

BOLETÍN TÉCNICO

PITRA-LanammeUCR

Volumen 11, N.º 7, Octubre 2020

Generalidades de la metodología de Diseño balanceado de mezcla asfáltica (BMD)

Ing. Francisco Fonseca
Candidato a MSc. en Ingeniería Civil
Unidad de Auditoría Técnica
Correo electrónico: francisco.fonseca@ucr.ac.cr

Javier Slein
Candidato a Lic. en Ingeniería Civil
Unidad de Auditoría Técnica
Correo electrónico: javi169slein@gmail.com

1. Introducción

De acuerdo con la Federal Highway Administration [FHWA] (2016), el diseño balanceado de mezcla asfáltica es aquel que, dentro de sus requerimientos, incluye el aplicar pruebas de desempeño a especímenes debidamente acondicionados que simulen múltiples deterioros y que, a la vez, contemple el envejecimiento de la mezcla, el tráfico, el clima y demás condiciones de servicio del pavimento. La meta principal del diseño de mezcla balanceado (BMD por sus siglas en inglés) es obtener la combinación, en las proporciones adecuadas, de asfalto, agregado y otros componentes para asegurar una mezcla que genere resultados favorables en las pruebas de desempeño relacionadas con la resistencia al agrietamiento y a la deformación permanente (Newcomb y Zhou, 2018), tal como se ilustra de manera gráfica en la Figura 1.

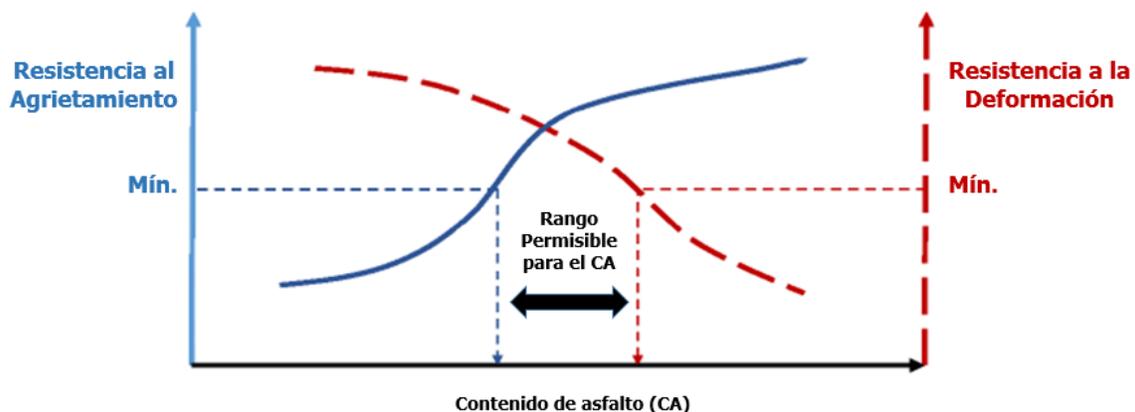


Figura 1. Resistencia al agrietamiento por fatiga y a la deformación permanente en función del contenido de asfalto

Fuente: (Newcomb y Zhou, 2018)

Tradicionalmente, el enfoque en los diseños de mezclas se da desde el punto de vista volumétrico y generalmente estos y otros parámetros (contenido de vacíos, contenido de asfalto, espesor, densidad y resistencia, entre otros) son los que se evalúan para definir los factores de pago (Bennert, 2018); sin embargo, el cambio en el comportamiento de los ligantes asfálticos debido al uso de polímeros y avances tecnológicos en las técnicas de mezclado, así como al uso de mezcla asfáltica reciclada y asfalto reciclado de “tejas” (RAP y RAS por sus acrónimos en lengua inglesa), han obligado a evaluar el desempeño de las mezclas en función del comportamiento durante su vida útil.

En relación con este hecho, estudios de varios departamentos de Transporte de los Estados Unidos (DOT's) sugieren que, aparte de las características recién mencionadas, existen indicadores propios del desempeño de la mezcla que de igual forma, deberían definir la aceptación del trabajo en los controles de calidad tales como la resistencia al agrietamiento y a la deformación permanente. Es por eso que, a continuación, se describirá el caso particular de la evaluación aplicando los principios teóricos del BMD a mezclas asfálticas colocadas en proyectos de Minnesota y la forma en que éste sentó la base del BMD en el Departamento de Transportes de dicho estado (MnDOT): También se realiza la comparación de esta con otras agencias estatales en cuanto al uso y aplicación de pruebas de desempeño, así como los enfoques metodológicos que han surgido en las diferentes agencias de Transporte de Estados Unidos.

2. Metodologías en el desarrollo del BMD

Se han identificado tres diferentes metodologías de diseño que actualmente son empleadas por varios (DOT's) y la misma FHWA para considerar el BMD dentro de sus proyectos de infraestructura vial (Aschenbrener, 2016); estos se muestran en el diagrama de flujo de la Figura 2 y se explican a continuación:

Diseño volumétrico con evaluación del desempeño

Es la metodología más común empleada por los DOT's en Estados Unidos, se inicia con el cumplimiento de parámetros volumétricos especificados para luego pasar a una evaluación de desempeño mediante ensayos a la mezcla con el contenido de asfalto meta previamente definido en el diseño volumétrico. Tanto los parámetros volumétricos como los requerimientos por desempeño deben cumplir con los estándares establecidos por cada agencia antes de que el diseño se pueda considerar como terminado; la metodología indica que si se deben realizar mejoras al diseño de mezcla, esto implica modificar variables tales como la fuente del agregado, la fuente del asfalto y los aditivos (Aschenbrener, 2016).

Una vez que los ensayos de resistencia al agrietamiento y deformación permanente hayan sido aprobados y la mezcla cumpla con los requerimientos volumétricos, se debe evaluar la susceptibilidad al daño por humedad y si la mezcla diseñada resulta satisfactoria, el diseño se aprueba y se presenta como fórmula de trabajo.

Diseño volumétrico modificado con los resultados del desempeño

Se inicia con evaluación volumétrica de la mezcla asfalto-agregado con el fin de obtener un valor inicial del contenido de asfalto. Una vez concluido este proceso se llevan a cabo pruebas de resistencia al agrietamiento y a la deformación permanente y, si en alguno de estos dos parámetros no se generan resultados satisfactorios, el contenido de asfalto y las proporciones de la mezcla se ajustan las proporciones de agregado o asfalto para cumplir los parámetros de desempeño.

Cuando esa etapa sea superada, se podrán aplicar las pruebas para medir la sensibilidad al daño por humedad y una vez que sean aprobadas, el diseño pasa a ser la fórmula de trabajo. La principal diferencia entre la metodología recién descrita y el diseño volumétrico con evaluación de desempeño es que en la primera, el diseño volumétrico solo se utiliza para proveer un punto de partida para el contenido de asfalto, el cual puede ser ajustado luego, según los resultados de desempeño (Aschenbrener, 2016).

Diseño por desempeño

La consideración de los requerimientos volumétricos al inicio es limitada o nula; el objetivo principal del enfoque es fijar proporciones de los componentes de la mezcla que cumplan con los parámetros de desempeño posteriormente evaluados mediante ensayos. La metodología utiliza las características volumétricas como el contenido de vacíos, los vacíos en el agregado mineral, contenido de asfalto mínimo y la granulometría como recomendaciones de diseño más que como requerimientos obligatorios. Esta metodología no ha sido usada por ningún DOT (*idem*).

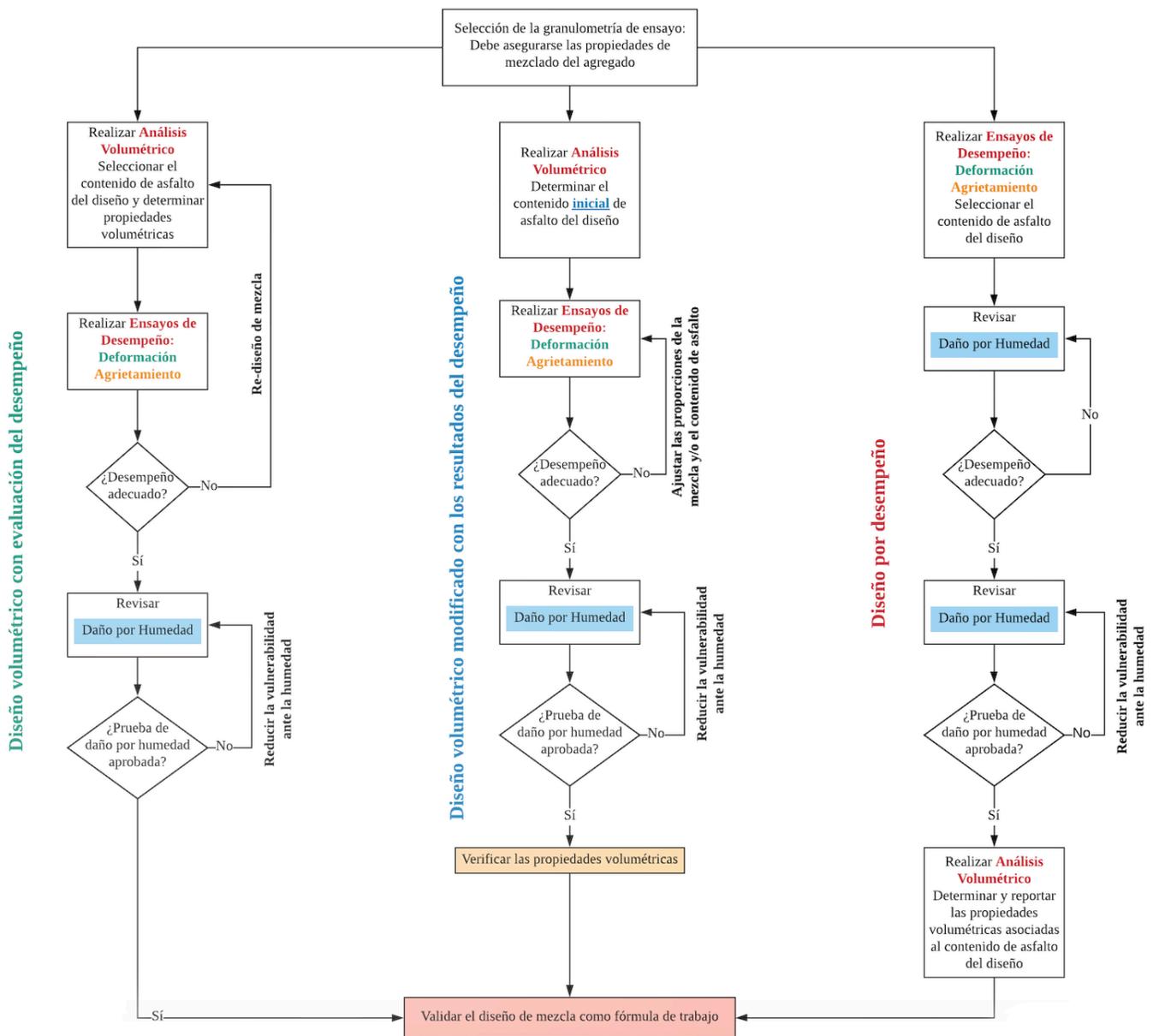


Figura 2. Enfoques metodológicos más usados para la consideración del BMD

Fuente: (Aschenbrener, 2016)

Las metodologías aplican distintos procedimientos; sin embargo, persiguen el mismo objetivo el cual consiste en asegurar la calidad de la mezcla asfáltica mediante el análisis de su respuesta ante los parámetros de desempeño de agrietamiento por fatiga y deformación permanente. De acuerdo con los ensayos empleados para evaluar estas propiedades, las mezclas se clasifican en un diagrama de desempeño, el cual consiste en un plano cartesiano en donde el eje vertical representa el ensayo de agrietamiento y en el eje horizontal, el ensayo de deformación como se muestra en la Figura 3.

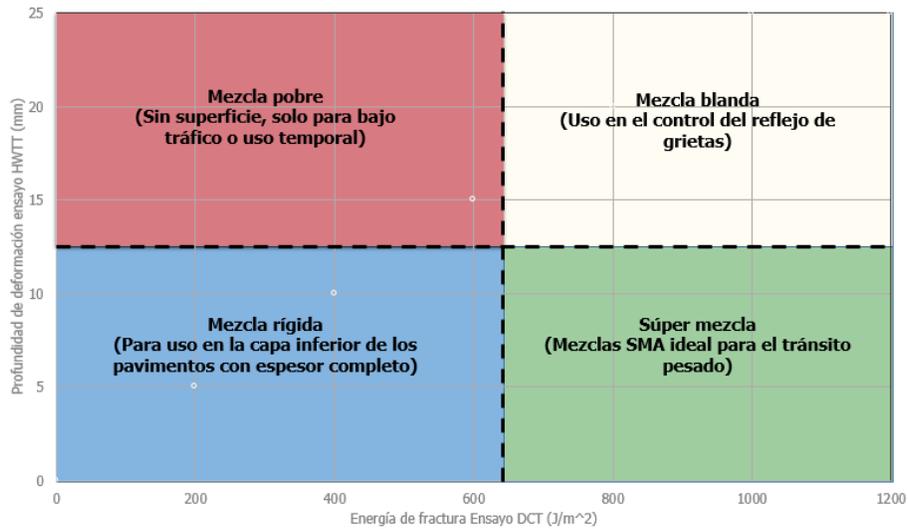


Figura 3. Diagrama de desempeño para los ensayos de Rueda de Hamburgo y DCT

Fuente: (West, Rodezno, Leiva y Yi, 2018)

3. Ensayos

A continuación, se mencionarán los principales ensayos incorporados por los DOT's en Estados Unidos dentro de sus metodologías de Diseño Balanceado de Mezclas (BMD) para la evaluación del desempeño:

Cuadro 1. Ensayos comúnmente usados para la evaluación del desempeño

Propiedad de la mezcla a evaluar	Ensayo de laboratorio	Norma de ensayo	Número de DOT's que lo utilizan
Agrietamiento por temperatura	Disk-Shaped Compact Tension Test (DCT)	ASTM D7313-13	3
	Indirect Tensile Test (IDT)	AASHTO T 322-07	1
	Semi-Circular Bend (SCB) Test	AASHTO TP 105-13	2
	Thermal Stress Restrained Specimen Test (TSRST)	BS EN 12697-4	N/I
Reflejo de grietas	Disk-Shaped Compact Tension Test (DCT)	ASTM D7313-13	3
	Texas Overlay Test (OT)	TxDOT Tex-248-F NJDOT B-10	3

Propiedad de la mezcla a evaluar	Ensayo de laboratorio	Norma de ensayo	Número de DOT's que lo utilizan
Agrietamiento por fatiga de abajo hacia arriba	Direct Tension Cyclic Fatigue Test	AASHTO TP 107-14	N/I
	Flexural Bending Beam Fatigue Test (BBT)	AASHTO T 321 ASTM D7460	5
	IDT Fracture Energy Test	N/A	1
	Illinois Flexibility Index Test (I-FIT)	AASHTO TP 124-16	3
	SCB at Intermediate Temperature	LaDOTD TR 330-14 ASTM D8044-16	2
	Texas Overlay Test (OT)	TxDOT Tex-248-F	3
Agrietamiento por fatiga de arriba hacia abajo	Direct Tension Test (DTT)	N/A	N/I
	IDT Energy Ratio Test	N/A	1
Deformación permanente	Asphalt Pavement Analyzer (APA)	AASHTO T 340	5
	Flow Number (FN)	AASHTO TP 79-15	1
	Hamburg Wheel Tracking Test (HWTT)	AASHTO T 324	11
	Superpave Shear Tester (SST)	AASHTO T 320-07	1
	Triaxial Stress Sweep Test (TSS)	AASHTO TP 116-15	N/I
Susceptibilidad al daño por humedad	Hamburg Wheel Tracking Test (HWTT)	AASHTO T 324	5
	Tensile Strength Ratio (TSR)	AASHTO T 283	2

Fuente: (NCAT, 2017)

N/A: no hay norma para el ensayo

N/I: No se tiene información acerca de los DOT's que lo emplean

En adición a estos ensayos, existen algunos que no se mencionaron en el cuadro anterior pero que se conoce que también son empleados en la concepción del diseño balanceado.

Cuadro 2. Ensayos adicionales en la evaluación del desempeño

Propiedad de la mezcla a evaluar	Ensayo de laboratorio	Norma de ensayo
Agrietamiento	Indirect Tension Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT)	N/A
Susceptibilidad al daño por humedad	Lottman procedure	AASHTO T 283
	Standard Practice for Moisture Conditioning Compacted Asphalt Mixture Specimens by Using Hydrostatic Pore Pressure	ASTM D7870

Fuente: (West, Rodezno, Leiva y Yi, 2018)

Ejemplo para obtener el contenido de asfalto meta para el Departamento de Transporte de Minnesota

Para la definición del contenido de asfalto meta del Departamento de Transporte de Minnesota, la metodología BMD evalúa los contenidos de ligante a los cuales la mezcla cumple con los parámetros de agrietamiento y deformación permanente. Por un lado, en el agrietamiento, se define el contenido de asfalto para un nivel mínimo de resistencia ante este deterioro, debido a que esta propiedad presenta una relación creciente con respecto al aumento del contenido de asfalto en la mezcla. Por el contrario, en el caso de la deformación permanente, se define un nivel máximo de contenido de asfalto que cumpla con un nivel mínimo de resistencia al fenómeno de deformación, debido a que la relación entre las dos variables es decreciente. Esto se describe en la Figura 4 y Figura 5.

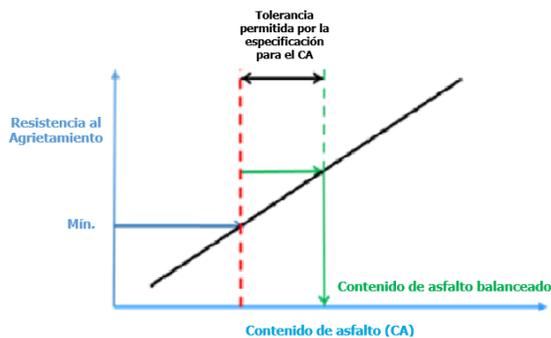


Figura 4. Contenido de asfalto en relación al desempeño por agrietamiento

Fuente: (Newcomb y Zhou, 2018)

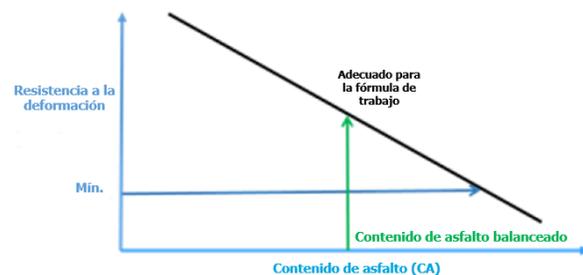


Figura 5. Contenido de asfalto en relación al desempeño por deformación permanente

Fuente: (Newcomb y Zhou, 2018)

Los dos contenidos de asfalto son entonces comparados; si el resultado para el nivel mínimo de resistencia al agrietamiento es menor que el máximo permitido para el daño por deformación y deja un rango en el que se puedan considerar las tolerancias del proceso constructivo, entonces la mezcla con ese contenido de asfalto pasa a ser la fórmula de trabajo; de lo contrario, se deberá modificar los distintos componentes de la mezcla hasta lograr establecer el contenido de asfalto que cumpla ambas condiciones de desempeño. (Newcomb y Zhou, 2018).

4. Conclusiones

- El diseño balanceado de mezclas asfálticas (BMD) intenta obtener una mezcla de propiedades volumétricas adecuadas al tiempo que asegura un buen desempeño al agrietamiento por fatiga y a la deformación permanente mientras toma en cuenta las condiciones de trabajo que tendrá la mezcla tales como el clima y el tráfico, así como las características del asfalto, los agregados y modificadores.
- El objetivo del BMD es determinar el contenido de asfalto meta en el que la mezcla satisfaga, al mismo tiempo, ambos parámetros de desempeño.
- Existen tres metodologías para aplicar el diseño balanceado, las cuales se diferencian en la importancia que se le da al diseño volumétrico para determinar el contenido de asfalto meta.

- Existen múltiples ensayos que evalúan la resistencia al agrietamiento por fatiga y a la deformación permanente; en algunos aún se requiere investigación y adaptación a distintas mezclas para escenarios de trabajo diferentes, por lo que la elección de pruebas debe ser analizada por cada agencia de Transporte.
- El diseño balanceado presenta una modificación al diseño tradicional de mezclas asfálticas en la que se intenta adaptar la estructura a sus condiciones de servicio con el fin de asegurar la durabilidad de estas y protección de las inversiones en infraestructura vial a través del buen desempeño ante los deterioros más comunes en el pavimento flexible: el agrietamiento por fatiga y la deformación permanente.

5. Referencias bibliográficas

- Al-Qadi, I., H. Ozer, J. Lambros, A. El Khatib, P. Singhvi, T. Kahn, J. Rivera, & B. Doll. (2015). *Testing Protocols to Ensure Performance of High Asphalt Binder Replacement Mixes Using RAP and RAS*. Report No. FHWA-ICT-15-017. Washington, D.C: Federal Highway Administration.
- Aschenbrener, T. (2016). Case Histories of Setting the Job Mix Formula with a Balanced Mix Design Compared to a Volumetric Mix Design. Slide from 2016 Presentation of Balanced Mix Design to FHWA Mix ETG. Dartmouth, MA.
- Benert, T. (2018). Innovations in Asphalt Mixture Design Procedures. *Evaluating Balanced Mixture Design for New Jersey to Enhance Asphalt Mixture Durability, E-C237*. 60-76. Recuperado de <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/ec237.pdf>
- Federal Highway Administration (FHWA). (2016). Balanced Mix Design Task Force Update of Activities, slide Presentation at Asphalt Expert Task Group Meeting, Salt Lake City, UT, United States.
- National Center for Asphalt Technology [NCAT] (2017). Moving Towards Balanced Mix Design for Asphalt Mixtures. Recuperado de <http://www.eng.auburn.edu/research/centers/ncat/newsroom/2017-spring/balanced-mix.html>
- Newcomb, D. y Zhou, F. (2018). *Balanced Design of Asphalt Mixtures*. St. Paul, Minnesota, United States: Minnesota Department of Transportation Research Services and Library.
- Wagoner, M., W. Buttlar, G. Paulino, & P. Blankenship. (2006). Laboratory Testing Suite for Characterization of Asphalt Concrete Mixtures Obtained from Field Cores. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 75, 815–852.
- West, R., Rodezno, C., Leiva, F. y Yin, F. (2018). *Development of a Framework for Balanced Mix Design*. Proyecto NCHRP 20-07/Task 406. Recuperado de [http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/docs/NCHRP20-07\(406\)_Revised_final_report.pdf](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/docs/NCHRP20-07(406)_Revised_final_report.pdf)
- Zhou, F., S. Im, L. Sun, & T. Scullion. (2017). Development of an IDEAL-CT Cracking Test for Asphalt Mix Design and QC/QA. *Journal of Association of Asphalt Paving Technologists (AAPT)*, 86, 549–578.



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

PITRA

Programa de
Infraestructura del Transporte

Ing. Ana Luisa Elizondo Salas, M.Sc.

Coordinadora General - Programa de Infraestructura del Transporte

Unidad de Seguridad Vial y Transporte (USVT)

Ing. Javier Zamora Rojas, M.Sc.

Coordinador USVT

Unidad de Normativa y Actualización Técnica (UNAT)

Ing. Raquel Arriola Guzmán, M.Sc.

Coordinadora UNAT

Unidad de Investigación en Infraestructura del Transporte (UIIT)

Ing. Ana Luisa Elizondo Salas, M.Sc.

Coordinadora UIIT

Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional (UGERVN)

Ing. Roy Barrantes Jiménez, M.Sc.

Coordinador UGERVN

Unidad de Gestión Municipal (UGM)

Ing. Erick Acosta Hernández

Coordinador UGM

Comité Editorial 2020:

- Ing. Ana Luisa Elizondo Salas, M.Sc., Coordinadora General PITRA.
- Ing. Raquel Arriola Guzmán, M.Sc. Unidad de Normativa y Actualización Técnica, PITRA.
- Rosa Isella Cordero Solano, Unidad de Normativa y Actualización Técnica, PITRA.

CENTRO DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

Diagramación: Licda. Daniela Martínez Ortiz.

Control de calidad: Óscar Rodríguez Quintana.

Generalidades de la metodología de Diseño balanceado de mezcla asfáltica (BMD)

Palabras clave: diseño balanceado, mezcla asfáltica, contenido de asfalto, infraestructura, pavimentos.

(506) 2511-2500

✉ direccion@lanamme.ucr.ac.cr • www.lanamme.ucr.ac.cr