

# ASFÁLTICA

REVISTA TÉCNICA



- ☞ **Un protocolo para la gestión del patrimonio vial en México**
- ☞ **Determinación de las temperaturas de mezclado y compactación mediante la viscosidad de corte cero**
- ☞ **Boletín técnico**  
**Compactación de las mezclas asfálticas en caliente**



**EXPERTOS EN  
PAVIMENTOS DE  
LARGA DURACIÓN**



**TECNOLOGÍA EN PAVIMENTOS Y  
MATERIALES ASFÁLTICOS**

Más de  
**30.000 KM**  
Construidos con Asfalto  
Modificado Stylink<sup>MR</sup>

# VANGUARDIA TECNOLÓGICA. Es tiempo de algo mejor.



PRENSA TSR (NIVEL I), MARSHALL,  
SCB, CBR, TRIAXIAL



PRENSA SERVO-HIDRÁULICA 30 KN,  
MÓDULO DINÁMICO (NIVEL III)



4PB AUTÓNOMO SERVO-NEUMÁTICO,  
FATIGA (NIVEL IV)

NUESTRAS MARCAS

**MATEST**  
**PAVETEST**



Certificadas en ISO 9001  
Estricta conformidad  
Protocolo AMAAC,  
Normas AASHTO y ASTM

MATECH OF AMERICAS CORP.,  
S. DE R.L. DE C.V.

Lago Chapala Oriente #9,  
Col. Manantiales, San Pedro Cholula,  
C.P. 72760, Puebla, MEXICO

Tels. (+52) 22 25 03 46 53 / 54

Mail. info@matech.mx

www.matech.mx | www.matest.com

www.pavetest.com | www.instrotek.com



RUEDA DE HAMBURGO,  
(NIVEL II)



Hamburg Wheel  
Tracker in USA



COMPACTADOR GIRATORIO,  
(NIVEL I)



**GRUPO**  
**SÚRFAX**

PRODUCTOS Y SOLUCIONES A SUS NECESIDADES  
ESPECÍFICAS PARA PAVIMENTOS

**ORGULLOSO  
GANADOR**

**PREMIO FUNDADORES**  
*“DR. JORGE O. AGNUSDEI E  
ING. HELIO FARAH”*

OTORGADO POR  
EL XIX CONGRESO IBERO-AMERICANO DEL ASFALTO-CILA



**XIXCILA**  
Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, Medellín 2017

PRIMER LUGAR, POR CONTRIBUIR A LA  
EXCELENCIA Y A LA INNOVACIÓN EN LA  
INVESTIGACIÓN VIAL A NIVEL INTERNACIONAL

CON EL TRABAJO:

*“DETERMINACIÓN DE LAS  
TEMPERATURAS DE MEZCLADO Y  
COMPACTACIÓN MEDIANTE LA  
VISCOSIDAD A CORTE CERO”*

AUTORES:  
Israel Sandoval Navarro  
Edgar Ruiz Zárate  
Ignacio Ramírez Muñoz  
Enrique Villa Huerta  
Ignacio Cremades Ibáñez



Agua Marina No. 3042, Agua Blanca  
C.P. 45235, Zapopan Jalisco, México



Tel: +52 (33) 3684 7304  
[www.gruposurfax.com.mx](http://www.gruposurfax.com.mx)

*siguenos en redes sociales*



# Sumario

---

Un protocolo para la gestión del patrimonio vial en México	<b>5</b>
Determinación de las temperaturas de mezclado y compactación mediante la viscosidad de corte cero	<b>16</b>
Boletín técnico Compactación de las mezclas asfálticas en caliente	<b>25</b>
Diseño estructural y de mezclas asfálticas de alto desempeño para pavimentos de larga duración	<b>31</b>
Análisis de métodos para la obtención del residuo de emulsiones asfálticas	<b>43</b>
Amor, paz y... asfalto	<b>54</b>

## Presidente

Raymundo Benítez López

## Vicepresidente de construcción

Luis Guillermo Limón Garduño

## Vicepresidente técnico

Francisco Javier Moreno Fierros

## Vicepresidente de distribución

Juan Adrián Ramírez Aldaco

## Secretario

Javier Gutiérrez Cisneros

## Tesorero

J. Jesús Martín del Campo Limón

## Vocales

Diana Berenice López Valdés

Gabriel Hernández Zamora

Horacio Delgado Alamilla

Jorge Alarcón Ibarra

Luis Eduardo Payns Borrego

Martín Serrano García

Rafael Martínez Castillo

## Comisión de honor

Roberto Garza Cabello

Ignacio Cremades Ibáñez

José Jorge López Urtusuástegui

## Comisión de vigilancia

Fernando Martín del Campo Aviña

Israel Sandoval Navarro

Hugo Bandala Vázquez

## Director General

Jorge E. Cárdenas García

dirgral@amaac.org.mx

www.amaac.org.mx

## Diseño y formación

Lizbeth de Lucio



# Editorial

---



Oscar-Claude Monet  
(1840-1926)

En 1873 se reunió con su amigo August Renoir para pintar paisajes juntos. Ambos coincidían en su desprecio por el estilo tradicional de la academia de arte de Francia. Durante dicha visita, Renoir pintó a Monet mientras éste pintaba en su jardín, creando una pintura dentro de la pintura.

*Ilustración sobre el original  
Por: Omar Maya V.*

Siempre es rutinario hablar de propósitos cada inicio de año. Aprovechemos entonces hacer de este nuevo comienzo un pretexto para estar más unidos como profesionales y amigos. El trabajo en equipo, la colaboración en los proyectos personales y de AMAAC e incluso las actividades cotidianas pueden ser sumamente satisfactorias con el enfoque adecuado.

Iniciamos este nuevo año con una característica diferente a los años anteriores, y es que como cada seis años en este nuestro México hay cambio de administración y de Gobierno.

Hace seis años, doce, diez y ocho, siempre esperamos un mejor gobierno, que los impuestos que pagamos tuvieran el mejor destino en bien de nuestro país, en programas educativos, de salud y en nuestro caso, un buen programa de infraestructura, y sobre todo de conservación, porque siempre se olvida de que “no existe nada que no requiera mantenimiento”.

Debemos reflexionar y analizar de una manera muy profunda lo que deseamos para México, para el futuro de nuestros hijos, de nuestros nietos, y de ahí tomar la mejor decisión.

Nuestro gremio debe estar más unido y trabajar con más ahínco buscando las mejores opciones para tener vialidades con mayores beneficios para los usuarios, es decir, que cumplan con el diseño especificado y la construcción y conservación realizada con el profesionalismo que debe ser.

Este 2018, debe ser el mejor. Les deseo un feliz y próspero año.

**Raymundo Benítez López**  
*Presidente*  
*Décimo Consejo Directivo*

# Un protocolo para la gestión del patrimonio vial en México

Ricardo Solorio Murillo  
Paul Garnica Anguas  
Roberto Hernández Domínguez  
Instituto Mexicano del Transporte  
rsolorio@imt.mx

## Introducción

### **Protocolo AMAAC PA-MA 01/2013**

En el año 2013, la Asociación Mexicana del Asfalto (AMAAC) publicó la actualización del Protocolo AMAAC PA-MA 01/2013: diseño de mezclas asfálticas de granulometría densa de alto desempeño<sup>[1]</sup> (en lo sucesivo protocolo AMAAC).

Además de especificar las características técnicas que deben reunir las mezclas asfálticas densas de alto desempeño, el protocolo AMAAC define unos “criterios de selección del nivel de evaluación requerido”, los cuales se refieren a “diferentes niveles de diseño (...) en función de la importancia de la carretera determinada por el nivel de tránsito o el desempeño deseado”.

Para cada nivel de evaluación, el protocolo especifica un conjunto de pruebas que deben llevarse a cabo a efecto de validar los diseños. En la Figura 1 se muestran las pruebas correspondientes a los diferentes niveles. Adicionalmente, el protocolo AMAAC establece los equipos y procedimientos de medición (a través de una serie de recomendaciones y normas) que los laboratorios deben emplear para la ejecución de las pruebas.

Con lo anterior, el protocolo AMAAC provee una referencia adaptada a nuestro medio para evaluar las competencias de un laboratorio en el diseño de mezclas de alto desempeño, particularmente en lo que se refiere a la ejecución de las pruebas.

### **Madurez en la gestión de carreteras**

Las carreteras de un país constituyen uno de sus activos más valiosos. En el caso de México, en 2011, solo la red federal libre de peaje tenía un valor patrimonial del orden de los 600 000 millones de pesos.<sup>[2]</sup> Al mismo tiempo, las carreteras juegan un papel fundamental en el desarrollo económico y social. En México, en el año 2015, el 78% del tráfico doméstico de carga y el 94,6% del de pasajeros se movilizaron por carretera.<sup>[3]</sup> Todo lo anterior obliga a una gestión adecuada de la

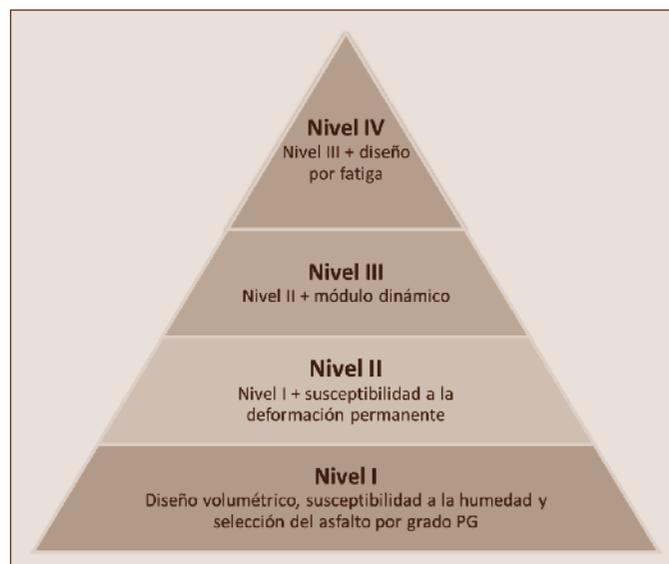


Figura 1. Niveles de diseño / evaluación del protocolo AMAAC.<sup>[1]</sup>

operación, conservación y desarrollo de este patrimonio, que incorpore los avances metodológicos, tecnológicos y las mejores prácticas observados a nivel mundial.

A este respecto, en los últimos años se ha ido generando un consenso internacional en el sentido de que el *Enfoque de gestión del patrimonio vial* o, simplemente, la *gestión del patrimonio*, constituye la herramienta metodológica que mejor se ajusta a las necesidades de las entidades con redes de carreteras a su cargo.

En términos generales, la gestión del patrimonio vial se refiere a la administración de una red de carreteras con una perspectiva de tipo empresarial, es decir, orientada al logro de los objetivos de mediano y largo plazo de la organización con criterios de eficacia, eficiencia y sustentabilidad.

Entre las buenas prácticas de la gestión del patrimonio, figura de manera destacada la evaluación permanente de competencias y la determinación del *nivel de madurez* de las organizaciones con el propósito de identificar oportunidades específicas de mejora. Para estos fines, varios países han publicado una serie de recomendaciones y normas que, adicionalmente, permiten llevar a cabo análisis comparativos entre organizaciones similares.<sup>[4], [5], [6], [7]</sup>

Sin embargo, estas recomendaciones y normas resultan, en general, demasiado elaboradas y un tanto distantes de la cultura organizacional que hoy en día prevalece en el medio carretero mexicano. Por lo anterior, en este trabajo se retoma el enfoque del protocolo AMAAC como una referencia adaptada a nuestro entorno para proponer, de manera inicial, un protocolo aplicable a la evaluación de la gestión del patrimonio en México.

## Gestión del patrimonio vial

### *Enfoque tradicional de la gestión de carreteras*

La gestión de carreteras es un proceso gerencial que involucra la identificación, programación y ejecución de las obras necesarias para mantener niveles de servicio acordes con las expectativas de los usuarios. De esta manera, puede considerarse que las redes de caminos se han gestionado desde que existen como tales, y que siempre ha sido la principal actividad de las organizaciones encargadas.

Hasta hace relativamente pocos años, la gestión de carreteras se enfocó únicamente en el desempeño técnico de las principales componentes de la infraestructura vial, sobre todo de los pavimentos y los puentes. Lo anterior resulta lógico si se considera que la capacidad de estas componentes para soportar el paso del tránsito y las condiciones medioambientales es un requisito indispensable para hacer posible el transporte por carretera.

El desarrollo de los sistemas de gestión de pavimentos y de puentes a partir de la década de los 60, supuso un avance muy significativo en la práctica de la gestión vial, ya que permitió la aplicación de criterios objetivos y racionales para el diagnóstico del estado de la infraestructura y la determinación de sus necesidades de conservación. En este desarrollo han jugado un papel crucial los avances en las tecnologías vinculadas a la informática y los equipos de medición (Figura 2), al grado de que, en muchos países, incluido el nuestro, el concepto de gestión aplicado a las carreteras ha tendido a relacionarse exclusivamente con esas tecnologías, dejando de lado el proceso gerencial subyacente mencionado al principio de este inciso.

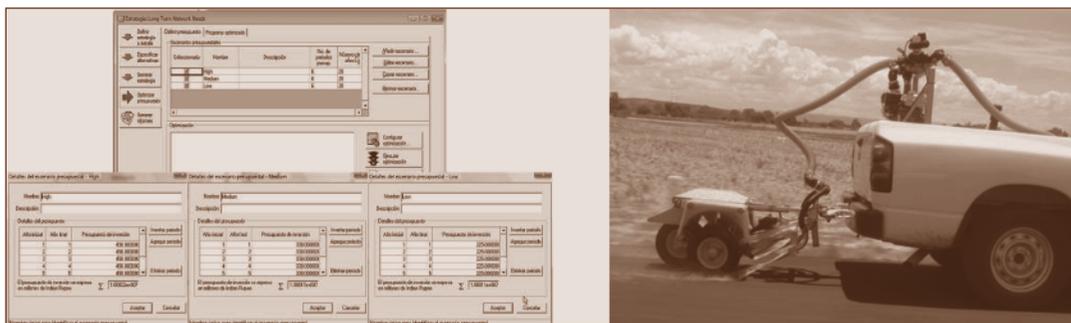


Figura 2. Programas de cómputo y equipos de medición para la gestión de infraestructura vial.

Durante las últimas décadas, las redes de carreteras han alcanzado grados de extensión y complejidad que las han vuelto inmanejables con criterios basados exclusivamente en el estado físico o el desempeño técnico de sus elementos constitutivos. La problemática actual de las carreteras se caracteriza por una serie de retos muy diversos, entre los cuales pueden mencionarse los siguientes:

- Crecimiento permanente de la demanda.
- Deterioro acelerado de la infraestructura.
- Accidentalidad.
- Congestión.
- Vulnerabilidad ante los fenómenos meteorológicos (agudizada por el cambio climático).
- Insuficiencia de recursos para la conservación.
- Mayor escrutinio de la sociedad con respecto al ejercicio de los recursos públicos.

Ante los retos anteriores, la gestión del patrimonio vial propone la adopción de un enfoque holístico, basado en los objetivos de la organización y orientado a la mejora continua de sus procesos. Es evidente que, a la luz de estos mismos retos, los objetivos de gestión de las organizaciones de carreteras deben reformularse para incluir aspectos adicionales al desempeño técnico.

### **Enfoque de gestión del patrimonio vial**

La gestión del patrimonio puede aplicarse no solo a la administración de las redes viales, sino a la de cualquier componente de la infraestructura de un país. En todos los casos, se basa en la consideración de los elementos constitutivos de la infraestructura y de otros factores vinculados a la prestación de los correspondientes servicios (carreteros, de suministro eléctrico o de distribución de agua potable) como *activos*.

En este contexto, se denomina *activo* a cualquier elemento, tangible o intangible, que tiene un valor real o potencial para una organización<sup>[6]</sup>, de modo que el conjunto de estos activos constituye el *patrimonio* a su cargo. De acuerdo con lo anterior, el patrimonio vial incluye pavimentos, puentes, túneles, cortes, terraplenes, señalamiento, etc. (elementos tangibles), así como la capacidad técnica del personal de la organización o el prestigio de la misma, elementos intangibles directamente relacionados sus competencias y nivel de madurez.

Existen diversas definiciones de la gestión del patrimonio. Para la AASHTO, esta disciplina se refiere a “un proceso sistemático para la operación, conservación y expansión de un patrimonio carretero de manera efectiva durante su ciclo de vida, el cual se basa en principios empresariales y de ingeniería para lograr una mejor toma de decisiones basada en información de calidad y objetivos bien definidos.”<sup>[7]</sup>

El enfoque de gestión del patrimonio vial puede conceptualizarse mediante un marco con tres bloques principales: contexto, planeación y facilitadores,<sup>[8]</sup> como se muestra en la Figura 3.

El primer bloque se refiere a las limitaciones impuestas por los contextos legal e institucional y por los grupos de interés ligados al transporte carretero. Así, incluye aspectos como las directrices de los instrumentos de planeación nacional y local, la legislación aplicable, las restricciones financieras y los requerimientos de los distintos grupos de usuarios.

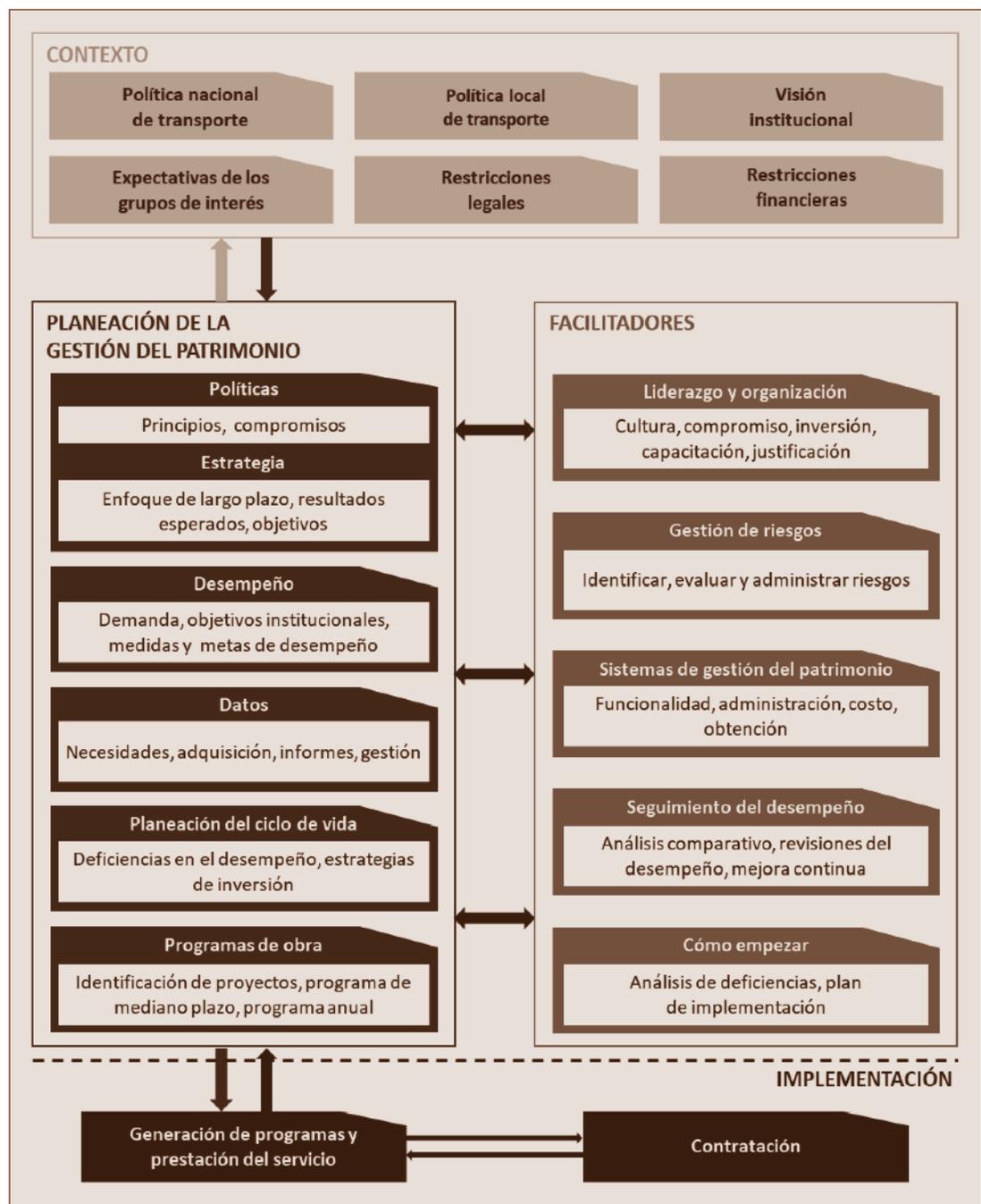


Figura 3. Marco de gestión del patrimonio vial.<sup>[8]</sup>

En el segundo bloque se concentran los elementos torales del marco. Este bloque, describe un proceso de planeación integral que comprende la definición de políticas y de una estrategia de largo plazo (10 o más años), la preparación de programas plurianuales y anuales y los mecanismos para el desarrollo y ejecución de cada proyecto. La elaboración de la estrategia, los programas y los proyectos supone la realización de análisis del ciclo de vida empleando datos de calidad que reflejen adecuadamente los atributos físicos y operacionales de los activos. Adicionalmente, en este bloque se considera el establecimiento de un marco para la evaluación del desempeño de la organización. Finalmente, en el tercer

bloque se agrupa un conjunto de previsiones institucionales, procedimientos y herramientas que son indispensables para la aplicación exitosa del marco. Entre estas figuran compromisos al más alto nivel de la organización para la adopción efectiva del enfoque de gestión del patrimonio, los sistemas informáticos de gestión ya mencionados y los procesos para dar seguimiento al desempeño. Este último componente, junto con el análisis inicial de deficiencias y el plan de implementación de la gestión del patrimonio, proporcionan los elementos necesarios para la autoevaluación permanente de la organización con miras a determinar la madurez de sus procesos de gestión y procurar la mejora continua.

En general, la gestión del patrimonio se distingue de la gestión tradicional por los siguientes aspectos:

- Se orienta a lograr los objetivos de la organización responsable y no a la mejora del desempeño técnico de los activos *per se*.
- Supone un análisis del patrimonio vial en su conjunto (nivel de red) y no únicamente tramo por tramo (nivel de proyecto).
- Considera de manera integrada al conjunto de activos que constituyen el patrimonio vial.
- Adopta un enfoque del ciclo de vida para desarrollar estrategias de gestión rentables en el largo plazo que permitan cumplir con un nivel de servicio establecido.
- Se basa en la operación coordinada de las siguientes componentes: políticas y procedimientos, financiamiento, personal con unas competencias adecuadas, información, equipo y software.

## Evaluación de la madurez en la gestión del patrimonio vial

### Aspectos generales

Dentro del marco de gestión del patrimonio, la evaluación de la madurez comprende la determinación de las competencias de una organización para llevar a cabo diversas actividades de gestión. Con este fin, se emplea una escala de calificación que normalmente va de un nivel “básico” en un extremo de la escala, a uno “avanzado” en el otro.<sup>[8]</sup>

En una práctica avanzada de la gestión del patrimonio, las actividades de gestión se encuentran

completamente integradas y se mejoran de manera continua para producir el máximo valor al menor costo, entendiendo el término *valor* como una medida de la mejora en los indicadores de desempeño vinculados a los objetivos de la organización.

El nivel de madurez de una organización debe ser el apropiado para su tipo y para el patrimonio carretero del que es responsable. La evaluación de la madurez en la gestión del patrimonio se encuentra documentada en la literatura internacional a través de diversas recomendaciones y normas. En general, estos textos presentan guías para la evaluación de la madurez basadas, por una parte, en el conjunto de los aspectos evaluados y, por otra, en una escala de calificación. Como ejemplo, en los siguientes incisos se describen las guías contenidas en la norma británica PAS55, el Manual internacional de gestión de infraestructura (IIMM) y la Guía AASHTO de gestión del patrimonio.

### Norma PAS55

En el año 2004, el Instituto Británico de Normas (BSI) publicó la norma PAS55 (PAS: “publicly available specification”; especificación disponible para el público), bajo el título *especificación para la gestión optimizada de activos físicos*.

Actualizada en 2008 (PAS55:2008),<sup>[5]</sup> esta norma ha logrado un notable reconocimiento internacional como referencia para establecer y verificar un sistema para la gestión integrada y optimizada de activos físicos durante su ciclo de vida. La norma es aplicable a sectores diversos, incluyendo electricidad, agua potable, gas, carreteras, ferrocarril, etc.

En 2014, la PAS55 fue reemplazada por la serie de normas ISO 55000,<sup>[6]</sup> sin embargo, continúa siendo una referencia ampliamente utilizada.

En relación con la evaluación de la madurez en la gestión del patrimonio, existe una *metodología de evaluación PAS55 (PAM)*<sup>[9]</sup> que las organizaciones pueden emplear para llevar a cabo una autoevaluación de sus prácticas de gestión con referencia a esa norma. Para facilitar su aplicación, esta metodología ha sido implementada mediante una herramienta basada en Excel.

La PAM permite evaluar un total de veintiocho aspectos de la gestión del patrimonio, los cuales pueden agruparse en las siguientes categorías:

- i. Requisitos generales.
- ii. Políticas.
- iii. Estrategia de gestión del patrimonio.
- iv. Estructura de la organización, competencias y comunicación.
- v. Gestión de riesgos.
- vi. Requisitos legales y de otro tipo.
- vii. Actividades del ciclo de vida.
- viii. Seguimiento del desempeño y del estado del patrimonio.
- ix. Acciones preventivas y correctivas, mejora continua.
- x. Revisión por parte de los directivos.

Los veintiocho aspectos considerados en la PAM se califican en una escala numérica de 0 a 4, a través de una serie de preguntas que la herramienta hace al usuario. Como resultado de la evaluación se producen una serie de salidas visuales como la gráfica de radar de la Figura 4, en la cual puede apreciarse el conjunto las calificaciones obtenidas para cada uno de los aspectos de la metodología (identificados por los numerales 4.1, 4.2, etc.). De acuerdo con el diseño de la gráfica, los puntos más alejados del centro indican las fortalezas de la organización, mientras que los puntos cercanos señalan sus debilidades u oportunidades de mejora.

### **Manual internacional de gestión de infraestructura (IIMM)**

El Manual internacional de gestión de infraestructura (*International Infrastructure Management Manual, IIMM*)<sup>[4]</sup> fue desarrollado originalmente en 2000 bajo la conducción el Grupo Nacional Directivo de Gestión del Patrimonio (NAMS) de Nueva Zelanda y el Instituto de Ingeniería en Obras Públicas de Australia (IPWEA), y ha sido objeto hasta la fecha de cuatro actualizaciones (2002, 2006, 2011 y 2015).

El IIMM es considerado como una de las fuentes de conocimiento sobre gestión del patrimonio con mayor autoridad a nivel mundial, y ha sido utilizado por cientos de organizaciones en todo el mundo <sup>[10]</sup>. De hecho, la norma PASS55 se basa en los principios contenidos en este manual, el cual, al igual que esa norma, es independiente de la clase de activos considerados.

En lo que se refiere a la evaluación de las competencias de una organización, el IIMM propone el

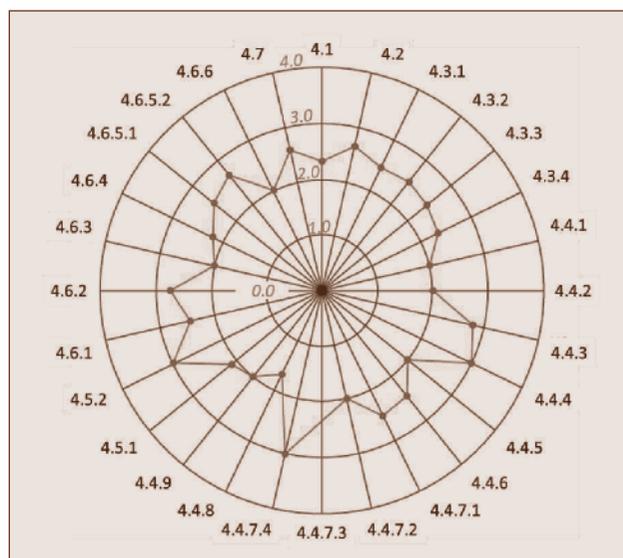


Figura 4. Resultados de la metodología de evaluación PASS55.<sup>[9]</sup>

empleo un índice de madurez para calificar diversos aspectos de la gestión del patrimonio. Este índice se basa en una escala comprendida por los siguientes valores: mínimo, esencial, intermedio y avanzado.

De acuerdo con el manual, la búsqueda de un nivel avanzado en todas las áreas puede no ser la mejor solución para todas las organizaciones, sino que esta depende de la escala y del tipo de activos a cargo de la organización, así como del contexto en el que se prestan los servicios.

El IIMM evalúa un total de 16 aspectos agrupados en tres categorías, como se muestra en la Tabla 1. A manera de ejemplo, la Tabla 2 muestra los índices de madurez correspondientes a la condición de los activos.

### **Guía AASHTO de gestión de activos del transporte**

La guía AASHTO de gestión de activos del transporte: un enfoque en la implementación,<sup>[7]</sup> es una publicación desarrollada por el Programa de Investigación Cooperativa en Carreteras (NHCRP) del TRB con el propósito de orientar a los departamentos de transporte (DOT) de los Estados Unidos de América en la implementación de enfoques de gestión del patrimonio vial para las redes viales a su cargo.

De este modo, la guía AASHTO no ha tenido una repercusión internacional tan importante como la norma PASS55 y el IIMM, aunque, dado que también

se basa en principios fundamentales de gestión del patrimonio, suele ser referida con cierta frecuencia en estudios o proyectos realizados fuera de los EUA.

Por otro lado, a diferencia de PAS55 y el IIMM, la guía AASHTO considera exclusivamente activos de infraestructura vial.

**Tabla 1. Categorías y aspectos de la gestión del patrimonio evaluados en el IIMM**

Categoría	Aspecto evaluado
Requisitos	Políticas
	Niveles de servicio (objetivos institucionales)
	Pronóstico de la demanda
	Registro (inventario) del patrimonio
	Condición de los activos
	Gestión de riesgos
	Toma de decisiones
Estrategias del ciclo de vida	Gestión de la operación
	Gestión de la conservación
	Proyectos de inversión
	Gestión financiera
	Estructura y capacidades
Facilitadores	Plan de gestión del patrimonio
	Sistema de información
	Prestación del servicio
	Mejora

**Tabla 2. Ejemplo de evaluación de la madurez según el IIMM**

Índice de madurez	Condición de los activos
Mínimo	La evaluación de la condición se realiza al nivel de grupo (de arriba hacia abajo). Define requisitos mínimos para la gestión de activos críticos y requisitos legales (p.ej. para seguridad vial).
Esencial	Existe un programa de evaluación de la condición para los principales tipos de activos, priorizado según los riesgos. Los datos permiten la evaluación de la vida de los activos. Las normas y procedimientos para la gestión de datos se encuentran documentados. Se ha desarrollado un programa para la mejora de los datos.
Intermedio	Se tiene un programa de evaluación derivado de un análisis costo/beneficio de alternativas. Existe una amplia gama de datos para todos los tipos de activos (puede estar basada en un muestreo). Los procesos de gestión de datos están integrados en los procesos institucionales. Se tienen procesos de validación de datos.
Avanzado	La calidad o cobertura de la información sobre la condición permiten realizar análisis de riesgos, tomar decisiones para el ciclo de vida y generar informes financieros y de desempeño. Se llevan a cabo revisiones periódicas de la eficacia de los programas.

La evaluación de la madurez en los términos establecidos por la guía AASHTO comprende dos componentes. El primero, es un modelo de madurez basado en cinco niveles de competencia, como se muestra en la Tabla 3. El segundo componente es una herramienta de análisis de deficiencias, mediante la cual se evalúan los diversos aspectos de la gestión del patrimonio con referencia al modelo de la Tabla 3.

Esta herramienta, que también ha sido implementada en Excel, permite no solo determinar el

nivel de competencia de una organización en la realización de un proceso de gestión, sino que también la auxilia en la identificación de las acciones necesarias para pasar del nivel actual a un nivel deseado.

Usando esta herramienta, las competencias en gestión del patrimonio actuales y deseadas se evalúan en tres niveles:<sup>[11]</sup>

- a) Áreas de evaluación. Se refiere al nivel más alto de evaluación y abarca los siguientes ocho tópicos:

Tabla 3. Modelo de madurez en la gestión del patrimonio de la Guía AASHTO <sup>[7]</sup>	
Nivel de madurez	Descripción general
Inicial	No existe un apoyo efectivo derivado de una estrategia, de procesos o de herramientas. Puede haber falta de motivación para la mejora.
Reconocimiento básico	Se conoce la necesidad de una recopilación de datos básica. Con frecuencia, se depende del esfuerzo heroico de individuos.
Estructurado	Se tiene una comprensión y una motivación compartidas y existe coordinación. Se han desarrollado procesos y herramientas.
Competente	Las expectativas y la rendición de cuentas se obtienen de la estrategia, los procesos y las herramientas de gestión del patrimonio.
Buenas prácticas	Las estrategias, procesos y herramientas de la gestión del patrimonio son evaluadas y mejoradas en forma rutinaria.

1. Políticas, objetivos y metas.
  2. Práctica de la gestión del patrimonio.
  3. Planeación, programación e implementación de los proyectos.
  4. Gestión de datos.
  5. Sistemas de información.
  6. Transparencia y alcance.
  7. Resultados.
  8. Competencias y desarrollo del equipo de trabajo.
- b) Elementos. Cada área de evaluación se subdivide en varios elementos referidos a aspectos más específicos de la gestión del patrimonio (en total 24). Así, por ejemplo, el área “práctica de la gestión del patrimonio” incluye los elementos “marco de gestión”, “apoyo de la alta dirección”, “desarrollo de planes” y “gestión del ciclo de vida”, mientras que el área “sistemas de información” comprende “tecnología e integración del sistema”, “herramientas de apoyo a la toma de decisiones” y “características del sistema”
  - c) Criterios. Para todos los elementos, las prácticas actual y deseada se califican con base en dos o más criterios, los cuales se presentan a los usua-

rios como preguntas a fin de determinar hasta qué punto su organización se adhiere a cada criterio. Como ejemplo, uno de los criterios definidos para el elemento “apoyo de la alta dirección” se enuncia de la siguiente manera: “los altos directivos de la organización se encuentran comprometidos con la gestión del patrimonio como un proceso central, y esto se demuestra con lo que dicen y hacen, tanto al interior como al exterior”. La herramienta de análisis de deficiencias analiza un total de 143 criterios.

## Protocolo propuesto

### Motivación

Como se ha visto, las guías presentadas en la sección anterior permiten evaluaciones exhaustivas de las prácticas de gestión de una organización, con base en un abanico muy amplio de conceptos y principios de gestión del patrimonio que hoy gozan de gran aceptación internacional, particularmente en los países del noroeste de Europa, los Estados Unidos de América, Australasia y el sur de África.

Sin embargo, precisamente la exhaustividad de los procedimientos de evaluación de estas guías y la amplitud de sus bases conceptuales, constituyen un obstáculo para su aplicación en países como México en los que, en el mejor de los casos, se utiliza el enfoque tradicional de gestión esbozado en párrafos anteriores y, en muchos otros, como los de varias redes estatales y locales, se aprecia una falta total de procedimientos formales de gestión.

En estas circunstancias, la evaluación con alguno de los métodos descritos se convertiría en un ejercicio arduo y, hasta cierto punto, inútil, ya que es previsible que, para la mayoría de los conceptos evaluados, se obtengan calificaciones en la franja del nivel “mínimo” o “inicial”.

Además de lo anterior, dado que el enfoque de gestión del patrimonio unifique a las bases técnicas necesariamente implícitas en la gestión de carreteras, consideraciones de tipo organizacional y empresarial, la aplicación de las guías descritas podría resultar extremadamente complicada sin una capacitación previa intensiva, ya que muchas de esas consideraciones se encuentran ausentes de nuestra cultura institucional.

Tomando en cuenta lo antes expuesto, se propone una metodología para determinar el grado de madurez de una organización mexicana de carreteras con respecto a la práctica de infraestructura vial a su cargo. Para ello, se utiliza el enfoque del protocolo AMAAC como un mecanismo de evaluación de competencias en un área de especialidad de la ingeniería de carreteras adaptado a las condiciones particulares de nuestro país. En el siguiente inciso se presentan los detalles de esta metodología.

### **Detalles del protocolo**

En relación con las guías descritas en la sección 3, el protocolo que se propone constituye un procedimiento simplificado, ya que únicamente considera cuatro conceptos evaluación: herramientas de gestión del patrimonio, inventario vial e información complementaria, programas y estrategia.

Los dos primeros corresponden someramente a los aspectos que, de acuerdo con lo mencionado en el inciso 2.1, normalmente se relacionan en nuestro medio con la gestión de carreteras, es decir, las tecnologías de acopio de datos y las herramientas informáticas para su análisis. El número de concep-

tos considerado pareciera exiguo si se compara con los de las guías referidas, sin embargo, en realidad, muchos de los aspectos aparentemente omitidos se toman en cuenta implícitamente dentro de los conceptos elegidos.

Estos conceptos se han organizado con una estructura jerárquica, ver Figura 5. Con esta estructura se pretende enfatizar la contribución relativa de cada concepto a la madurez global de una organización con respecto a la gestión del patrimonio, de acuerdo con las descripciones que se presentan a continuación.

- *Herramientas de gestión del patrimonio.* Como ya se ha mencionado, en nuestro medio la gestión del patrimonio generalmente se vincula con la implementación de estas herramientas, las cuales, de hecho, pueden adquirirse en el mercado o desarrollarse de acuerdo con las necesidades de la organización. Aunque la gestión del patrimonio sería prácticamente inviable sin ellas, su sola disponibilidad no provee los procesos institucionales necesarios para instrumentar la gestión de carreteras.
- *Inventario vial e información complementaria.* La gestión de los activos de una organización requiere, como punto de partida, un conocimiento pleno de la localización, propiedades y desempeño de esos activos, complementada con información como las características del tránsito,



Figura 5. Estructura del protocolo propuesto.

parámetros climáticos y estándares de conservación y modernización, entre otros. Evidentemente, cualquier deficiencia en los datos puede provocar distintos grados de inoperancia en los procesos de gestión.

- *Programas.* Son el resultado de un proceso la identificación, priorización, optimización, calendarización y ejecución de proyectos individuales en el corto y mediano plazos.<sup>[8]</sup> Idealmente, mediante este proceso, se generan programas de obra anuales y plurianuales ajustados a los presupuestos disponibles y basados en el comportamiento de los activos durante su ciclo de vida y en los riesgos existentes. En los niveles avanzados de la gestión del patrimonio, los programas contribuyen de manera clara al logro de los objetivos de desempeño de la organización.
- *Estrategia.* Una estrategia de gestión del patrimonio establece la manera en que una organización cumplirá sus objetivos de largo plazo tomando en cuenta las obligaciones legales existentes, las

necesidades de los grupos de interés y el desempeño de la infraestructura carretera al que se aspira.<sup>[8]</sup> La estrategia constituye la parte central del proceso de planeación de largo plazo (10 o más años) que toda organización de carreteras debería implementar para mejorar o mantener el desempeño de la red a su cargo, dados el volumen de obras y de recursos involucrados. Cuando las organizaciones han logrado niveles de madurez altos, usualmente la estrategia se encuentra alineada con las políticas locales y nacionales relacionadas con el desarrollo del sistema de transporte, y marcan las directrices para la elaboración de los programas de obra antes descritos.

Se propone evaluar los conceptos anteriores con una escala de tres valores: básico, intermedio y avanzado. En la Tabla 4 se condensan los criterios para la evaluación de una organización de carreteras empleando este protocolo.

		Concepto			
		Herramientas	Inventario	Programas	Estrategia
Nivel de madurez	Básico	En general, no se aplican de manera sistemática herramientas de análisis, o se utilizan esporádicamente sin haber sido calibradas.	Se cuenta con información muy general en formato de hoja de calculo o similar, la cual se recopila ocasionalmente, sin un procedimiento establecido.	Los programas se elaboran en la mayoría de los casos a partir de los presupuestos asignados históricamente a los diferentes activos, y tienen una periodicidad anual.	No existen objetivos vinculados al desempeño de la infraestructura vial o se encuentran enunciados de manera muy general.
	Intermedio	Existen herramientas de análisis para pavimentos, puentes y otros activos que se aplican sistemáticamente para la obtención de los programas. No todas las herramientas han sido calibradas	Se han definido procedimientos para la actualización de la información. Los datos están almacenados centralmente y comprenden información de los principales activos.	Los programas se basan en análisis del ciclo de vida de los activos más importantes y consideran en algunos casos riesgos y periodicidades anual y plurianual.	Se han definido objetivos de desempeño para la infraestructura vial, alineados con las políticas nacionales o locales de transporte, así como planes para el logro de esos objetivos en plazos y con recursos determinados.
	Avanzado	Se han implementado herramientas de análisis para los principales activos y para la distribución de recursos entre ellos. Las herramientas se han calibrado y validado y se han elaborado manuales institucionales para su uso.	Existe un sistema central reconocido como una fuente confiable de información, el cual es capaz generar informes de manera ágil y contiene datos históricos sobre el desempeño de los principales activos. Los procedimientos de acopio están ampliamente documentados.	Se elaboran programas anuales y plurianuales basados en análisis del ciclo de vida, riesgos y los requisitos de los grupos de interés, con una contribución explícita a los objetivos de desempeño. Existen mecanismos para optimizar la distribución de recursos entre clases de activos.	La estrategia de gestión del patrimonio orienta los procesos institucionales y puede ser auditada, revisada y actualizada.

## Comentarios finales

- Los criterios de evaluación del protocolo propuesto incluyen procesos como análisis del ciclo de vida, análisis de riesgos y evaluación del desempeño, cuyas características deben integrarse más adelante a la especificación del protocolo.
- Este protocolo constituye una propuesta inicial preparada con el propósito de llamar la atención sobre la importancia de que las organizaciones mexicanas de carreteras tengan conocimiento de las oportunidades de mejora que pueden derivarse de un examen autocrítico de sus capacidades relacionadas con la gestión de infraestructura vial.
- Aún como propuesta inicial, el protocolo puede ser útil para que las organizaciones de carreteras en México identifiquen líneas generales para la mejora de sus prácticas de gestión.
- Existe una amplia experiencia internacional con respecto a la evaluación de la madurez en la gestión del patrimonio vial que, más allá de lo expuesto en este documento, puede constituir una guía para las organizaciones de carreteras en el país según sus necesidades. 

## ¿Quieres profundizar?

- [1] Asociación Mexicana del Asfalto, A.C. (AMAAC), Protocolo AMAAC PA-MA-01/2013: Diseño de mezclas asfálticas de granulometría densa de alto desempeño, Ciudad de México: AMAAC, 2013.
- [2] C. A. Romero Bertrand, Aplicación del HDM-4 en la preparación de los proyectos de referencia para el otorgamiento de contratos plurianuales de conservación de carreteras (CPCC), Ciudad de México: Asociación Mundial de Carreteras, 2011.
- [3] J. J. Martínez Antonio, M. A. Moreno Martínez, G. Morales Pérez, A. Herrera García, J. A. Balbuena Cruz, J. A. Pérez Sánchez, A. Bustos Rosales y A. R. Zamora Domínguez, Manual estadístico del sector transporte 2015, San Fandila, Qro.: Instituto Mexicano del Transporte, 2015.
- [4] New Zealand Asset Management Support (NAMS) Group, International Infrastructure Management Manual, Wellington: Institute of Public Works Engineering Australasia, 2011.
- [5] British Standards Institute (BSI), PAS 55-1:2008 – Asset Management. Part 1: Specification for the Optimized Management of Physical Assets, vol. 1, The Institute of Asset Management, 2008.
- [6] International Organization for Standardization (ISO), «ISO 55000:2014(en), Asset management – Overview, principles and terminology,» 2014. [En línea]. Available: [//www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:55000:ed-1:v2:en](http://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:55000:ed-1:v2:en). [Último acceso: 3 abril 2017].
- [7] Federal Highway Administration (FHWA) Transportation Asset Management Expert Task Group, AASHTO Asset Management Guide-A Focus on Implementation: Executive Summary, Washington, DC: AASHTO, 2013.
- [8] United Kingdom Roads Liaison Group (UKRLG) and Highways Maintenance Efficiency Programme (HMEP), Highway Infrastructure Asset Management Guidance Document, Londres: Department for Transport, London, 2013.
- [9] The Institute of Asset Management, «PAS55 Assessment Methodology | The IAM,» Helastel, [En línea]. Available: <https://theiam.org/products-and-services/pas55-methodology>. [Último acceso: 6 julio 2017].
- [10] Institute for Water Resources, US Army Corps of Engineers, «Best Practices in Asset Management,» US Army Corps of Engineers, Alexandria, VA, Estados Unidos de América, 2013.
- [11] K. A. Zimmerman, T. E. Hoerner y P. Ram, «Transportation Asset Management Gap Analysis Tool – User's Guide» Applied Pavement Technology, Inc., Urbana, IL, Estados Unidos de América, 2014.

# Determinación de las temperaturas de mezclado y compactación mediante la viscosidad de corte cero

Israel Sandoval Navarro  
Edgar Alonso Ruiz Zárate  
Ignacio Ramirez Muñoz  
Carmelo Enrique Villa Huerta  
LASFALTO S. de R.L. de C.V.  
israel@surfax.com.mx

## Introducción

El proceso constructivo es un paso fundamental en la calidad de una carpeta asfáltica, de nada sirve tener los mejores materiales y tener un diseño de alto desempeño si el proceso constructivo no se hace de manera adecuada cuidando los parámetros como espesores, tiempos y temperaturas.

Las temperaturas de mezclado y compactación de una mezcla asfáltica tienen una importancia fundamental en la calidad y desempeño de la mezcla, en mayor medida la temperatura de compactación dado que las propiedades mecánicas dependen fundamentalmente de que la densidad se alcance aun cuando el asfalto tiene una consistencia adecuada, de no ser así el desempeño de la mezcla puede ser muy deficiente y afectar de manera importante la durabilidad.

Existen diferentes métodos para determinar las temperaturas de mezclado y compactación, uno de los más usados y confiables es el presentado en “The Asphalt Handbook 7th Edition” del “Asphalt Institute”, en el cual mediante el empleo del viscosímetro rotacional se pueden determinar las temperaturas de trabajo para un asfalto. En dicho método se recomienda elaborar una curva Viscosidad vs Temperatura en una gráfica logarítmica (en el eje de las Y), los rangos de temperatura de mezclado y compactación son los equivalentes a las viscosidades de  $0,17 \pm 0,02$  Pa-s para el mezclado y  $0,28 \pm 0,03$  Pa-s para la compactación.

En la descripción del procedimiento se deja ver que los valores de viscosidad recomendados aplican solo para asfaltos convencionales y para trabajos en laboratorio, aunque regularmente estas temperaturas pueden servir como referencia para trabajos en obra donde se deben tomar en cuenta condiciones de campo.

El procedimiento menciona que estos rangos de viscosidad NO son válidos para ligantes asfálticos modificados y en este caso sugiere tomar en cuenta las recomendaciones del productor del asfalto modificado y estos seleccionan la mayoría de las veces la temperatura por experiencia, dejando siempre la incertidumbre de que estas sean

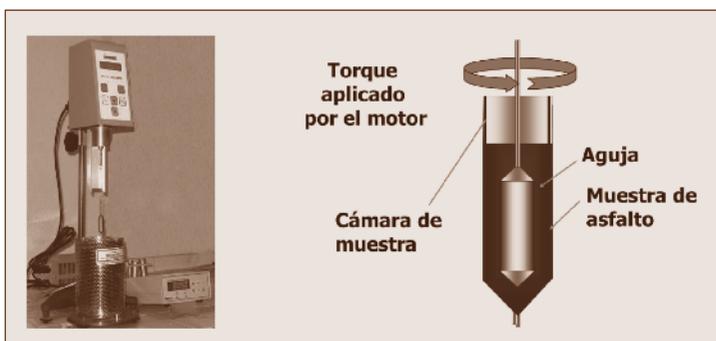


Figura 1. Viscosímetro Rotacional.

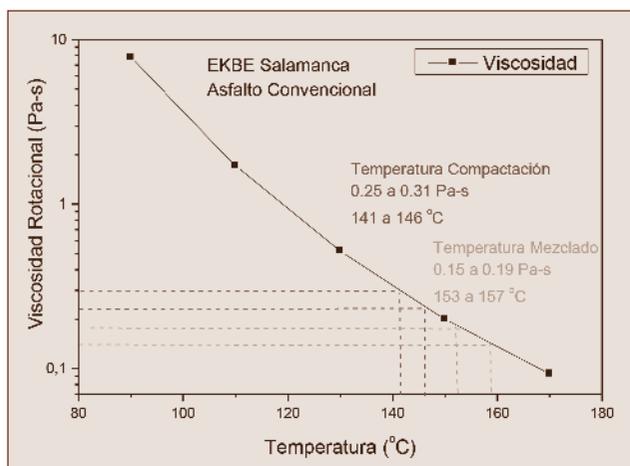


Figura 2. Viscosidad vs Temperatura, se determinan temperatura de mezclado y compactación mediante viscosímetro rotacional.

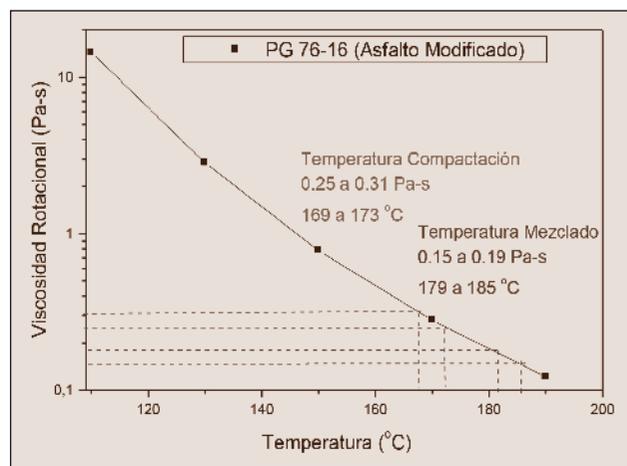


Figura 3. Viscosidad vs temperatura, se determinan temperaturas de mezclado y compactación para el asfalto modificado-temperaturas muy altas.

las temperaturas adecuadas para ese asfalto debido a que estas temperaturas deben depender del comportamiento reológico del asfalto y no de la experiencia.

### ¿Porque los valores de viscosidad no aplican para asfaltos modificados?

El viscosímetro rotacional durante la medición de viscosidad en un asfalto aplica esfuerzos bajos y velocidades de corte relativamente altas, en un asfalto convencional no hay problema debido a que este tipo de asfaltos presentan un comportamiento newtoniano a las temperaturas de trabajo, lo cual indica que su viscosidad no se ve afectada por el esfuerzo y la velocidad de corte lo cual propicia que el comportamiento del asfalto sea muy parecido tanto a los esfuerzos y velocidades de corte del viscosímetro rotacional como a los esfuerzos y velocidades de corte generados durante la producción en una planta donde son inmensamente mayores o durante la compactación donde se pueden encontrar esfuerzos altos y velocidades de corte bajas.

La mayoría de los asfaltos modificados presentan comportamiento NO-newtoniano lo cual indica que su viscosidad se ve afectada por el esfuerzo y la velocidad de corte, esto quiere decir que la viscosidad de asfalto modificado puede ser muy diferente si se le aplica una velocidad de corte baja o alta.

Cuando se intenta determinar las temperaturas de mezclado y compactación empleando el método antes descrito, debido a los esfuerzos bajos y

velocidades de corte relativamente altas se obtienen viscosidades y temperaturas muy altas alrededor de 183 y 172 °C respectivamente, para un PG 76-16, habiéndose comprobado que para fabricar la mezcla en planta o compactar en campo se requieren temperaturas mucho menores alrededor de 162 y 158 °C respectivamente, esto debido a que al fabricar la mezcla en planta el movimiento de varios miles de kilogramos de agregado genera esfuerzos muy altos y velocidades de corte tales que vencen la resistencia del asfalto a fluir. Durante el proceso de compactación en campo pasa un efecto parecido, el paso del rodillo sobre la mezcla asfáltica genera esfuerzos de corte muy altos y el desplazamiento de los materiales es lento reflejándose en velocidades de corte bajas lo que permite menor resistencia del asfalto a fluir resultando en viscosidades y temperaturas no tan altas.

### Hipótesis

Dado que las viscosidades recomendadas por el método del viscosímetro rotacional,  $0,17 \pm 0,02$  Pa-s para el mezclado y  $0,28 \pm 0,03$  Pa-s para la compactación, permiten trabajar adecuadamente un asfalto convencional, en este trabajo se pretende encontrar una equivalencia a estos valores empleando la viscosidad de corte cero, este parámetro se determina en un reómetro de corte dinámico a velocidades bajas, siendo en esta zona donde la viscosidad del asfalto no depende

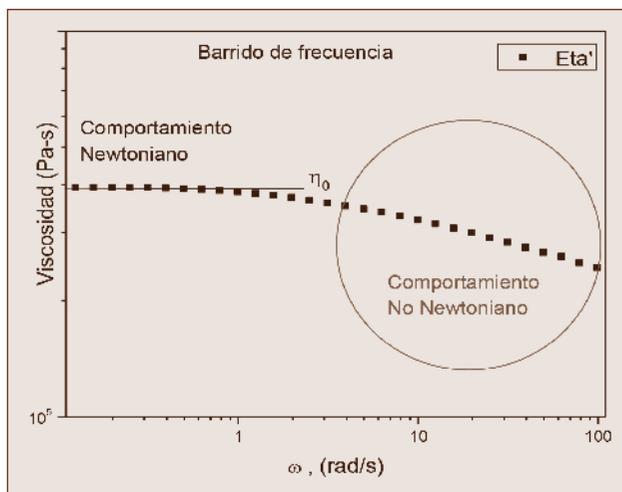


Figura 4. Comportamiento Newtoniano y comportamiento no newtoniano.

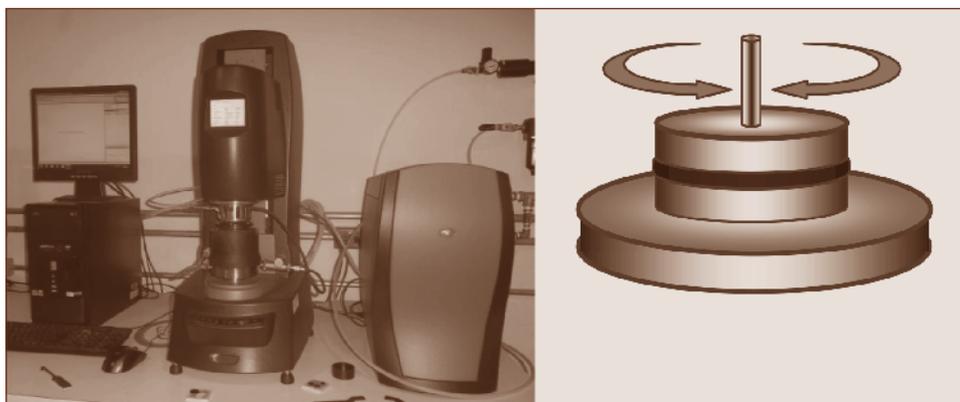


Figura 5. Reómetro de corte dinámico.

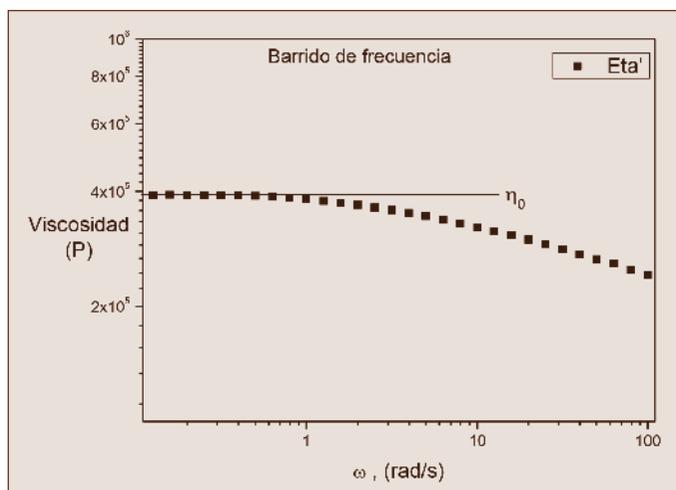


Figura 6. Viscosidad de corte cero. Es el valor donde la viscosidad se vuelve constante.

de la velocidad de corte, donde el asfalto modificado puede presentar comportamiento Newtoniano.

### Viscosidad de corte cero ( $\eta_0$ )

La viscosidad de corte cero es la viscosidad medida a velocidades de corte extremadamente bajas, velocidades cercanas a cero.

Al aplicar un esfuerzo a un material a velocidades tan bajas la energía se va disipando entre cada una de las capas del material (Figura 7), hasta que la cantidad de energía disipada es constante y la resistencia al flujo que ofrece la estructura del material se vuelve constante, por lo que la viscosidad de corte no cambia y se hace independiente de la velocidad de corte.

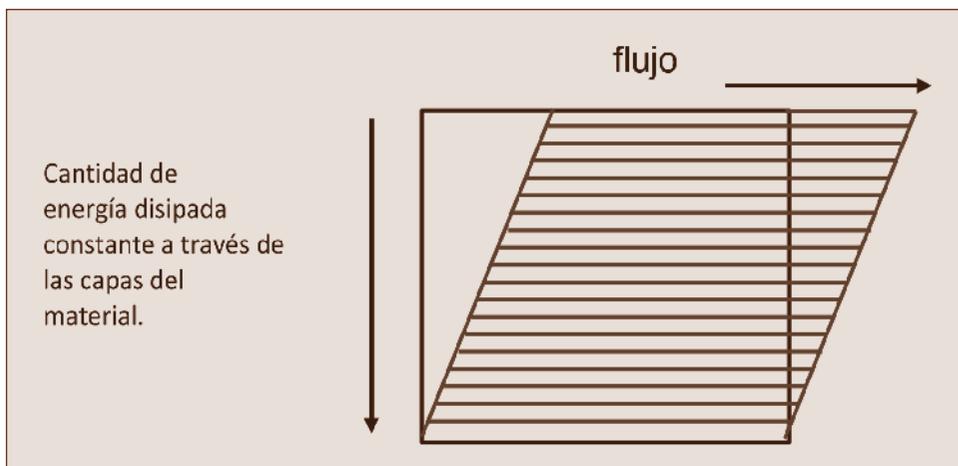


Figura 7. Capas del material. La cantidad de energía disipada entre ellas es constante.

Viscosidad de corte cero ( $\eta_0$ ) como parámetro para determinar las temperaturas de mezclado y compactación para asfaltos modificados.

Dado que las viscosidades recomendadas por el método del viscosímetro rotacional,  $0,17 \pm 0,02$  Pa-s para el mezclado y  $0,28 \pm 0,03$  Pa-s para la compactación, permiten trabajar adecuadamente un asfalto convencional, en este trabajo se pretende encontrar una equivalencia a estos valores empleando la Viscosidad a corte cero, este parámetro se determina a velocidades bajas siendo en esta zona donde la viscosidad del asfalto no depende de la velocidad de corte, donde el asfalto modificado presenta comportamiento newtoniano.

Se pretende medir la viscosidad de corte cero en un reómetro de corte dinámico para asfaltos convencionales a las temperaturas de mezclado y compactación determinadas en el viscosímetro rotacional y usar esa viscosidad para determinar las temperaturas de mezclado y compactación de los asfaltos modificados.

## Parte experimental

Determinación de los valores de viscosidad de corte cero para temperaturas de mezclado y compactación.

Para determinar los valores de viscosidad de corte cero en el reómetro de corte dinámico equivalentes a los valores de viscosidad obtenidos en el viscosímetro rotacional para asfaltos convencionales se llevó a cabo el siguiente proceso.

### **Paso 1. Temperaturas de mezclado y compactación para asfaltos convencionales**

Se determinaron las temperaturas de mezclado y compactación de diferentes asfaltos convencionales en un viscosímetro rotacional, empleando los valores recomendados de viscosidad en “*The Asphalt Handbook 7th Edition*” del “*Asphalt Institute*” los cuales son:  $0,17 \pm 0,02$  Pa-s para el mezclado y  $0,28 \pm 0,03$  Pa-s para la compactación.

Enseguida se describen los asfaltos convencionales empleados y las temperaturas de trabajo obtenidas.

**Tabla 1. Asfaltos convencionales empleados en el estudio**

Asfalto Convencional	PG	Temperatura de mezclado (°C)	Temperatura de compactación (°C)
Ekbé Salamanca	64-16	153-159	141-146
AC20 Salina Cruz	64-16	154-160	142-147
USA 1	64-22	161-166	149-155
AC30 Nicaragua	64-16	152-158	140-145
USA 2	70-22	159-164	147-153
AC20 Tula	64-16	156-162	144-149
60/70 Colombia	58-22	148-154	136-141
Ekbé Cadereyta	64-22	154-160	142-147

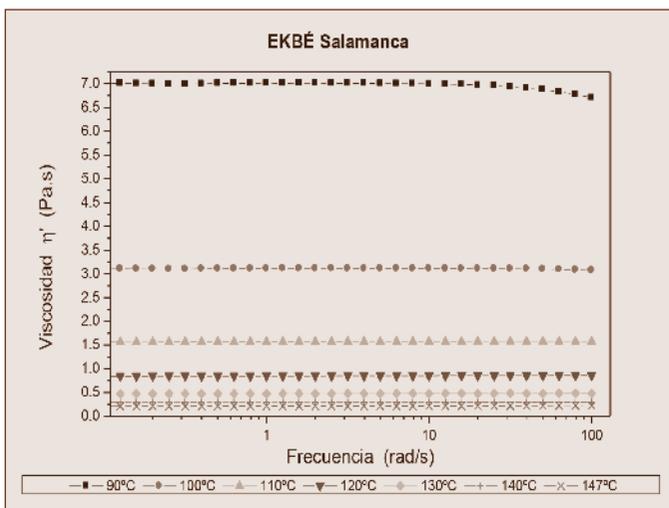


Figura 8. Curvas de viscosidad a diferentes temperaturas obtenidas en barridos de frecuencia, a velocidades bajas la viscosidad es constante. Asfalto convencional.

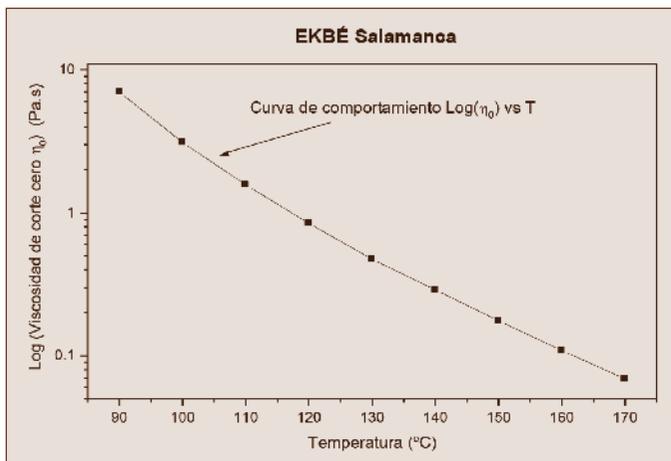


Figura 9. Curva de viscosidad de corte cero  $\log(\eta_0)$  vs Temperatura para asfalto convencional.

### Paso 2. Viscosidad de corte cero a temperaturas de mezclado y compactación para asfaltos convencionales

Teniendo las temperaturas de mezclado y compactación para los asfaltos convencionales se procedió a determinar el valor de viscosidad a corte cero para cada asfalto a estas temperaturas.

Se hicieron barridos de frecuencia de 0,1 a 100 rad/s con un esfuerzo de 120 Pa y en un rango de temperatura de 90 a 170 °C y se determinó la Viscosidad de corte cero para cada temperatura.

Con los valores de viscosidad de corte cero a cada una de las temperaturas se elaboró una curva de viscosidad de corte cero vs temperatura y se determinó la viscosidad de corte cero equivalente a las temperaturas de mezclado y compactación de cada asfalto convencional.

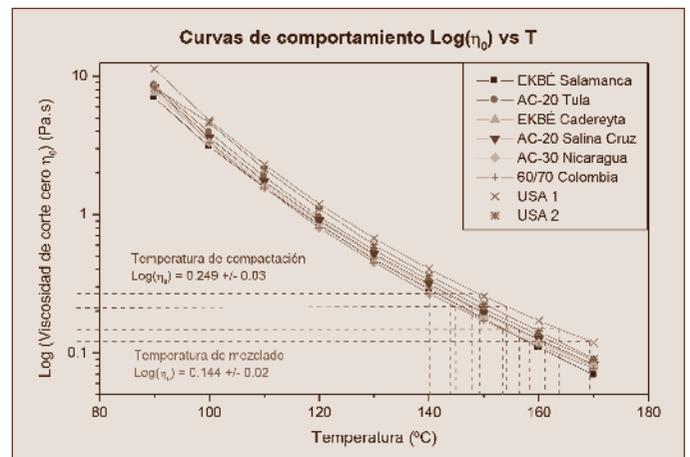


Figura 10. Curvas de viscosidad de corte cero  $\log(\eta_0)$  vs Temperatura para todos los asfaltos convencionales empleados en este estudio. Se determina la vcc equivalente a las temperaturas de mezclado y compactación obtenidas en el viscosímetro rotacional.

# MADISA<sup>®</sup>

# CAT<sup>®</sup>

# CONSTRUYENDO JUNTOS A TRAVÉS DE LA HISTORIA

## NUEVA GENERACIÓN DE PERFILADORAS

- Excelencia Rediseñada.
- Sistema de nivelación de corte automático.
- Cilindros con sensores de posición.
- Reducción de emisiones contaminantes al medio ambiente.
- Mejora en el rendimiento de combustible.



CORTE DE PRECISIÓN

CONTÁCTANOS

**01 800 26 30146**

[www.madisa.com](http://www.madisa.com)



Estos valores de viscosidad de corte cero son los que se emplean para determinar las temperaturas de mezclado y compactación para asfaltos modificados.

**Tabla 2. Valores de  $\text{Log}(\eta_0)$  para determinar temperaturas de trabajo**

	Temperatura de mezclado	Temperatura de compactación
$\text{Log}(\eta_0)$	0.144±0.02	0.249±0.03

### Paso 3. Temperaturas de mezclado y compactación para asfaltos modificados mediante la viscosidad de corte cero

Para determinar las temperaturas de mezclado y compactación para los asfaltos modificados se realizaron barridos de frecuencia de 0,1 a 100 rad/s con un esfuerzo de 120 Pa y en un rango de temperatura de 100 a 180 °C y se determinó la viscosidad de corte cero para cada temperatura.

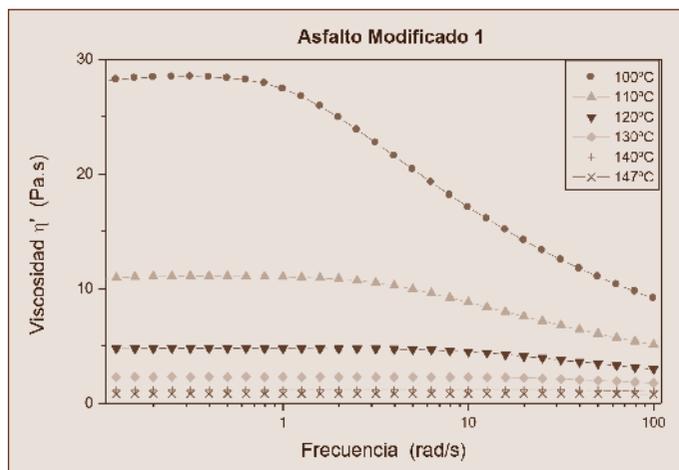


Figura 11. Curvas de viscosidad a diferentes temperaturas obtenidas en barridos de frecuencia, a velocidades bajas la viscosidad es constante. Asfalto modificado.

Con los valores de viscosidad de corte cero a cada una de las temperaturas se elabora una curva de viscosidad de corte cero vs temperatura para el asfalto modificado.

Y con el valor de viscosidad de corte cero que se determinó en el paso 2 se determinan las temperaturas de mezclado y compactación para cada asfalto modificado.

Para agilizar el cálculo y debido a las limitaciones de equipo en cuanto a trabajar a temperaturas altas

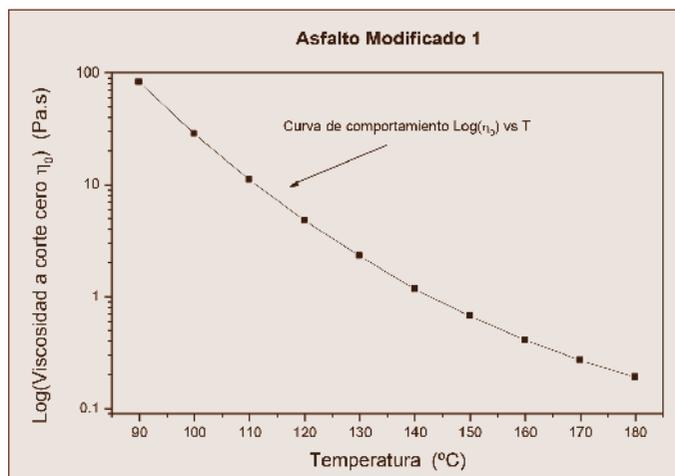


Figura 12. Curva de viscosidad de corte cero  $\text{log}(\eta_0)$  vs Temperatura para asfalto modificado.

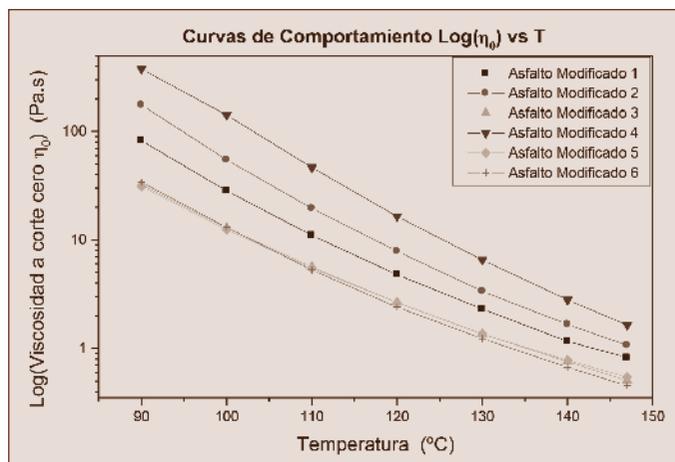


Figura 13. Curvas de viscosidad de corte cero  $\text{log}(\eta_0)$  vs Temperatura para todos los asfaltos modificados empleados en este estudio.

se pueden tomar 2 puntos, por ejemplo, la VCC a 110 y a 147 °C y trazar una línea recta para extrapolar y determinar los valores de viscosidad, esto es posible debido a que se trabaja con un eje logarítmico.

## Resultados

En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos para las temperaturas de mezclado y compactación de los asfaltos modificados, la descripción de cada columna se presenta abajo.

**Viscosidad rotacional VR.** Son las temperaturas de mezclado y compactación determinadas con el viscosímetro rotacional mediante el método presentado en “*The Asphalt Handbook 7th Edition*” del “*Asphalt Institute*”. Como se puede observar las temperaturas de mezclado y compactación son muy elevadas, la experiencia nos dice que en campo no es necesario alcanzar esas temperaturas para producir y compactar la mezcla asfáltica.

**Experiencia.** En esta columna se presentan las temperaturas que regularmente se recomiendan para este tipo de asfaltos. Estas temperaturas se han calculado con trabajos realizados durante 15 años y valores de módulo resiliente con los que se ha determinado que mezclando y compactando a estas temperaturas se obtienen las mejores propiedades mecánicas para mezclas fabricadas con esos asfaltos modificados. Solo aplican para esos asfaltos modificados en específico y no necesariamente aplican para asfaltos modificados con diferentes materiales o dosificaciones.

**Viscosidad de corte cero VCC.** Son las temperaturas de mezclado y compactación calculadas con los valores obtenidos en el reómetro de corte dinámico empleando la Viscosidad de corte cero  $\text{Log}(\tau_0)$ .

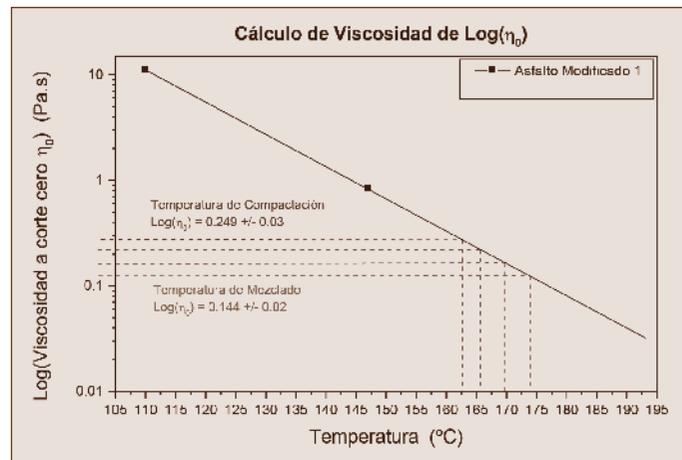


Figura 14. Gráfica de viscosidad de corte cero  $\text{Log}(\eta_0)$  vs Temperatura, se determinan temperaturas de mezclado y compactación con los valores de VCC establecidos en este estudio.

**Tabla 3. Temperaturas de mezclado para los asfaltos modificados determinados mediante la viscosidad de corte cero  $\text{Log}(\eta)$**

Asfalto	PG	$\eta$ (°)	Temperatura de mezclado (°C) determinada por		
			Viscosidad rotacional VR	Experiencia	Viscosidad de corte cero
Modificado 1	76-16	62,89	179-185	167-173	170-174
Modificado 2	82-16	57,71	184-190	172-178	171-175
Modificado 3	70-16	67,72	172-179	165-171	164-168
Modificado 4	88-16	51,81	190-194	No disponible	172-176
Modificado 5	76-16	74,81	176-184	No disponible	166-170
Modificado 6	76-16	74,26	168-174	No disponible	162-166

**Tabla 4. Temperaturas de compactación para los asfaltos modificados determinados mediante la viscosidad a corte cero Log ( $\eta_0$ )**

Asfalto	PG	$\eta$ (°)	Temperatura de compactación (°C) determinada por		
			Viscosidad Rotacional VR	Experiencia	Viscosidad a Corte Cero
Modificado 1	76-16	62,89	169-173	157-163	162-166
Modificado 2	82-16	57,71	173-177	162-168	164-168
Modificado 3	70-16	67,72	162-165	155-161	156-160
Modificado 4	88-16	51,81	178-182	No disponible	165-169
Modificado 5	76-16	74,81	163-167	No disponible	158-162
Modificado 6	76-16	74,26	159-162	No disponible	154-158

## Conclusiones

Como se puede observar en las columnas de “viscosidad de corte cero” de los asfaltos modificados 1,2 y 3 en las temperaturas de mezclado y compactación hay similitud con los valores de la columna de “experiencia”, los rangos de temperaturas de mezclado y compactación concuerdan con los usados en campo.

En el caso de los asfaltos 5 y 6 que, aunque son PG76-16 como el asfalto 1, presentan temperaturas de mezclado y compactación menores, esto debido a los ángulos de fase, los asfaltos 5 y 6 al tener ángulos de fase altos requieren menor energía para fluir de ahí la diferencia con el 1 que al tener un ángulo de fase bajo requiere temperaturas más altas.

Consideramos que el método para determinar las temperaturas de mezclado y compactación mediante la viscosidad a corte cero estima adecuadamente el comportamiento reológico de los diferentes asfaltos tanto convencionales como modificados además de que al trabajar en la zona de VCC se elimina la dependencia de los asfaltos modificados ante la velocidad de corte por lo que puede ser una metodología confiable para determinar estas temperaturas de trabajo.

## ¿Quieres profundizar?

1. The Asphalt Handbook MS-4, 7th Edition” del “Asphalt Institute”. Tabla 4. Temperaturas de compactación para los asfaltos modificados determinados mediante la Viscosidad a Corte Cero Log ( $\eta_0$ ).
2. Zero Shear Viscosity of Asphalt Binders, David A. Anderson, Yann M. Le Hir, Jean-Pascal Planche, and Didier Martin. TRB 2014.
3. A comparison of the zero shear viscosity from oscillation tests and the repeated creep test, J. de Visscher, H. Soenen, A. Vanelstraet, P. Redelius. Euraspphalt and Eurobitume Congress 2004.
4. Effects of Temperature and Compaction Effort on Field and Lab Densification of HMA, Robert L. Schmitt, Carl M. Johnson, Hussain U. Bahia, and Andrew Hanz. AAPT 2009.
5. A comparison of the zero shear viscosity from oscillation tests and the repeated creep, Testjournal of Materials in Civil Engineering 2012.
6. Mixing and Compaction Temperatures of Asphalt Binders in Hot-Mix Asphalt, Donald E Watson; Randy C West; Pamela A Turner; John R Casola; Transportation Research Board, NCHRP Report 648.
7. Mixing and compaction temperatures for hot mix asphalt concrete, Yetkin Yildirim, Mansour Solaimanian, and Thomas W. Kennedy, Texas department of transportation.



# Boletín técnico

## Compactación de las mezclas asfálticas en caliente

Eymard Ávila Vázquez  
Carlos Reyes Coria  
Eliezer Serrano  
eavila@semgroupcorp.com

### Importancia de la compactación

Numerosos estudios de investigación han comprobado que la obtención de vacíos de aire óptimo a través de buenas prácticas de compactación es vital para alcanzar la vida útil esperada (Hedderich, 2011; Leng, 2011, Linden *et al.*, 1989; Lenz, 2011; Huber *et al.*, 2015; Zaniewski & Ya, 2013).

La compactación es el proceso mecánico mediante el cual un material es comprimido para aumentar su densidad a través de la reducción de vacíos ocupados por aire. Este aumento de material en una misma unidad de volumen (densificación), le proporciona a la capa la resistencia para soportar las solicitudes de carga.

La aplicación de una compactación adecuada en las mezclas asfálticas es un factor de suma importancia que contribuye al aseguramiento de la durabilidad de la carpeta aun cuando su costo con relación al resto de los elementos principales de la construcción es muy bajo como lo muestra la Figura 1.

### Efectos de la compactación

Entre los principales beneficios de una correcta compactación en las mezclas asfálticas se encuentran:

- Resistencia a la deformación permanente (rodadas)
- Resistencia al agrietamiento por fatiga
- Resistencia a los factores ambientales
- Reduce la oxidación prematura del asfalto
- Evita infiltración de agua a las capas inferiores
- Mayor cohesión y estabilidad de la mezcla
- Evita el desgranamiento de la mezcla
- Menor susceptibilidad al daño por humedad

Un incremento de 1% de vacíos de aire (sobre 7% inicial) representa una reducción de aproximadamente 10% de la vida útil del pavimento (Linden *et al.*, 1989).

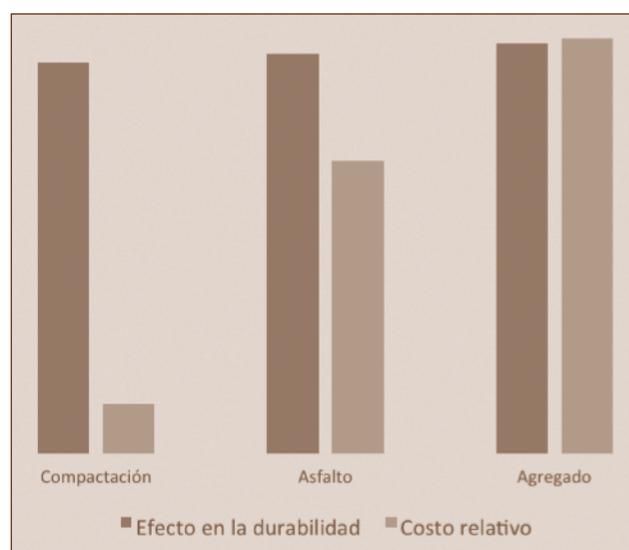


Figura 1. Efecto y costo del proceso de compactación.

## Principios de la compactación

Una mezcla asfáltica es compactada para obtener niveles de vacíos de aire suficientes para proveerle flexibilidad (contracción -expansión) para absorber los esfuerzos y recuperar parcial o totalmente las deformaciones generadas por dichas aplicaciones de esfuerzos. En las capas densas estructurales de sistemas de pavimento convencionales, el porcentaje recomendable de vacíos de aire en la carpeta terminada es del orden de 6 - 8% del total de su volumen total, previo a la apertura al tránsito vehicular. Gradualmente estos espacios de aire se irán reduciendo, durante su vida útil, hasta obtener el porcentaje de vacíos de aire de diseño (ver Figura 2).

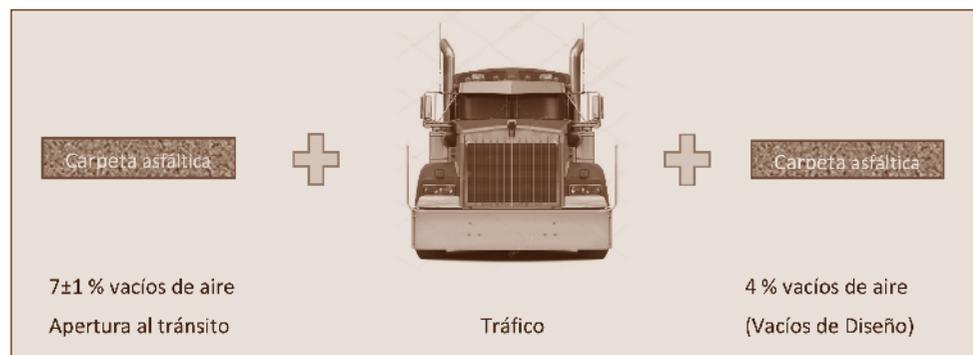


Figura 2. Diagrama de incremento en la densificación de una carpeta asfáltica.

## Fases de la compactación

El proceso de compactación puede dividirse en 3 etapas: Inicial, Intermedia y Final. Para cada etapa se emplea una técnica y equipo diferentes.

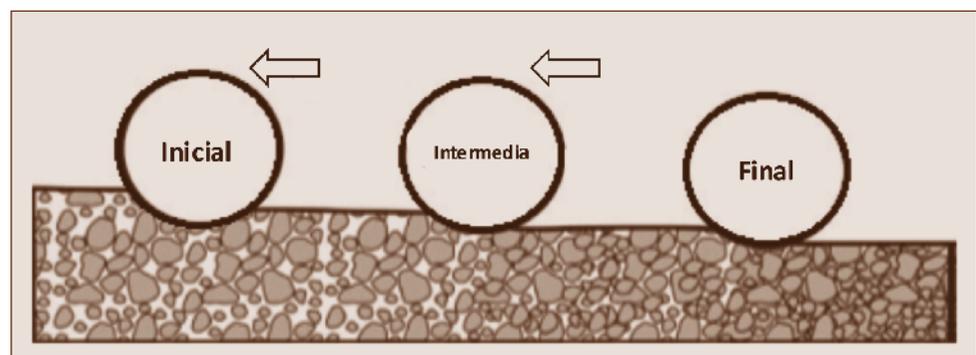


Figura 3. Etapas de la compactación.

## Tren de Compactación

El tren de compactación consiste en la configuración del tipo de compactadores que se utilizarán para densificar la mezcla asfáltica. La selección de los equipos está en función del tipo de compactación que se requiere. La mayor densificación

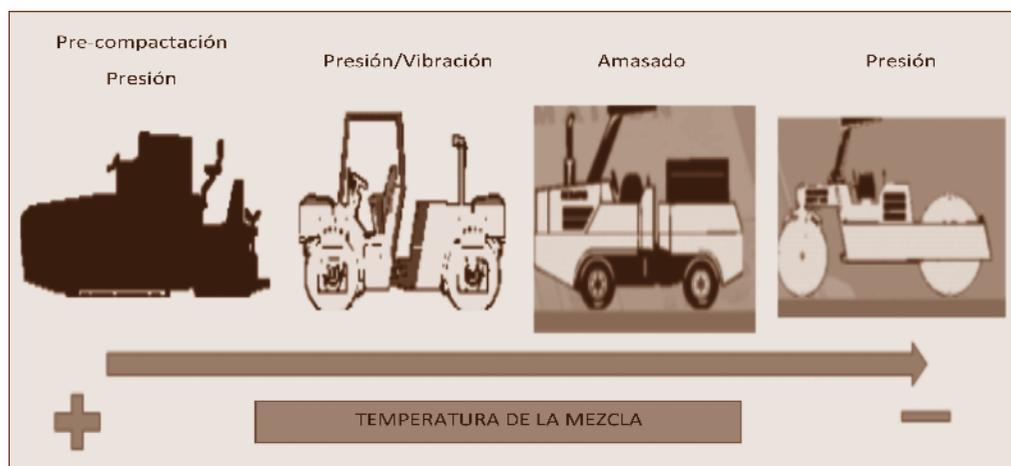


Figura 4. Características del tipo y equipo de compactación.

se obtiene en la fase inicial del proceso de compactación que es cuando la temperatura de la mezcla es más alta y más susceptible a la reducción de su volumen (Figura 4).

Para lograr sincronizar adecuadamente los trabajos una consideración significativa es contar con el número suficiente de compactadores para cubrir en una sola pasada el área total de la mezcla tendida.

### Patrón de compactación

El patrón de compactación es el proceso que nos permite determinar la cantidad de pasadas o ciclos que los equipos de compactación deben realizar para un tramo de mezcla asfáltica colocada. También ayuda a definir el tipo de compactador por emplear (estático, vibratorio, oscilatorio y neumático) y la temperatura a la que se ejecutará. La muestra el ejemplo de un formato de llenado para la determinación del patrón de compactación.

Con la finalidad de contar con datos representativos de la densificación que se está produciendo en la mezcla en el momento presente de la compactación, es muy importante conocer las densidades de la mezcla de aplicación para efectuar el monitoreo permanente de los resultados.

La sección para definir el patrón de compactación, preferentemente será el tramo de prueba, realizando mediciones mediante densímetro electromagnético o nuclear. En el caso de no contar con dichos equipos, la verificación se realizaría mediante la extracción de núcleos de la capa terminada, los cuales podrán ser extraídos a las 24 h. posteriores a la colocación de la carpeta asfáltica para garantizar que las muestras sean resistentes para resistir el proceso de corte.

Para la determinación del patrón de compactación se requiere registrar los siguientes datos:

1. Temperatura de compactación a la que los compactadores realizan cada una de las pasadas.
2. Lectura de la medición por cada pasada que realiza el compactador (cuando se cuenta con un densímetro), registrando el porcentaje de compactación así

como el peso volumétrico compacto del lugar o Gmb, hasta el momento en que la compactación de la capa alcance el nivel de vacíos de aire del proyecto.

3. Registro del número pasadas que realizan los compactadores en el tramo elegido, lo cual será cotejado con los valores volumétricos de las muestras extraídas en el mismo sitio y con ello verificar el cumplimiento.

Cadenamiento de monitoreo de compactación:			82+647		Temperaturas		
Tipo de mezcla:	Granulometría densa de alto desempeño		De mezclado:		175 °C		
Temperatura ambiente:	35 °C		De llegada		168 °C		
Humedad Relativa	54%		De tendido		165 °C		
Hora inicio/fin compactación	15:45 p.m.	16:58 p.m.	Al iniciar la compactación		160 °C		
Los compactadores cuentan con un suministro de agua continuo:					Sí		
¿Fue adicionado al agua suavizante o jabón?					No		
Se utilizaron solventes como aditivos anti-adherencia					No		
Gmm (Diseño o producción)		2498			** El valor puede estar referenciado al Gmm de la mezcla de diseño o producción		
Equipo	Tonelaje	Tipo de compactación	Núm. de pasadas	Perfil de compactación relativa**	Peso volumétrico compacto o Gmb	Temperatura ambiente, °C	Temperatura de referencia, °C
1		Extendidora	0	82.8%	2068	35	36
2	11	Oscilatorio	1	87.6%	2187	35	36
2	11	Oscilatorio	2	89.9%	2246	35	36
2	11	Oscilatorio	3	91.9%	2296	35	36
2	11	Oscilatorio	4	93.8%	2344	35	36
2	11	Oscilatorio	5	94.4%	2357	35	36
2	11	Oscilatorio	6	95.0%	2372	35	36
3	10	Neumático	7	95.2%	2378	35	36
3	10	Neumático	8	95.4%	2382	35	36

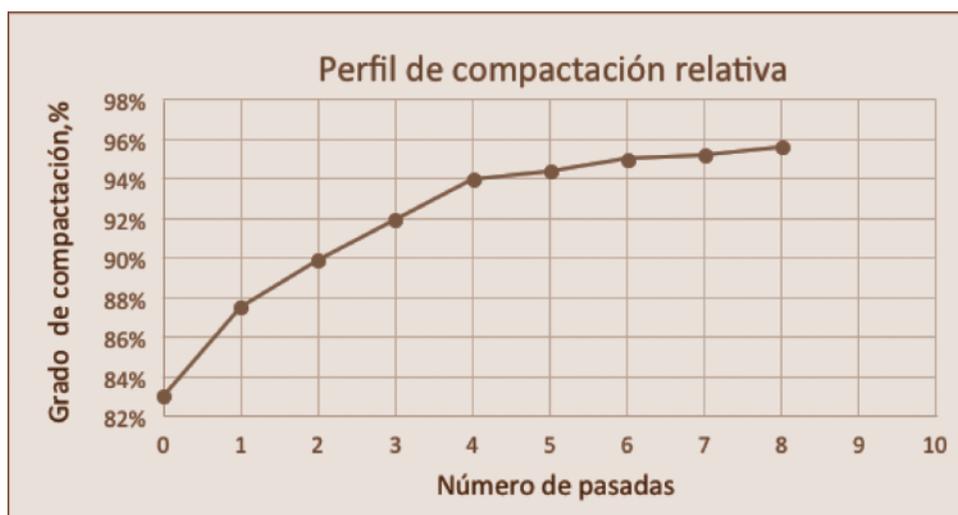


Figura 5. Formato de registro para la secuencia de compactación.

Es importante tener en cuenta que los cambios significativos en la estructura mineral, contenido de asfalto, temperatura de producción y de tendido, con respecto al diseño de referencia, representan también cambios o ajustes al patrón de compactación.

## Medición del grado de compactación

Para obtener el grado de compactación de una carpeta asfáltica y asegurar la calidad de la misma, es responsabilidad del constructor la implementación de un control de calidad eficiente para establecer el patrón de compactación apropiado para la mezcla en evaluación.

La construcción de un tramo de prueba permitirá efectuar un ensayo previo de la producción, tendido y compactación de la mezcla. Al analizar y conocer el comportamiento del material, es posible realizar los ajustes necesarios para garantizar una aplicación sistemática y continua de la construcción.

El grado de compactación (GC) representa el nivel de densificación alcanzado en una mezcla específica con respecto al valor máximo de densidad que puede alcanzar ésta. El valor máximo es denominado Gravedad Específica Teórica Máxima o  $G_{mm}$ . El  $G_{mm}$  es determinado en Laboratorio y reportado en un diseño de referencia, sin embargo, el valor que deberá ser utilizado para los cálculos corresponderá al obtenido en la mezcla de producción en planta, ya que este parámetro es susceptible a los cambios en la granulometría y contenido de asfalto presentes en la mezcla.

$GC (\%) = \text{Gravedad específica de la mezcla compacta o } G_{mb} \text{ Gravedad específica teórica máxima o } G_{mm} \times 100$

Para lograr la validación de la calidad de la mezcla deberá hacerse una evaluación de su desempeño al nivel de vacíos de aire iniciales (6-8%) bajo los ensayos que la metodología de diseño o especificación particular establezcan.

Es altamente recomendable contar en obra con un densímetro nuclear o electromagnético debidamente calibrado para obtener información de manera veraz y en tiempo real durante el proceso de compactación.

## Espesores de capa recomendados

Un factor importante para facilitar la compactación de las mezclas en campo es asegurar que el tamaño nominal del agregado sea el apropiado para lograr un proceso eficiente. Los espesores de capa recomendados para las carpetas asfálticas son de 4 a 8 veces el tamaño nominal del agregado para mezclas densas gruesas y SMA, y de 3 a 6 veces para mezclas densas finas (Asphalt Institute, 2014). La Tabla 1 muestra algunos ejemplos con los tamaños de mezcla más comunes:

Llévanos contigo...

¡Descarga nuestra App!



Tamaño Nominal	Mezclas densas gruesas y SMA		Mezclas densas finas	
Espesor mínimo, mm	Espesor máximo, mm		Espesor mínimo, mm	Espesor máximo, mm
25 mm (1")	100 mm	-	75 mm	-
19 mm (3/4")	76 mm	-	57 mm	114 mm
12.5 mm (1/2")	50 mm	100 mm	38 mm	75 mm
9.5 mm (3/8")	38 mm	76 mm	29 mm	57 mm



## ¿Quieres profundizar?

1. Hedderich Jim (2011). Basics of compaction. South Dakota Asphalt Conference. Mobile Automation. USA.
2. Leng Zhen (2011). Prediction in situ Asphalt Mixture density using ground penetrating radar: theoretical development and field verification. Urbana, Illinois, USA.
3. Linden, R.N.; Mahoney, J.P. and Jackson, N.C. (1989). The Effect of Compaction on Asphalt Concrete Performance. 1989 Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., USA.
4. Huber Gerry, Haddock John, Beason Matt (2015) Transportation Research Board. Superpave5: Constructing Asphalt Pavement with Road Air Voids Equal to Design Air Voids. USA.
5. Lenz Russel W., P.E. (2011) Pavement Design Guide. Texas Department of Transportation, TXDOT. USA.
6. Zaniewski, John P., Yan D.Yu (2013). Hot Mix Asphalt Concrete Density, Bulk Specific Gravity, and Permeability. Asphalt Technology Program Department of Civil and Environmental Engineering Morgantown, West Virginia, USA.
7. Asphalt Institute (2014). The Bailey Method: Achieving volumetrics and HMA compactability. Lexington, KY., USA.

## ¿Sabías que...

...la reutilización del 100% del asfalto lo convierte en el ejemplo perfecto de la Economía Circular?

El Paquete de Economía Circular consiste en un Plan de Acción de la UE que establece un programa sólido y ambicioso, con medidas que abarcan todo el ciclo: desde la producción y el consumo hasta la gestión de residuos y el mercado de materias primas secundarias.

Fuente: [asphaltadvantages.com](http://asphaltadvantages.com)

# Diseño estructural y de mezclas asfálticas de alto desempeño para pavimentos de larga duración

---

Francisco Javier Moreno Fierros  
Caminos y Puentes Federales (CAPUFE)  
fmoreno@capufe.gob.mx

## Introducción

En respuesta a las necesidades para transportar mercancías y productos, así como la movilidad de la población en general, se ha motivado una mayor demanda de la infraestructura carretera. En un marco donde es necesario preservar la infraestructura y administrar los recursos financieros destinados a este motor de la economía nacional, es importante diferenciar y establecer un enfoque holístico de análisis económico y ambiental del ciclo de vida útil de un pavimento evaluando las tecnologías que permitan satisfacer las crecientes demandas.

Para ello, Caminos y Puentes Federales (CAPUFE) ha venido utilizando una tecnología de estructura de pavimento flexible denominada Pavimento de Larga Duración (PLD). El diseño de este tipo de estructuras se lleva a cabo con plataformas de diseño, una de las cuales denominada PerRoad 4.3 la cual considera distintos insumos iniciales, como la geometría del pavimento, los espectros de carga para el tránsito, los modelos de deterioro obtenidos de librerías de materiales, la variabilidad de espesores y los umbrales de deformación máxima permitidos para controlar la fatiga y la deformación permanente. Todos estos elementos se combinan mediante un análisis aleatorio de Monte Carlo para verificar si la estructura es adecuada para las condiciones consideradas de manera inicial.

De forma general se tratan aspectos de la metodología de mezclas asfálticas de alto desempeño con la que se diseñan y controlan los PLD. Las pruebas que se realizan corresponden, entre otras, a la obtención de los módulos dinámicos de las mezclas para obtener sus rigideces, así como la obtención de la fatiga para estudiar su comportamiento a carga cíclica.

Así mismo es necesario evaluar en los modelos de decisión de inversión y gestión de un pavimento las implicaciones económicas y ambientales de la estructura de pavimento, para lo cual se realiza el análisis económico del costo del ciclo de vida del pavimento (*Life-Cycle Cost Analysis*, LCCA) y el análisis ambiental en la evaluación del ciclo de vida (*Life Cycle Assessment*, LCA). Ambos, LCCA y LCA constituyen análisis útiles en los modelos de decisión para lograr la preservación de un pavimento buscando disminuir los recursos financieros, materiales e impacto a los usuarios y al medio ambiente.

## Concepto de Pavimento de Larga Duración (PLD)

Un PLD se define como un pavimento asfáltico diseñado y construido para durar más tiempo que un pavimento convencional, sin necesidad de rehabilitación o

# TODA HISTORIA MERECE GRANDES OBRAS



Conoce más sobre  
esta gran historia  
a través  
de nuestras  
redes sociales.

**VISE** 

INFRAESTRUCTURA • CONCESIONES • MEDIO AMBIENTE



atencionaclientes@vise.com.mx | 01-800-087-28-51 [www.vise.com.mx](http://www.vise.com.mx)

2021  
2020  
2019  
2018

# PAVIMENTANDO EL CAMINO AL FUTURO

La mayor convención y exposición educativa sobre asfalto en Norteamérica



**World  
of  
Asphalt®  
2018**  
EXPOSICIÓN Y CONVENCION

Realizada paralelamente con

NSSGA  
**AGG1**  
AGGREGATES ACADEMY & EXPO

**Del 6 al 8 de marzo de 2018 • Houston, TX, EE.UU.**

Reciba alertas sobre ofertas tempranas ahora en

[www.worldofasphalt.com/alerts](http://www.worldofasphalt.com/alerts)

reconstrucción estructural importante y sólo necesita la renovación periódica de la capa de rodadura, en respuesta a los deterioros limitados en la parte superior del pavimento. Los PLD se integran por las siguientes capas: a) capa de desplante o transición, b) capa absorbente de tensión (CAT), c) capa de alto módulo (CAM) y d) capa de rodadura (Figura 1).

1. *Capas de desplante o de transición.* Este tipo de capas suelen ser bases que descansan directamente sobre la capa subrasante. Son capas estabilizadas o no. Estas capas deben de tener una resistencia tal que sean capaces de soportar y disipar los esfuerzos que llegan a la profundidad donde se encuentran desplantados.
2. *Capa absorbente de tensión (CAT).* Colocada sobre la capa de desplante o de transición. Su función es la de mitigar el agrietamiento por fatiga. Se considera que este deterioro inicia de abajo hacia arriba y se presenta en esta capa.
3. *Capa de alto módulo (CAM).* Esta capa es colocada entre la CAT y la capa de rodadura. Tiene que cumplir dos funciones especiales: estabilidad y durabilidad. Estas dos características son esenciales ya que esta capa estará sometida a esfuerzos importantes generados por las cargas del tránsito, por lo que tiene que prevenir la deformación por roderas producidas a través de los esfuerzos de corte.
4. *Capa de desgaste o de rodadura.* Es una capa superficial no estructural que tiene la finalidad de proteger al pavimento de los agentes climáticos, principalmente de la introducción de agua superficial y envejecimiento, así como proporcionar una superficie friccionante, bajo nivel de ruido y funcional al usuario del camino.

### Diseño del PLD con software PerRoad 4.3

Un PLD se diseña siguiendo una metodología empírico mecanicista. En esta se obtienen respuestas mecánicas del pavimento que se asocian a distintos modos de falla. La deformación a tensión ( $\epsilon_t$ ) debajo de la capa asfáltica esta asociada a la fatiga o agrietamiento tipo piel de cocodrilo, y la deformación a compresión ( $\epsilon_z$ ) arriba de la capa subrasante está asociada a la deformación permanente (rodera plástica) en las capas de desplante o transición. (Figura 2).



Figura 1. Pavimento de Larga Duración.

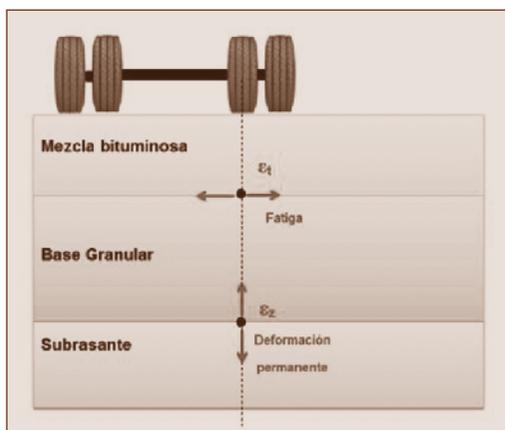


Figura 2. Sistema elástico multicapa para diseño mecánico de pavimentos flexibles.



Figura 3. Espectro de carga para eje Tridem (Tramo Cuacnopalan-Oaxaca).

El programa PerRoad 4.3 (en su versión más actualizada) permite diseñar un PLD tomando en cuenta principios de tipo probabilístico. Este software fue desarrollado por el Centro Nacional de Tecnología del Asfalto (NCAT) de Auburn, Alabama EUA. En él se toman en cuenta estructuras de tipo multicapa con distintas geometrías de espesores y características mecánicas de los materiales que conforman cada capa del pavimento.

### Tránsito

Para el tránsito de diseño se toman en cuenta espectros de carga para distintas configuraciones de ejes con rueda sencilla, dual, dual tándem y tridem.

Su caracterización adecuada es uno de los factores críticos para poder concebir estructuras de pavimento que sean capaces de ofrecer altos desempeños en términos de durabilidad, por lo cual es recomendable utilizar estaciones móviles de pesaje dinámico (*Weigh in Motion* [WIM]) para obtener la información necesaria y obtener los espectros de carga.

Un espectro de carga es la relación entre el número de ejes con cierto rango de carga y el número total de este tipo de eje, expresado en porcentaje (Garnica *et al.*, IMT 2013). Los espectros de carga por eje se representan por medio de histogramas de distribución de la carga por eje para cada uno de los cuatro tipos mencionados (Figura 3).

Entre los años 2014-2017 CAPUFE ha llevado a cabo estudios de pesaje dinámico en diferentes tramos de la red a su cargo, obteniéndose los espectros de carga respectivos, los cuales se analizaron utilizando la metodología actualizada del Instituto Mexicano del Transporte (IMT, 2017). En la Tabla 1 se muestran los porcentajes de sobrecarga respecto a los máximos legales (NOM-012-SCT-2014 —pesos y dimensiones máximas para autotransporte de carga) para cada una de las configuraciones.

Como se puede observar en los porcentajes obtenidos de sobrecarga, la consideración de espectros de carga es un factor crítico que tiene que ser modelado en el diseño de espesores del pavimento y que

Tabla 1. Sobrecarga respecto a la NOM.012.SCT.2.2014				
Tramo/Eje	Sencillo (%)	Dual (%)	Tándem (%)	Tridem (%)
Estación Don-Nogales	2.2	38.14	8.28	34.83
Gómez Palacio-Corralitos	0.70	6.95	8.81	43.19
Cuacnopalan-Oaxaca	2.07	4.52	9.43	23.31
Puente de Ixtla-Iguala	1.23	3.92	2.15	4.05
Las Choapas-Ocozocoautla	10.16	22.87	19.99	60.29
México-Cuernavaca	2.54	31.29	11.57	28.8

es indispensable para diseñar un PLD. Es decir, de no utilizarse este insumo, podría estarse subdimensionando una estructura de pavimento.

### Criterios de falla

Para los materiales se definen los umbrales de falla tanto por fatiga como por deformación permanente (microdeformaciones) por debajo de los cuales la estructura funcionará de manera correcta ante los esfuerzos de carga transmitidos por el tránsito vehicular. El programa PerRoad 4.3 permite introducir modelos de deterioro (leyes de comportamiento de los materiales) o umbrales de falla.

#### a) Funciones de transferencia

Las funciones de transferencia o modelos de deterioro expresan la cantidad de repeticiones a la falla que son capaces de resistir los materiales bajo la acción de cargas cíclicas del tránsito.

Estas dos respuestas mecánicas pueden observarse en la Figura 2. Mediante la Ley de Miner de daño acumulativo (D) se obtiene la vida remanente del pavimento. El criterio de falla del PLD es cuando el daño acumulado ha llegado al  $D = 0,1$  del daño total, es decir 10% de la estructura.

#### b) Umbrales de deformación

Para el análisis de desempeño de los PLD, se establecen umbrales de falla (deformaciones críticas) tanto por fatiga como para deformación permanente. Cuando se excede este umbral de falla, se genera daño en el interior del pavimento. En cambio, si el

umbral no se excede, no hay daño en la estructura. Estas deformaciones se van a generar a lo largo del tiempo y se derivarán por la variabilidad de las cargas del tránsito, los módulos elásticos del pavimento determinados por temperatura y lluvia, variabilidad de espesores por procedimientos constructivos y funcionalidad del pavimento (deformaciones), etc.

En la Figura 4 (izquierda) se observa la manera en cómo se analiza el umbral por fatiga. El NCAT establece un umbral por fatiga en el PLD de -120 micras. Dado que el PLD utiliza la aleatoriedad del método de Monte Carlo para simular fluctuaciones de carga, espesores y rigideces, PerRoad 4.3 procesa y analiza hasta 5000 secciones diferentes de PLD. El criterio de falla es que al menos el 90% de las respuestas mecánicas por tensión debajo de la capa CAT de todas estas estructuras simuladas aleatoriamente, estén por debajo del umbral de -120 micras, que es la zona donde no existe daño de tipo estructural. En caso de que se tuviera un porcentaje menor al 90% habría que modificar los espesores de las capas asfálticas.

De manera análoga sucede con el criterio por deformación permanente. En la Figura 4 (derecha) se muestran los resultados del umbral por deformación. El NCAT establece un umbral de 250 micras. Nuevamente el criterio de diseño es que al menos el 90% de las respuestas mecánicas por compresión arriba de la capa subrasante de las 5000 estructuras simuladas aleatoriamente, estén por debajo de dicho umbral de falla. Los umbrales de falla por fatiga (-120 micras) y deformación permanente (250 micras) son los recomendados actualmente para su uso en el diseño de PLD.

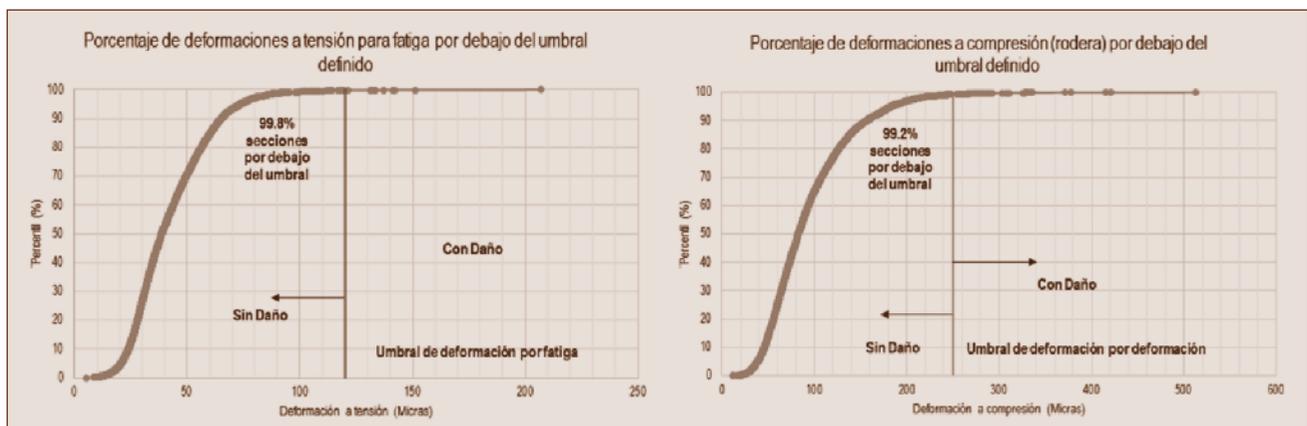


Figura 4. Umbral de falla por fatiga para PerRoad.

## Estructura y propiedades

Las propiedades fundamentales de los materiales que forman parte de la sección estructural de un PLD, se determinan a partir de ensayos de laboratorio de carga repetida.

Para el caso de las mezclas asfálticas CAM y CAT, se mide el módulo dinámico de la mezcla (AASHTO T-342), que consiste en someter un espécimen cilíndrico a esfuerzos cíclicos repetidos en condiciones de compresión no confinada. A partir de una extensa biblioteca de materiales considerando asfaltos especialmente diseñados en cada capa, se establecen valores mínimos de módulo dinámico a 20 °C, 10 Hz de 5 000 MPa para la capa CAT y de 10 000 MPa para la capa CAM.

Para suelos y materiales granulares, la propiedad de referencia es el módulo de resiliencia (AASHTO T-307). Esta prueba se ejecuta por medio de un ensayo triaxial donde la presión de confinamiento es constante, y el esfuerzo desviador se aplica cíclicamente. Los valores típicos utilizados se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2. Valores típicos del módulo resiliente, Mr**

Capa	Rango de Mr (MPa)	Valor típico (MPa)
Base hidráulica	150-750	325
Sub-rasante	35-210	120
Terreno de cimentación	12-55	35

- Estos valores de módulos dinámicos y resilientes utilizados en el diseño del pavimento y como insumos de PerRoad se vuelven parámetros críticos que deberán ser alcanzados en el diseño de la mezcla asfáltica tanto en laboratorio como en obra para asegurar la durabilidad a la que fue diseñada la estructura del pavimento.
- *Factores ambientales*  
En este software de diseño se toman en cuenta las variaciones estacionales del clima que inciden en el comportamiento mecánico de cada una de las capas del pavimento. Esto es, la variación de sus rigideces por efectos de la temperatura y la humedad de cada una de las capas.

## Comparativa con otros programas de diseño

Existen diversas diferencias entre el programa PerRoad 4.3 y los programas de diseño de pavimentos flexibles utilizados de manera tradicional. En la Tabla 3 se muestran los principales insumos de diseño y si se encuentran contenidos o no en cada uno de los programas que se comparan: DISPAV UNAM, AASHTO 93, PerRoad 4.3, entre otros. Por ejemplo, DISPAV y AASHTO 93 son programas de tipo determinista (no toman en cuenta automáticamente la aleatoriedad de carga, espesores y módulos elásticos de los materiales con el tiempo). PerRoad 4.3 sí toma en cuenta este fenómeno. Otra variante es que tanto DISPAV como AASHTO 93 no toman en cuenta los espectros de carga del tránsito. PerRoad 4.3 sí los toma en cuenta, sin embargo, los ejes sencillos equivalentes (ESALS) ya no son considerados. Cabe destacar la posibilidad de introducir al PerRoad 4.3 los modelos de deterioro o leyes de fatiga de los materiales.

**Tabla 3. Comparativa de programas de diseño de pavimentos convencionales**

Insumo/programa	DISPAV	AASHTO 93	DAMA (Asphalt Institute)	AASHTO DARWIN 2008	PerRoad 4.3
Simulación automática aleatoria	NO	NO	NO	SI	SI
Espectros de carga	NO	NO	NO	SI	SI
Introducción Modelos de deterioro	NO	NO	NO	NO	SI
Determinista	SI	SI	SI	SI	SI
Probabilista	NO	NO	NO	SI	SI
Clima (estaciones climatológicas)	NO	SI	SI	SI	SI

### Análisis económico del costo de ciclo de vida (LCCA)

El LCCA es una técnica de análisis que evalúa la eficiencia económica a largo plazo entre diferentes alternativas de inversión, involucrando los costos para las dependencias gubernamentales en el ciclo de vida de un pavimento (construcción, rehabilitación, mantenimiento, valor de rescate, etc), así como costos para los usuarios (tiempos de espera, reducción de velocidad, etc). El LCCA pretende ayudar a indentificar la mejor alternativa (menor costo a largo plazo que satisfaga las necesidades y objetivos de ingeniería) para proyectos de inversión.

Diversos softwares para ayudar a realizar estos análisis de ciclo de vida han sido desarrollados como el programa RealCost de la *Federal Highway Administration* (FHWA) o el programa LCCA 3.1 desarrollado por la *Asphalt Pavement Alliance* el cual considera los principios de la FHWA.

En este documento se realiza como ejemplo el LCCA para la autopista México-Cuernavaca, comparando un PCC y un PLD para un período de diseño de 30 años, considerando una tasa de crecimiento anual de 2.66%.

#### Datos generales del proyecto

- Periodo de análisis: 30 años
- Tasa social de descuento (TSD): 10% (SHCP, 2014)
- TDPA: 42,237 vehículos en ambos sentidos
- % Vehículos pesados: 10.2%
- Longitud del proyecto: 56.6 km
- No. de carriles: 4, 5 y 6 carriles
- Velocidad límite: 110 km/hr
- Velocidad zona de trabajo: 40 km/h
- Carriles cerrados a la circulación: uno en cada sentido
- Alternativas de diseño: PCC y PLD.

Para este período de diseño las estructuras de pavimento determinadas se muestran en la Figura 5.

En el análisis se contemplaron actividades de construcción y mantenimiento (C&M) para cada una de las estructuras (*Tabla 4* y *Tabla 5*) de acuerdo a la experiencia generada en los tramos carreteros a cargo de CAPUFE para ambas alternativas.

Un aspecto importante a considerar es que al final del periodo de vida útil del PCC es necesaria la rehabilitación parcial del mismo, que para el caso del PLD



Figura 5. Estructura PCC y estructura PLD.

Tabla 4. Programa C&M, PLD

PLD	
Actividad C&M	Año
Construcción inicial	0
Fresado+CASAA_4 cm	6
Fresado+CASAA_4 cm	12
Fresado+CASAA_4 cm	18
Fresado+CASAA_4 cm	24
Fresado+CASAA_4 cm	30

al final de su vida útil, este presenta daño estructural menor al 10%. Lo anterior se traduce en un valor de rescate mayor para el PLD que para la estructura de PCC, lo cual no está considerado en el presente análisis.

En lo que concierne a la información de tránsito, para la distribución horaria de vehículos por dirección, se alimentaron los datos de los aforos reales obtenidos de la plaza de cobro de dicha autopista (Figura 6). Por el tipo de orografía del tramo carretero se utilizó el tipo de terreno semi-montañoso y considerando el porcentaje de vehículos pesados se obtuvo el factor de equivalencia que afecta la velocidad de flujo libre.

Los costos de C&M de cada una de las alternativas fueron obtenidos de la información con la que cuenta CAPUFE. En los costos vehiculares se actualizó el índice de precios al consumidor (CPI) considerando el publicado para México en el 2017 de 126

puntos, con base en la información del INEGI (ECONOMICS INC, 2017).

### Costo para la Dependencia

Son los costos debidos a las actividades de los materiales, mano de obra y control de tráfico implícitos

Tabla 5. Programa C&M, PCC

PCC	
Actividad C&M	Año
Construcción inicial	0
Calafateo y Rep. Sellos en juntas (60%)	5
Grietas y despostillamientos (2%)	5
Demolición/Reposición Losas (1.0%)	5
Calafateo y Rep. Sellos en juntas (60%)	10
Grietas y despostillamientos (2%)	10
Demolición/Reposición Losas (1.0%)	10
Calafateo y Rep. Sellos en juntas (60%)	15
Grietas y despostillamientos (2%)	15
Demolición/Reposición Losas (1.4%)	15
Microfresado (fricción)	20
Calafateo y Rep. Sellos en juntas (60%)	20
Grietas y despostillamientos (2%)	20
Demolición/Reposición Losas (1.6%)	20
Calafateo y Rep. Sellos en juntas (60%)	25
Grietas y despostillamientos (2%)	25
Demolición/Reposición Losas (1.8%)	25
Calafateo y Rep. Sellos en juntas (60%)	30
Grietas y despostillamientos (2%)	30
Demolición/Reposición Losas (2.0%)	30

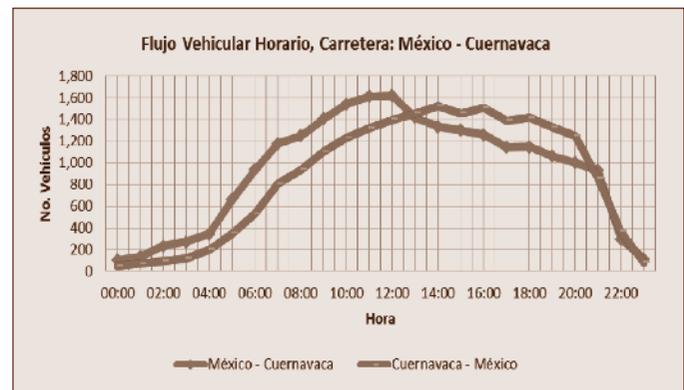


Figura 6. Flujo vehicular horario México-Cuernavaca en ambos sentidos.

en las etapas de construcción, mantenimiento y/o rehabilitación, demolición o remoción de la estructura del pavimento al final del periodo de diseño. En la Figura 7 se muestran los costos asociados a la dependencia, de los cuales se observa que en la etapa inicial de la construcción, la alternativa de PCC es un 25% mayor que la de PLD. En el tiempo de acuerdo al programa C&M de ambas alternativas, la brecha inicial se va cerrando hasta ser un 11% más con PCC que con la alternativa de PLD.

### Costo para los usuarios

Estos costos representan los gastos generados por el paso de los distintos tipos de vehículos por una zona que se encuentra bajo construcción, los cuales se pueden agrupar en: 1) Costos de operación vehicular, en los cuales se cuantifica el combustible adicional y el mantenimiento del vehículo; 2) Retrasos por cambio de velocidad y 3) Retrasos por velocidad reducida (Musselman, 2015). Todos estos costos quedan asociados además a las filas generadas por la capacidad de flujo de la vialidad en estudio, dependiendo de los carriles abiertos a la circulación, el TDPA, la tasa de crecimiento vehicular, así como la distribución horaria del flujo vehicular (horas pico). La Figura 7 contempla los costos adicionales de los usuarios, los cuales son 76% más con PCC que con PLD al año 30 y que en promedio son 42% más con PCC que con la alternativa de PLD durante el periodo de análisis contemplado.

### Costos totales

Los costos totales son la suma de los costos de la dependencia de acuerdo al programa C&M en el tiempo, más los costos de los usuarios en la zona de trabajo (Figura 7).

Respecto a los costos totales se tiene que la alternativa de PCC es un 24% mayor en promedio a la alternativa de PLD al final del periodo de análisis. Si consideramos la longitud total de la autopista en estudio (56,6 km), se tiene que al final del periodo de análisis (30 años), el ahorro en costos de la dependencia y del usuario son de aproximadamente 128 MDP y 206 MDP respectivamente.

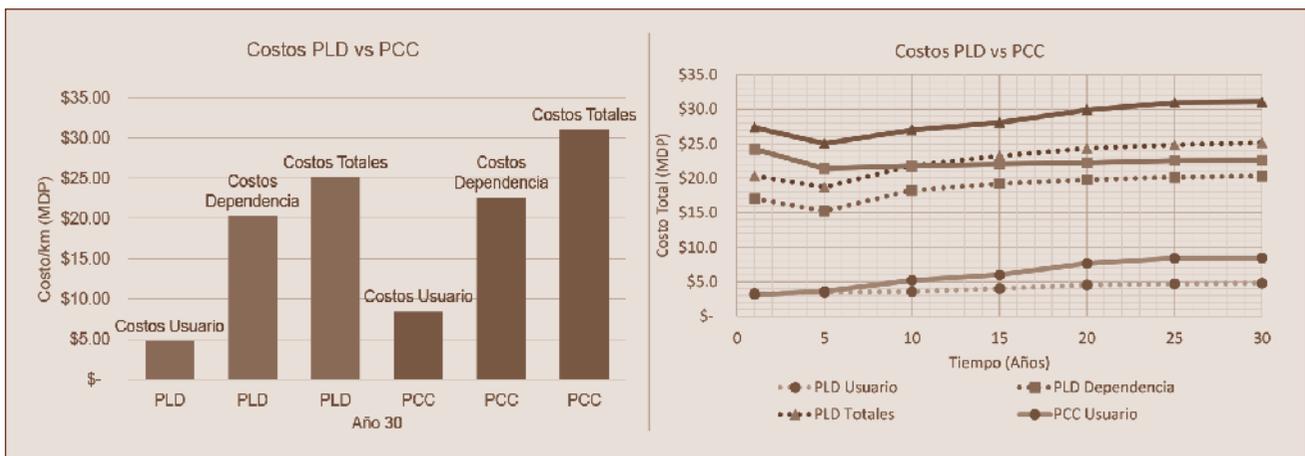


Figura 7. Costos PLD vs PCC en 1km, en el año 30 y en el tiempo (de izquierda a derecha).

## Evaluación del ciclo de vida. Life-cycle Assessment (LCA)

Es un método que permite evaluar el impacto ambiental a través del ciclo de vida de un sistema o producto, desde la extracción de materiales, manufactura, uso y disposición final (“cradle-to grave”).

El objetivo de estos análisis es promover diseños responsables y rediseños de productos o procesos que reduzcan el impacto ambiental y las emisiones de materiales tóxicos. LCA es diferente al Análisis económico del costo del ciclo de vida (LCCA) y comúnmente son usados en conjunto para buscar la solución más sustentable involucrando aspectos ambientales y económicos.

En la Figura 8 se muestra el análisis del ciclo de vida de un pavimento y sus implicaciones al medio

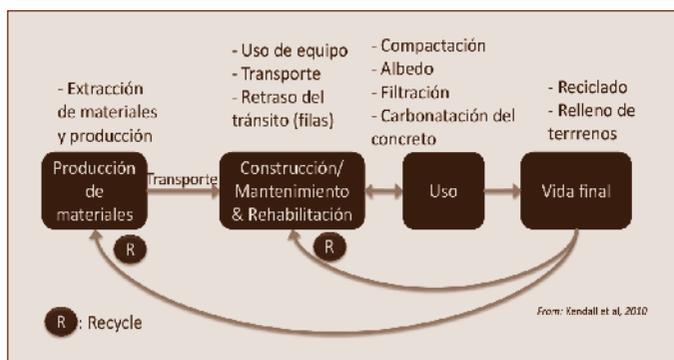


Figura 8. Evaluación del ciclo de vida de un pavimento.

ambiente. En este análisis se considera crítico modelar las emisiones de gases de efecto invernadero por lo cual en este estudio se realiza dicho análisis utilizando la herramienta PE-2 *Project Emission Estimator* basado en las investigaciones realizadas en la Universidad Tecnológica de Michigan.

Considerando los programas C&M establecidos en la Tabla 4 y Tabla 5 para PLD y para el PCC respectivamente, se realizó el análisis de emisiones por intervención, considerando la cantidad de material requerida por kilómetro. En la Tabla 6 se muestra un resumen de las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente en toneladas métricas que se tienen en cada intervención y el método utilizado para su estimación.

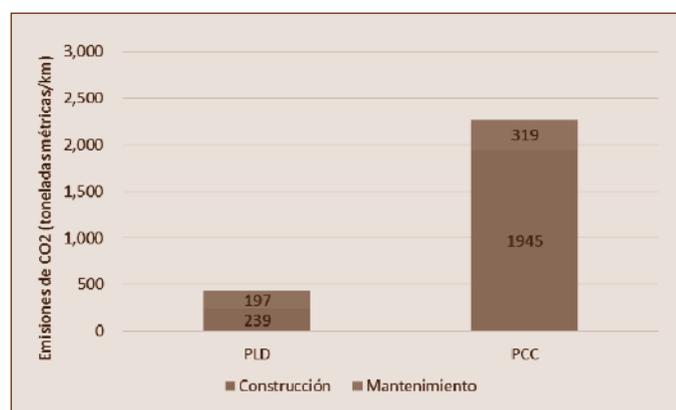


Figura 9. Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente en las etapas de construcción inicial y mantenimiento de las estructuras de PLD y PCC.

Tabla 6. Estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> por actividad

PLD				PCC			
Actividad	Año	Emisiones (Ton métricas CO <sub>2</sub> )	Método	Actividad	Año	Emisiones (Ton métricas CO <sub>2</sub> )	Método
<b>Construcción inicial</b>				<b>Construcción inicial</b>			
Fresado y construcción de capas CAT, CAM y CASAA	0	238.67	Factores de emisión/EIO-LCA	PCC	0	1945.0691	Factores de emisión
<b>Mantenimiento</b>				<b>Mantenimiento</b>			
Fresado+CASAA 4 cm	6	39.38	Factor de emisión y proyecto	Calafateo, reposición de sellos en juntas y grietas y despostillamiento.	5	35.99	Factores de emisión
Fresado+CASAA 4 cm	12	39.38		Demolición y reposición de losas	10	42.85	
Fresado+CASAA 4 cm	18	39.38			15	49.68	
Fresado+CASAA 4 cm	24	39.38			20	56.53	
Fresado+CASAA 4 cm	30	39.38			25	63.36	
<b>Total</b>		<b>435.57</b>		<b>Total</b>	30	<b>70.19</b>	
				<b>Total</b>		<b>2263.68</b>	

En la Figura 9 se muestra que las emisiones en la etapa inicial de construcción del PCC presenta aproximadamente ocho veces más emisiones que el PLD, esto se debe principalmente a las altas emisiones asociadas con producción del cemento; mientras que en la etapa de mantenimiento las emisiones acumuladas para el período de 30 años, el PCC presenta 1,6 veces más emisiones que el PLD.

## Conclusiones

Los PLD son estructuras con desempeños y periodos de vida mayores a los de pavimentos flexibles convencionales. Son diseñados con esquemas empírico-mecanicistas donde se correlacionan respuestas mecánicas en el interior del pavimento con desempeños integrales como la fatiga en los materiales estabilizados y la deformación permanente en los no tratados.

Para este tipo de estructuras, puede utilizarse una plataforma de diseño concebida especialmente para ellas: el programa PerRoad 4.3 desarrollado por el NCAT de EUA. Este programa permite llevar a cabo análisis y diseños de pavimentos más realistas a las condiciones a las que va a estar sujeto el pavimento. Utiliza espectros de carga, umbrales de falla tanto por fatiga y deformación permanente y permite utilizar modelos de deterioro (leyes de fatiga) para los materiales que se van a utilizar durante la construcción.

Un aspecto de suma importancia es el análisis económico del costo de ciclo de vida (LCCA). El LCCA pretende ayudar a identificar la mejor alternativa de menor costo a largo plazo que satisfaga las necesidades y objetivos de ingeniería, para proyectos de inversión. Otro aspecto es el análisis del ciclo de vida (LCA), método que permite evaluar el impacto ambiental a través del ciclo de vida de un sistema o producto, desde la extracción de materiales, manufactura, uso y disposición final. En este documento se realiza el análisis del costo de ciclo de vida de pavimento para el tramo carretero México-Cuernavaca del km 24+000 al km 80+500, para un PCC y una estructura flexible utilizando la tecnología de PLD y un período de diseño de 30 años, considerando una tasa de crecimiento de 2,66%.

Del análisis del costo de ciclo de vida se encontró que para este caso resulta ser más viable la opción de PLD teniendo una reducción de los sobrecostos del usuario y de la dependencia en el periodo

de análisis de aproximadamente 206 MDP y 128 MDP respectivamente. Que los costos totales (dependencia + usuario) son en promedio alrededor de 24% mayores con la alternativa de PCC, los cuales son el reflejo del balance entre lo que invierte la dependencia y lo que en términos generales le cuesta al país cada una de las alternativas seleccionadas.

Por medio del análisis de emisiones se encontró que para este caso en el ciclo de vida las emisiones del PCC acumulan 2 263 toneladas métricas de CO<sub>2</sub> equivalente en comparación con 436 toneladas métricas del PLD. Obteniendo una alternativa de menor impacto ambiental.

Por último cabe resaltar un aspecto fundamental para el diseño de pavimentos, tanto PLD como otros tipos de diseño, respecto de la importancia de llevar a cabo estudios de pesaje dinámico, así como la obtención de los espectros de las cargas reales que transitan por la red carretera nacional o bien, los ESALs reales para el diseño.

## ¿Quieres profundizar?

- Asphalt Pavement Alliance (APA). 2002. *Perpetual Pavements: A Synthesis. APA 101*, Lanham, Maryland, EUA.
- Ferne B., Nunn Mike, 2016, *The European Approach to Long Lasting Asphalt Pavements, A State-of-art review by ELLPAG*, International Conference on Perpetual Pavement Columbus, Ohio.
- Garnica, P., Hernández. R., 2013, *Manual del Usuario IMT-PAVE 1.1*, San Fandila, Qro.: Instituto Mexicano del Transporte.
- IECONOMICS INC, 2017. *TradingEconomics*. [En línea] Available at: <https://tradingeconomics.com/mexico/consumer-price-index-cpi>.
- Instituto Mexicano del Transporte, 2017. *Aplicaciones del monitoreo de pavimentos a largo plazo*, Curso de actualización Postprofesional, Querétaro, México.
- Musselman, M. A., 2015. *A Review of the Alabama Department of Transportation's Policies and Procedures for Life-Cycle Cost Analysis for Pavement Type Selection*. Auburn(Alabama): Universidad de Auburn.
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) 2014. Oficio Circular No. 400.1.410.14.009. Tasa Social de Descuento (TSD).
- Timm D. (2017). "Perpetual Pavements PerRoad 4.3" Webinar, National Center for Asphalt Technology (NCAT), Auburn Alabama, USA.
- NOM-012-SCT-2-2014. "Sobre el peso y dimensiones máximas con las que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal.
- Zárate M. 2007. "Diseño de Pavimentos Flexibles", Segunda parte, Asociación Mexicana del Asfalto A.C. (AMAAC), México, DF.
- PE-2 Project Emissions Estimator. [En línea] Available at: [http://www.construction.mtu.edu/cass\\_reports/webpage/index.html](http://www.construction.mtu.edu/cass_reports/webpage/index.html)

# Análisis de métodos para la obtención del residuo de emulsiones asfálticas

Edgar Alonso Ruiz Zárate  
Claudia Estefhane Flores Casas  
Daniela Montserrat Alcántara Carreón  
Israel Sandoval Navarro  
Ignacio Cremades Ibáñez  
LASFALTO S. de R.L. de C.V.  
edgar.ruiz@lasfalto.com.mx

## Introducción

Las emulsiones asfálticas se aplican en trabajos como riegos de sello, riegos de liga, mezclas en frío, micro-pavimentos y slurry seal, los cuales después de la aplicación requieren un tiempo de curado para alcanzar sus propiedades ligantes, situación en la cual pueden alcanzar temperaturas alrededor de los 65 °C; esta temperatura define su estado final o desempeño.

Sin embargo, los métodos más usados de obtención de residuo asfáltico de emulsiones como destilación en alambique y el de evaporación en sartén emplean temperaturas mucho más altas (alrededor de 220 °C o más), temperaturas que son imposibles de alcanzar en el campo.



Figura 1. Aplicación de riego con emulsión asfáltica.

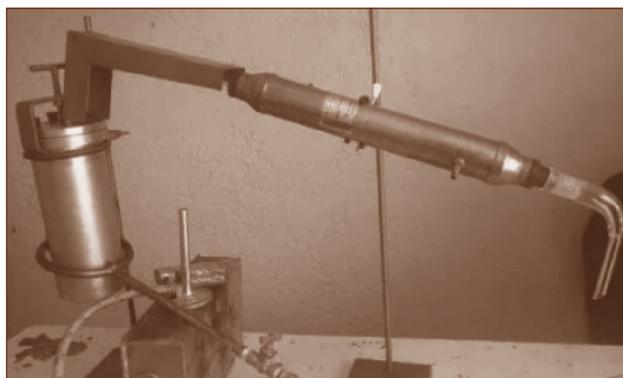


Figura 2. Izquierda, obtención del residuo asfáltico por el método del sartén, aunque no es un método normalizado es bien sabido que es el más común para obtener residuo asfáltico. Derecha, destilación de emulsiones por el método de alambique.

EMULSIFICANTES ASFÁLTICOS  
ADITIVOS PARA MEZCLA TIBIA  
ADITIVOS DE ADHERENCIA  
MODIFICADORES REOLÓGICOS  
ENTRECRUZANTE DE POLÍMEROS  
ADITIVOS RAP



(33) 3284-1000 eXT. 1020, 1044, 1071.

ventas@quimikao.com.mx

www.quimikao.com.mx



**Gracias a tu participación, los eventos AMAAC 2017 fueron un éxito.  
¡Te esperamos en 2018!**

Cuando el residuo asfáltico se obtiene con temperaturas tan altas es probable que durante la etapa de evaporación no se cause ningún efecto negativo en el asfalto pero cuando el agua se ha evaporado en su totalidad esta temperatura puede causar en el asfalto endurecimiento, oxidación y en las emulsiones modificadas dañar el polímero o en algunos casos provocar la vulcanización del mismo; esto puede causar que en el análisis de laboratorio se obtengan resultados erróneos y por ende poco confiables.

En este trabajo se evalúan diferentes métodos en los cuales se busca obtener el residuo asfáltico de emulsiones a temperaturas más parecidas a lo que

ocurre en campo y con esto garantizar que las mediciones en laboratorio sean más confiables y sirvan para determinar el desempeño que tendrá el ligante asfáltico en este tipo de aplicaciones.

## Parte experimental

### Materiales

Se emplean 11 diferentes emulsiones, 4 convencionales, 3 de rompimiento rápido y 1 de rompimiento lento y 7 modificadas de rompimiento rápido de las cuales 3 son modificadas tipo I y 4 modificadas tipo II, según la normativa mexicana.

Tabla 1. Emulsiones empleadas en investigación			
Emulsión	Velocidad de rompimiento	Emulsión modificada	Etapas de adición del modificador
A	Rápido	No aplica	No aplica
B			
C			
D	Lento	No aplica	En la solución jabonosa
E			
F			
G	Rápido	Tipo II	En la emulsión terminada
H			
I			
J	Rápido	Tipo I	Modificación del asfalto antes de emulsionar
K			

Estas emulsiones se analizaron bajo los siguientes métodos de prueba:

Tabla 2. Ensayos empleados en la investigación	
Ensayo	Método
Contenido de cemento asfáltico	M.MMP.04.05.012/00
Viscosidad Saybolt Furol	M.MMP.04.05.004/00
Retenido en malla	M.MMP.04.05.014/02
Asentamiento	M.MMP.04.05.013/02
Penetración	M.MMP.04.05.006/00
Ductilidad	M.MMP.04.05.011/00
Recuperación elástica por ductilómetro	M.MMP.04.05.026/02

Para este trabajo se tomaron en cuenta emulsiones convencionales y modificadas, con diferentes emulsificantes y polímeros.

**Tabla 3. Resultados emulsiones convencionales**

Ensayos	A	B	C	D
<b>Análisis a la emulsión</b>				
Contenido de cemento asfáltico, (%)	62	65	65	65
Viscosidad Saybolt Furol a 50 °C, (s)	54	37	100	104 (25 °C)
Retenido en malla #20, (%)	Despreciable			
Retenido en malla #60, (%)	Despreciable	0.01	0.1	0.04
Asentamiento a 5 días, (%)	6	5	4	3
<b>Análisis al residuo asfáltico</b>				
Penetración a 25 °C, 100g 5s, (dmm)	55			
Ductilidad a 25 °C, (cm)	>75			

**Table 4. Resultados emulsiones modificadas**

Ensayos	E	F	G	H	I	J	K
<b>Análisis a la emulsión</b>							
Contenido de cemento asfáltico, (%)	65	68	66	67	68	67	63
Viscosidad Saybolt Furol a 50 °C, (s)	51	26	55	24	163	171	27
Retenido en malla #20, (%)	0,10	0,36	0,15	0,37	0,08	0,10	0,03
Asentamiento a 5 días, (%)	3	2	2	2	5	5	0
<b>Análisis al residuo asfáltico</b>							
Penetración a 25 °C, 100g 5s, (dmm)	50	67	50	67	50	49	164
Ductilidad a 4 °C, (cm)	11	1	11	1	6	4	32
Rec. Elástica ductilómetro a 10 °C, (%)	0	0	0	0	0	0	73
Rec. Elástica ductilómetro a 25 °C, (%)	75	35	75	35	35	34	68

Enseguida se describen los métodos empleados para obtener el residuo asfáltico de las emulsiones antes descritas.

### **Métodos de obtención**

#### **1. Métodos de obtención mediante evaporación en sartén y destilación en alambique<sup>[1]</sup>**

Estos métodos son muy conocidos en el medio, por lo que no se hará una descripción detallada del proceso de obtención.

#### **2. Método de obtención mediante bandeja de silicón**

Material y equipo:

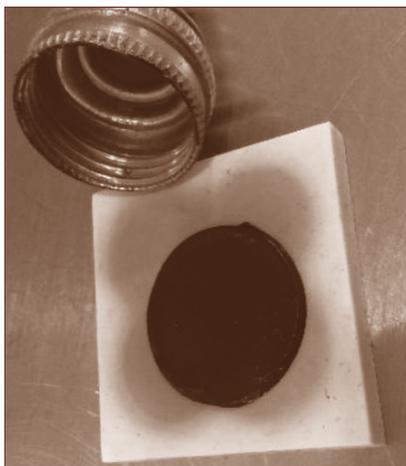
- Molde de silicón, contenedor redondo de aproximadamente 4 cm de diámetro y 2 cm de profundidad.
- Horno eléctrico.
- Balanza digital.
- Reómetro reológico de corte dinámico DSR.

Procedimiento:

- En el molde de silicón se colocan de 3 a 4 gramos de emulsión de tal manera que se forme una película delgada para permitir la salida del agua quedando solamente el residuo asfáltico.



- Posteriormente se coloca dentro del horno a temperatura de 60 °C durante 2 horas.
- Transcurrido el tiempo se deja enfriar la muestra hasta alcanzar la temperatura ambiente.
- Después se retira la pastilla evitando que se fracture o se rompa.
- Tomándola cuidadosamente de las orillas para colocarla en una placa de silicón y meterla a un enfriador con temperatura alrededor de 8 °C durante 15 minutos para después cortar la pastilla con un suaje o tijeras para darle un diámetro de un poco más de 25 mm.
- Teniendo la pastilla con la medida adecuada se realiza el ensayo reológico para determinar el módulo complejo ( $G^*$ ), ángulo de fase ( $\delta$ ) y módulo reológico de corte dinámico ( $G^*/\text{sen}$ ).



### 3. Método de obtención mediante coagulación con Etanol<sup>[2]</sup>

Material y equipo:

- Etanol.
- horno eléctrico.
- vaso de precipitado 100 ml.
- espátula.
- balanza digital.
- bandeja de silicón.

Procedimiento:

— En el vaso de precipitado se colocan 5 gramos de emulsión.



— Después se agregan 12,5 ml de Etanol, lenta y constantemente agitando en todo momento con la espátula, en ese momento se logra observar separación de fases asfalto – agua etanol, esta separación se logra completar en alrededor de 8 minutos de agitación.

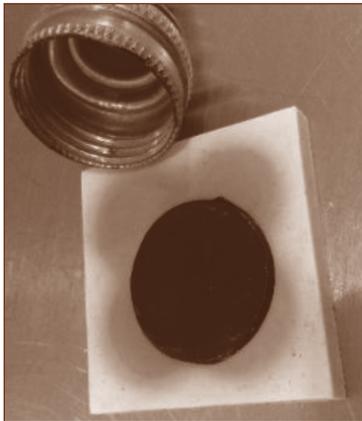


— La parte sólida (emulsión rota) se coloca en la bandeja de silicón para después colocarla dentro del horno a una temperatura de 80 °C durante 3 horas para eliminar cualquier residuo de Etanol y agua.



— Transcurrido el tiempo se retira la bandeja del horno dejándola enfriar a temperatura ambiente para después colocarla en el enfriador a una temperatura alrededor de 8 °C durante 15 minutos para después cortar la pastilla con un suaje o tijeras para darle el diámetro un poco mayor a 25 mm.

— Teniendo la pastilla con la medida adecuada se realiza el ensayo reológico para determinar el módulo complejo ( $G^*$ ), ángulo de fase ( $\delta$ ) y módulo reológico de corte dinámico ( $G^*/\text{sen}$ ).



#### 4. Método de obtención mediante el horno RTFO<sup>[2]</sup>

Material y equipo:

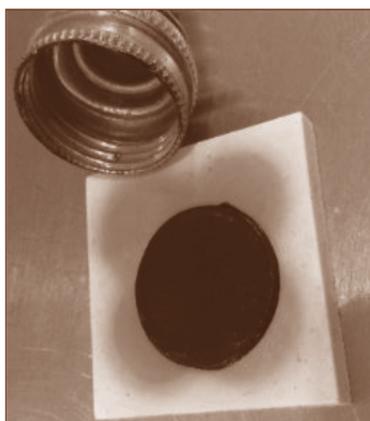
- Horno de envejecimiento RTFO.
- Vasos de vidrio para RTFO.
- Espátula para recolectar asfalto.
- Balanza digital.
- Horno eléctrico.
- Bandeja de silicón.

Procedimiento:

— En el vaso RTFO se colocan 35 gramos de emulsión, posteriormente se gira el vaso para que la emulsión impregne el interior del vaso.



- Se coloca en el rack dentro del horno RTFO y se acciona para girar a 15 rpm a 40 °C sin inyección de aire, solo con el ventilador activado, esto durante 165 minutos. Posteriormente se retira el vaso del horno RTFO y con la espátula se retira el asfalto del vaso para colocarlo en la bandeja de silicón.



- Después se coloca la bandeja en el horno eléctrico a 40 °C durante 90 minutos.
- Transcurrido el tiempo se retira la bandeja del horno dejándola enfriar a temperatura ambiente para después colocarla en el enfriador a una temperatura alrededor de 8 °C durante 15 minutos para después cortar la pastilla con un suaje o tijeras para darle el diámetro un poco mayor a 25 mm.
- Teniendo la pastilla con la medida adecuada se realiza el ensayo reológico para determinar el módulo complejo ( $G^*$ ), ángulo de fase ( $\delta$ ) y módulo reológico de corte dinámico ( $G^*/\text{sen } \delta$ ).

## Resultados

Enseguida se muestran los resultados obtenidos, como se describió anteriormente los residuos asfálticos obtenidos en los diferentes métodos se evaluaron mediante reómetro de corte dinámico, el análisis reológico ofrece información más confiable y valiosa que los resultados de las pruebas empíricas que se especifican actualmente.

### **Resultados del residuo de emulsiones convencionales**

La columna “asfalto base” es el resultado del análisis reológico del asfalto empleado para fabricar las emulsiones (no se toma en cuenta el efecto que pudiera tener el emulsificante en el comportamiento reológico del asfalto), esta columna se incluye en las tablas de emulsiones convencionales con el fin de poder comparar los resultados de los diferentes métodos de obtención.

**Tabla 5. Residuo asfáltico de emulsión A**

Métodos de obtención	Asfalto base	Evaporación en sartén	Bandeja de silicón	Coagulación con Etanol	Horno RTFO
Temperatura de falla ( $G^*/\text{sen } \delta=1$ KPa), (°C)	67,79	70,51	68,68	65,75	68,62
PG	64	70	64	64	64
Módulo ( $G^*/\text{sen } \delta$ ), (KPa)	1,597	1,007	1,804	1,134	1,000
Ángulo de fase ( $\delta$ ), (°)	83,36	82,89	80,19	81,05	82,33

**Tabla 6. Residuo asfáltico de emulsión B**

Métodos de obtención	Asfalto base	Evaporación en sartén	Bandeja de silicón	Coagulación con Etanol	Horno RTFO
Temperatura de falla ( $G^*/sen \delta=1$ KPa), (°C)	67,79	70,06	68,80	64,93	70,00
PG	64	70	64	64	70
Módulo ( $G^*/sen \delta$ ), (KPa)	1,597	1,007	1,804	1,134	1,000
Ángulo de fase ( $\delta$ ), (°)	83,36	82,89	80,19	81,05	82,33

**Tabla 7. Residuo asfáltico de emulsión C**

Métodos de obtención	Asfalto base	Evaporación en sartén	Bandeja de silicón	Coagulación con Etanol	Horno RTFO
Temperatura de falla ( $G^*/sen \delta=1$ KPa), (°C)	67,79	71,27	68,17	65,63	68,30
PG	64	70	64	64	64
Módulo ( $G^*/sen \delta$ ), (KPa)	1,597	1,168	1,699	1,236	1,737
Ángulo de fase ( $\delta$ ), (°)	83,36	82,47	80,21	80,71	79,79

**Tabla 8. Residuo asfáltico de emulsión D**

Métodos de obtención	Asfalto base	Evaporación en sartén	Bandeja de silicón	Coagulación con Etanol	Horno RTFO
Temperatura de falla ( $G^*/sen \delta=1$ KPa), (°C)	67,79	70,98	72,09	67,64	70,81
PG	64	70	70	64	70
Módulo ( $G^*/sen \delta$ ), (KPa)	1,597	1,127	1,289	1,592	1,110
Ángulo de fase ( $\delta$ ), (°)	83,36	81,69	78,42	80,08	81,54

Como se puede observar en los resultados anteriores el residuo asfáltico que más se parece al “asfalto base” es el obtenido en la bandeja de silicón para las emulsiones de la “A” a la “C”. Para la emulsión “D” el residuo más parecido es el de la coagulación con Etanol. También se puede observar en todas las tablas anteriores que el residuo del método de evaporación por sartén presenta módulos más altos, esto puede deberse a las temperaturas altas por el contacto con la flama directa.

Cabe mencionar que el método de la bandeja es el que consume menos tiempo alrededor de 3 horas, aunque lo realmente importante es que el residuo asfáltico obtenido es más parecido al ligante residual en campo.

Síguenos en redes sociales:



#EligeAsfalto

## Resultados del residuo de emulsiones modificadas

**Tabla 9. Residuo asfáltico de emulsión E**

Métodos de obtención	Evaporación en sartén	Bandeja de silicón	Coagulación con Etanol	Horno RTFO
Temperatura de falla ( $G^*/\text{sen } \delta=1$ KPa), (°C)	88,77	75,79	75,14	79,80
PG	88	70	70	76
Módulo ( $G^*/\text{sen } \delta$ ), (KPa)	1,093	1,839	1,831	1,478
Ángulo de fase ( $\delta$ ), (°)	66,18	77,27	70,77	75,45

**Tabla 10. Residuo asfáltico de emulsión F**

Métodos de obtención	Evaporación en sartén	Bandeja de silicón	Coagulación con Etanol	Horno RTFO
Temperatura de falla ( $G^*/\text{sen } \delta=1$ KPa), (°C)	87,10	83,67	74,29	82,93
PG	82	82	70	82
Módulo ( $G^*/\text{sen } \delta$ ), (KPa)	1,638	1,175	1,672	1,106
Ángulo de fase ( $\delta$ ), (°)	70,46	73,37	66,93	71,19

**Tabla 11. Residuo asfáltico de emulsión G**

Métodos de obtención	Evaporación en sartén	Bandeja de silicón	Coagulación con Etanol	Horno RTFO
Temperatura de falla ( $G^*/\text{sen } \delta=1$ KPa), (°C)	91,14	84,12	81,71	80,39
PG	88	82	76	76
Módulo ( $G^*/\text{sen } \delta$ ), (KPa)	1,351	1,218	1,829	1,558
Ángulo de fase ( $\delta$ ), (°)	65,02	77,66	68,87	73,92

**Tabla 12. Residuo asfáltico de emulsión H**

Métodos de obtención	Evaporación en sartén	Bandeja de silicón	Coagulación con Etanol	Horno RTFO
Temperatura de falla ( $G^*/\text{sen } \delta=1$ KPa), (°C)	93,12	90,40	77,30	83,76
PG	88	88	76	82
Módulo ( $G^*/\text{sen } \delta$ ), (KPa)	1,586	1,207	1,146	1,185
Ángulo de fase ( $\delta$ ), (°)	65,14	67,09	60,97	67,96

**Tabla 13. Residuo asfáltico de emulsión I**

Métodos de obtención	Asfalto base	Evaporación en sartén	Bandeja de silicón	Coagulación con Etanol	Horno RTFO
Temperatura de falla ( $G^*/\text{sen } \delta=1$ KPa), (°C)	71,25	77,14	77,12	70,43	77,91
PG	70	76	76	70	76
Módulo ( $G^*/\text{sen } \delta$ ), (KPa)	1,142	1,129	1,115	1,052	1,237
Ángulo de fase ( $\delta$ ), (°)	74,70	71,77	69,99	68,09	70,10

**Tabla 14. Residuo asfáltico de emulsión J**

Métodos de obtención	Asfalto base	Evaporación en sartén	Bandeja de silicón	Coagulación con Etanol	Horno RTFO
Temperatura de falla ( $G^*/\text{sen } \delta=1$ KPa), (°C)	77,48	79,31	79,05	75,30	79,79
PG	76	76	76	70	76
Módulo ( $G^*/\text{sen } \delta$ ), (KPa)	1,125	1,492	1,409	1,827	1,529
Ángulo de fase ( $\delta$ ), (°)	63,27	70,05	70,31	68,24	69,77

**Tabla 15. Residuo asfáltico de emulsión K**

Métodos de obtención	Evaporación en sartén	Bandeja de silicón	Coagulación con Etanol	Horno RTFO
Temperatura de falla ( $G^*/\text{sen } \delta=1$ KPa), (°C)	62,87	59,60	60,69	60,98
PG	58	58	58	58
Módulo ( $G^*/\text{sen } \delta$ ), (KPa)	1,714	1,181	1,254	1,383
Ángulo de fase ( $\delta$ ), (°)	70,72	69,20	68,72	68,15

Como se puede observar en los resultados de los residuos asfálticos de las emulsiones modificadas el método de coagulación con etanol parece ser más adecuado. Cabe resaltar que el método de evaporación por sartén para residuos de emulsiones modificadas afecta considerablemente el asfalto obtenido, probablemente porque al emplear más temperatura promueve la vulcanización de ciertos tipos de polímeros principalmente los látex de SBR.

## Conclusiones

Es notorio que se requiere un método más confiable para obtener los residuos de emulsiones asfálticas para poder evaluar de mejor manera el desempeño del ligante en las aplicaciones en campo como por ejemplo riegos de sello, además de incluir la reología en el análisis del comportamiento de los residuos asfálticos.

Entre los métodos evaluados el de bandeja de silicón fue el mejor para las emulsiones convencionales y el de coagulación con etanol fue el más adecuado para las emulsiones modificadas, consideramos que se requiere continuar con la investigación con el fin de encontrar y estandarizar un método de obtención de residuo asfáltico que apli-

que para cualquier tipo de emulsión ya sea convencional o modificada sin que el tipo de polímero represente alguna diferencia en el resultado.



## ¿Quieres profundizar?

- [1] Método ASTM D244, Standard Test Methods and Practices for Emulsified Asphalts. <https://www.astm.org>
- [2] Carole Gueit, Michel Robert, Graziella Durand, COLAS Campus Scientifique et Technique. "Characterization of the Different Phases in the Life Cycle of the Binder in a Bitumen Emulsion".
- [3] Arash Motamed, Delmar Salomon, Nazmus Zakib, Amit Bhasin, "Emulsified Asphalt Residue Recovery and Characterization 2 Using Combined MAB-DSR Procedure".
- [4] Michael J. Farrar, Stephen L. Salmans, Jean-Pascal Planche, "Recovery and Laboratory Testing of Asphalt Emulsion Residue: Application of the Simple Aging Test (SAT) and 4mm DSR".
- [5] K. Takamura, "Comparison of Emulsion Residues Recovered by Forced Airflow and RTFO Drying".
- [6] Marasteanu, M.O., Clyne, T.R., "Rheological Characterization of Asphalt Emulsions Residues".



# Los primeros usos del asfalto

John Davis

**E**l asfalto es una sustancia asombrosamente creativa con una larga historia de un uso diverso. Ha sido utilizado en innumerables formas durante siglos por muchas y diferentes culturas alrededor del mundo.

Los registros muestran que el primer uso del asfalto probablemente lo efectuaron los habitantes del valle del río Eufrates en el sureste de Mesopotamia, actualmente Iraq. En los primeros años, Iraq fue llamado Sumer o Accad, y más tarde, Babilonia. Muchos depósitos naturales de asfalto fueron encontrados en esta región entre el río Nilo en Egipto y el río Indo en India.

Una antigua leyenda dice que, siendo un bebé, el Rey Sargón de Accad fue colocado por su madre, Itti-Bel, en una canasta recubierta con asfalto y lo puso a la deriva en las aguas del río Eufrates alrededor del año 3800 A.C. Esta leyenda coincide mucho con la historia de Moisés que fue puesto a la deriva en el río Nilo en una canasta recubierta de asfalto.

Los primeros usos del asfalto incluyen ladrillos de cemento unidos para la construcción de edificios y pavimentos y también para proteger las superficies exteriores de mampostería. También se utilizó para el arrastre en la superficie de pisos interiores y escalones, inclusive para impermeabilizar drenajes y baños.

Las excavaciones en Teli-Asmar, 80 kilómetros al noroeste de Bagdad, en la orilla sur del río Diyala, revela que los Sumerios usaban el asfalto para construir edificios entre los años 3200 y 2900 A.C.

El mortero compuesto de masilla de asfalto fue también encontrado en las excavaciones en Ur, Uruk y Tello en las cercanías de los ríos Eufrates y Tigris. En la misma región, en Khalaje, las excavaciones tienen pisos descubiertos compuestos de capas de

masilla de asfalto con espesores entre 7 y 15 centímetros y también ladrillos de barro pegados con asfalto.

## El asfalto en la Biblia

Los historiadores creen que Noé utilizó asfalto en la construcción del arca. El texto bíblico dice que la arca estaba tratada con un "revestimiento" (sustancia asfáltica "bituminous") por dentro y por fuera. Las canoas y piraguas en los primeros días fueron también hechas con material hermético con un revestimiento.

Existen otras numerosas referencias en las escrituras cristianas de lo que ahora nosotros conocemos que era el asfalto.

El libro de Génesis dice, al describir la construcción de la Torre de Babel aproximadamente en el año 2000 A.C., "...que ellos tenían ladrillos (bricks) para la piedra y lodo para el mortero. En la versión de los setenta, la versión griega de la biblia, la palabra "slime" está traducida como "asphalto" y en la versión latina, "bitumen".

El segundo capítulo de Exodo afirma que la canasta de juncos (plantas pantanosas) donde fue puesto Moisés por su madre, estaba impermeabilizado con asfalto. El versículo III dice: "...Y cuando ella ya no pudo ocultarlo, lo llevó en un arca de juncos, y lo recubrió con lodo y allí metió al niño y lo colocó sobre las aguas para que el río se lo llevara". El uso de juncos y recubrimiento era un método antiguo para construir embarcaciones. A finales de 1960, los barcos eran conocidos como "guffas" que estaban construidas de carrizos tejidos enmasillados con asfalto y eran usados para transportar pasajeros y cargamentos por el río Tigris en Bagdad.

## El asfalto en Babilonia

Los babilonios eran constructores excepcionales. Los reyes babilonios construyeron carreteras, vallas de retención para evitar las posibles inundaciones de las aguas del río Eufrates, protegiendo las almenas y los grandes palacios. El rey babilonio Khammuriabi tenía una norma de construcción en el año 2200 A.C. que mostraba los costos comparativos del revestimiento de casas y embarcaciones con masilla asfáltica.

*"De todas las maravillas ocurridas en Babilonia, la más sorprendente consiste en los grandes depósitos de asfalto que allí se encontraron".*

DIODORUS SICULUS  
Historiador griego

Las excavaciones en Babilonia han descubierto ladrillos pegados con asfalto que han permanecido en el lugar durante miles de años. En estas excavaciones, también encontraron una gran lápida de piedra que describe las actividades de construcción del Rey Nabucodonosor. La lápida revela que el padre de Nabucodonosor, Nabopolasser, construyó un muro de contención de ladrillos de barro secos para proteger contra inundaciones su palacio de las aguas del río Eufrates.

La lápida nos dice que los ladrillos secos de Nabopolasser fallaron y no pudieron contener las inundaciones, así que el Rey Nabucodonosor buscó un mejor método para impermeabilizar su palacio. En la lápida, Nabucodonosor escribe "...para la protección, yo construí dos muros con masilla de asfalto y ladrillo, 490 (codos) alas perpendiculares por encima de Nimitti Bel. Entre ellos yo levanté una estructura de ladrillos sobre los cuales construí mi morada palaciega de asfalto y ladrillos. Alrededor construí una pared enorme de asfalto y ladrillos cocidos e hice sobre ellos una base elevada para mi morada real de asfalto y ladrillos cocidos".

El Rey Nabucodonosor nunca dejó de construir y en muchos de sus trabajos utilizó asfalto. Construyó un puente de 110 metros sobre el río Eufrates cerca de Babilonia. Los muelles fueron edificados de ladrillos cocidos dentro de la masilla asfáltica, y la base de cada muelle estaba cubierta con asfalto. Nabucodonosor también construyó grandes alcantarillas de asfalto "loarn" (tierra y barro mezclados) y grava (cantera) para drenar la ciudad de Babilonia.

## Depósitos de asfalto

El historiador griego Herodoto (484-425 A.C.) escribe acerca de los depósitos de asfalto en la ciudad de Hit en Mesopotamia: "...Existe una ciudad a 8 días de viaje desde Babilonia, donde un pequeño río llamado "Is" fluye, un afluente del río Eufrates. Desde el nacimiento de este pequeño río muchas "gotas" o manchas de asfalto emergen con el agua y desde allí el asfalto es traído para los muros de Babilonia..."

Hay muchas referencias en las primeras escrituras de la ciudad de Hit como una fuente de asfalto. George Rawlinson, un viajero británico, escribió acerca de su visita en 1745: "...después de haber pasado tres días entre las ruinas de la vieja Babilonia, llegamos a un pueblo llamado Hit. Junto a esta población hay un valle de recubrimientos maravillosos para conservarlos y algo increíble es que ahí hay muchas fuentes lanzando en abundancia una sustancia de apariencia oscura, como alquitrán o revestimiento, la cual sirve a todos los países para hacer sus barcos y embarcaciones".

Al describir los depósitos de asfalto de Babilonia alrededor del año 50 D.C. el historiador griego Diodorus Siculus escribió

"...de todas las maravillas que han ocurrido en Babilonia, la más extraordinaria consiste en los grandes depósitos de asfalto que allí se encontraron. Es tanto lo que se ha encontrado que no solamente es suficiente para muchas y grandes edificaciones, sino que el excedente es utilizado por la población".

## La diversidad del asfalto

Los escritores medievales a menudo se refieren a las rocas de asfalto bajo el nombre de "gagates" que es una derivación del río Gagas o Gages en Licia, Asia Menor. El centro del río Gagas se decía que era un depósito de asfalto duro, el cual, de acuerdo a los escritos del Obispo Marbode de Rennes, era utilizado "como un amuleto para beneficiar la hidropesía (edema) que diluída con agua previene la pérdida de piezas dentales, mientras que la fumigación con "gagates" es buena para los epilépticos. Remedia la indigestión y el estreñimiento, cura las ilusiones mágicas y los malos hechizos, y además es utilizado a menudo para pociones de amor".

En su tercer viaje a América en julio de 1498, Cristóbal Colón dio la bienvenida a los poderes restauradores del asfalto para sus barcos durante las tempestades. En ese viaje, él descubrió la Isla de la Trinidad y el lago de asfalto llamado Lago Trinidad. Se ha dicho que él amarraba sus barcos y calafateaba sus costuras debido a las tormentas con asfalto del Lago Trinidad. Más tarde, en marzo de 1595, Sir Walter Raleigh habló de su visita al Lago Trinidad y dio cuenta de lo que él llamó Pitch Lake, o Lago Trinidad: "...En Tierra de Brea o Piche hay una abundancia de revestimiento de piedra, que todos los barcos del mundo pueden estar con carga desde allí, y nosotros decoramos nuestras naves para que sean excelentes y no se derritan con el sol como con el recubrimiento de Noruega, y además es para que el comercio de los barcos sea muy beneficioso en el sur".

No solamente se usó como medicina y a prueba de tormentas en los barcos, el asfalto también tuvo usos iniciales para pavimentos y carreteras. Los historiadores han establecido que alrededor del año 1500 D.C. los incas de Perú construyeron un sistema elaborado de carreteras, algunas de las cuales estaban pavimentadas con una composición similar a la del macadam asfáltico moderno.

El asfalto es tan flexible y sus usos son tan diversos a través de los años que motivaron en su tiempo, al Director Regional del Instituto del Asfalto, Jay Hensley a proclamar lo siguiente: "No hay ninguna duda acerca de que el asfalto es la sustancia más creativa en la faz del planeta Tierra". 

---

## ¿Quieres profundizar?

HEBERT ABRAHAM, "Asphalts and Allied Substances, Volumen One- Historical Review and Natural Raw Materials."

# ¿Te alcanza el tiempo para tus funciones?

Idalmis Caraballo Borgues  
Revista AH

## Cómo administrar el tiempo eficazmente

Son pocos los directivos que no han culpado al tiempo de muchos de sus males, y pocos también los que se han detenido a buscar la forma más eficaz de administrarlo para así exonerarlo de una culpa que les corresponde a ellos mismos.

Para administrar el tiempo, un directivo debe ser capaz de reconocer:

- Qué es lo urgente,
- Qué es lo importante,
- Qué es lo menos importante,
- Qué es lo rutinario,
- Qué es lo urgente e importante,
- Qué es lo urgente y no importante,
- Qué es lo importante pero no urgente.

El directivo debe saber distinguir lo importante de lo urgente para que no se agobie con lo urgente ni administre por crisis en la empresa por obviar las tareas de rutina. Lo urgente casi siempre es lo más importante, si no se tiene esto muy claro puede caerse inevitablemente en el estrés.

**Tarea urgente.** Aquella que se va aplazando, que se va dejando de hacer, que no se hizo para concluir en la fecha prevista. También es la que surge de

improviso y se dispone de muy poco tiempo para su realización.

**Tarea importante.** Es la que se necesita llevar a cabo para culminar o cumplir un objetivo previamente trazado y que resulta significativo o trascendental para la entidad.

**Tarea rutinaria.** Es la que se ejecuta periódicamente pero cuando se deja de hacer se convertirá en urgente o importante en dependencia de la tarea.

Nada distingue tanto al directivo eficaz como su amor al tiempo. Pero si no se encuentra en esa situación y se quiere tener un infarto, se debe seguir las reglas dadas a conocer en un con-

greso de Cardiología celebrado hace algunos años en Santo Domingo:

1. El trabajo ante todo y sobre todo,
2. Comenzar a trabajar temprano y terminar tarde, olvidarse de sábado, domingos y días festivos,
3. Llevar trabajo a casa y aprovechar el tiempo hasta altas horas de la noche,
4. Aceptar todas las invitaciones relacionadas con el trabajo, las comidas y cocteles son estratégicos para hacer buenas relaciones de trabajo,
5. Fumar un par de cajetillas diariamente,
6. Nada de paseos, cines, reuniones familiares, lecturas amenas, fines de



semana, de nada sirven y cuestan tiempo y dinero,

7. Vacaciones,
8. No delegar nada, nadie puede hacer las cosas mejor que yo,
9. Comer, beber mucho y no descansar después. Al contrario, retomar inmediatamente el trabajo. Uno es imprescindible e irremplazable,
10. Al viajar por razones de trabajo, realizarlo por la noche para aprovechar el día siguiente.

Una de las causas esenciales que inciden en una deficiente administración del tiempo es lo difícil que les resulta a los directivos delegar autoridad; quieren llevar a cabo las tareas más importantes, las más agradables o las que son de gran impacto para lograr futuros ascensos u otros méritos y, sobre todo, no quieren perder el control. Un directivo que busca crear un clima de trabajo favorable delega todo lo que considera necesario para lograr un enfoque participativo de sus colaboradores, así como elevar la motivación.

## **Autoridad y responsabilidad del directivo**

**Autoridad** puede definirse como el derecho a la potestad que tiene una persona para ordenar una acción o decidir hacer una cosa. Para poder ejercer su función, el dirigente ha de actuar con la autoridad necesaria, es decir, con las atribuciones precisas y correspondientes a su cargo.

El manejo de la autoridad es muy complejo y ejercerla correctamente es uno de los retos que enfrenta diariamente un directivo. Una manifestación exagerada de autoridad puede repercutir desfavorablemente en un grupo de subordinados, pero si por el contrario, el directivo no tiene autori-

dad o no la ejerce, entonces el grupo tiende a trabajar de forma desordenada y con indiferencia.

La autoridad debe conseguirse sin imposiciones. Por lo tanto, el directivo debe lograr que sus subordinados vean en él a un colaborador, cuya mayor experiencia y/o conocimiento del área de trabajo le permiten tener una mejor visión del trabajo a realizar en grupo.

Existen tres clases de autoridad:

- *Autoridad técnica o de competencia.* Nace de los conocimientos que posee el individuo,
- *Autoridad formal.* Es la que da oficialmente la organización,
- *Autoridad personal.* Nace de la capacidad de atracción que puede tener el individuo sobre el grupo.

Para ser buen directivo, debe poseer las tres clases de autoridad, debe alcanzar la técnica y la personal con su fuerza y preparación y regirse por la autoridad formal que se establece en su entidad.

La autoridad formal no es la misma en todas las empresas ni para los directivos. Algunos autores plantean que pueden dividirse en tres áreas:

1. Área de autoridad total. Comprende todo aquello que puede resolver o decidir un directivo sin consultar a su superior
2. Área de autoridad restringida. Comprende los asuntos sobre los que puede decidir, pero dando luego conocimientos a su superior de su decisión.
3. Área de autoridad nula. Comprende aquellas cuestiones que sólo puede resolver el superior, aunque el directivo tiene la obligación de aportar información.

Si un gerente no conoce diariamente sus área de autoridad, cometerá errores tanto por exceso o por defecto, lo que generalmente le acarrearán problemas de dirección.

La función del gerente es como una moneda, también tiene dos caras: la autoridad y la responsabilidad. El gerente para desempeñar satisfactoriamente sus funciones debe estar convencido de que no hay autoridad sin responsabilidad ni responsabilidad sin autoridad.

Al analizar las responsabilidades de un directivo se ha llegado a la conclusión que las mismas pueden dividirse en cuatro grupos esenciales:

1. Responsabilidad frente a la autoridad.
  - a. Conseguir una meta en el servicio con la calidad y plazo previstos
  - b. Informar al superior de las incidencias ocurridas dentro de su área de mando.
2. Responsabilidad frente a los colaboradores.
  - a. Obligación de conocerlos.
  - b. Apoyarlos en las solicitudes que sean justas.
  - c. Crear espíritu de equipo.
  - d. Crear las condiciones necesarias para que el trabajo se haga sin interrupciones innecesarias.
3. Responsabilidad frente a otros directivos.
  - a. Contribuir a la cooperación y coordinación entre su área y las restantes.
4. Responsabilidad frente a sí mismo.
  - a. Honradez consigo mismo.
  - b. Afán de superación.

Si un directivo conoce y domina exactamente cual es su autoridad y responsabilidad según el cargo que desempeña entonces estará en condiciones de saber cuáles tareas puede

delegar para así optimizar el aprovechamiento del tiempo.

## Delegación de autoridad

Delegar es confiar en un subordinado la misión de alcanzar un objetivo, realizar una tarea o cumplir un trabajo, dándole autonomía o libertad en la forma de elegir los medios y el camino para conseguirlo.

Hay que delegar:

- Confiando en la gente en quien delega,
- Compartiendo las responsabilidades del trabajo,
- Dando facultad para tomar decisiones,
- Dando la libertad de acción necesaria,
- Dando la autoridad necesaria.

Cuando un directivo delega no significa ordenar la ejecución de un trabajo dictando procedimientos, tampoco es quitarse trabajo de encima o desprenderse de tareas engorrosas o aburridas. Es preciso destacar que el directivo al delegar, no se libera de las responsabilidades que le corresponden, es decir se delega sólo la autoridad, pero no la responsabilidad.

Al delegar, el directivo queda libre para aquellas tareas que sólo él puede y debe hacer, contribuye a mejorar la eficiencia del equipo, tiene tiempo para dedicarse a las funciones de dirección, hace más interesante el trabajo de los colaboradores y además, dispone de sustitutos capaces en caso de ausencia, así como para el relevo en puestos de mando en el mediano o largo plazo.

Un directivo debe delegar todo lo que sus colaboradores puedan hacer como él o mejor pero no puede delegar su responsabilidad ante el mando

superior, así como con respecto a la formación de sus colaboradores, la disciplina y la moral del grupo que dirige.

Se debe delegar en aquellas personas que sean competentes y tengan disponibilidad de tiempo, además de que acepten libremente la delegación ya que ésta no puede imponerse. Además, al delegar debe tenerse en cuenta la estructura jerárquica de la empresa o del área.

A partir de diferentes criterios, pueden resumirse un conjunto de elementos para delegar eficazmente la autoridad:

- Definir políticas, objetivos y alcance.
- Informar de los recursos disponibles y el tiempo de que dispone.
- Establecer el mecanismo de control que sea necesario.
- Aprovechar los errores para enseñar.
- Estimular los aciertos.
- Delegar en forma gradual, cosas sencillas a cosas más complejas.
- Hacer sentir al colaborador que tiene confianza en él.
- Darle la autoridad necesaria al colaborador.
- Asegurarse de que el colaborador acepte su papel y lo comprenda.
- Ofrecerle apoyo al colaborador en caso de que lo necesite.
- No interferir en el campo que se le ha confiado al colaborador.
- Aceptar que el colaborador pueda realizar el trabajo de una forma distinta a la propia.

Un directivo que no sabe aún que no delega o lo hace muy poco, puede analizar los siguientes elementos entre los que seguramente encontrará un buen motivo:

- Incapacidad de organizar su trabajo y distinguir lo que puede y lo que no puede delegar.

- Por rutina, continúa haciendo trabajos que realizaba cuando no era directivo.
- Falta de disciplina personal. Se prefiere hacer un trabajo antes de dedicar el tiempo necesario para enseñar al colaborador. Se gana tiempo de esta forma a corto plazo, pero a la larga se pierde.
- Orgullo y sobrevaloración propia. Se imagina ser el único capaz de ejercer tal o cual actividad.
- Egoísmo. Se reserva para las tareas más interesantes.
- Temor hacia los de abajo considerándolos como rivales. Para parecer indispensable impide a su personal que sepa demasiado.
- Temor hacia los de arriba, no quiere exponerse a los reproches de sus superiores.

## Conclusiones

Todo directivo debe ser consciente de la administración eficiente del tiempo a partir de saber valorarlo como un recurso más de su empresa. Al conocer exactamente cuáles son sus niveles de autoridad y responsabilidad, estará preparado para enfrentar un efectivo proceso de delegación de autoridad con vistas a darle mayor participación a sus colaboradores en las diferentes tareas de su área y así proporcionarse más tiempo para proyectar nuevos trabajos y objetivos que permitan el mejoramiento del desempeño de la entidad, o simplemente pasar más tiempo con su familia.





# TRA SENDA INGENIERÍA, S A DE CV

proyecto + construcción + supervisión



## ...en el camino

[www.trasenda.com.mx](http://www.trasenda.com.mx)

[ingenieria@trasenda.com.mx](mailto:ingenieria@trasenda.com.mx)

Avenida Guadalupe 5197, Jardines de Guadalupe, C.P. 45030

Zapopan, Jalisco, México Tel. (33) 3620-8226



[www.megaasfaltos.com.mx](http://www.megaasfaltos.com.mx)

CARRETERA LIBRE SALAMANCA - CELAYA KM. 85.3

SALAMANCA GTO

TEL. (464)64 7 14 18

repcion@megaasfaltos.com.mx

La apuesta **segura**  
por el líder en  
equipos de ensayos  
de pavimentos



EMS WTECH  
Electromechanical  
Servoactivation  
Technology



Verdadera **Innovación**,  
Asesoramiento experto,  
Soporte Técnico

[www.controls.com.mx](http://www.controls.com.mx)

La más amplia gama de equipos **Protocolo AMAAC** Niveles I, II, III y IV

T (+52 55) 5532 0799 - 5532 0722

Desde **1995**  
estamos presentes  
en **México**

EQUIPOS DE ENSAYE CONTROLS, S.A. DE C.V.

Avenida de la Hacienda 42, Col. Club de Golf Hacienda - Atizapán de Zaragoza - Estado de México, C.P. 52959

[info@controls.com.mx](mailto:info@controls.com.mx)

# ENERGÍA

COMBUSTIBLE ALTERNO Y  
COMBUSTÓLEO  
TRANSPORTE ESPECIALIZADO

[www.gmarca.com](http://www.gmarca.com)

# GVMC

- GRUPO MULTISERVICIOS PARA LA CONSTRUCCION -

# VÍAS

## TERRESTRES

ASFALTOS, EMULSIONES  
Y MODIFICADOS  
ADITIVOS PARA ASFALTO  
Y COLORANTES  
ESTABILIZADOR IÓNICO DE SUELOS  
LABORATORIO NIV.II AMAAC  
RENTA DE MAQUINARIA  
Y EQUIPOS PARA RIEGOS

## MANTENIMIENTO Y PROTECCIÓN

PINTURAS E IMPERMEABILIZANTES  
ESMALTES Y EPÓXICOS  
SUPERFICIES DEPORTIVAS  
SELLADORES PARA PAVIMENTOS,  
GRIETAS Y BACHES

**CAT 018007171800**

SOLUCIONES  
ASFÁLTICAS

HELLOS

VIAL

ErgonArmor

petrien

DOCTOR  
BACH

GRAVELOCK  
Soil Consolidation Aid

SEALOFLEX

OMNIV

SMEDT