	25	25	25	30	30	25	<35
	Capa Intermedia		35	35	35	35	35	30	N.A
	Capa Base		N.A	35	35	35	35	30	N.A
	Mezclas de alto módulo		N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	25	N.A
	Resistencia mecánica por el método del 10% de finos. Valor en seco. Mínimo (%)								
	Capa Rodadura	E-224	N.A	N.A	110	75	75	110	>160
	Capa Intermedia		N.A	N.A	90	60	60	75	

Ensayo		Norma Ensayo INV	INVIAS			IDU			ORN31
			NT1	NT2	NT3	T0-T1	T2-T3	T4-T5	
	Capa Base		N.A	N.A	75	60	60	75	
	Mezclas de alto módulo		N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	110	
Durabilidad	Pérdidas de ensayo de solidez en sulfato de Magnesio, agregado grueso y fino, máximo (%)	E-220	18	18	18	18	18	18	<15 (Grueso) <20 (Fino)
Limpieza, gradación combinada	Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 E-126	NP	NP	NP	N.A	N.A	N.A	<4
	Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	50	50	50	N.A	N.A	N.A	>35 (<1.5x10^6 esa) >40 (>1.5x10^6 esa)

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS, del IDU y la ORN31.

En la **Tabla 4-25**, se presenta el comparativo de las granulometrías de mezclas asfálticas de las tres especificaciones.

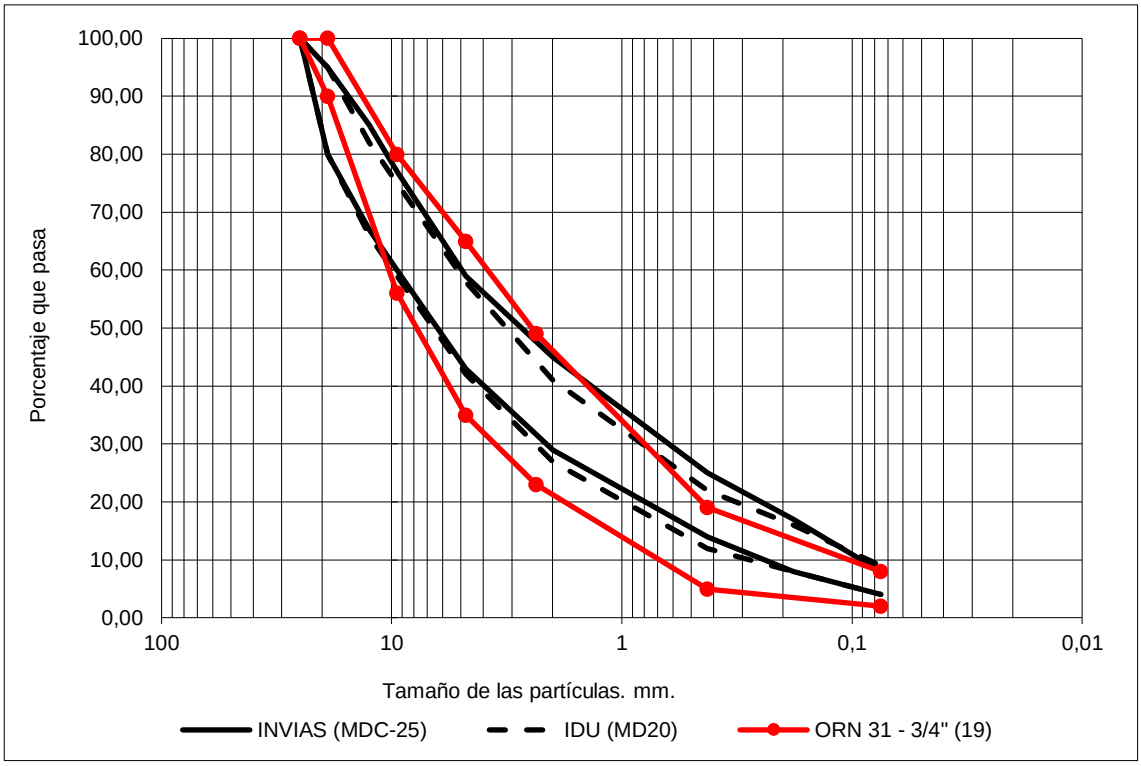
Tabla 4-25: Granulometría mezcla asfáltica INVÍAS – IDU – ORN 31

TIPO DE MEZCLA	Tamiz (mm / U.S Standard)									
	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.36	2.00	0.425	0.180	0.075
	1"	¾"	½"	⅜"	No. 4	No. 8	No. 10	No. 40	No. 80	No. 200
INV (MDC-25)	100	80-95	67-85	60-77	43-59	-	29-45	14-25	8-17	4-8
IDU (MD20)	100	80-95	66-82	59-75	42-58	-	27-41	12-22	8-16	4-9
INV (MDC-19)	-	100	80-95	70-88	49-65	-	29-45	14-25	8-17	4-8
IDU (MD12)	-	100	80-95	71-87	49-65	-	30-44	14-22	8-16	4-9
INV (MDC-10)	-	-	-	100	65-87	-	43-61	16-29	9-19	5-10
IDU (MD10)	-	-	100	80-95	59-76	-	36-51	15-25	9-18	5-10
ORN31 – ¾" (19 mm)	100	90-100	-	56-80	35-65	23-49	-	5-19	-	2-8
ORN31 – ½" (12.5 mm)	-	100	90-100	-	44-74	28-58	-	5-21	-	2-10
ORN31 – ⅜" (9.5 mm)	-	-	100	90-100	55-85	32-67	-	7-23	-	2-10

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS, del IDU y la ORN31.

En la **Figura 4-13** se comparan las franjas granulométricas para mezclas asfálticas con tamaño máximo de 25 mm. La gradación de la ORN31 corresponde a un material con menores tamaños que las especificaciones colombianas.

Figura 4-13: Granulometría mezcla asfáltica INVÍAS – IDU – ORN 31



Fuente: Propia.

4.2.4 Control y aseguramiento de la calidad

La ORN31 no incluye especificaciones sobre control de calidad y aceptación de los pavimentos terminados. Sin embargo, la ORN19 hace referencia al manual *MS-22 "Principles of Construction of Hot-mix Asphalt Pavements"* del Asphalt Institute (Institute, 2000). Explícitamente, la ORN31 establece que la compactación en campo debe ser por lo menos el 97% de la densidad obtenida en el laboratorio y recomiendan el sello de grietas durante el proceso de construcción para evitar el daño prematuro de los pavimentos por acción del agua.

4.3 Mechanistic Empirical Pavement Design Guide (ME-PDG)

En 1996 el National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) y la Federal Highway Administration (FHWA) identificaron la necesidad de formular una metodología de diseño de pavimentos, de tipo mecanicista-empírico, que sustituyera los métodos basados en el AASHO Road Test de los años 1950. En consecuencia, surgió el proyecto *NCHRP 1-37A "Development of the 2002 Guide for Design of New and Rehabilitated Pavement Structures"* cuyo objetivo era entregar dicha metodología para el año 2002. El proyecto estaba enfocado en el desarrollo de una guía que emplease los modelos mecanicistas existentes y las bases de datos que reflejaran el estado-del-arte de los procedimientos de diseño de pavimentos (ARA, Inc., ERES Consultants Division, 2004).

El método así propuesto es el primero en incorporar la aproximación de diseño por daño incremental, la cual requiere que se evalúe el impacto del clima y el envejecimiento de los materiales de forma integral durante la vida de diseño del pavimento. Uno de los aspectos más difíciles del proyecto fue calibrar los modelos conceptuales mecanicistas-empíricos con las observaciones del comportamiento de pavimentos a nivel nacional para los modos de falla de: agrietamiento por fatiga, ahuellamiento, agrietamiento térmico, escalonamiento de juntas, agrietamiento de losas y punzonamiento. La calibración se basó en los datos del programa *"Long-Term Pavement Performance (LTPP)"*, la cual demandó esfuerzos adicionales para depurar la información recopilada y hacerla útil para la formulación del método de diseño (Op. Cit., 2004).

Por otra parte, uno de los mayores avances de la Guía de Diseño fue la incorporación del *"Enhanced Integrated Climate Model (EICM)"* en la modelación de las condiciones de temperatura y humedad del pavimento para una mejor representación de la variación de los módulos de los materiales a lo largo de la simulación de daño incremental. La primera versión de la Guía de Diseño y el software necesario para su aplicación fueron publicados de forma libre en 2004 (Op. Cit., 2004).

En el año 2007 se presentó la primera versión del software al NCHRP, la FHWA y la AASHTO. En el año 2008 se publica la nueva guía con las características propuestas en el proyecto inicial (AASHTO, 2008) (Li, Xiao, Wang, Hall, & Qiu, 2011).

La MEPDG pretende identificar las causas físicas de los esfuerzos en las estructuras de pavimento y calibrarlas con el comportamiento observado considerando como variables de diseño el tránsito, los materiales, el clima, los tipos de pavimento y la variabilidad de los mismos. La MEPDG no es un método para el diseño de espesores de forma directa, por el contrario, actúa como una herramienta de análisis de modo iterativo por el diseñador. (AASHTO, 2008).

4.3.1 Control y aseguramiento de la calidad

La MEPDG incluye un capítulo completo sobre protocolos de ensayo y normas, especificaciones de material y prácticas recomendadas. Sin embargo, no se incluyen recomendaciones específicas, más allá de la cita de los documentos respectivos, por ejemplo, de las normas *AASHTO M 320 "Performance-Graded Asphalt Binders"* y *AASHTO M 323 "Superpave Volumetric Mix Design"* (AASHTO, 2008). Se anota que no se incluyen citas a las especificaciones AASHTO sobre bases granulares o mezclas asfálticas.

Es de interés destacar el informe sobre la implementación de la MEPDG en el Estado de Carolina del Sur (Baus & Stires, 2010), el cual concluye que el uso efectivo la de metodología requiere bases de datos sobre materiales y tránsito que no están disponibles en dicho Estado al momento de hacer su reporte.

Consideran dichos autores que se requiere una mejor comprensión del modelo climático del MEPDG y concluyen que la adopción del procedimiento de diseño basado en parámetros de calibración nacional para todos los Estados Unidos no es conveniente y se requiere la calibración de cada modo de daño para las condiciones de Carolina del Sur.

El informe de Baus & Stires no incluye ningún aparte sobre control y aseguramiento de la calidad. Su principal preocupación es la inexistencia de bases de datos sobre propiedades mecánicas de los materiales de construcción empleados en dicho Estado. Sus

conclusiones deberían ser tenidas en cuenta con quienes promueven la adopción acelerada de esta metodología sin información suficiente para su calibración en Colombia y otros países en condiciones similares.

4.4 Manuales del Instituto Nacional de Vías de Colombia

4.4.1 Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito

Este manual está enfocado en las zonas rurales de los municipios de Colombia, cuya malla vial está sometida a un tráfico poco pesado, considerando la escasa disponibilidad de información básica en los organismos territoriales. El manual no es solo una guía para la definición de espesores, también integra los requerimientos exigidos en las especificaciones técnicas para la construcción y el mantenimiento rutinario de los pavimentos asfálticos (Instituto Nacional de Vías, 2007).

Algunos de los criterios empleados para el diseño de pavimentos asfálticos en este manual, se derivan del método AASHTO de 1993 y del proyecto de método MEPDG presentado en el año 2004. Los factores de diseño del pavimento son:

- Periodo de diseño estructural de diez años.
- Límite de aplicación del método: 500.000 ejes sencillos equivalentes de 80kN en el carril de diseño durante el periodo de diseño, es decir, el nivel de tránsito NT1 de las especificaciones del INVÍAS.
- El clima.
- La capacidad de soporte de la subrasante.

Con la definición de estos factores, el manual presenta una serie de alternativas estructurales con un espesor total pequeño. Se selecciona la alternativa de menor costo inicial de construcción. Cuando las condiciones lo permiten, se puede considerar el afirmado existente como capa estructural. El manual presenta recomendaciones y esquemas tipo de las obras básicas de drenaje superficial y subterráneo como cunetas,

aliviaderos, alcantarillas y filtros, las cuales son complementarias al diseño del pavimento (Instituto Nacional de Vías, 2007).

4.4.2 Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito

Este manual está orientado al diseño de pavimentos en concreto de cualquier tipo de carretera sin importar su jerarquía. Busca establecer una guía para la determinación de espesores y material de las capas de la estructura de un pavimento mediante el análisis de importantes variables. El diseño se basa en criterios de métodos como el AASHTO de 1993 y el PCA de 1984. La metodología considera las siguientes variables (Instituto Nacional de Vías, 2008):

- El tránsito: Se categoriza según el tipo de vía, el TPDS y el número de ejes sencillos acumulados de 8.2 Ton.
- El periodo de diseño se considera de veinte (20) años.
- La subrasante: Se definen cinco clases de suelo según los valores de la capacidad portante del suelo mediante el ensayo de CBR y el módulo resiliente de la subrasante.
- Material de Soporte: Se consideran como material de soporte al suelo natural, las bases granulares y las bases estabilizadas con cemento.
- Características del concreto: El diseño de la estructura depende del módulo de rotura elegido para el diseño.
- Juntas: El espesor de la estructura de pavimento depende de la presencia de pasadores de carga (dovelas) en las juntas transversales y de la presencia de bermas, bordillos o andenes, actuando como confinamiento lateral del pavimento.

Tabla 4-26: Variables del manual de diseño de pavimentos de concreto INVÍAS

Suelos	Tránsito	Transferencia y Confinamiento	Soporte	Concreto
S1 (CBR<2)	**T0** (EALS < $1x10^6$)	**D y B** (Dovelas y Bermas)	**SN** (Subrasante)	**MR1** MR = 3.8 MPa
S2 (2<CBR<5)	**T1** ($1x10^6$<EALS < $1,5x10^6$)	**D y No B** (Dovelas y Sin Bermas)	**BG** (15 cm BG)	**MR2** MR = 4.0 MPa
S3 (5<CBR<10)	**T2** ($1,5x10^6$<EALS < $5x10^6$)	**No D y B** (Sin Dovelas y Bermas)	**BEC** (15 cm BEG)	**MR3** MR = 4.2 MPa
S4 (10<CBR<20)	**T3** ($5x10^6$<EALS < $9x10^6$)	**No D y No B** (Sin Dovelas y Sin Bermas)		**MR4** MR = 4.5 MPa
S5	**T4**			

Suelos	Tránsito	Transferencia y Confinamiento	Soporte	Concreto
(CBR>20)	($9x10^6$<EALS < $17x10^6$)			
	T5 ($17x10^6$<EALS < $25x10^6$)			
	T6 ($25x10^6$<EALS < $100x10^6$)			

Fuente: (Instituto Nacional de Vías, 2008)

A partir de las variables anteriores, el manual propone unas estructuras predeterminadas en cartas de diseño resultantes de la asociación de los diferentes factores de diseño.

4.4.3 Control y aseguramiento de la calidad

Los requerimientos de calidad y aceptación implícitos en los métodos de diseño del Instituto Nacional de Vías de 2007 y 2008 se basan en las Especificaciones Generales de Construcción de la misma entidad. No obstante, es pertinente señalar que los métodos de diseño están asociados con las especificaciones del año 2006, es decir, que no están actualizados con relación a los cambios que se hayan incluido en las denominaciones, definiciones y exigencias de las especificaciones de 2013.

Un caso especial lo constituye el *"Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Medios y Altos Volúmenes de Tránsito"* de 1998, el cual no fue incluido en este trabajo por ser objeto de una actualización en curso hacia una metodología mecanicista–empírica. Los materiales de dicho manual estaban asociados con las especificaciones de 1996, es decir las especificaciones de hace 22 años, casi el mismo periodo de tiempo transcurrido entre las especificaciones del MOPT de 1970 y las primeras presentadas por el Instituto Nacional de Vías.

Para concluir esta sección, se propone un comparativo entre los controles de calidad definidos por las especificaciones del INVÍAS de 2013 y las del IDU de 2011. En la **Tabla 4-27** se presentan los aspectos relacionados con bases y subbases granulares, en la **Tabla 4-28** los relacionados con mezclas asfálticas en caliente y en la **Tabla 4-29** los relacionados con el concreto hidráulico.

Tabla 4-27: Control de calidad sobre los agregados de subbase y base

	INVIAS	IDU
Tamaño del lote	**320.5.2.2.2** - Quinientos metros lineales (500) de capa compactada en el ancho total de la sub-base granular. - Tres mil quinientos metros cuadrados (3500 m²) de sub-base granular compactada. - La obra ejecutada en una jornada de trabajo. - Mínimo cinco (5) ensayos por lote.	**400.5.3.2** - Doscientos cincuenta metros lineales (250) de capa compactada. - Un mil setecientos cincuenta metros cuadrados (1750 m²) de capa granular compactada. - La obra ejecutada en una jornada de trabajo. - Mínimo cuatro (4) ensayos por lote.
Espesor	**320.5.2.2.3** - El espesor individual obtenido deberá ser igual al noventa por ciento (90%) del espesor de diseño.	**400.5.3.3** - El espesor individual obtenido deberá ser igual al noventa por ciento (90%) del espesor de diseño.
Planicidad	**320.5.2.2.4** - Se comprobará con la regla de 3 metros y no se admitirán variaciones superiores a 20 mm.	**400.5.3.4** - Se comprobará con la regla de 3 metros y no se admitirán variaciones superiores a 20 mm en Subbase granular y 15 mm en Base granular.
Zona de bacheos	**320.5.2.2.5** Igual a lo exigido en los numerales del 320.5.2.2.2 al 320.5.2.2.4	**400.5.3.5** Igual a lo exigido en los numerales del 400.5.3.2 al 400.5.3.4
Correcciones por variaciones en el diseño o por causas imputables al Constructor	**320.5.2.2.6** El interventor ordena delimitar el área afectada y las correcciones a realizar con pago al constructor.	No se incluye

Fuente: Propia basado en las especificaciones del INVIAS e IDU.

Tabla 4-28: Control de calidad de agregados MAC de gradación continua

	INVIAS	IDU
Tamaño del lote	**450.5.2.5.1** **-** Quinientos metros lineales (500) de mezcla en caliente colocada en todo el ancho de la calzada. - Tres mil quinientos metros cuadrados (3500 m²) de mezcla en caliente colocada. - La obra ejecutada en una jornada de trabajo.	**510.6.** **-** Quinientos metros lineales (500) de mezcla en caliente colocada. - Tres mil quinientos metros cuadrados (3500 m²) de mezcla en caliente colocada. - La obra ejecutada en una jornada de trabajo.
Compactación o Densidad (IDU)	**450.5.2.5.3** **-** Mínimo cinco (5) sitios por lote elegidos al azar. - Determinación de la densidad compactada por medio de densímetros nucleares (Norma de ensayo INV E-746)	**510.6.2.5.1** **-** Mínimo tres (3) sitios por lote elegidos al azar. - Determinación de la densidad compactada por medio de densímetros nucleares (Norma ensayo INV E-746)
Segregación térmica	**450.5.2.5.5** - Registro fotográfico con cámara infrarroja de las temperaturas de extensión y compactación de toda la mezcla colocada, debidamente referenciado (Norma INV E-788).	**510.6.2.5.5** - Registro fotográfico con cámara infrarroja de las temperaturas de extensión y compactación de toda la mezcla colocada, debidamente referenciado (Norma INV E-788).
Planicidad o Lisura (IDU)	**450.5.2.5.6** La superficie acabada no podrá presentar acumulación de agua, ni	**510.6.2.5.6** La superficie acabada no podrá presentar acumulación de agua, ni irregularidades

	INVIAS	IDU
	irregularidades mayores de 10 mm en capas de rodadura o 15 mm en capas de base o intermedias y bacheos.	mayores de 10 mm en capas de rodadura o 15 mm en capas de base o intermedias y bacheos.
Textura	**450.5.2.5.7** Mínimo 3 puntos por lote, elegidos al azar. La profundidad media de textura del lote no podrá ser inferior a 0.35.	No aplica
Resistencia al deslizamiento	**450.5.2.5.8** Las medidas se realizarán con péndulo británico, en 3 puntos por lote en zonas en tangente y 1 por cada curva horizontal y por cada zona singular.	**510.6.2.5.7** Las medidas se realizarán con péndulo británico y el coeficiente de resistencia al deslizamiento deberá ser mínimo 0.55 centésimas de cada ensayo individual, mínimo 3 pruebas por lote en zonas de tangente y 1 medición por cada curva horizontal y por cada zona singular.
Regularidad superficial o Rugosidad (IDU)	**450.5.2.5.9** Las medidas se harán en cada uno de los carriles del pavimento construido en tramos consecutivos de 100 metros. Un lote constará de un conjunto de 5 tramos.	**510.6.2.5.8** Su determinación se realizará únicamente con un equipo de medidas de precisión o por medio de un sistema de navegación inercial en tramos de un hectómetro. Las medidas se realizarán en cada uno de los carriles del pavimento construido en tramos consecutivos de 100 metros. 5 tramos consecutivos formarán un lote.
Medidas de deflexión	**450.5.2.5.12** Se realizarán medidas cada 20 metros en tresbolillo. No es requisito de aceptación o rechazo pero si de verificación de homogeneidad de la estructura que se construye.	No aplica

Fuente: Propia basado en las especificaciones del INVIAS e IDU.

Tabla 4-29: Control de calidad de agregados PCCP

	INVIAS	IDU
Calidad del cemento	**500.5.2.1** Por cada partida de cemento que llegue a la central de fabricación.	**600.6.4** Por cada mil metros cúbicos (1000 m³) vaciados de mezcla de concreto hidráulico.
Calidad del agua	**500.5.2.2** Cuando el interventor tenga alguna incertidumbre sobre su calidad.	**600.6.5** Por cada mil metros cúbicos (1000 m³) vaciados de mezcla de concreto hidráulico y se verificarán parámetros como el pH, contenido de sulfatos, cloruros y sólidos totales.
Calidad de los agregados	**500.5.2.3** Se tomarán cuatro (4) muestras por cada fuente de agregados o por cualquier volumen previsto, realizando los ensayos establecidos en la Tabla 10 en su respectiva frecuencia.	**600.6.2** Se realizarán los ensayos indicados en la Tabla 10 y en la frecuencia establecida**.**
Calidad del acero	**500.5.2.4** Se deberán presentar certificaciones periódicas con una antigüedad no mayor a treinta (30) días del acero empleado en pasadores, barras de amarre y refuerzos.	No aplica dentro de la norma de pavimentos.

	INVIAS	IDU
Calidad de los productos químicos para curado y membranas de separación	**500.5.2.5** Se deberán presentar certificaciones periódicas de fabricantes o proveedores.	**600.6.6** Se deberán presentar certificaciones periódicas de fabricantes o proveedores**.**
Calidad del producto para el sellado de juntas	**500.5.2.6** Se deberán presentar certificaciones periódicas de fabricantes o proveedores. Se debe garantizar el sello por un periodo mínimo de cinco (5) años.	**600.6.7** Se deberán presentar certificaciones mensuales de fabricantes o proveedores. Se debe garantizar el sello por un periodo mínimo de cinco (5) años.
Calidad de la mezcla	**500.5.2.7** - Consistencia: Se realizará un ensayo de asentamiento de cada carga transportada el cual debe cumplir los siguientes parámetros: (…) - Resistencia: Se evaluará y aceptará por lotes usando un análisis de nivel de calidad (NQ), siendo lote: Lo ejecutado en una jornada de trabajo y/o trescientos cincuenta metros cúbicos (350 m³) de concreto colocado. Por cada lote se tomará un mínimo de tres (3) muestras. De cada muestra se realizan los siguientes ensayos: - Resistencia a la flexión: Cuatro (4) vigas. - Compresión inconfinada: Cuatro (4) cilindros. Las anteriores muestras se fallarán, dos (2) a los siete (7) días y dos (2) a los veintiocho (28) días.	**600.6.8** - Consistencia: Se realizará un ensayo de asentamiento de cada carga transportada, el cual debe encontrarse dentro de los límites de la fórmula de trabajo. - Resistencia a la mezcla: Se evaluará y aceptará por lotes usando un análisis de nivel de calidad (NQ), siendo lote: Lo ejecutado en una jornada de trabajo y/o trescientos cincuenta metros cúbicos (350 m³) de concreto colocado. Cada lote se dividirá en cuatro (4) sub lotes y se tomará una (1) muestra de manera aleatoria. De cada muestra se realizan los siguientes ensayos, los cuales se fallarán, dos (2) a los siete (7) días y dos (2) a los veintiocho (28) días. - Resistencia a la flexión: Cuatro (4) vigas. - Tracción indirecta: Cuatro (4) cilindros. - Realizar la verificación de la relación agua/cemento.
Calidad del producto terminado	**500.5.2.8** - Se realizarán verificaciones de los espesores de las losas por cada lote, de donde se tomarán dos (2) núcleos por cada trescientos cincuenta metros cuadrados (350 m²). - Resistencia al deslizamiento: este ensayo se realizará en tres (3) puntos por lote en zonas tangentes y uno (1) por cada curva horizontal, curva vertical, intersección, glorieta y zona de frenado incluidas en el lote, el cual debe cumplir con los siguientes requisitos: - Seguridad superficial: se tomará el (IRI) Índice Internacional de Rugosidad, en toda la longitud de la obra por lotes, lo cuales consisten en cinco (5) tramos consecutivos de cien (100) metros por carril.	**600.6.9** - Se realizarán verificaciones de los espesores de las losas por cada lote, el cual se subdividirá en sectores de trescientos cincuenta metros cuadrados (350 m²), de donde se tomará un (1) núcleo por cada sector. - Textura y resistencia al deslizamiento: este ensayo se realizará en al menos diez (10) puntos aleatoriamente por un día de trabajo. - Rugosidad: se comprobará el (IRI) Índice Internacional de Rugosidad, en toda la longitud de la obra y en cada carril de forma continua. Para la aceptación o rechazo, se tomará en tramos de longitud mínimo de cien (100) metros.

Fuente: Propia basado en las especificaciones del INVIAS e IDU.

4.5 Asphalt Institute MS-1 Thickness Design-Highways & Streets

El Asphalt Institute fue fundado en 1919, bajo la denominación de “Asphalt Association”, por un grupo de once empresas productoras de petróleo con el fin de promover el uso, los beneficios y la calidad del asfalto. Fue la primera asociación en dirigir programas técnicos, educativos y de promoción de la industria (Asphalt Institute, 1970)

En 1920 se optimizan los grados de clasificación de los asfaltos existentes y comienza la estabilización de caminos agrícolas en tierra con agregados y asfalto. La Asociación realiza investigaciones e introduce un nuevo asfalto líquido para la construcción de carreteras de bajo costo. Durante la década de los años 30, la Asociación distribuye información acerca de los beneficios y usos del asfalto, publicando el Manual MS-4. En la década de 1940, el Asphalt Institute continúa los trabajos de promoción de usos del asfalto para la construcción de autopistas, logrando en 1947 la construcción de una autopista en Maine con una base estabilizada mecánicamente con un asfalto de alta densidad. Durante la década de 1950 se da un crecimiento a gran escala de la industria automotriz, por lo cual se requieren programas de mantenimiento y construcción de nuevas carreteras. En la década de 1960, el asfalto se empieza a emplear en pistas de carrera, senderos de bicicletas y puertos de carga, entre otros, por su bajo costo de construcción y mantenimiento (Asphalt Institute, 2007). En la década de 1970 se mejoran las características del asfalto obteniendo un producto de mejor calidad (Davis & Griffin, 2009).

El método del Asphalt Institute es de tipo mecanicista y se basa en dos criterios: el control de la deformación de tracción en la fibra inferior de las capas asfálticas para prevenir el agrietamiento por fatiga, y el control de la deformación de compresión en la parte superior de la subrasante para prevenir la deformación plástica que puede causar ahuellamiento. Se desarrolló el programa de computadora DAMA para realizar los cálculos con los cuales se elaboraron una serie de ábacos que relaciona el espesor de la capa asfáltica con el módulo resiliente de la subrasante y el número de ejes sencillos equivalentes esperados en el periodo de diseño. Se incluyen alternativas con subbase granular y subbase tratada con asfalto (Papagiannakis & Masad, 2008).

El método de diseño busca tener integridad entre el espesor de la mezcla asfáltica en caliente con el requerido en el diseño (Asim, Fawaz, Momin, & Osman, 2015).

4.5.1 Subbase granular (SBG)

En la **Tabla 4-30** se presenta el comparativo de las exigencias establecidas por el Asphalt Institute, el INVÍAS y el IDU. El Asphalt Institute sólo exige cinco ensayos de los 17 que se realizan en Colombia. Se encuentran pocas similitudes y se concluye que el método AI es menos exigente en la elección de los materiales como se indica a continuación:

- Límite líquido e índice de plasticidad: El Asphalt Institute acepta fracciones finas de los agregados más sensibles al cambio de humedad.
- CBR: El Asphalt Institute acepta materiales de menor resistencia al corte sin drenaje medida con esta prueba.

Tabla 4-30: Requerimientos ensayos SBG INVÍAS – IDU – Asphalt Institute

	SUB BASE GRANULAR CLASE A	Norma Ensayo INV	INVIAS	IDU	AI
Dureza	Desgaste en la máquina de los ángeles, máximo (%), 500 revoluciones	E-218	50	40	40-50
Limpieza	Límite líquido, máximo (%)	E-125	25	25	55
	Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 E-126	6	3	25
	Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	25	20	25
Resistencia del Material	CBR, % mínimo. Porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro días de inmersión.	E-148	40	60	20

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS, del IDU y del AI.

En la **Tabla 4-31** se muestran las diferentes gradaciones para el material de subbase granular con tamaño máximo de 50 mm.

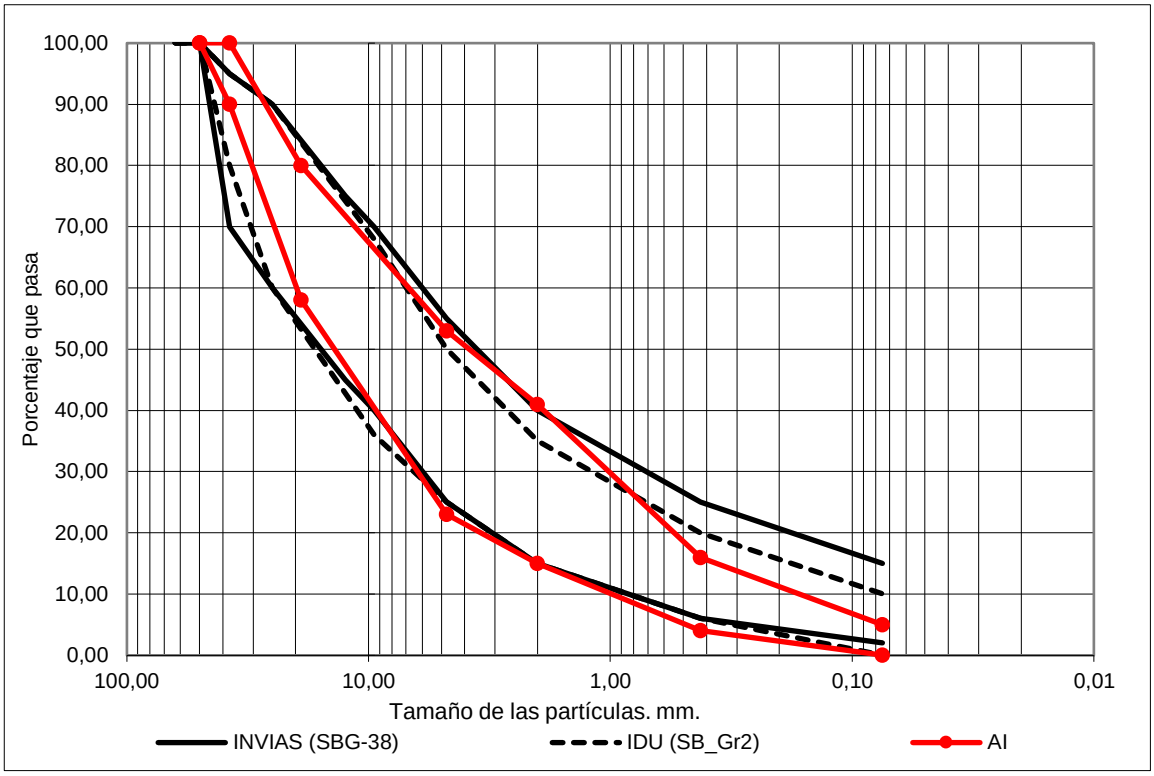
Tabla 4-31: Requerimientos granulometría SBG INVÍAS – IDU – Asphalt Institute

Tipo de Gradación	TAMIZ (mm / U.S Standard)										
	63.0	50.0	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	2½"	2"	1½"	1"	¾"	½"	⅜"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
		% PASA									
INVIAS (SBG-50)	100	100	70-95	60-90	-	45-75	40-70	25-55	15-40	6-25	2-15
IDU (SB_Gr1)	100	100	80-95	60-90	-	-	36-68	25-50	15-35	6-20	0-10
AI 3	-	100	90-100	-	58-80	-	-	23-53	15-41	4-16	0-5

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS, del IDU y del AI.

En la **Figura 4-14** se comparan las gradaciones anteriores y se observa que la gradación del Asphalt Institute tiene una franja más estrecha para definir la fórmula de trabajo.

Figura 4-14: Granulometría SBG INVÍAS – IDU – Asphalt Institute



Fuente: Propia

4.5.2 Mezclas asfálticas

El manual MS-4 (Asphalt Institute, 2007) presenta los valores de aceptación para los agregados que hacen parte de las mezclas asfálticas. Realizando un comparativo de estas exigencias, frente a las establecidas por las entidades colombianas, se encuentran algunas similitudes, aunque debe recordarse que INVÍAS e IDU definen niveles de exigencia en función del tránsito.

En la **Tabla 4-32** se presenta la comparación de norma y se detectan las siguientes divergencias:

- Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio: Tanto el INVÍAS como el IDU comparten el mismo parámetro de aceptación, siendo más exigentes que el Asphalt Institute.
- Límite líquido: No es exigible por las entidades colombianas.
- Partículas planas y alargadas, caras fracturadas e índice de aplanamiento y alargamiento: El Asphalt Institute exige materiales de mejor calidad.

Tabla 4-32: Requerimientos ensayos mezcla asfáltica INVÍAS – IDU – A.I.

Ensayo		Norma Ensayo INV	INVIAS			IDU			AI
			NT1	NT2	NT3	T0-T1	T2-T3	T4-T5	
Dureza, agregado grueso	**Desgaste de la máquina de los ángeles, 500 revoluciones. Máximo (%)**								
	Capa Rodadura	E-218	25	25	25	30	30	25	30
	Capa Intermedia		35	35	35	35	35	30	
	Capa Base		N.A	35	35	35	35	30	
	Mezclas de alto módulo		N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	25	
Durabilidad	Pérdidas de ensayo de solidez en sulfato de Magnesio, agregado grueso y fino, máximo (%)	E-220	18	18	18	18	18	18	20
Limpieza, gradación combinada	Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 E-126	NP	NP	NP	N.A	N.A	N.A	NP
	Límite líquido, máximo (%)	E-125	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	25
Geometría de las partículas, agregado grueso	Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%)	E-240	10	10	10	N.A	N.A	N.A	5
	Caras fracturadas - 1 cara. Mínimo (%)								
	Capa Rodadura	E-227	75	75	85	75	75	90	100
	Capa Intermedia		60	75	75				
	Capa Base		N.A	60	60				
	Caras fracturadas - 2 caras. Mínimo (%)								
	Capa Rodadura	E-227	N.A	60	70	50	60	75	90
	Capa Intermedia		N.A	N.A	N.A				
	Capa Base		N.A	N.A	N.A				
	Índice de aplanamiento, (%) máximo	E-230	N.A	N.A	N.A	25	25	20	20
	Índice de alargamiento, (%) máximo		N.A	N.A	N.A	25	25	20	20

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS, del IDU y del AI.

4.5.3 Control y aseguramiento de la calidad

El manual MS-4 del Asphalt Institute le da autonomía a cada agencia vial para determinar los programas y requerimientos para el control y aceptación del producto terminado. En la **Tabla 4-33** se presenta un ejemplo de muestreo y ensayos a realizar a la mezcla asfáltica contenido en el citado manual.

Tabla 4-33: Ejemplo de ensayos para la mezcla asfáltica según MS-4

Ensayo	Frecuencia	Cantidad estimada	Número de ensayos
Gradación	1.000 toneladas	28.000 toneladas	28
Angularidad del agregado fino	Diario	7 días	7
Contenido de Asfalto	1000 toneladas	28.000 tons	28
Contenido de vacíos en laboratorio	1000 toneladas	28.000 tons	28
Compactación	1000 pies (305 metros) por cada carril	53.000 pies (16.154 metros)	53
Espesor	1000 pies (305 metros) por cada carril	53.000 pies (16.154 metros)	53
Rugosidad	50 pies (15 metros)	53.000 pies (16.154 metros)	1060

Fuente: (Asphalt Institute, 2007)

El manual identifica cuatro tipos de especificaciones consideradas para los criterios de aceptación en los EE.UU.: de método o diseño de mezcla, de resultado final, de control de calidad, y de desempeño (Asphalt Institute, 2007).

4.6 Shell Pavement Design Manual (1978)

El método Shell está basado en un modelo donde la estructura de pavimento es considerada como un sistema elástico lineal de múltiples capas cuyos materiales se caracterizan por el módulo de elasticidad y la relación de Poisson (Claessen, AIM, Edwards, J M, Sommer, P, & Uge, P, 1977). Las principales consideraciones del método incluyen los parámetros del suelo, el número de ejes equivalentes de 80 kN y los materiales a emplear en la estructura (Asim, Fawaz, Momin, & Osman, 2015).

El método aplica los mismos criterios de falla que el método del Aspahlt Institute: el control de deformaciones de tracción en las capas asfálticas y de deformaciones de compresión en la parte superior de la subrasante. El diseño se obtiene a través de una serie de cartas para diferentes combinaciones de tránsito, módulo resiliente de la subrasante, y temperatura y rigidez de las capas asfálticas. Se consideran tipos diferentes de mezclas asfálticas de acuerdo con su gradación, el tipo de ligante y el comportamiento frente a la fatiga (Shell International Petroleum Company, 1978). Una versión posterior sustituyó las cartas por un programa de computadora basado en el programa BISAR (Strickland, 2000).

En la revisión bibliográfica realizada para este trabajo de grado no se encontraron especificaciones de materiales ni de control de calidad asociadas explícitamente con el método Shell en cualquiera de sus versiones. No obstante, se puede citar como referencia "The Shell Bitumen Handbook" (Whiteoak, 1991), un documento similar al manual MS-4 del Asphalt Institute. El manual se basa en estándares británicos (BS) y no incluye información detallada sobre los agregados, tal como se ha discutido en este documento. No obstante, dado que las normas británicas hacen parte de las referencias del método ORN31 previamente analizado (TRL, 1993), es posible que las conclusiones obtenidas en dicho aparte sean aplicables en este caso para mezclas asfálticas diseñadas con el manual ORN19 (TRL, 2002).

4.7 PCA Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements

Se cree que el primer pavimento de concreto fue construido en Escocia en 1865. Asimismo, el pavimento de concreto más viejo de los EE.UU. fue construido en 1891, en Bellefontaine (Ohio), y sigue en servicio en la actualidad. A partir de estas tempranas experiencias se han desarrollado nuevas técnicas, métodos de diseño y avances en el desarrollo de los pavimentos de concreto. En la década de 1920 se integraron al diseño las ecuaciones de esfuerzo y deformación de Westergaard. En 1933 se actualizaron los procedimientos correlacionando la variable tráfico y el concepto de fatiga (Asocreto, 2014). En la década de 1950 se realizaron los experimentos viales de Maryland (Road Test One) y AASHO con aplicación en el diseño de pavimentos rígidos (Huang, 2004).

En el año 1966 se publicó el primer procedimiento para el diseño de pavimentos de concreto en calles y carreteras de la Portland Cement Association (PCA) (Transportation Association of Canada, 1984). En 1984 se presenta una mejora en el método de diseño de espesores basado en el método de los elementos finitos, siendo este el que rige en la actualidad (Tayabji, 2014). El diseño de pavimentos de concreto también ha hecho parte de los métodos de la AASHTO de 1993 (AASHTO, 1993) y de la nueva MEPDG (ARA, Inc., ERES Consultants Division, 2004).

El propósito del método de diseño de la PCA es obtener el menor espesor de diseño de la losa para soportar las cargas en un periodo de tiempo determinado, buscando la mejor relación costo-servicio que conduce a un menor costo anual en inversión y mantenimiento (Packard, 1984).

4.7.1 Subbase granular (SBG)

En la revisión bibliográfica de las exigencias a la subbase granular se encontraron tres ensayos exigibles por el método de diseño de la PCA, los cuales comparten los mismos criterios establecidos en las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías del año 2013 y difieren un poco de los establecidos por el IDU, como se muestra en la **Tabla 4-34**:

Tabla 4-34: Requerimientos ensayos SBG. INVÍAS – IDU – PCA.

	SUB BASE GRANULAR CLASE A	Norma Ensayo INV	INVIAS	IDU	PCA
Dureza	Desgaste en la máquina de los ángeles, máximo (%), 500 revoluciones	E-218	50	40	50
Limpieza	Límite líquido, máximo (%)	E-125	25	25	25
	Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	6	3	6

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS, del IDU y PCA.

En la **Tabla 4-35** se presenta el comparativo de las granulometrías para las subbases granulares. Las de PCA se tomaron de *"Subgrades and Subbases for Concrete Pavements"* de la American Concrete Pavement Association (ACPA, 2007)

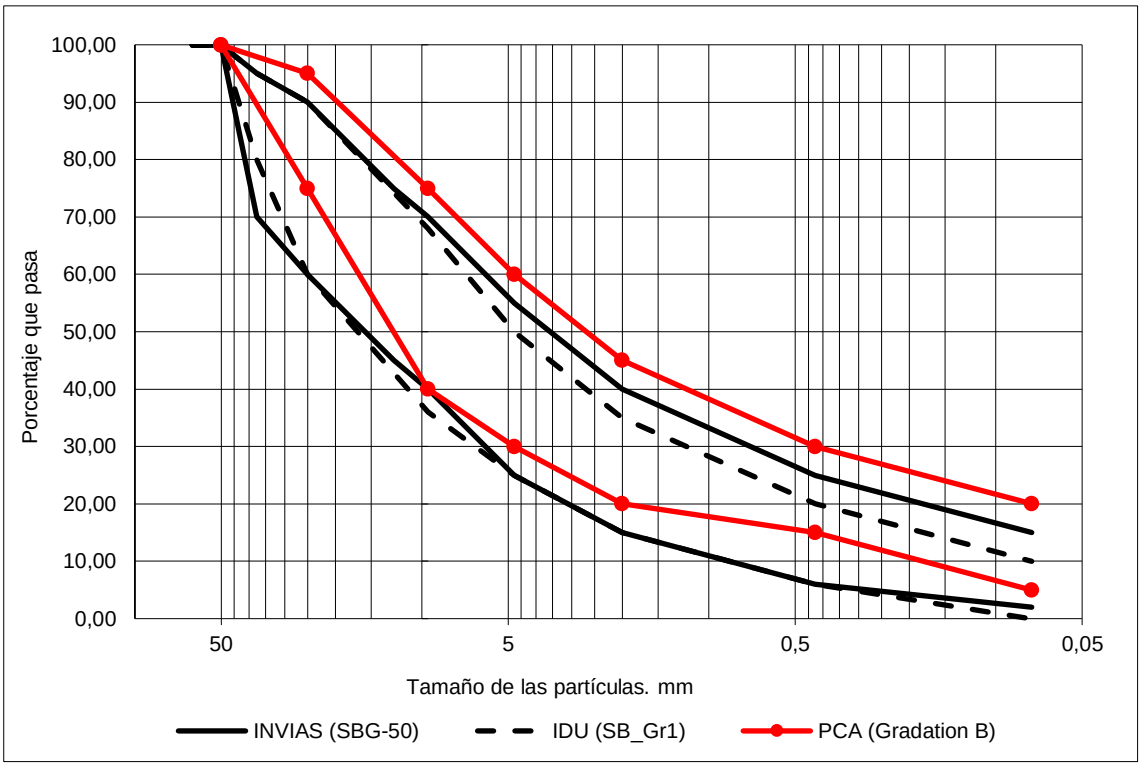
Tabla 4-35: Granulometría SBG. INVÍAS – IDU – PCA.

Tipo de Gradación	TAMIZ (mm / U.S Standard)										
	63.0	50.0	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	2½"	2"	1½"	1"	¾"	½"	⅜"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
		% PASA									
INVIAS (SBG-50)	100	100	70-95	60-90	-	45-75	40-70	25-55	15-40	6-25	2-15
IDU (SB_Gr1)	100	100	80-95	60-90	-	-	36-68	25-50	15-35	6-20	0-10
% PASA											
INVIAS (SBG-38)	-	-	100	75-95		55-85	45-75	30-60	20-45	8-30	2-15
IDU (SB_Gr2)	-	-	100	75-95	62-88		42-78	28-55	16-40	6-22	0-12
% PASA											
PCA (Gradation A)	-	100	-	-	-	-	30-65	25-55	15-40	8-20	2-8
PCA (Gradation B)	-	100	-	75-95	-	-	40-75	30-60	20-45	15-30	5-20
PCA (Gradation C)	-	-	-	100	-	-	50-85	35-65	25-50	15-30	5-15
PCA (Gradation D)	-	-	-	100	-	-	60-100	50-85	40-70	25-45	5-20
PCA (Gradation E)	-	-	-	100	-	-	-	55-100	40-100	20-50	6-20
PCA (Gradation F)	-	-	-	100	-	-	-	70-100	55-100	30-70	8-25

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS, del IDU y la PCA.

En la **Figura 4-15** se presenta la comparación de las franjas granulométricas de la subbase granular con tamaño máximo de 50 mm.

Figura 4-15: Granulometría SBG INVÍAS – IDU – PCA.



Fuente: Propia

4.7.2 Pavimentos de concreto hidráulico (PCCP)

Los parámetros de aceptación de calidad para los pavimentos de concreto hidráulico según American Concrete Institute (ACI), coinciden con lo establecido por el Instituto Nacional de Vías.

4.7.3 Control y aseguramiento de la calidad

En la revisión bibliográfica realizada no se encontró un control de calidad en específico planteado por la PCA; sin embargo, el American Concrete Institute (ACI) tiene especificaciones para pavimentos de concreto donde el cumplimiento de los estándares

de calidad se basa en las normas ASTM para los materiales granulares y el cemento utilizados en la construcción de pavimentos (Packard, 1984).

4.8 Conception et Dimensionnement des Structures de Chaussée – Guide Technique (1994).

En la década de los 50 y siguiendo las normas estadounidenses basadas en el modelo Westergaard del año 1927, la diversificación de las estructuras de pavimento usadas para la construcción de carreteras en Francia no era satisfactoria. En el año 1959, estas estructuras comienzan a tener variaciones en sus diseños, incluyendo estructuras de tres capas elásticas similar al método de Burmister, dando entrada a mejores pavimentos para el aumento del tráfico y permitiendo un desarrollo en las pruebas de los materiales y métodos de auscultación. A partir del año 1968, se comienzan a estandarizar los materiales utilizados en la Red Nacional por el Departamento de Carreteras, dando origen al primer catálogo sobre estructuras de pavimento en el año 1971. En el año 1977 se establece una nueva versión del catálogo, donde se determina el uso de modelos de multicapas elásticas para estructuras rígidas mediante el cálculo de concentración de esfuerzos; así mismo, se consideran los procesos de congelamiento/descongelamiento y rendimiento de materiales. La guía ha tenido varias modificaciones y actualizaciones hasta el año 2002 que entró en vigor el documento de uso actual. (Goacolou, y otros, 2003).

El método de diseño francés, es un método racional que se basa en la elección de un modelo computacional en base al modelo Burmister (Kimbonguila, Becquart, & Abria, 2015), que define la estructura de pavimento como una superposición de capas elásticas lineales, homogéneas e isotrópicas (Goacolou, y otros, 2003). La guía se aplica a 6 estructuras de pavimento: flexible, grueso, semirrígido, rígido, mixto e inverso. Este método integra tres parámetros de diseño: la capacidad del suelo, los materiales y el tráfico (Balay, Brosseaud, Bara, & Castaneda, 2012). El eje de referencia francés equivale a 130 kN como carga máxima legal, que corresponde a un solo eje con ruedas dobles (Ministère de l'Èquipement, des Transports et du Logement, 1994).

En la **Tabla 4-36** se muestra la clasificación del tránsito según el método francés, donde el eje referencia corresponde a un eje simple con llantas de 130 kN (LCPC - SETRA, 1997).

Tabla 4-36: Categorización del tránsito en el método Francés

Clasificación Tránsito método Francés													
Clase	**T5**	**T4**	**T3**		**T2**		**T1**		**T0**		**TS**		**TEX**
			T3-	**T3+**	**T2-**	**T2+**	**T1-**	**T1+**	**T0-**	**T0+**	**TS-**	**TS+**	
ADM	<25	25 a 50	50 a 85	85 a 150	15 a 200	200 a 300	300 a 500	500 a 750	750 a 1200	1200 a 2000	2000 a 3000	3000 a 5000	>5000

Fuente: Elaboración propia con base en el método francés. (Ministère de l'Èquipement, des Transports et du Logement, 1994) ADM: Valor diario anual.

La aplicación actual de la Guía Francesa debe tener correspondencia con las normas europeas vigentes (EN). Estas normas tienen algunos puntos de coincidencia con los estándares ASTM o AASHTO, de uso frecuente en Colombia, en los métodos de ensayo tradicionales. Sin embargo, su enfoque tiene divergencias en aspectos básicos como la definición de las series de tamices, tal como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 4-37: Tamaños de tamiz para especificar los tamaños de los agregados en las normas europeas e INVÍAS

Serie básica (mm) empleada en UNE-EN 13242 (AENOR, 2003)	**Tamices (mm / U.S. Standard)**
0 (0.063 mm)	0.075 (No. 200)
1	0.425 (No. 40)
2	2 (No. 10)
4	4.75 (No. 4)
8	9.5 (⅜”)
16	12.5 (½”)
31.5 (32)	25 (1”)
63	37.5 (1½”)
	50 (2”)

Fuente: Propia.

Debe tenerse presente que la definición de los finos para las normas europeas corresponde a 63 µm mientras que AASHTO y ASTM emplean 75 µm.

4.8.1 Subbase granular (SBG)

A continuación, se presenta el comparativo de los requerimientos de INVIAS e IDU frente a los requerimientos exigidos por el método francés. Para el análisis se considera la subbase granular clase A por ser la de mayor calidad en las normas colombianas;

adicionalmente, el método francés clasifica los parámetros según categoría de tránsito. Para realizar el comparativo se toma el tránsito T5 por ser el más exigente.

En la **Tabla 4-38** se presentan los ensayos exigibles por el método francés donde se encuentran similitudes con los valores de aceptación establecidos por las entidades colombianas, salvo las siguientes excepciones:

- Desgaste en la máquina de Los Ángeles: El método francés comparte el mismo valor exigido por el INVÍAS, los cuales tienen mayor flexibilidad en la dureza del material frente a lo establecido por el IDU.
- Degradación por abrasión en el equipo Micro – Deval: El método francés permite materiales de menor calidad relativa frente al INVÍAS e IDU.
- Índice de plasticidad: El IDU acepta fracciones finas de los agregados más sensibles al cambio de humedad frente a lo exigido por el INVÍAS y el método francés.
- Equivalente de arena con 10% de finos: Ensayo exigido por el método francés donde relaciona 2 tipos de ensayos: el equivalente de arena y la resistencia mecánica por el 10% de finos.

Tabla 4-38: Requerimientos ensayos SBG. INVIAS – IDU – Método Francés.

	SUB BASE GRANULAR CLASE A	Norma Ensayo INV	Normas de Referencia	INVIAS	IDU	FRANCÉS (T5)
Dureza	Desgaste en la máquina de los ángeles, máximo (%), 500 revoluciones	E-218	ASTM C 131-06	50	40	50
	Degradación por abrasión en el equipo Micro - Deval, máximo (%)	E-238	ASTM D 6928-10.	30	30	50
Limpieza	Límite líquido, máximo (%)	E-125	ASTM D 4318-10	25	25	25
	Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	ASTM D 4318-10	6	3	6
	Equivalente de arena con 10% de finos			-	-	35-40

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones del INVÍAS, del IDU y el método francés.

La norma EN 13242 no define umbrales de cumplimiento para la aplicación específica de un material. Se definen categorías de acuerdo con la forma, trituración, resistencia a la fragmentación y el desgaste, plasticidad, absorción y sanidad de los agregados. Cada entidad definirá en la categoría para los agregados según las aplicaciones específicas. Por

ejemplo, la subbase granular Type 1 empleada en Gran Bretaña se define por los requerimientos de la siguiente tabla (QPA, 2004):

Tabla 4-39: Requerimientos para subbase granular Type.

Propiedad	Norma de ensayo	Requisito	Explicación
Partículas trituradas y partículas totalmente redondeadas	EN 933-4	$C_{90/3}$	90% – 100% de partículas trituradas 0% - 3% de partículas totalmente redondeadas
Resistencia a la fragmentación Los Ángeles en la fracción 10/14	EN 1097-2	LA_{50}	El desgaste en el ensayo Los Ángeles debe ser ≤ 50%
Resistencia al desgaste Micro-Deval en la fracción 10/14	EN 1097-1	$M_{DE}NR$	Se reporta el valor
Sanidad en sulfato de magnesio	EN 1367-2	MS_{35}	
Absorción de agua	EN 1097-6	$WA_{24}NR$	Se reporta el valor
Otros requerimientos EN 13242		NR	No son obligatorios

Fuente: (QPA, 2004).

Las normas europeas sustituyeron el empleo del ensayo de 10% de finos por el ensayo de Los Ángeles en la Gran Bretaña (QPA, 2004).

La norma EN 13242 prescribe la evaluación de los finos cuando estos superan el 3% del total del material combinado. En tal caso, se deben realizar ensayos de equivalente de arena (SE) en las fracciones 0/2 o 0/4 (EN 933-8) y azul de metileno (BM) en la fracción 0/2 (EN 933-9). Los valores de aceptación dependen de la experiencia de cada país europeo, de hecho, las normas británicas indican que la fracción de la subbase Type 1 que pasa 425 µm debe ser NP, evaluada mediante los límites de Atterberg.

Aplicando los mismos estándares, la subbase granular SBG-50 Clase A del Instituto Nacional de Vías se clasificaría como LA_{50}, $M_{DE}30$ y SE_{25}. La comparación del equivalente de arena (SE) debe tener en cuenta que el INVÍAS lo hace sobre la fracción 0/4.75 y la EN sobre la fracción 0/4. La exigencia británica de sanidad en sulfato de magnesio es mucho menor (MS_{35}) que la definida por el INVÍAS (MS_{18}).

La granulometría de los materiales de subbase granular se designa como d/D = 0/32, lo cual significa que su gradación abarca desde 0.063 mm (0) hasta 63 mm (2D) como tamaño máximo, pues D es el tamaño máximo nominal.

De acuerdo con la norma UN-EN13285 (AENOR, 2010), la clasificación de los materiales de subbase granular Type 1 se complementa con las denominaciones UF_9 (máximo 9% pasa 63 µm) y OC_{75} (restringe los sobretamaños del tamiz 2D).

En la siguiente tabla se presentan las gradaciones para las subbase granulares Type 1 y Type 2 empleadas en Gran Bretaña de acuerdo con la EN 13242.

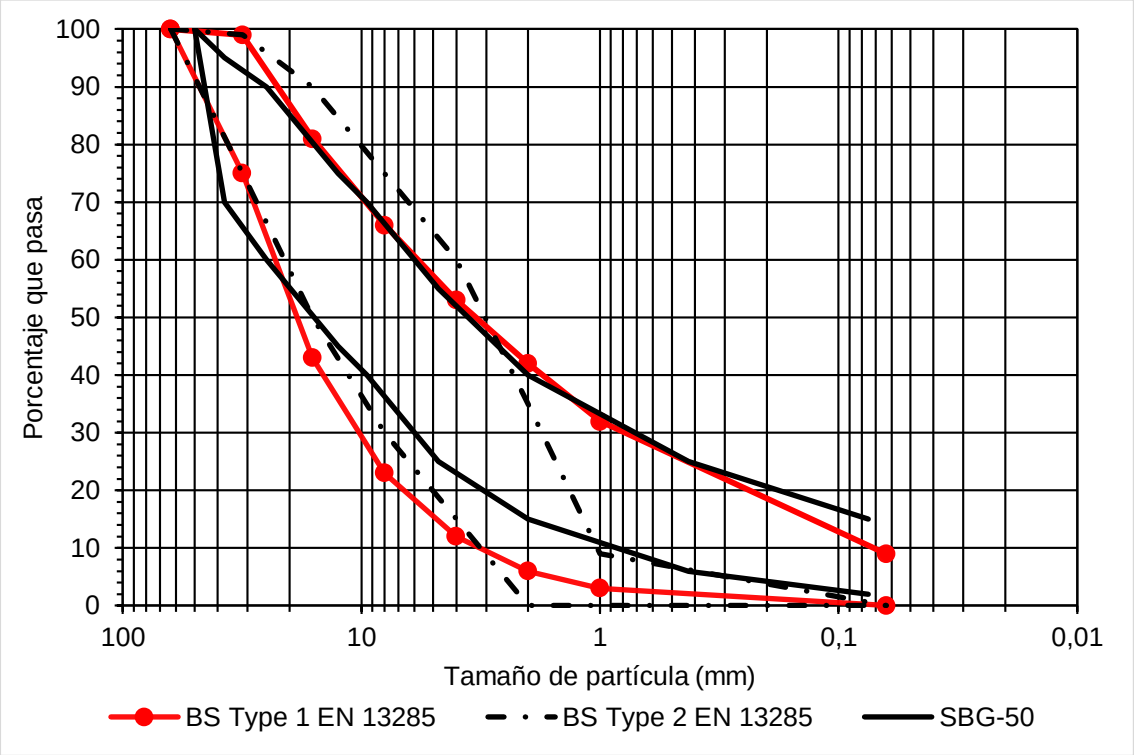
Tabla 4-40: Granulometrías de subbase granular Type 1 y Type 2

Tamaño (mm)	BS Type 1 EN 13285		BS Type 2 EN 13285	
63	100	100	100	100
31.5	75	99	75	99
16	43	81	50	90
8	23	66	30	75
4	12	53	15	60
2	6	42	0	35
1	3	32	0	9
0.063	0	9	0	0

Fuente: (QPA, 2004).

En la **Figura 4-16** se presentan las gradaciones Type 1 y Type 2 y su comparación con la norma INVÍAS SBG-50, pues su tamaño máximo nominal es similar (37.5 mm). Se recuerda que ambas normas difieren en sus tamices de control. Las gradaciones británicas son de menor tamaño. La línea media de la Type 1 tiene paralelismo con el límite inferior de la gradación SBG-50.

Figura 4-16: Figura Granulometrías SBG Type 1, Type 2 y SBG-50 INVÍAS – UNE-EN



Fuente: Propia.

4.8.2 Mezclas asfálticas

La norma UNE-EN 13108-1 define las especificaciones para concreto (hormigón) asfáltico en términos de sus propiedades fundamentales basadas en características funcionales. La norma permite aplicar procedimientos empíricos o procedimientos basados en el desempeño del material para su diseño (AENOR, 2006).

Con la especificación empírica, el ligante asfáltico se selecciona mediante grados de penetración entre 20/30 y 330/430, o puede ser ligante modificado o ligante de alto grado de dureza conforme a las especificaciones EN 12591, EN 14023 y prEN 13924, respectivamente.

La norma UNE-EN 13043:2002 (AENOR, 2003) define las especificaciones para agregados en mezclas asfálticas y tratamientos superficiales de carreteras, aeropuertos y otras zonas pavimentadas. Esta norma también define rangos de características de forma,

físicas y químicas de los agregados que deben satisfacerse por la gradación seleccionada de materiales.

Al igual que en la subbase granular, se definen categorías de acuerdo con la forma, trituración, resistencia a la fragmentación y el desgaste, plasticidad, absorción y sanidad de los agregados. Cada entidad definirá en la categoría para los agregados según las aplicaciones específicas.

Algunas comparaciones como los índices de lajas (FI) y de forma (SI), el azul de metileno (BM) y el equivalente de arena (SE) requieren ajustar sus métodos de ensayo.

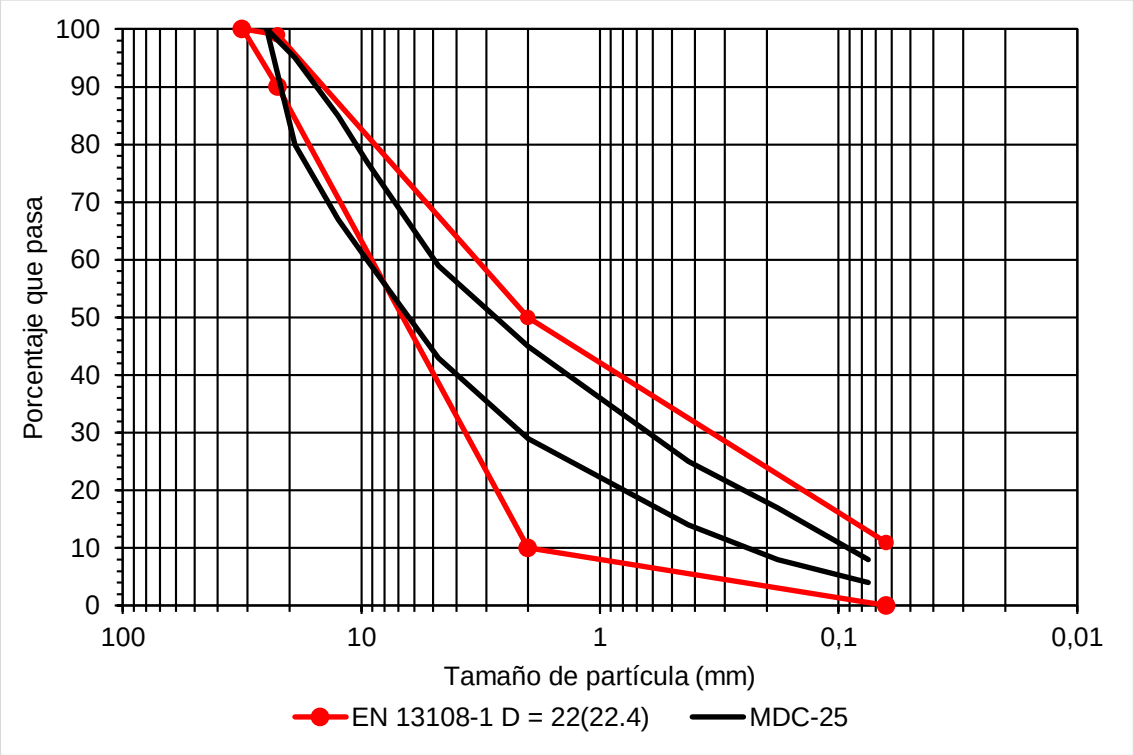
La mezcla MDC-2 para un nivel de tránsito NT3 del INVÍAS satisfaría parámetros de la EN 13043 como:

- Resistencia a la fragmentación: LA_{25} para rodadura y LA_{35} para capas intermedias y de base
- Resistencia al desgaste: MDE_{20} para rodadura y MDE_{25} para capas intermedias y de base.
- Resistencia a los ciclos de hielo y deshielo: Pérdida de masa en el ensayo de solidez con sulfato de magnesio MS_{18}.

En la **Figura 4-17** se presenta la comparación de las granulometrías de un hormigón bituminoso 0/22, definido por los tamices 32, 22, 2 y 0.063 milímetros, y de una mezcla densa en caliente MDC-25 del Artículo 450-13 del INVÍAS.

La especificación colombiana define una franja más estrecha que la norma europea para un tamaño máximo nominal aproximadamente igual. Para cada proyecto, la norma europea prescribe una fórmula de trabajo (referencia), de forma que sería posible obtener gradaciones similares entre especificaciones.

Figura 4-17: Granulometrías MAC 0/22 y MDC-25 INVÍAS – UNE-EN



Fuente: Propia

4.8.3 Control y aseguramiento de la calidad

Las normas UNE-EN 13242, UNE-EN 13043 y UNE-EN 13108-1 definen de forma detallada los métodos de ensayo y las frecuencias de ejecución para evaluar la conformidad de las propiedades de los materiales. En este sentido son semejantes por su nivel de detalle a las normas INVÍAS.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- Desde 1905 se han propuesto en el país diversas normas que regulan la construcción de carreteras, tanto el diseño geométrico como de calidad de materiales. Estas normas han tenido alguna influencia europea pero, en su gran mayoría, son de inspiración estadounidense. Las normas han evolucionado incluyendo la aplicación de nuevas metodologías y materiales, definiendo de manera clara los parámetros de aceptación o rechazo de los materiales y capas de un pavimento.

- En términos generales, las especificaciones del INVÍAS y del IDU son similares en sus alcances y contenidos. Las diferencias encontradas pueden atribuirse a las clases de materiales en su ámbito de aplicación, por ejemplo, las temperaturas de evaluación de las emulsiones asfálticas o la exigencia diferencial de algunos criterios de calidad para materiales granulares de origen sedimentario, como son los que predominan en la ciudad de Bogotá. Llama la atención que el IDU no exige ensayos de limpieza en materiales para mezclas asfálticas.

- Las curvas granulométricas del INVÍAS y del IDU comparten en gran medida el tamaño de los tamices y los valores de aceptación se encuentran en franjas similares.

- Al comparar las normas colombianas, INVÍAS e IDU, con estándares norteamericanos y europeos llama la atención el empleo de múltiples parámetros para la evaluación de una característica específica. Un caso de interés es el empleo de los ensayos de Los Ángeles (dos modalidades), 10% de finos y Micro Deval, pues en las especificaciones estadounidenses se sigue empleando Los Ángeles y en las normas europeas (aplicadas en Gran Bretaña) suprimieron el10% de finos.

- La exigencia explícita sobre especificaciones de los métodos de diseño de pavimentos revisados en este trabajo es mínima comparada con las establecidas por el INVÍAS y el IDU. La realización de ensayos para verificar la calidad del material es poca en los

métodos, generalmente se citan estándares de materiales ASTM, AASHTO o ACI y los parámetros de aceptación son menos exigentes.

- El método de diseño de pavimento ORN31 puede ser considerado como viable en el país; sin embargo, es importante resaltar que el procedimiento de cálculo de los ejes estándar de 8.2 toneladas es más agresivo para sistemas de ejes múltiples con cargas superiores al valor de referencia indicado. Adicionalmente, las curvas granulométricas son relativamente similares, aunque sus franjas son más amplias y se acercan más al límite superior de las normas colombianas. Así mismo, la ORN31 tiene en cuenta múltiples materiales, algunos de los cuales no cuentan con especificación en Colombia como los macadams.

- Respecto a los controles de aseguramiento y calidad, las entidades colombianas presentan claridad en la rigurosidad y exigencia para la calidad de los pavimentos terminados; caso contrario ocurre con los métodos de diseño de pavimento analizados, donde se da autonomía a las agencias viales o al constructor para verificar y velar por las características de sus obras.

5.2 Recomendaciones

- Algunas de las normas y métodos de ensayo del Instituto Nacional de Vías requieren una actualización sobre sus normas de referencia, en particular para los métodos NLT (Normas de Ensayo del Centro de Estudios de Carreteras de España), los cuales fueron reemplazadas por las normas UNE creadas por la Asociación Española de Normalización y Certificación – AENOR y corresponden a los estándares europeos EN, cuya implementación lleva más de una década en curso.

- Dado que los materiales prescritos por algunos métodos de diseño no requieren los niveles de calidad que definen las normas colombianos en unos casos y podrían ser más exigentes en otros, los diseñadores deberían verificar la necesidad de elaborar especificaciones particulares en los proyectos que lo requieran

6. Referencias

AASHTO. (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.* Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.

AASHTO. (July de 2008). Mechanistic - Empirical Pavement Design Guide. *A Manual of Practice*. EEUU: American Association of State Highway and Transportation Officials.

AASHTO. (2008). *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing.* Washington D.C., USA: American Association of State Highway and Transportation Officials.

AASHTO. (6 de Octubre de 2015). *AASHTO*. Obtenido de The American Association of State Highway and Transportation Officials: www.transportation.org/Pages/VisionandGoals.aspx

ACPA. (2007). Subgrades and Subbases for Concrete Pavements. EEUU: American Concrete Pavement Association.

AENOR. (2003). *Norma Española UNE-EN 13043 Áridos para mezclas bituminosas y tratamientos superficiales de carreteras, aeropuertos y otras zonas pavimentadas.* Madrid: Agencia Española de Normalización y Certificación.

AENOR. (2003). *Norma Española UNE-EN 13242:2003+A1 Áridos para capas granulares y capas tratadas con conglomerados hidráulicos para uso en capas estructurales de firmes.* Asociación Española de Normalización y Certificación. Madrid: AENOR.

AENOR. (2006). *Norma Española UNE-EN 13108-1:2006 Mezclas bituminosas - Especificaciones de materiales - Parte 1: Hormigón bituminoso.* Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación.

AENOR. (2010). *Norma Española UNE-EN 13285 Mezclas de áridos sin ligante - Especificaciones.* Madrid: Asociación Española de Normalizaxción y Certificación.

ARA, Inc., ERES Consultants Division. (2004). *Guide for Mechanistic-Empirical Design NCHR 1-37A.* Champaign, Illinois: ARA, Inc., ERES Consultants Division. Obtenido de http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/mepdg/part_12_cover_ack_toc.pdf

Aristizabal Vargas, L. E. (Agosto de 2000). Estudio de la Normatividad Contractual Nacional en las Obras Públicas. Periodo 1950 - 1999. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Asim, I., Fawaz, Y., Momin, O., & Osman, A. (October de 2015). Comparative Studies of Flexible and Rigid Pavement Design Methods. Sudán: Sudan University of Science and Technology.

Asocreto. (12 de Marzo de 2014). *DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO: MÉTODO PCA.* (A. C. Concreto, Ed.) Recuperado el 23 de Mayo de 2016, de BLOG 360° EN CONCRETO: http://blog.360gradosenconcreto.com/diseno-de-pavimentos-de-concreto-metodo-pca/

Asphalt Institute. (1970). AI MSI-1: Thickness Design--Full Depth Asphalt Pavement Structures for Highways and Streets. Washington, DC, EEUU: Engineering Research Education - The Asphalt Institute.

Asphalt Institute. (2007). *The Asphalt Handbook - Manual Series No. 4 (MS-4).* USA: The Asphalt Institute.

ASTM International. (2017). *The History of ASTM International*. Obtenido de https://www.astm.org/

Balay, J. M., Brosseaud, Y., Bara, B., & Castaneda, E. (October de 2012). Adaptation of the French pavement design to countries in South America. 14. France: HAL.

Baus, R., & Stires, N. (June de 2010). *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide Implementation.* University of South Carolina, Department of Civil and Environmental Engineering. Columbia: University of South Carolina.

Bauss, R., & Stires, N. (June de 2010). Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide Implementation . *Report No. FHW A-SC-10-01*. South Carolina , Columbia, EEUU: Department of Civil and Environmental Engineering .

Bedoya, M. (2005). Problemas Constructivos y Calidad de Materiales. *XV Simposio Colombiano sobre ingeniería de Pavimentos .* Bogotá.

Beleño, I. (11 de Diciembre de 2010). *Vías frenan competitividad en Colombia.* Obtenido de un Periódico: http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/vias-frenan-competitividad-en-colombia.html

Bravo, J. M. (10 de Octubre de 2014). Sistema de transportes por carreteras en Colombia. *El Mundo*.

Campagnoli, S. X., & López, C. (2007). Micro Deval - Una prueba que complementa la evaluación de la calidad de los agregados usados en pavimentos. *XVI Simposio Colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos.* Manizales.

Cardona Botero, A., & Ramirez Roa, A. (1999). Análisis comparativo de métodos de diseño de Pavimento Flexible. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Carreteros. (2000). Relación de normas NLT. Obtenido de http://www.carreteros.org/

Claessen, AIM, Edwards, J M, Sommer, P, & Uge, P. (22-26 de August de 1977). ASPHALT PAVEMENT DESIGN--THE SHELL METHOD. *Volume I of proceedings of 4th International Conference on Structural Design of Asphalt Pavements, Ann Arbor, Michigan, August 22-26, 1977*. Michigan, United States. Recuperado el 26 de 09 de 2017, de https://trid.trb.org/

Concejo de Bogotá D.C. (6 de Octubre de 1972). Acuerdo 19 de 1972. *Por el cual se crea y reglamenta el funcionamiento del Instituto de Desarrollo Urbano*. Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia: Concejo de Bogotá.

Congreso de Colombia. (23 de Julio de 1931). Ley 88 de 1931. *Por el cual se adopta el Plan de Carreteras Nacionales*. Bogotá, Colombia: Congreso de Colombia.

Congreso de Colombia. (27 de Diciembre de 1967). Ley 64 de 1967. *Por la cual se crea el Fondo Vial Nacional y se destinan sus recursos para los planes viales nacionales.* Bogotá, Colombia: Congreso de Colombia.

Davis, J., & Griffin, N. (2009). Celebrating 90 years. *Asphalt Institute*, 9. Obtenido de http://asphaltmagazine.com/the-asphalt-institute-celebrating-90-years-of-service-to-the-asphalt-industry/

Departamento Nacional de Planeación - Republica de Colombia. (4 de Junio de 1991). Plan Vial de Apertura. Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia: Republica de Colombia.

Durán Vargas, F. A., & Vélez Suarez, J. E. (2000). Comparación de especificaciones técnicas para la construcción de pavimentos en zonas urbanas. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Federal Highway Administration. (16 de Abril de 2013). *Federal Highway Administration.* Recuperado el 21 de Febrero de 2016, de California Division Performance Specification Initiative: http://www.fhwa.dot.gov/cadiv/techapps/perfspec.cfm

Fernandez Ordoñez, H. O. (2005). Experiencia Latinoamericana en Gestión de Redes Viales. *VX SImposio Colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos.* Bogotá.

Gaviria Correa, G. (1998). *Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras.* Santafé de Bogotá, D.C: Impreandes Presencia S.A.

Goacolou, H., Piau, J.-M., Balay, J.-M., Odéon, H., Petit Grand, J.-C., Kobish, R., . . . Lerat, P. (Diciembre de 2003). La méthode française de dimensionnement. France.

Gómez Hernández, C. (3 de Junio de 2014). *INVIAS 20 años de historia*. Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia. Recuperado el 16 de Mayo de 2016, de https://www.sirvoamipais.gov.co/nuestra_actualidad/anio_actual/-/asset_publisher/mF3NPPB0tAeE/content/id/168019

Highway Research Board. (1962). *The AASHO Road Test.* Washington, DC, EEUU: National Academy of Sciences - NAS-NRC Division of Engineering and Industrial Research.

Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and Design* (Second ed.). Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson Prentice Hall.

Institute, A. (2000). *Manual MS-22 Principles of Construction of Hot-Mix Asphalt Pavements.* Lexington, KY, USA: Asphalt Institute.

Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (s.f.). ¿Qué es IRAM? Buenos Aires, Argentina: Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Recuperado el 2018, de http://www.iram.org.ar/

Instituto de Desarrollo Urbano - IDU. (5 de Diciembre de 2011). Resolución 4880 de 2011. *Por la cual se adopta el Manual denominado "ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES DE MATERIALES Y CONSTRUCCIÓN PARA PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL Y DE ESPACIO PÚBLICO EN BOGOTÁ D.C. – IDU ET 2011" del Instituto de Desarrollo Urbano – IDU*. Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia: Instituto de Desarrollo Urbano.

Instituto de Desarrollo Urbano. (2001). *Reglamento para el sector vial urbano de Bogotá D.C. RSV-2000.* Bogota D.C, Cundinamarca, Colombia: Instituto de Desarrollo Urbano.

Instituto de Desarrollo Urbano. (18 de Mayo de 2006). Resolución 1959 de 2006. *Por la cual se adopta el Manual denominado "ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES DE MATERIALES Y CONSTRUCCIÓN PARA PROYECTOS ESPACIO PÚBLICO EN BOGOTÁ, D.C. - IDUET 2005" del Instituto de Desarrollo Urbano - IDU*. Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia: Instituto de Desarrollo Urbano.

Instituto de Desarrollo Urbano. (2006). Resolución 1959 de 2006. Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia: Instituto de Desarrollo Urbano.

Instituto de Desarrollo Urbano. (2011). *Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción para Proyectos de Infraestructura Vial y Espacio Público en Bogotá D.C.* Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia: Instituto de Desarrollo Urbano.

Instituto Nacional de Vías. (2007). *Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos para Vías con Bajos Volúmenes de Tránsito.* Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia: Ministerio de Transporte - República de Colombia.

Instituto Nacional de Vías. (2008). Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito. Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia: Ministerio de Transporte - República de Colombia.

Instituto Nacional de Vías. (2013). *Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras.* Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia: Ministerio de Transporte - República de Colombia.

INVIAS - Ministerio de Transporte. (15 de Agosto de 2007). Resolución 3288 de 2007. *Por la cual se actualizan las especificaciones generales de construcción de carreteras*. Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia: Ministerio de Transporte - República de Colombia.

Kimbonguila, A., Becquart, F., & Abria, N. (May de 2015). Méthode de dimensionnement des structures de chaussées : quelle(s) adaptabilité(s) pour les matériaux granulaires alternatifs ? Bayonne, France: Universitaires de Génie Civil.

Ksaibati, K., & Butts, N. (June de 2003). Evaluating the Impact of QC/QA Programs on Asphalt Mixture Variability. Laramie, Wyoming: Department of Civil and Architectural Engineering. Univertisity of Wyoming.

LCPC - SETRA. (1997). *French Design Manual for Pavement Structures.* Paris, France: Laboratoire Central des Ponts et Chaussées -Service d'eÉtudes Techniques des Routes et Autoroutes.

Li, Q., Xiao, D., Wang, K., Hall, K., & Qiu, Y. (2011). Mechanistic-empirical pavement design guide (MEPDG): a bird's-eye view. *Journal of Modern Transportation, 19*.

Londoño, C. (10 de enero de 2014). Historia y origen de los pavimentos de concreto en Colombia. Obtenido de http://blog.360gradosenconcreto.com/historia-y-origen-de-los-pavimentos-de-concreto-en-colombia/

Ministère de l'Èquipement, des Transports et du Logement. (1994). *Conception et dimensionnement des structures de chaussée - Guide Technique.* Paris, France: Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

Ministerio de Obras Públicas - Sección de Ingeniería. (julio-agosto de 1909). Instrucciones reglamentarias para proyectos y construcción de caminos, Canales de Ingeniería Nos. 197 - 198. Volumen XVIII. Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia: Ministerio de Obras Públicas.

Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (30 de Diciembre de 1992). Decreto 2171 de 1992. *Por el cual se reestructura el Ministerio de Obras Publicas y Transporte*

como Ministerio de Transporte y se suprimen, fusionan y reestructuran entidades de la rama ejecutiva del orden nacional. Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia: Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

Ministerio de Transporte - Instituto Nacional de Vías. (27 de Junio de 2002). Resolución 2662 de 2002. *Por el cual se actualizan las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras para los cotratos de obra celebrados por el Instituto Nacional de Vías*. Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia: Ministerio de Transporte - República de Colombia.

Ministerio de Transporte. (19 de Diciembre de 1996). Resolución 8068 de 1996. Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia: Ministerio de Transporte - República de Colombia.

Ministerio de Transporte. (26 de Mayo de 2014). Resolución No. 1376 de 2014. Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia: Ministerio de Transporte - República de Colombia.

Molina Londoño, L. F. (2010). *Biblioteca Luis Ángel Arango.* Obtenido de http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/historia/caminos/legisla.htm

Moncada Gutierrez, M., & Serna Marquez, J. D. (1999). Análisis comparativo de las especificaciones tecnicas de construcción de carreteras M.O.P.T 1970 e INVIAS 1996. Manizales, Caldas, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Packard, R. (1984). Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements. Illinois, EEUU: Portland Cement Association.

Palacios M., C. (2 de Abril de 2011). Historia de la MEPDG 2011. Machala, Ecuador. Recuperado el 15 de 08 de 2015, de https://groups.yahoo.com/neo/groups/Camineros/conversations/topics/6601

Papagiannakis, A. T., & Masad, E. A. (2008). *Pavement design and materials* (First ed.). Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons.

Pavement Interactive. (2 de October de 2012). *Pavement Interactive*. Recuperado el 16 de Febrero de 2016, de http://www.pavementinteractive.org/2012/10/02/what-is-mechanistic-empirical-design-the-mepdg-and-you/

QPA. (2004). *Aggregates for unbound and hydraulically bound uses - QPA Aggregates Group Bulletin 5 .* London: Quarry Products Association.

QPA. (2004). *Type 1 granular sub-base and other unbound mixtures QPA Aggregates Group Bulletin 6.* London: Quarry Products Association. Recuperado el 3 de Agosto de 2018, de http://www.mineralproducts.org/documents/bulletin06.pdf

Reyes Lizcano , F. A., & Rondón Quintana, H. A. (2007). Metodologías de Diseño de Pavimentos Flexibles: Tendencias, Alcances y Limitaciones. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 17*(2), 41-65.

Saldaña Marulanda, D. (Julio de 2013). Estudio comparativo de la sensibilidad de la metodología de diseño estructural de pavimentos flexibles: Método AASHTO 93 y ME-PDG V 1.1. Santiago de Chile, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.

Sánchez Sabogal, F. (Enero de 2013). Notas para una crónica de las Especificaciones de Construcción de Carreteras en Colombia. Bogotá D.C.

Shell International Petroleum Company. (1978). *Shell Pavement Design Manual: Asphalt Pavements and Overlays for Road Traffic.* London: Shell International Petroleum Company.

Strickland, D. (2000). *SPDM 3.0. Shell pavement design software for Windows.* London: Shell International Petroleum Company Ltd.

Tayabji, S. (Mayo de 2014). *Método de diseño para pavimentos de concreto PCA/ACPA.* Recuperado el 23 de Mayo de 2016, de Noticreto Virtual: http://webidu.idu.gov.co:9090/pmb/opac_css/doc_num.php?explnum_id=1151

Transportation Association of Canada. (September de 1984). *New PCA Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements.* Ottawa, Ontario, Canada: Transportation Association of Canada.

TRB. (1999). *Glossary of Highway Quality Assurance Terms.* Transportation Research Board Committee A2F03. Washington D.C: National Research Council.

TRB. (July de 2007). *Pavement Lessons Learned from the AASHO Road Test and Performance of the Interstate Highway System.* Transportation Research Board. Washington, D.C.: U.S. National Academies.

TRL. (1993). *Overseas Road Note 31.* London, United Kingdom: Transport Research Laboratory.

TRL. (1993). *Overseas Road Note 31 - A guide to the structural design of bitumen-surfaced roads in tropical and sub-tropical countries.* London, United Kingdom: Transport Research Laboratory.

TRL. (2002). *Overseas Road Note 19 - A guide to the design of hot mix asphalt in tropical and sub-tropical countries.* London, United Kingdom: Transport Research Laboratory - Department for International Development.

TRL Limited. (25 de Agosto de 2016). *Transport Research Laboratory*. Recuperado el 01 de Agosto de 2018, de TRL - about us - our history: https://web.archive.org/web/20160825085249/http://www.trl.co.uk/about-us/our-history

U.S. DOT. (2014). *Standard Specificacions for Construction of Roads and Bridges on Federal Highway Projects FP-14.* Washington D.C., United States of America: U.S. DOT.

Úrculo comunicación. (04 de abril de 2017). Las Normas UNE. Obtenido de http://urculoingenieros.com/

Vásquez Varela, L. R. (05 de abril de 2015). Perfil y propiedades. Cemento Asfáltico. Manizales, Caldas, Colombia.

Whiteoak, D. (1991). *The Shell Bitumen Handbook.* Surrey, UK: Shell Bitumen UK.