

**MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTE,  
Y DE VIVIENDA Y DESARROLLO URBANO**

**VICEMINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS**

**UNIDAD DE INVESTIGACION  
Y DESARROLLO VIAL**

**Aspectos que inciden en la regularidad de una  
capa de rodadura, construida a base de Mezcla  
Asfáltica en Caliente.**

**Elaborado por: José Rodrigo Rendón Rodríguez, Ing. Civil.  
Unidad Técnica, Gerencia de Auditoría de Calidad.**

**César Adolfo Carrillo Vásquez, Ing. Civil.  
Gerente de Auditoría de Calidad.**

**Coordinador: Daniel Antonio Hernández Flores, Ing. Civil  
Director, Unidad de Investigación y Desarrollo Vial.**

**SAN SALVADOR, EL SALVADOR, JULIO DE 2009.**

## **OBSERVACION**

**El contenido de este documento refleja opiniones de los autores, quienes son responsables de los hechos y de la exactitud de los datos presentados. El contenido no refleja necesariamente las opiniones y políticas oficiales del Ministerio de Obras Públicas de El Salvador. Este documento no constituye una norma, especificación ni regulación.**

## INDICE

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
RESUMEN	1
1. Introducción.	1
2. Generalidades sobre el Índice de Regularidad Internacional (IRI).	1
2.1 Definición de IRI.	1
2.2 Importancia del IRI.	4
2.3 El IRI en el desempeño de un pavimento.	4
3. Factores que inciden en la regularidad superficial de los pavimentos.	6
3.1 Importancia de las características de los materiales del terreno de fundación de la estructura del pavimento (subrasante).	6
3.2 Condición de soporte y regularidad superficial de la capa subyacente.	7
3.3 Procesos utilizados en la construcción de una capa de mezcla asfáltica en caliente.	8
✓ <i>Suministro de mezcla asfáltica.</i>	9
✓ <i>Colocación de la mezcla.</i>	10
• Descarga de la mezcla asfáltica en la pavimentadora.	12
• Movilización de la mezcla asfáltica almacenada, a través de la pavimentadora.	13
• Modificación de la altura de la enrasadora.	15
• Velocidad variable de la pavimentadora.	17
• Movimiento de las alas de la tolva de almacenamiento temporal de mezcla.	18
✓ <i>Compactación.</i>	19
✓ <i>Otros aspectos a considerar para la obtención de una buena regularidad.</i>	21
• Construcción de juntas transversales.	21
• Transiciones de espesor de mezcla.	24
• Tramo de prueba.	24
4. Referencias.	25

**RESUMEN**

*El presente documento contiene información técnica relacionada con el Índice de Regularidad Internacional (IRI) y su incidencia en el desempeño de una estructura del pavimento; también se presenta información sobre la relevancia que este parámetro tiene como requisito de Calidad a nivel nacional e internacional. Asimismo, se realiza una descripción de los aspectos más importantes que inciden en la regularidad de una capa de rodadura construida a base de mezcla asfáltica en caliente, donde se indican los posibles efectos que genera cada uno de éstos, así como prácticas recomendadas para minimizar su incidencia en la regularidad superficial.*

**1. Introducción.**

La Unidad de Investigación y Desarrollo Vial (UIDV) como entidad encargada de la Verificación de la Calidad de obra en los proyectos viales desarrollados por el Ministerio de Obras Públicas, Transporte y de Vivienda y Desarrollo Urbano, a través del Viceministerio de Obras Públicas, y atendiendo su política de la mejora continua de los procesos relacionados a investigaciones aplicadas, ha desarrollado el presente documento que contiene diferentes aspectos que inciden en el valor del Índice de Regularidad Internacional (IRI) de una capa de rodadura a base de mezcla asfáltica en caliente.

La regularidad superficial de la capa de rodadura de un pavimento es parte de los requerimientos de Calidad exigidos en la mayoría de proyectos viales de relativa importancia, de ahí la necesidad de implementar mejores controles en las etapas de planificación y construcción de dichos proyectos, con el objeto de obtener valores de regularidad aceptables en las vías, de tal forma que se contribuya al incremento de la vida útil de las mismas, se favorezca la economía de los usuarios, entre otros. El presente documento recoge algunos aspectos relacionados con la regularidad de capas de rodadura a base de mezcla asfáltica en caliente, los cuales pueden ser tomados en cuenta en la etapa de planificación de los proyectos, así como algunas recomendaciones encaminadas a la mejora de las prácticas constructivas.

Para la elaboración del presente documento se tomó como base información bibliográfica relacionada con el tema de investigación; así como, la experiencia local adquirida en diversos proyectos desarrollados en El Salvador por el Viceministerio de Obras Públicas.

**2. Generalidades sobre el Índice de Regularidad Internacional (IRI).****2.1. Definición de IRI.**

El Índice de Regularidad Internacional (IRI) es una medida de la regularidad (lisura) que presenta una superficie a lo largo de un perfil. Para el caso de carreteras, lo que se persigue es representar la calidad de viaje de un vehículo al circular, por lo que la medición de los perfiles se lleva a cabo en la zona de las roderas.

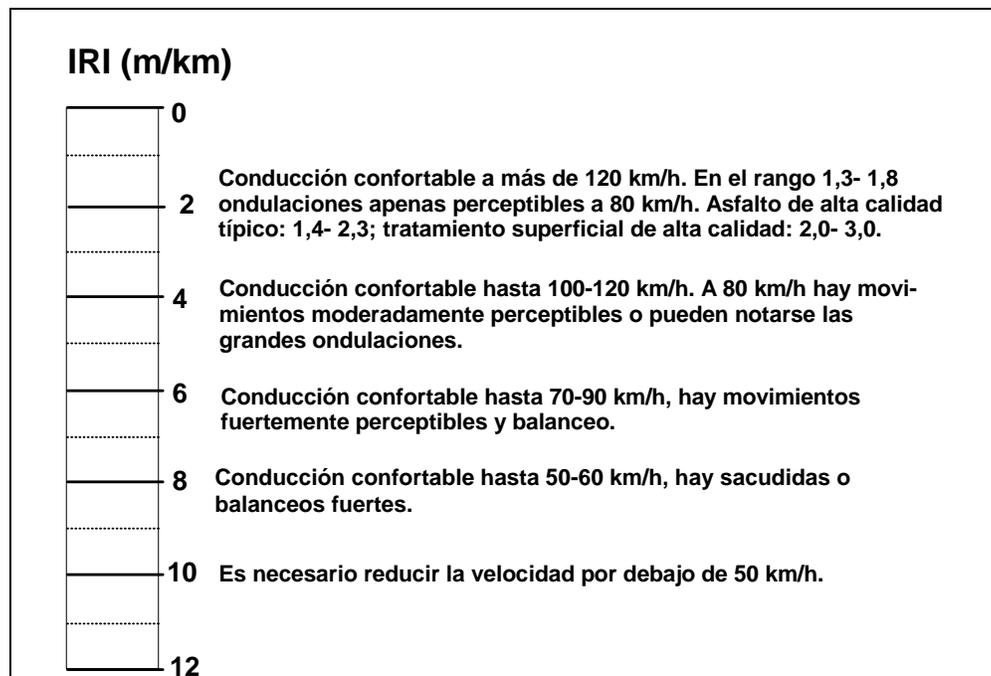
El IRI se considera una característica importante de los pavimentos ya que se le relaciona con diversos factores, tales como: a) desempeño del pavimento a lo largo de su vida útil; b) confort del usuario al circular por la superficie; c) seguridad al manejar; d) costos de operación de los vehículos<sup>1</sup>, otros.

El concepto de IRI fue desarrollado por el Banco Mundial en los años 80's, y consiste en la representación de un modelo matemático, que simula el movimiento de la suspensión acumulada por un vehículo (modelo de cuarto de carro) al circular por una determinada longitud del perfil de la carretera, a una velocidad estándar de 80 km/h. Dicho valor es medido en unidades de m/km, mm/m o in/mi, no existiendo límite superior en su valor; sin embargo, dicho documento considera que en una carretera con valores de IRI mayores a 8 m/km es difícil de transitar, excepto a velocidades bajas<sup>2</sup>.

El IRI puede ser medido a través del empleo de diversos equipos, los cuales pueden ser del tipo estático o dinámico. Los equipos de tipo estático se consideran de bajo rendimiento, sin embargo se caracterizan por tener una muy buena precisión; mientras que los equipos del tipo dinámico son de alto rendimiento (usualmente son instalados en vehículos o remolques, alcanzando rendimientos diarios de hasta 300 km). La precisión de ambos equipos depende de una debida calibración, así como del cumplimiento de determinadas características para el muestreo de datos a lo largo del perfil (muestreo longitudinal), y de la resolución de mediciones verticales.

Para el caso de carreteras, la designación AAHSTO PP 37M-99 (2005), "Standard Practice for Quantifying Roughness of Pavements" ("Práctica Estándar para la Cuantificación de la Regularidad de Pavimentos"), establece el método para estimar la regularidad de una capa de rodadura, a partir del cálculo de perfiles longitudinales, los cuales deben ser medidos en la zona de las roderas (a una separación entre éstas de 1.6m a 1.8m), ubicados en el carril en que se desarrolla la medición.

Es importante mencionar que la escala de IRI comienza desde cero, para una superficie perfecta y cubre números positivos que crecen en forma proporcional a la regularidad del perfil. En la Figura 1, se muestran valores típicos de IRI para rutas con pavimentos bituminosos, con descripciones de la publicación técnica No. 46 del Banco Mundial<sup>3</sup>.



**Figura 1.** Escala estimativa de IRI para capas de rodadura a base de mezclas asfálticas o con tratamiento superficial. Figura adaptada de ASTM E1926-98<sup>4</sup>, “Standard Practice for computing International Roughness Index of roads from longitudinal profile measurements”.

Usualmente, la regularidad de una vía incrementará a medida transcurre su vida útil, viéndose afectada en mayor medida cuando la regularidad alcanzada inmediatamente después de su construcción es considerable (alta regularidad inicial); de ahí la necesidad de implementar procesos constructivos adecuados, con el objeto de obtener superficies con una buena regularidad inicial. A modo de ejemplo, algunos de los factores que generan un incremento de la regularidad superficial a lo largo de la vida útil de un pavimento son los siguientes:

- Daños localizados en el pavimento, tales como depresiones, hoyos y grietas.
- Corrugaciones superficiales ocasionadas por el tráfico.
- Factores medioambientales combinados con las propiedades que presentan las capas de la estructura de pavimento, tales como: pobre drenaje, presencia de suelos expansivos sin un adecuado control de los cambios en la humedad de los mismos, mala densificación de la subrasante, otros.

Mayor información sobre el Índice de Regularidad Internacional puede encontrarse en el documento: “Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI)”, elaborado por la Unidad de Investigación y Desarrollo Vial. Dicho documento y otros, pueden consultarse en la sección “Artículos Técnicos e Investigaciones” de la página web del Ministerio de Obras Públicas, Transporte y de Vivienda y Desarrollo Urbano, de El Salvador ([www.mop.gob.sv](http://www.mop.gob.sv)).

## 2.2. Importancia del IRI.

Tomando en cuenta que la regularidad de la capa de rodadura se relaciona con el desempeño de un pavimento, y además, es un parámetro que los conductores perciben fácilmente<sup>1</sup>, su importancia ha incrementado a todo nivel, tanto para los organismos encargados de la administración de carreteras, como para los usuarios de las mismas.

Para los organismos encargados de la administración de carreteras, es conveniente la construcción de vías que presenten una regularidad adecuada, en vista que la inversión relacionada con el mantenimiento de éstas a lo largo de su vida útil, tenderá a disminuir, obteniendo por lo tanto un beneficio económico. Cabe mencionar que el Technical Paper T 123S, “Alisado del Pavimento”, desarrollado por Astec Industries Inc., indica: “Los pavimentos con un mayor alisado inicial tienen costos anuales medios de mantenimiento más bajos en los 10 años siguientes a la construcción”<sup>5</sup>. De igual forma, además del beneficio económico derivado de la reducción de las actividades de mantenimiento, una disminución del 25 por ciento de la regularidad superficial de un pavimento, representa un incremento de la vida útil del mismo en al menos un nueve (9) por ciento<sup>6</sup>.

De acuerdo con el Departamento de Transporte de Washington (WSDOT), los conductores que circulan por carreteras que presentan una regularidad aceptable, obtienen una gama de beneficios, ya que la regularidad de un pavimento es una característica importante porque no solo afecta la calidad de viaje, sino que también los costos por retrasos, consumo de combustible y costo de mantenimiento de los vehículos. El Banco Mundial considera la regularidad superficial como un factor primario en el análisis e intercambio de información relacionada con la calidad de viaje vrs. costos de usuario (UMTRI, 1998)<sup>7</sup>.

## 2.3. El IRI en el desempeño de un pavimento.

Como se ha mencionado anteriormente, la regularidad de la capa de rodadura se relaciona con el desempeño de una estructura de pavimento a lo largo de su vida útil, ya que a medida la regularidad aumenta, las cargas dinámicas originadas por el tráfico también se incrementan, generando impactos que son transmitidos a la estructura del pavimento, acelerando el deterioro de la misma.

Actualmente, el Índice de Regularidad Internacional (IRI) forma parte de los parámetros recopilados en las bases de datos de las agencias que administran redes de carreteras, con la finalidad de contribuir en la planificación del mantenimiento de las carreteras de manera oportuna. Por lo anterior, la regularidad de un pavimento es frecuentemente utilizada como un índice de Calidad, ya que se ve influenciada por diversos daños que afectan a una carretera (ahuellamiento, agrietamiento, otros).

Es importante señalar que debido a la facilidad con la que se puede relacionar la serviciabilidad de un pavimento con la regularidad superficial del mismo, diversas instituciones han elaborado correlaciones entre estos dos parámetros, las cuales pueden ser empleadas en la etapa de diseño de un pavimento o durante el proceso de evaluación del estado de una carretera existente. Al

respecto, la Comisión de Diseño y Evaluación de Pavimentos de Chile, en su documento “Recomendaciones para el diseño de pavimentos en Chile según AASHTO” (1,997)<sup>8</sup>, presenta correlaciones entre dichos parámetros (IRI vrs. PSI), tales como las propuestas por D. Dujisin y A. A.royo:

Pavimentos flexibles:  $p = 5.85 - 1.68 \times (\text{IRI})^{0.5}$

Pavimentos rígidos:  $p = 7.10 - 2.19 \times (\text{IRI})^{0.5}$

Asimismo, en el documento antes citado se presenta otra correlación para pavimentos flexibles, propuesta por Patterson en el libro “Road Deterioration and Maintenance Effects”, la cual presenta resultados similares a la correlación propuesta por D. Dujisin y A. A.royo. Dicha correlación es la siguiente:

Pavimentos flexibles:  $p = 5 e^{-\text{IRI} / 5.5}$

Actualmente, debido a la importancia que el IRI ha tomado a nivel mundial, muchas agencias han incorporado el requerimiento de la regularidad superficial en sus especificaciones técnicas, así como en algunas metodologías de diseño de pavimentos, tales como las desarrolladas por el National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), donde ya se han incorporado modelos de predicción del IRI, en función del IRI inicial ( $\text{IRI}_0$ )<sup>9</sup> de una carretera. Dichas metodologías incorporan el valor de IRI obtenido inicialmente, y el subsecuente desarrollo de daños sobre el tiempo, en conjunto con otros factores tales como: tipo de material de subrasante, condiciones climáticas y agrietamiento de las capas de la estructura de pavimento.

### 3. Factores que inciden en la regularidad superficial de los pavimentos.

La regularidad de la capa superficial de un pavimento se ve influenciada por diversos factores, los cuales deben tenerse en cuenta desde la etapa de planificación de un proyecto, ya que dependiendo del adecuado manejo de éstos, así se obtendrá un producto final satisfactorio.

Algunos de los factores más incidentes en la regularidad de la capa superficial, a base de mezcla asfáltica en caliente, son los siguientes:

- Características de los materiales del terreno de fundación de la estructura del pavimento (subrasante).
- Regularidad superficial y condición de soporte de las capas subyacentes.
- Procesos utilizados en la construcción de la capa de mezcla asfáltica en caliente.

#### 3.1. Importancia de las características de los materiales del terreno de fundación de la estructura del pavimento (subrasante).

Los materiales que componen el terreno de fundación de la estructura del pavimento, juegan un papel importante en el desempeño de la superficie de rodadura, ya que dependiendo de las características y condiciones a las que estén expuestos dichos materiales a lo largo de la vida útil del pavimento, así será su incidencia en la formación de deterioros en las capas superiores y por consiguiente, **en la regularidad superficial**. Dichas incidencias se pueden evidenciar generalmente a mediano o a largo plazo, dependiendo de algunos factores, tales como: tipo y características de los materiales, condiciones de drenaje del proyecto, procesos constructivos implementados, otros.

Debido a lo anterior, es primordial que durante la etapa de planificación del proyecto sean tomados en cuenta todos esos factores, con la finalidad de contemplar medidas necesarias para que el proyecto cumpla con las expectativas en cuanto a su vida útil. Generalmente para un mismo período de tiempo, los pavimentos cuya subrasante está compuesta por suelos granulares, presentarán menores índices de deterioro que aquellas que presentan suelos finos con características plásticas; de igual forma, pavimentos que presenten un sistema de drenaje adecuado, se comportarán mejor, que aquellos que no lo tienen<sup>10</sup>.

Para el caso donde se utilicen suelos finos con características plásticas, cambios en el contenido de humedad generados por las estaciones de verano e invierno, provocarán variaciones volumétricas en las mismas, contribuyendo en gran medida el deterioro de la superficie de rodadura. La pérdida de humedad en los materiales ocasionará contracciones en los mismos, mientras que un incremento, causará que éstos se expandan.

La “Guía para Diseño Mecánico-Empírico de Estructuras de Pavimento Nuevas y Rehabilitadas” desarrollada por la NCHRP, en Marzo 2004, indica que la magnitud de los cambios volumétricos en suelos finos depende de las características del tipo de suelo (potencial de expansión-contracción) y su cambio en el contenido de humedad. Este cambio de volumen en suelos arcillosos resultará en agrietamientos longitudinales y en un incremento significativo de la

regularidad superficial a lo largo de la longitud del pavimento, debido a las deformaciones generadas <sup>1</sup> (ver Fotografía 1).



**Fotografía 1.** Deformaciones y agrietamientos en la capa de rodadura, originados por la presencia de materiales con características plásticas en las capas subyacentes.

### 3.2. Condición de soporte y regularidad superficial de la capa subyacente.

Algunas de las condiciones que inciden directamente en la regularidad de una superficie, es la regularidad de la capa subyacente y su capacidad de soporte. Es importante indicar que la influencia de dichas condiciones se puede evidenciar de manera inmediata al proceso de construcción de la capa.

Durante el proceso de construcción de la capa superficial, se deben tener en cuenta las provisiones necesarias para que la capa subyacente reúna todos los requerimientos de Calidad (humedad, densidad, soporte, otros.), de tal forma que el equipo de construcción no se vea afectado por condiciones deficientes al momento de la construcción de la capa; de lo contrario, se pueden generar deficiencias en cuanto al espesor, densificación y **regularidad de la capa de mezcla asfáltica.**

Otra condición muy importante es la regularidad que presente la capa subyacente, ya que ésta afectará directamente la regularidad de la capa superficial. En dado caso se cuente con una capa subyacente que tenga una regularidad importante (ver Fotografía 2), puede ser necesario colocar más de una capa de mezcla, con la finalidad de mejorar continuamente la regularidad entre las mismas. De acuerdo a lo indicado en el Technical Paper T-123S, “Alisado del Pavimento”<sup>5</sup>, la regularidad obtenida al realizar la construcción de una segunda capa de mezcla asfáltica, se ve mejorada hasta en un 50% respecto a la regularidad de la superficie original.

Debido a lo anterior, para los proyectos que contemplen la colocación de una capa de mezcla asfáltica y existan requerimientos en cuanto a la regularidad de la misma, es necesario que sus Especificaciones Técnicas consideren la condición de la superficie de pavimento existente, a menos que el proyecto contemple la reconstrucción de la capa subyacente, el fresado de la capa existente o se lleve a cabo la construcción de la capa de mezcla en varias etapas (dos capas o más)<sup>11</sup>.



**Fotografía 2.** Capa sobre la que se apoyará la capa de rodadura, con irregularidades importantes.

### **3.3. Procesos utilizados en la construcción de una capa de mezcla asfáltica en caliente.**

La etapa de construcción de la capa de rodadura del pavimento es la fase más incidente en la obtención de una regularidad superficial, ya que existen una amplia variedad de factores que pueden afectar el proceso constructivo. A continuación se mencionan algunos aspectos importantes a considerar en los diversos procesos empleados en la construcción de la capa superficial, construida a base de mezcla asfáltica en caliente.

✓ **Suministro de mezcla asfáltica.**

Un adecuado suministro de mezcla asfáltica en caliente es algo esencial durante la construcción de una capa de rodadura, ya que con ello se contribuye a disminuir la pérdida de temperatura de la mezcla durante el transporte hacia el sitio de pavimentación y se favorece a la eficiencia en la colocación de la misma, entre otros.

Las actividades de suministro de mezcla asfáltica en caliente se encuentran relacionadas con diversas variables, las cuales deben ser planificadas debidamente con la finalidad que la mezcla asfáltica sea entregada conforme a requerimientos (temperatura adecuada, sin contaminación, otros) y a una frecuencia adecuada. Algunas de las variables que inciden en el suministro de mezcla asfáltica son: características del proyecto en construcción (espesor de capa(s) de mezcla, cantidad de carriles a construir, otros), cantidad de camiones disponibles, y distancia al sitio de pavimentación.

Como se mencionó anteriormente, uno de los objetivos que se buscan al realizar un suministro de mezcla adecuado es evitar la pérdida en la temperatura de la mezcla, ya que ante pérdidas de temperatura considerables se ocasionarían dificultades durante el proceso de compactación y acabado de la capa recién colocada. Lo anterior debido a las características elastoplásticas del ligante asfáltico, ya que a medida éste pierde su temperatura, se vuelve más viscoso, y por consiguiente, la mezcla asfáltica pierde trabajabilidad, lo cual pudiese **afectar la regularidad de la capa**.

La pérdida de temperatura de la mezcla asfáltica se puede dar principalmente por las siguientes causas: a) tiempo excesivo de espera de los camiones en el sitio de pavimentación previo a la descarga de la mezcla; b) falta o deficiente protección de la cama del camión durante el acarreo de la mezcla, en condiciones ambientales desfavorables y para grandes distancias; y c) excesiva distancia de acarreo.

Cabe mencionar que normalmente no existen restricciones en cuanto a la distancia en que una mezcla asfáltica puede ser transportada, ya que existen diversos factores que inciden en la pérdida de temperatura de la misma, relacionados principalmente con las condiciones ambientales y las medidas de protección de la mezcla implementadas en el transporte; sin embargo, una mezcla confinada en un camión, puede mantener una temperatura razonable por un período de tiempo de 2 a 3 horas<sup>11</sup>. Es importante indicar que algunos organismos limitan la distancia de acarreo de la mezcla asfáltica en caliente, tal es el caso de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte de México, la que en su normativa limita a “sesenta (60) kilómetros como máximo, la que se reducirá un diez (10) por ciento por cada grado de pendiente ascendente, medida como el nivel de la planta de mezclado y el punto de tiro, dividido entre la longitud del transporte”<sup>12</sup>.

Un aspecto que debe tomarse en cuenta durante las actividades de suministro, es que la mezcla asfáltica tenga un tiempo de “curado” suficiente, de tal forma que se permita que los agregados completen el proceso de absorción de asfalto<sup>16</sup>. Dicho tiempo debe ser definido durante el diseño de la mezcla asfáltica.

A raíz de lo antes indicado, se recomienda que la frecuencia de los camiones que trasladan la mezcla sea adecuada, de tal forma que no se generen paradas continuas del tren de pavimentación debido a una falta de mezcla (suministro deficiente de mezcla), y que éstos no permanezcan en espera por un considerable período de tiempo en el sitio de pavimentación, previo a descargar la mezcla a la pavimentadora (suministro excesivo de mezcla), pero que dicho período sea suficiente para que la mezcla haya “curado”. Asimismo, es recomendable que el compartimiento de los camiones que transportan la mezcla se encuentre protegido adecuadamente, con la finalidad de minimizar la pérdida de temperatura debido al viento y a la lluvia<sup>11</sup>, y se aproveche al máximo la temperatura de la mezcla.

Es importante destacar que un adecuado suministro de mezcla asfáltica al sitio de pavimentación, evitaría paradas continuas de la pavimentadora, **mejorando la regularidad de la superficie de rodadura**. Lo anterior, será abordado ampliamente en las secciones siguientes.

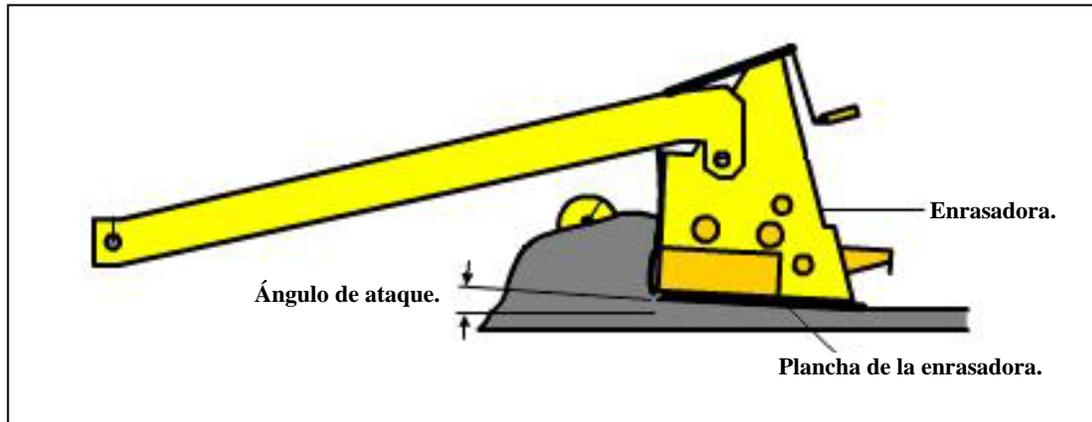
#### ✓ *Colocación de la mezcla.*

En la construcción de una capa de rodadura a base de mezcla asfáltica en caliente, la colocación de la mezcla es la parte del proceso de construcción que más puede incidir en la regularidad de la capa a construir, por lo que hay que prestar mucha atención a los procesos que se implementan y en la planificación de actividades por parte del personal de dirección del proyecto.

El objetivo principal del proceso de colocación de una mezcla asfáltica es el de producir una capa con una regularidad aceptable, sin muestras de segregación, con textura uniforme, en el ancho, pendiente, peralte y espesor deseados<sup>11</sup>. Debido a la cantidad de variables por controlar, es indispensable la presencia de personal clave con experiencia y conocimiento sobre las actividades de colocación de mezcla, lo cual es de vital importancia en la toma de decisiones acertadas y de manera oportuna.

Un aspecto muy importante a tomar en cuenta durante el proceso del tendido de la mezcla es tener pleno conocimiento sobre la forma en que interactúan los componentes principales de la pavimentadora, en especial los vinculados con la unidad donde se encuentra la enrasadora de la mezcla (en adelante: “unidad de la enrasadora”), la cual se encarga entre otros, de brindar un acabado preliminar a la mezcla recién colocada y darle una precompactación utilizando su peso, y en algunos casos, en conjunto con dispositivos vibratorios incorporados.

De manera general, entre algunos de los controles que deben implementarse durante las actividades de colocación de la mezcla asfáltica, se encuentran los relacionados con las acciones que afectan las fuerzas que actúan en la unidad de la enrasadora, entre las que podemos mencionar: velocidad de la pavimentadora, cantidad de mezcla en frente a la enrasadora y elevación del punto de remolque (sector donde se une la unidad que remolca a la unidad de la enrasadora, en adelante: “unidad tractora”). Las acciones anteriores inciden directamente en el ángulo de ataque de la enrasadora (ángulo formado entre la enrasadora y la superficie donde se coloca la capa de mezcla, ver Figura 2), el cual debe modificarse lo menos posible, para evitar variaciones en el espesor de mezcla y por ende, de la **regularidad de la capa**.

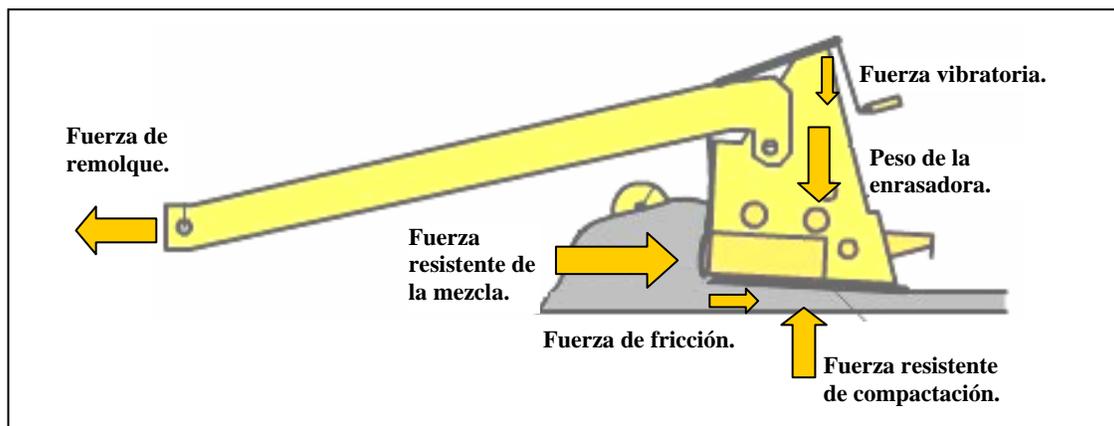


**Figura 2.** Identificación del ángulo de ataque de la enrasadora.

Figura adaptada de WS DOT Pavement Guide. Dirección electrónica:

[http://training.ce.washington.edu/wsdot/Modules/07\\_construction/07-5\\_body.htm](http://training.ce.washington.edu/wsdot/Modules/07_construction/07-5_body.htm)

En la Figura 3 se muestran las fuerzas que se generan en la unidad de la enrasadora durante el proceso de colocación de la mezcla asfáltica, las cuales deben encontrarse en equilibrio con la finalidad de no causar modificaciones en el ángulo de ataque de la enrasadora. Como se esquematiza en dicha figura, las fuerzas que más inciden en la unidad de la enrasadora son las correspondientes a la fuerza de remolque (la cual incrementará directamente con el aumento de la velocidad de la unidad tractora) y la fuerza generada por la resistencia de la mezcla al frente de la enrasadora (la cual aumentará a medida incrementa la cantidad de mezcla en el compartimiento donde se encuentran los tornillos distribuidores de la mezcla). En vista de lo anterior, es importante tener control sobre dichas fuerzas, ya que éstas pueden incidir considerablemente en la generación de deformaciones indeseables en la capa que esta siendo construída. Es importante mencionar que ante cualquier modificación de las fuerzas que actúan en la unidad de la enrasadora, el ángulo de ataque cambiará, y por consiguiente deberán hacerse los ajustes pertinentes para no generar cambios en el espesor de la mezcla colocada.



**Figura 3.** Fuerzas que se generan en la unidad de la enrasadora durante la colocación de la mezcla asfáltica en caliente. Figura adaptada de WS DOT Pavement Guide. Dirección:

[http://training.ce.washington.edu/wsdot/Modules/07\\_construction/07-5\\_body.htm](http://training.ce.washington.edu/wsdot/Modules/07_construction/07-5_body.htm)

A continuación, se indican algunas prácticas a las que debe prestársele mucha atención durante el proceso de tendido de una capa de mezcla asfáltica en caliente. **Dichas prácticas si son ejecutadas de manera incorrecta, inciden negativamente en la regularidad de la capa en construcción, por lo que es recomendable que éstas sean minimizadas o evitadas, a fin de obtener una mejor regularidad superficial.**

- **Descarga de la mezcla asfáltica en la pavimentadora.**

Es común que en los proyectos de carreteras, el suministro de mezcla asfáltica se realice a través de camiones de volteo con descarga trasera, los cuales depositan la mezcla directamente en la tolva de almacenamiento temporal de la pavimentadora (ubicada al frente de ésta). Usualmente cuando se utiliza dicho procedimiento, algunas prácticas observadas son las siguientes: a) **El camión retrocede hasta hacer contacto con el frente de la pavimentadora**<sup>11</sup>; luego, la cama del camión es inclinada para comenzar la descarga de la mezcla; b) Los **conductores de los camiones olvidan liberar los frenos** oportunamente restringiendo el libre avance de la pavimentadora<sup>11</sup> y c) Se emplean **camiones de gran tamaño**, difíciles de empujar por la pavimentadora al momento de la descarga; los cuales transmiten parte del peso del camión a la pavimentadora<sup>11</sup>.

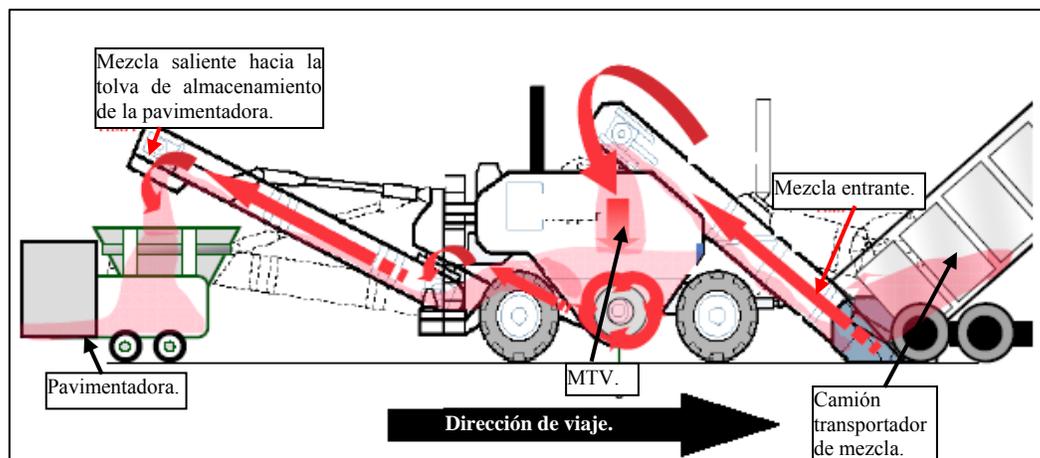
Las prácticas antes descritas no son recomendables, ya que generan golpes y restricciones en la circulación de la pavimentadora, las cuales inducirán fuerzas en la misma, pudiendo originar la formación de franjas transversales en el sector de la enrasadora (ver Fotografía 3); así como modificar el ángulo de ataque, afectando el espesor de la capa de mezcla asfáltica colocada y **por ende la regularidad de la misma.**

Algunas recomendaciones útiles para evitar problemas de este tipo, son las siguientes:

- Los camiones de volteo deben retroceder levantando ligeramente la cama, luego detenerse justo antes de hacer contacto con la pavimentadora, y ser ésta quien haga contacto y en seguida empuje al camión<sup>11</sup>. Los conductores de los camiones que trasladan la mezcla asfáltica, no deben olvidar liberar los frenos cuando la pavimentadora haga contacto con éstos.
- Emplear camiones de tamaño acorde a la pavimentadora utilizada, de tal forma que éstos generen la menor restricción posible al avance de la pavimentadora, y no transmitan un exceso de peso a la misma.
- Considerar la implementación de vehículos para la transferencia de material (“Material Transfer Vehicle”, MTV por sus siglas en inglés), los cuales transportan la mezcla hacia la pavimentadora sin que los camiones hagan contacto con ésta (ver Figura 4). Adicionalmente, este tipo de equipo mantiene un flujo de mezcla asfáltica uniforme, lo cual ayuda a mejorar la regularidad de la capa, debido a que permite a la pavimentadora avanzar sin parar continuamente<sup>11</sup>.



**Fotografía 3.** Marcas transversales formadas en la capa de mezcla recién tendida, originadas por la enrasadora cuando realiza un deficiente proceso de descarga de la mezcla.



**Figura 4.** Esquema de funcionamiento de vehículos para la transferencia de material (MTV, por sus siglas en inglés). Figura adaptada del documento: “Construyendo pavimentos asfálticos de calidad”<sup>13</sup>.

- **Movilización de la mezcla asfáltica almacenada, a través de la pavimentadora.**

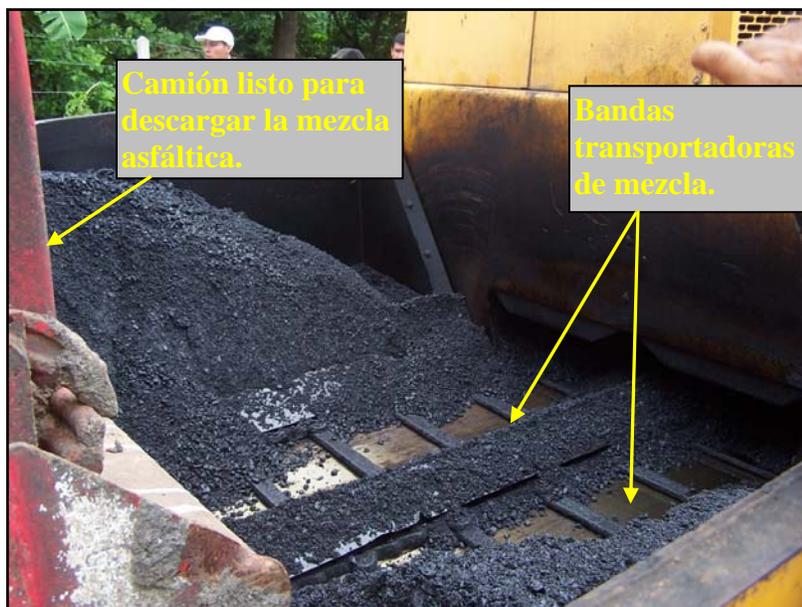
La mezcla asfáltica es movilizada a través de la pavimentadora mediante bandas transportadoras, las cuales se encargan de transportar la mezcla asfáltica desde la tolva de almacenamiento temporal de la pavimentadora hacia la cámara donde se encuentran los tornillos de distribución, los cuales movilizan la mezcla asfáltica en todo lo ancho de la enrasadora.

Para esta parte del proceso de colocación de mezcla, algunas prácticas que deben evitarse son la generación de operaciones intermitentes de la banda transportadora y de los tornillos de

distribución, así como el vaciado completo de la tolva de almacenamiento temporal de mezcla (ver Fotografía 4). Usualmente, las prácticas anteriores generarán cantidades variables de mezcla al frente de la enrasadora, lo cual alterará la fuerza restrictiva generada por la mezcla asfáltica y modificará el ángulo de ataque de la enrasadora. Lo anterior, podría originar sectores con diferente espesor de mezcla colocada, **afectando la regularidad de la superficie**.

Algunas recomendaciones para minimizar los efectos mencionados son:

- Mantener un flujo constante de mezcla circulando por las bandas transportadoras y los tornillos de distribución, procurando que el nivel de la mezcla en la cámara de los tornillos no sea modificado considerablemente y se encuentre aproximadamente a la altura del eje de los mismos<sup>11</sup>.
- Procurar que el nivel de la mezcla en la tolva de almacenamiento temporal, no baje del nivel superior de las compuertas de la tolva de almacenamiento temporal (ver Fotografía 5) y se mantenga a la mitad de la capacidad de la tolva<sup>11</sup>.
- Establecer y operar adecuadamente el sistema de alimentación de la pavimentadora, según el suministro de mezcla planificado, de tal forma que las bandas transportadoras y los tornillos de distribución, operen de manera continua y que en pocas ocasiones sean detenidos<sup>11</sup>.
- Cuando no se cuente con una pavimentadora que tenga un sistema de alimentación automático para regular la cantidad de mezcla al frente de la enrasadora, una práctica comúnmente utilizada es modificar la abertura de las compuertas de la tolva de almacenamiento temporal (ver Fotografía 5), con la finalidad que las bandas transportadoras trabajen el mayor tiempo posible.



**Fotografía 4.** Tolva de almacenamiento temporal de mezcla casi vacía entre el proceso de descarga de camiones.

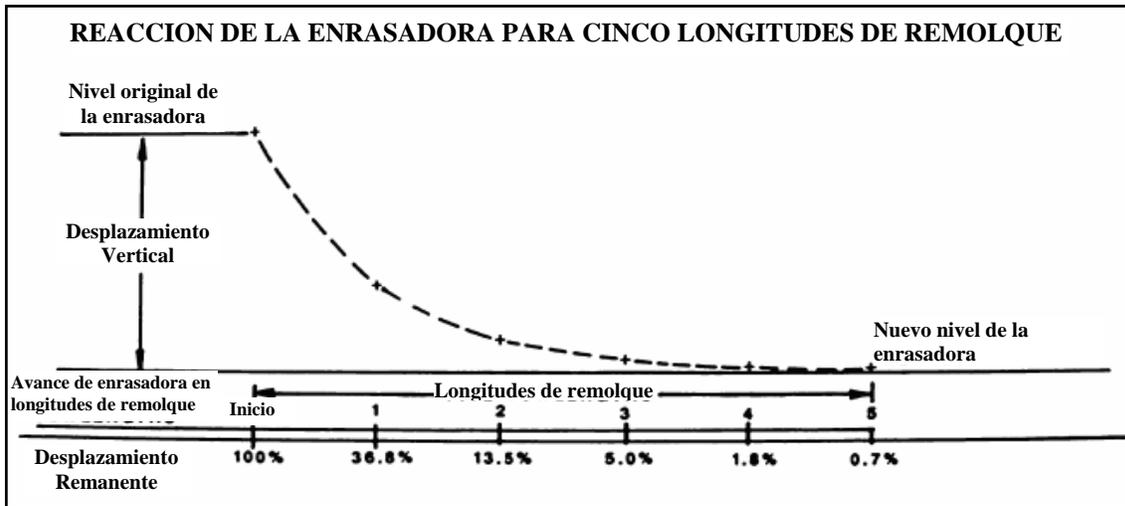


**Fotografía 5.** Mezcla asfáltica abajo del nivel superior de la compuerta de la tolva de almacenamiento temporal.

- **Modificación de la altura de la enrasadora.**

Durante el proceso de colocación de mezcla, existe la tendencia por parte de los operadores de la pavimentadora a manipular continuamente las manecillas para el control de la elevación de la altura de la enrasadora. Es importante destacar que luego de modificar la altura de la enrasadora (espesor de mezcla asfáltica colocada), el tiempo de reacción de la enrasadora no es instantáneo, por lo que las modificaciones del espesor realizadas en un lugar determinado, se reflejarán unos cuantos metros adelante<sup>11</sup>.

De acuerdo a lo indicado en Hot Mix Asphalt Paving, Handbook 2000, después que el nivel de la enrasadora ha sido modificado, toma aproximadamente cinco veces la longitud de los brazos de nivelación de la enrasadora (longitud de remolque) para completar el 99 por ciento del cambio, hacia arriba o abajo de la nueva elevación. Esto significa que si la longitud de los brazos de nivelación de la enrasadora es de 3m (longitud de remolque), la pavimentadora debe moverse al menos 15 metros para alcanzar el espesor deseado (ver Figura 5)<sup>11</sup>.

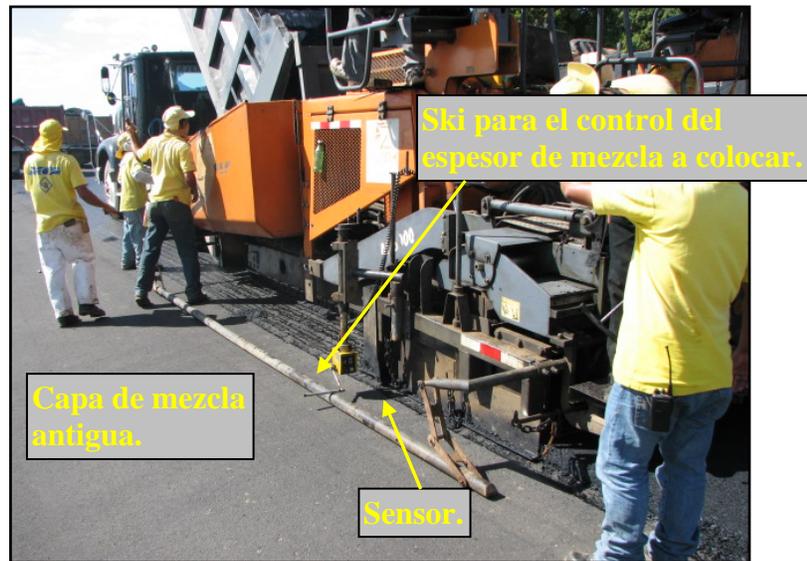


**Figura 5.** Reacción de la enrasadora en cinco longitudes de remolque.  
Figura adaptada de Handbook 2002<sup>11</sup>.

Es importante mencionar que modificaciones continuas en el espesor de mezcla colocada, conlleva variaciones en el ángulo de ataque de la enrasadora, lo cual provocará deformaciones en la capa colocada. La presencia de constantes cambios de nivel, **afectará directamente la regularidad superficial**<sup>11</sup>.

Algunas medidas para evitar variaciones involuntarias en el espesor de mezcla colocada, son:

- Modificar la altura de la enrasadora sólo cuando sea necesario, y procurar que la cantidad de mezcla asfáltica al frente de la enrasadora permanezca constante<sup>11</sup>.
- Utilizar controles automáticos para la pavimentación (ver Fotografía 6) con la debida asesoría técnica, ya que el buen uso de éstos permitirá la colocación de espesores uniformes de mezcla.
- Tener una superficie de apoyo (capa subyacente) bien perfilada.



**Fotografía 6.** Equipo automático (esquí) instalado en la pavimentadora, que contribuye en el control de espesores.

- **Velocidad variable de la pavimentadora.**

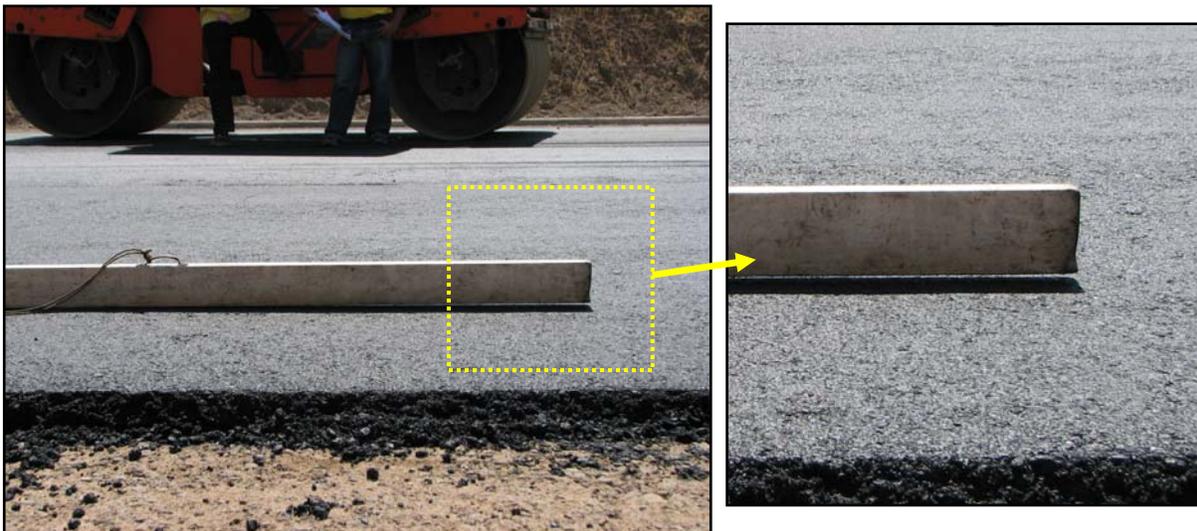
Cuando el suministro de mezcla asfáltica se lleva a cabo por medio de camiones de volteo con descarga trasera, es usual observar que la velocidad de la pavimentadora disminuya parcial o totalmente al momento que los camiones realicen la descarga de la mezcla. La situación antes descrita puede modificar las fuerzas actuantes en la pavimentadora, lo cual afectará el ángulo de ataque de la enrasadora y generará cambios de nivel en la capa colocada (depresiones o protuberancias, ver Fotografía 7), **afectando directamente la regularidad superficial de la capa en construcción.**

Para minimizar los efectos generados por la velocidad de la pavimentadora, se puede tomar en cuenta lo siguiente:

- Operar la pavimentadora a una velocidad constante, procurando interrumpir las actividades solamente cuando no haya suministro de mezcla y al finalizar la jornada laboral. Adicionalmente, sobre este aspecto el Handbook 2000, indica que la clave para la colocación de una capa de pavimento con una buena regularidad, es mantener una cantidad constante de material frente a la enrasadora, lo cual se logra principalmente manteniendo las bandas transportadoras y tornillos de distribución trabajando sin interrupciones<sup>11</sup>.
- Cuando se utilicen camiones de volteo con descarga trasera, las actividades de tendido de la mezcla deben llevarse a cabo de la manera más eficiente posible, para que la pavimentadora sea capaz de mantener su velocidad. Para lograr lo anterior, es recomendable que mientras los camiones se aproximen hacia la tolva de almacenamiento de la pavimentadora, vayan levantando la cama donde se transporta la mezcla, de tal forma que se agilice el proceso de

descarga del camión y se genere un menor impacto en la tolva cuando la pavimentadora hace contacto con el camión<sup>11</sup>.

- Manejar eficientemente el suministro de mezcla a la zona de pavimentación, con la finalidad de no producir períodos de espera.
- En el caso que se disminuya la velocidad de la pavimentadora, el operador deberá regresar a la velocidad deseada tan pronto le sea posible, para que el ángulo de ataque de la enrasadora regrese a su posición original, rápidamente<sup>11</sup>.
- Cuando sea necesario disminuir totalmente la velocidad de la pavimentadora, se debe implementar el procedimiento de “paradas rápidas, inicios rápidos”, lo cual se ha demostrado que genera una buena regularidad y un espesor de material consistente<sup>11</sup>. Para lo anterior, también debe considerarse mantener la tolva de almacenamiento temporal al menos a la mitad de su capacidad, y así, no modificar sustancialmente las fuerzas que se aplican a la unidad de la enrasadora<sup>14</sup>.



**Fotografía 7.** Deformación en la capa de mezcla recién compactada, originada por variaciones en el ángulo de ataque de la enrasadora.

- **Movimiento de las alas de la tolva de almacenamiento temporal de mezcla.**

Usualmente en nuestro medio, una práctica utilizada en el proceso de colocación de mezcla, es cerrar las alas de la tolva de almacenamiento temporal entre descargas de camiones (ver Fotografía 8), con la finalidad de remover los remanentes de mezcla que tienden a acumularse en las esquinas de la tolva. Cabe indicar que cada vez que se cierran y abren las alas de la tolva de almacenamiento, se generan movimientos en el equipo que pueden inducir fuerzas que modifican el nivel de la enrasadora, lo cual puede contribuir a la formación de marcas en la mezcla que esta siendo colocada y posibles modificaciones en el espesor de la capa.

Con la finalidad de minimizar los efectos antes mencionados, es necesario implementar las siguientes prácticas:

- Cerrar las alas de la tolva de almacenamiento temporal con la menor frecuencia posible o hasta el final de la jornada<sup>11</sup>.
- Procurar mantener una cantidad constante de mezcla en la tolva de almacenamiento a una temperatura adecuada, con la finalidad de evitar que se generen remanentes de mezcla fría en las esquinas de la tolva, y así no haya necesidad de cerrar frecuentemente las alas de la tolva para retirarlos.



**Fotografía 8.** Tolva de almacenamiento temporal de la pavimentadora con las alas cerradas.

#### ✓ **Compactación.**

El proceso de compactación de una mezcla asfáltica es una fase muy importante dentro de la construcción de una capa de rodadura, ya que si la densificación que se le provea a la misma es inadecuada, el desempeño de ésta durante su vida útil será deficiente. Adicionalmente, los procedimientos empleados en la compactación de una capa de mezcla asfáltica inciden en la regularidad de un pavimento, a tal grado que un mal proceso puede ir en detrimento de la misma, independientemente si los procesos previos (transporte y colocación de la mezcla) hayan sido realizados adecuadamente.

Respecto a los procesos que inciden en la regularidad, un factor que hay que tomar en cuenta es el adecuado empleo de los rodos vibratorios metálicos, en vista que dependiendo del uso de éstos, se pueden generar deformaciones en la mezcla debido a los impactos originados durante el

proceso<sup>15</sup>. La incidencia que puede generar el espaciamiento entre los impactos del tambor vibratorio, es más relevante cuando se utilizan los rodos metálicos en la “compactación inicial”, ya que la densificación que presenta la mezcla al inicio del proceso es menor y las deformaciones generadas por el rodo son mayores, **pudiendo incidir en la regularidad de la capa.**

Previo a dar inicio al proceso de pavimentación, es importante tener conocimiento sobre las dimensiones y el peso del equipo, así como de la amplitud y frecuencia de vibración. Lo anterior, se lleva a cabo con la finalidad de determinar la velocidad de compactación apropiada, para que el equipo provea la mayor ganancia de densidad por cada pasada y se genere una regularidad adecuada de la capa.

Muchos fabricantes de rodos compactadores, sugieren que el espaciamiento ideal entre impactos del tambor es en el rango de 30 a 40 impactos por metro (10 a 12 impactos por pie de longitud). Este espaciamiento puede ser determinado a partir de la relación entre la velocidad del equipo (m/min) y la frecuencia de vibración del tambor<sup>11</sup>.

Por ejemplo, si se requiere conocer la velocidad a la que se debe desplazar un equipo compactador que tiene una frecuencia de vibración de 2520 impactos/minuto, de tal forma que genere un espaciamiento de 30 impactos por metro (equivalente a tener impactos aproximadamente a cada 0.033m), se parte de la siguiente relación:

Espaciamiento = Velocidad del equipo / Frecuencia de vibración

Despejando se tiene:

Velocidad del equipo = Espaciamiento \* Frecuencia de vibración

Sustituyendo:

$$\begin{aligned} \text{Velocidad del equipo} &= 0.033 \text{ m} * 2520 \text{ impactos/minuto} \\ &= 84 \text{ m/minuto} \approx 5 \text{ km/h} \end{aligned}$$

Por lo tanto, el equipo compactador se debe desplazar a una velocidad de aproximadamente 5 km/h para generar 30 impactos/metro en la capa de mezcla asfáltica a compactar.

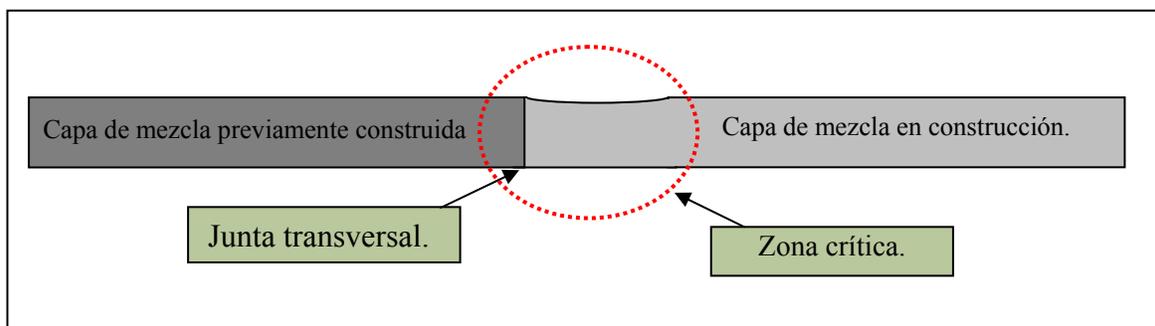
✓ **Otros aspectos a considerar para la obtención de una buena regularidad.**

• **Construcción de juntas transversales.**

La construcción de juntas transversales juega un papel relevante en la regularidad superficial de una capa de rodadura, ya que si no se les da la atención debida al momento de su construcción, se generarán deformaciones en la zona de junta, **lo cual afectará directamente la regularidad de la capa.** Debido a lo anterior, dentro de la planificación de un proyecto se debe considerar la construcción de la menor cantidad de juntas transversales.

Durante la construcción de una junta transversal el factor primordial que debe tenerse en cuenta para no afectar la regularidad superficial, es la colocación de un espesor adecuado de mezcla en la zona de junta, de tal forma que cuando ésta sea densificada por el equipo de compactación, no se genere una diferencia de nivel que incida en la regularidad, la cual se puede manifestar en una depresión o protuberancia dependiendo si en la zona se coloca menos o más mezcla de la necesaria, respectivamente.

Es importante mencionar, que en caso se coloque un espesor de mezcla inferior al necesario en la zona de junta, la regularidad puede incrementar significativamente con el paso del tiempo, a medida que la mezcla colocada se densifique debido al tráfico (ver Figura 6). La condición anterior se puede generar cuando los operadores de la pavimentadora colocan la enrasadora directamente sobre la capa de mezcla asfáltica previamente construida (ver Fotografía 9), y luego modifican el espesor a medida la pavimentadora avanza.



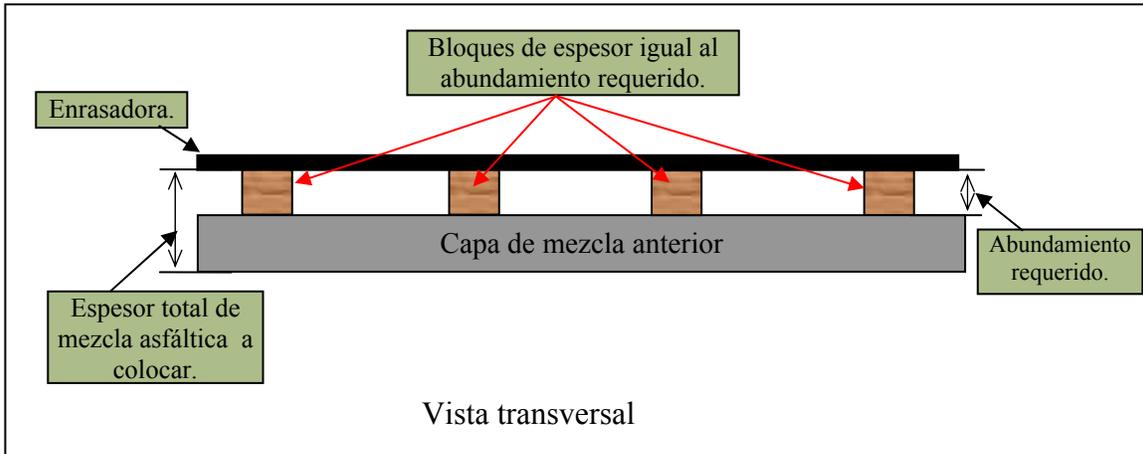
**Figura 6.** Deformación en zona de junta transversal debido a la colocación de un espesor suelto de mezcla inferior al requerido.

Dentro de los aspectos generales que se deben tomar en cuenta, respecto a la construcción de juntas transversales se tienen los siguientes:

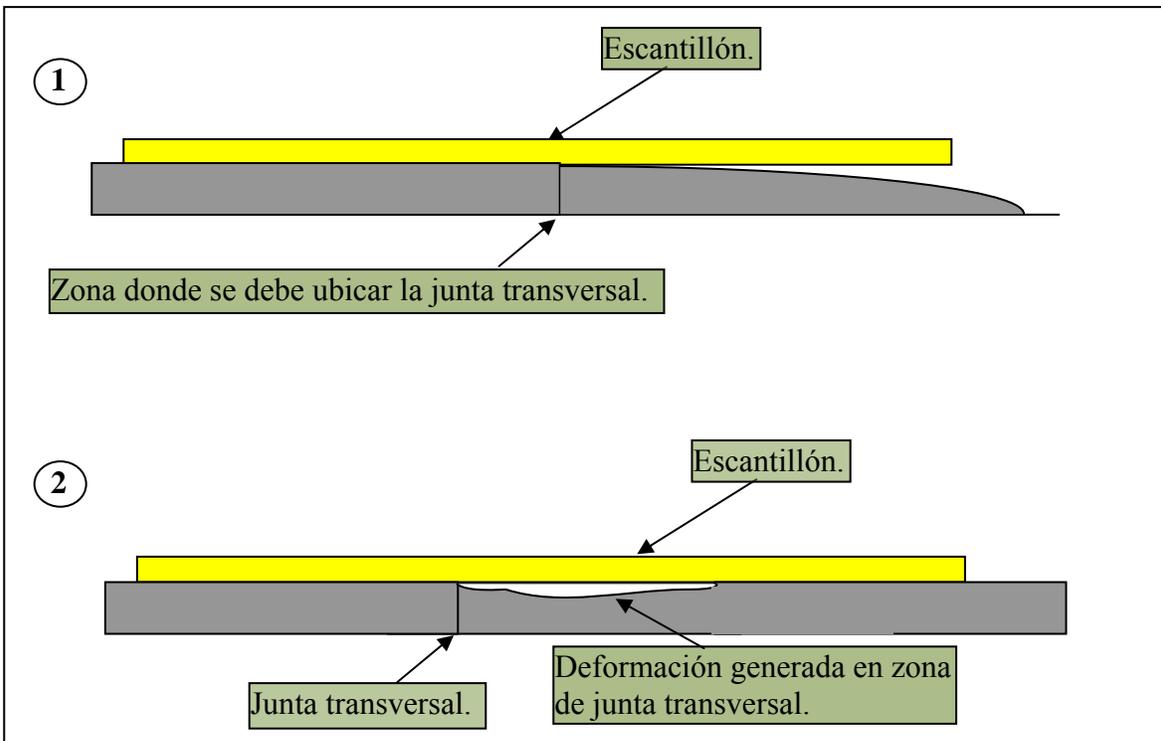
- Colocar un adecuado espesor de mezcla suelta en la zona de junta. Un buen estimado del espesor de mezcla suelta requerida se puede obtener si se considera que por cada pulgada de espesor compactado requerido, se debe adicionar un cuarto de pulgada al espesor suelto. Para lo anterior, es recomendable colocar trozos o bloques de madera sobre la capa de mezcla antigua (específicamente abajo la enrasadora de la pavimentadora), de tal forma que se genere desde el inicio de la colocación, el espesor suelto requerido<sup>11</sup> (ver Figura 7). Es importante indicar que para una enrasadora de 3.65m de ancho con extensiones rígidas, deben ser

utilizados al menos cuatro bloques de madera. Si el ancho de la enrasadora con extensiones rígidas es mayor que 3.65m, deben ser utilizados cinco o seis bloques<sup>11</sup>.

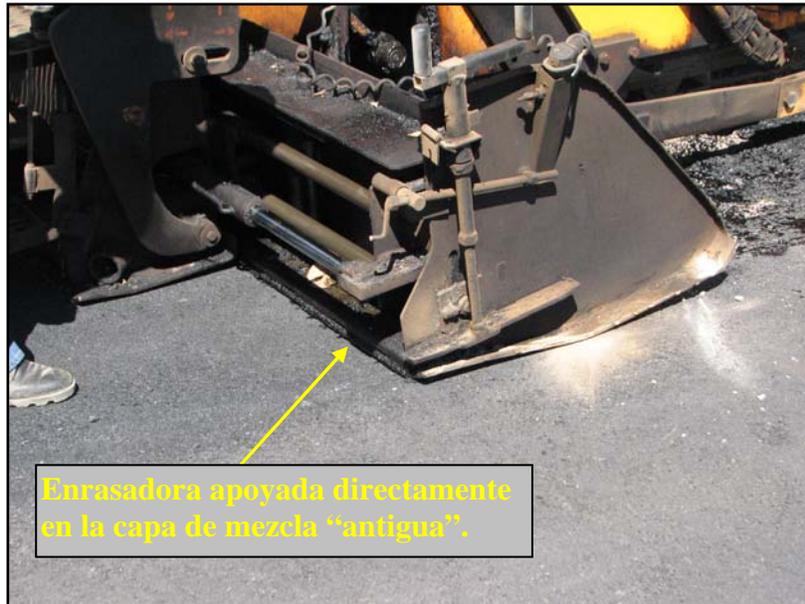
- Definir la ubicación de la junta transversal utilizando un escantillón y utilizar éste posterior a la compactación, para verificar si existen irregularidades en la junta (ver Figura 8 y Fotografía 10)<sup>11</sup>.



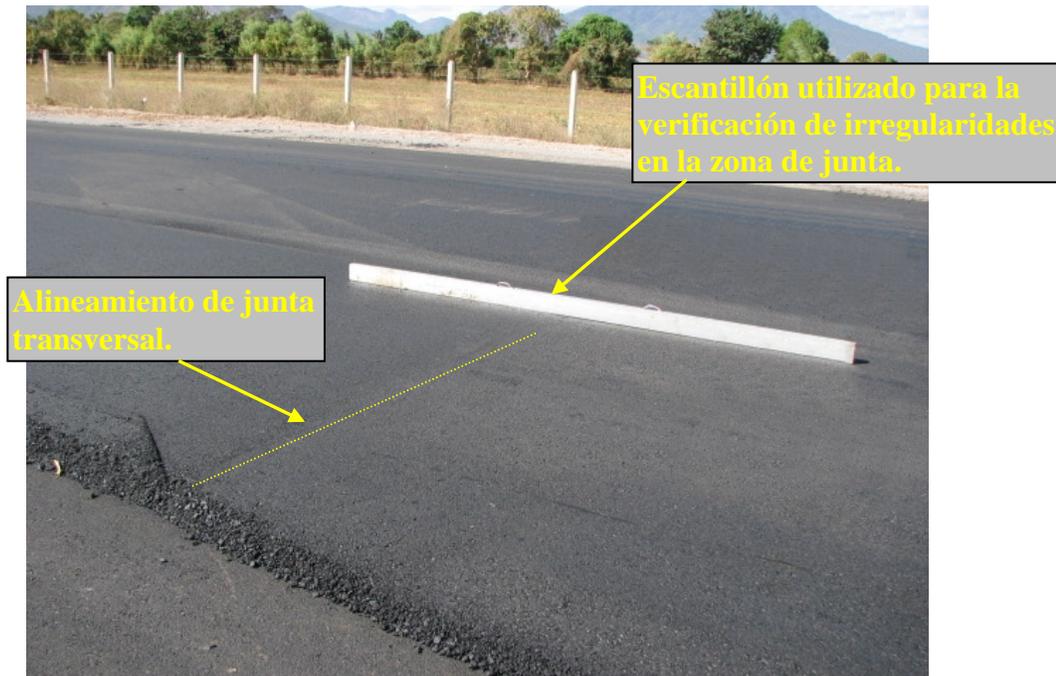
**Figura 7.** Disposición de elementos de madera sobre la capa de mezcla asfáltica previamente construida, con la finalidad de generar el espesor suelto requerido en la zona de una junta transversal.



**Figura 8.** Uso de escantillón para: **1.** Ubicación de junta transversal, obsérvese la disminución de la capa colocada en su extremo; y **2.** Verificar irregularidades en la zona de la junta transversal.



**Fotografía 9.** Enrasadora apoyada directamente en la capa de mezcla asfáltica construida previamente, lo cual generará un espesor de mezcla inferior al requerido.



**Fotografía 10.** Verificación de irregularidades en zona de junta transversal, mediante el empleo de un escantillón.

- **Transiciones de espesor de mezcla.**

Eventualmente, debido a requerimientos del proyecto o de las condiciones de la regularidad de la superficie existente, es necesario realizar transiciones en el espesor de la capa de mezcla asfáltica, ante lo cual, se debe procurar que éstas afecten lo menos posible la regularidad de la capa a colocar.

Para la construcción de una transición en cuanto al espesor en la mezcla colocada, se debe procurar realizar ajustes graduales en los niveles de la enrasadora, en una distancia que contribuya en la obtención de una transición suave<sup>11</sup>. Los cambios bruscos de espesor, que conllevan variaciones en la altura de la enrasadora modificará considerablemente el ángulo de ataque de la misma, lo cual puede llegar a producir deformaciones, debido a la falta o exceso de mezcla al frente de la enrasadora, **afectando la regularidad superficial**.

- **Tramo de prueba.**

Es importante mencionar que las diferentes prácticas a implementar en la construcción de una capa de rodadura deben ser evaluadas oportunamente a partir de la elaboración de un **tramo de prueba**, el cual usualmente se construye previo al inicio de las actividades de construcción. Dicho tramo contribuye a mejorar la eficiencia de las actividades constructivas, así como en la obtención de un producto final de calidad. Es recomendable que dicho tramo sea de una longitud tal, que permita definir adecuadamente todos los procesos de control de calidad propuestos (al menos 300m de longitud), tales como: suministro de mezcla asfáltica, descarga de la mezcla asfáltica a la pavimentadora, colocación de la mezcla, compactación de la capa (patrón de compactación para alcanzar el grado de compactación requerido), temperaturas, espesores, otros.

#### 4. Referencias.

1. “Guide for Mechanistic – Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures”, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, National Research Council. March 2,004.
2. “The little book of profiling”, M.W. Sayers and S.M. Karamihas, Report from The University of Michigan Transportation Research Institute, Sept. 1,998.
3. “Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements”, World Bank Technical Paper Number 46, 1,986.
4. “Standard Practice for computing International Roughness Index of roads from longitudinal profile measurements”, ASTM E1926-98.
5. “Alisado del Pavimento”, Technical Paper T-123S, J. Don Brock, P.E., Astec Industries, Inc.
6. “Smoothness specifications for pavements”. Final Report, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board and National Research Council; K.L. Smith, K.D. Smith, L.D. Evans, T.E. Hoerner, and M.I. Darter; 1,997.
7. “WSDOT Pavement Guide, Pavement Evaluation”, Module 9, Washintong State Department of Transportation, Roughness.
8. “Recomendaciones para el diseño de pavimentos en Chile según AASHTO” (1,997).
9. “Pavement Smoothness Index Relationships: Final Report”, PUBLICATION NO. FHWA-RD-02-057, US Department of Transportation, Federal Highway Administration.
10. “Roughness Trends at C-SHRP LTPP Sites, Canadian Strategic Highway Research Program (C-SHRP)”, C-SHRP Technical Brief #18.
11. “Hot Mix Asphalt Paving, Handbook 2,000”. U.S. Army Corps of Engineers, et al.
12. Normativa para la Infraestructura del Transporte (Normativa SCT), Libro: CTR. Construcción; 006. Carpetas Asfálticas con Mezcla en Caliente (N-CTR-CAR-1-04-006-08 SCT), México, 2,008.
13. “Construyendo pavimentos asfálticos de calidad”, Ing. Paul Lavaud Aguirre, ROADTEC, INC, 2,006.
14. “Making smooth pavements”, FPI Newsletter, Vol 7, No. 3, October 1, 1,998. Dirección electrónica: <http://www.flexiblepavements.org/images/smooth1.pdf>.

15. “Factors Affecting Compaction of Asphalt Pavements”, Transportation Research Circular Number E-C105, September 2,006.

16. “Asphalt Mix Curing at the Design Lab and the Field Lab”, Robert D. Horan, P.E., 2001

[Pagina Principal](#)

E-mail: [uidv.contacto@mop.gob.sv](mailto:uidv.contacto@mop.gob.sv)