

# Segregaciones granulométrica y térmica en las mezclas de concreto asfáltico

## Aggregate and thermal segregation in hot mix asphalt pavements

FERNANDO SÁNCHEZ SABOGAL

Ingeniero civil

elexdos@yahoo.com

Recibido: 10/03/2012 Aceptado: 30/04/2012

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

### Resumen

La segregación de las mezclas asfálticas en caliente constituye un problema, cuyo resultado práctico es el comportamiento deficiente de muchos pavimentos. Por lo tanto, su eliminación es indispensable si se desean obtener mezclas de pavimentación de alta calidad. En los pavimentos asfálticos se identifican dos tipos de segregación: granulométrica y térmica. Este artículo se refiere a ambos y presenta un esbozo de sus causas y de los métodos conocidos para minimizar su ocurrencia. Incluye, al final, una lista de verificación donde, de manera concisa, se describen el origen de las formas usuales de segregación y las comprobaciones y ajustes posibles para corregirlas.

**Palabras claves:** segregación, segregación granulométrica, segregación térmica, mezcla asfáltica en caliente, planta de producción de mezcla asfáltica, camión, vehículo de transferencia, pavimentadora.

### Abstract

Segregation of hot mix asphalt (HMA) pavements has been a problem that has resulted in poor performance of many pavements. Its elimination is essential to the production of high quality paving mixtures. Two types of segregation have been identified in asphalt pavements: aggregate segregation and thermal segregation. This paper deals with both of them. It provides an outline of their causes and suggests known practices that may be used to minimize its occurrence. In addition, a checklist that is attached to this paper shall be used to help the engineer in identifying segregation and taking corrective action to eliminate it when it is present in the hot mix asphalt pavements.

**Keywords:** segregation, aggregate segregation, thermal segregation, hot mix asphalt, asphalt plant, haul truck, shuttle buggy, paver.

## INTRODUCCIÓN

La segregación granulométrica en las mezclas de concreto asfáltico es aquella a la cual se hace referencia con mayor asiduidad. Se puede definir, de manera simple, como la distribución no uniforme de los agregados grueso y fino dentro de la mezcla. Aunque la segregación puede ocurrir tanto hacia la dirección de los gruesos como hacia la de los finos, el término es empleado por el común de los ingenieros para referirse a la segregación de la fracción gruesa. Cuando ésta ocurre y la mezcla es extendida sobre la vía, se presenta concentración de partículas gruesas en unas áreas del pavimento, dando lugar a una capa con una textura áspera, falta de uniformidad superficial, permeable y con defectos de densidad que afectan adversamente el comportamiento de la estructura a corto o mediano plazo, por cuanto las áreas segregadas sufren desprendimientos progresivos por la acción del tránsito y de la humedad (figura 1), los cuales se traducen en fallas, principalmente del tipo denominado “ojo de pescado”.



Figura 1. Carpeta de concreto asfáltico segregada.

A causa de la gravedad de los problemas que genera, la prevención de la segregación granulométrica es esencial para producir capas de concreto asfáltico de buena calidad. En este artículo se resumen los aspectos fundamentales del asunto, tomando como guía algunos documentos relacionados con el tema<sup>1,2,3,4,5</sup>. Los análisis y comentarios que se presentan a continuación parten de la suposición de que no existen errores en el diseño de la mezcla en el laboratorio y, en consecuencia, la

fórmula de trabajo responde a una curva granulométrica continua, conforme a las exigencias de la especificación respectiva, evitando formas que atravesasen bruscamente la línea de máxima densidad en la gráfica de potencia 0,45 de la FHWA (figura 2). El artículo 450 de las *Especificaciones generales de construcción de carreteras del Inviás* establece, por ejemplo, que “Para prevenir segregaciones (...), el material que produzca el Constructor deberá dar lugar a una curva granulométrica uniforme, sensiblemente paralela a los límites de la franja por utilizar, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior del tamiz adyacente y viceversa”<sup>6</sup>.

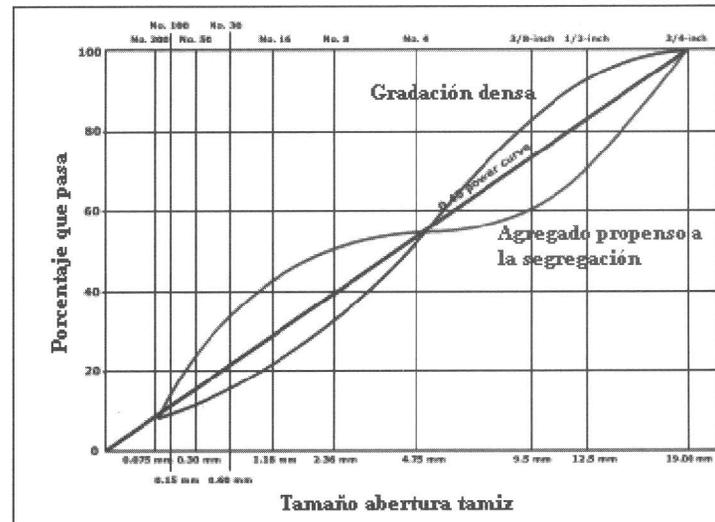


Figura 2. Curvas granulométricas en la gráfica de potencia 0,45.

1. Federal Aviation Administration (1991, October). *Hot Mix Asphalt Paving Handbook*. Advisory Circular 150/5370-14. Washington D.C.
2. James A. Scherocman (2005). *HMA Segregation: Causes & Cures*, Part 1, Part 2 & Part 3. Ohio Asphalt, Winter, Spring, Summer.
3. J. Don Brook, James J. May & Greg Renegar (1994). Segregación: causas y soluciones. *Boletín Técnico*, T-117S, Chattanooga, TN: Astec.
4. AASHTO (1997). *Segregation: Causes and Cures for Hot Mix Asphalt*. SCCA-1.
5. Australian Asphalt Pavement Association. *Asphalt Segregation*. Advisory Note 18.
6. Instituto Nacional de Vías (2002). *Especificaciones generales de construcción de carreteras*. Bogotá, D.C.

En la actualidad se reconoce otro tipo de segregación, diferente de la granulométrica que se acaba de describir, y que puede resultar imperceptible en el momento de la construcción del pavimento. Es la *segregación térmica*, debida a diferencias de temperatura dentro del conjunto de la mezcla, en los instantes de su extensión y de su compactación. Aun si la mezcla no presenta evidencias de segregación granulométrica, la existencia de la térmica también genera debilidades en la capa asfáltica en servicio por deficiencias de compactación, las cuales pueden derivar, a corto o mediano plazo, en deterioros visibles en la superficie, similares a los producidos por la segregación granulométrica.

### FORMAS DE SEGREGACIÓN GRANULOMÉTRICA

La segregación granulométrica de las mezclas de concreto asfáltico se presenta en una de tres formas (figura 3), cada una de ellas causada por un conjunto diferente de factores, los cuales se deben analizar y corregir de manera independiente:

- Segregación aleatoria
- Segregación entre viajes de mezcla
- Segregación longitudinal

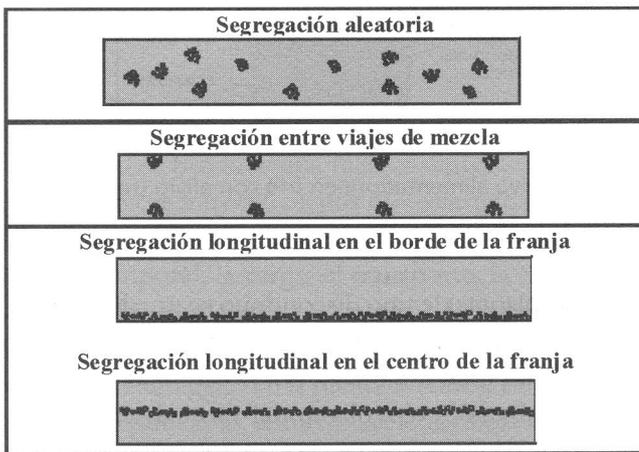


Figura 3. Formas de segregación granulométrica (ref. 5).

#### Segregación aleatoria

Es aquella que se presenta en la superficie pavimentada a intervalos irregulares, tanto en sentido longitudinal como transversal (figura 4), cuyo origen, casi con se-

guridad, es un manejo inadecuado de las fracciones del agregado grueso, cuando son acopiadas, alimentadas y clasificadas en la planta asfáltica.

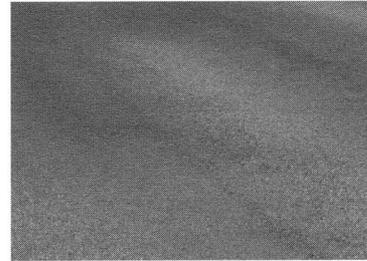


Figura 4. Segregación aleatoria.

Cuando las bandas que transportan el agregado grueso durante el proceso de clasificación forman un acopio cónico (figura 5), las partículas de mayor tamaño y peso tienden a rodar por los lados del cono, depositándose en su parte inferior. Si el operador del cargador que va a trasladar el agregado a las tolvas en frío de la planta recoge varias cargas de la parte inferior de la pila, la granulometría definitiva de los agregados mezclados puede resultar afectada y dar lugar a una segregación aleatoria, en especial cuando la mezcla se elabora en una planta del tipo tambor secador-mezclador, donde no hay oportunidad de reclasificar los agregados en caliente.



Figura 5. Formación de una pila cónica de agregado grueso (ref. 2).

Si la planta de tambor secador-mezclador es de flujo paralelo la posibilidad de segregación es mayor, por cuanto la remezcla de agregados antes de alimentar el asfalto es limitada. Cuando la planta es de contraflujo existe una mayor oportunidad de remezcla, debido a

que el asfalto sólo se combina con los agregados en el tramo final del tambor; no obstante, la posibilidad de segregación aleatoria, aunque menor, se mantiene. Algunas plantas tienen instaladas en el extremo inferior del tambor unas láminas que hacen retroceder el agregado grueso, incorporándolo dentro del conjunto y contribuyendo a la elaboración de una mezcla de mayor uniformidad.

Las especificaciones de construcción suelen contener advertencias sobre el manejo de los acopios para evitar esta situación. Por ejemplo, en el Artículo 450 de las *Especificaciones generales de construcción de Carreteras del Inviás* se indica que “Los acopios se construirán por capas (...) y no por montones cónicos. Las cargas de material se colocarán adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación”<sup>7</sup>.

El problema se puede minimizar empleando varias pilas de agregados de tamaño único en lugar de pocas con tamaños gradados, en conjunto con un sistema de alimentación en frío constituido, cuando menos, por cuatro tolvas (figura 6).

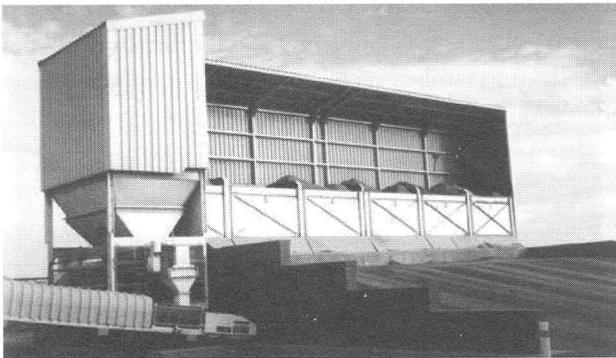


Figura 6. Sistema de alimentación en frío compuesto por seis tolvas.

Al colocar los agregados en las tolvas en frío, tienden naturalmente a formar conos, en los cuales las partículas de mayor tamaño ruedan por los lados. A medida que la tolva es vaciada se va formando un cono inverso de agregado en ella, en cuyo centro trata de caer todo el material más grueso, generando segregación. La manera de evitar que esto suceda es, simplemente, manteniendo

las tolvas tan llenas como sea posible pero sin rebosar, para evitar que el material pase de una tolva a otra.

La alimentación de los agregados en frío también puede contribuir en la segregación de las mezclas elaboradas en las plantas del tipo tambor secador-mezclador, si se produce una obstrucción en alguna tolva, pues la alimentación deja de ser uniforme (figura 7). La disposición de fondos con alivio en las tolvas en frío ayuda a asegurar la uniformidad de la alimentación (figura 8).

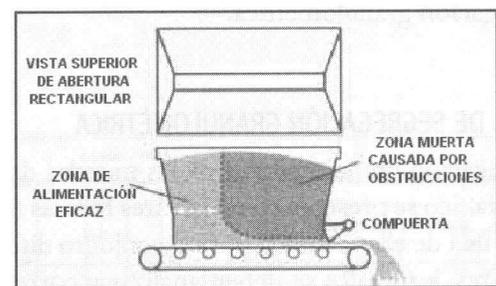


Figura 7. TOLVA EN FRÍO CON ABERTURA RECTANGULAR (ref. 3).

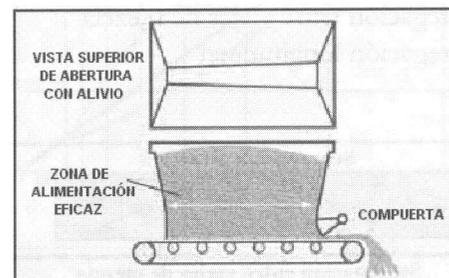


Figura 8. TOLVA ALIMENTADORA EN FRÍO CON ALIVIO (ref. 3).

En las plantas de tipo discontinuo se puede generar una segregación en las tolvas en caliente que almacenan el material de menor tamaño, por la posibilidad de que el polvo mineral, proveniente del filtro de mangas o del sistema de alimentación de éste, se acumule en una de las paredes inclinadas de una tolva, permaneciendo allí hasta que la tolva esté casi vacía (figura 9). En un determinado momento esta masa de polvo se puede desprender súbitamente y alimentar la tolva de pesaje, produciendo una bachada con material ultrafino que quedará segregado y no recubierto por el asfalto.

7. *Ibíd.*

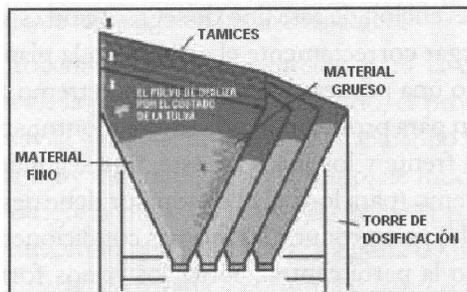


Figura 9. Acumulación de llenante mineral en una tolva caliente (ref. 3).

Si este problema se presenta, la solución más práctica consiste en instalar un deflector que haga que el llenante mineral se deslice hacia el centro de la tolva, donde se mezclará uniformemente con los materiales más gruesos contenidos en ésta (figura 10).

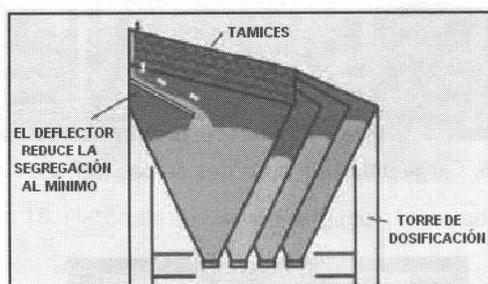


Figura 10. Tolva en caliente con deflector (ref. 3).

Cuando se produce una mezcla segregada de manera aleatoria es muy difícil, por no decir que imposible, corregirla mediante una remezcla durante el almacenamiento temporal, la carga, el transporte, la descarga o la extensión. Por lo tanto, el control de la segregación aleatoria sólo es posible con un apropiado manejo de los acopios del agregado en la planta asfáltica. Ello se logra acopiando por capas, como lo suelen indicar las especificaciones (figura 11), o si resulta inevitable la formación de pilas, haciendo que éstas sean lo suficientemente pequeñas como para que las partículas permanezcan en su lugar (figura 12). Con estos simples cuidados, la segregación aleatoria no suele constituir un problema serio en los proyectos de pavimentación.

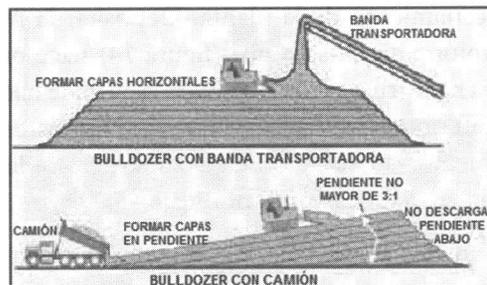


Figura 11. Acopio del agregado en capas (ref. 3).

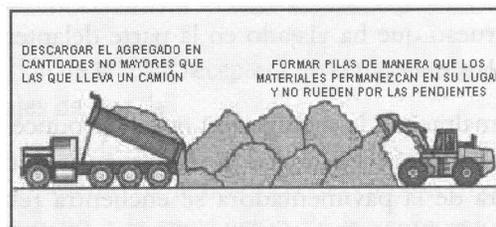


Figura 12. Acopio del agregado en pilas pequeñas (ref. 3).

### SEGREGACIÓN ENTRE VIAJES DE MEZCLA

Esta segregación se suele manifestar en dos áreas localizadas en sentido transversal, una a cada lado del eje de la franja que se está pavimentando (figura 13). El tamaño de las áreas segregadas varía según si la pavimentadora se encuentra o no en movimiento cuando la mezcla segregada pasa bajo su plancha enrasadora, siendo mayor cuando el equipo está en movimiento. En su generación y control inciden los factores que se mencionan a continuación.

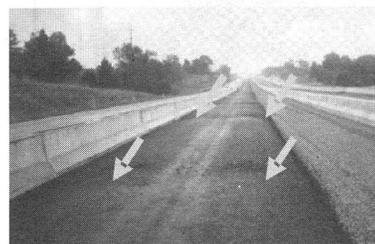


Figura 13. Segregación entre viajes de mezcla (ref. 2).

### Carga de la mezcla en los camiones

Aunque suelen ser muchas las causas que se atribuyen a la segregación entre viajes, el hecho comprobado es que ésta se origina en el momento en que la mezcla es vertida al camión desde el mezclador o desde el silo

de almacenamiento de la planta. Depositar la mezcla en el camión en una sola pila (figura 14) hace que las partículas más gruesas rueden desde la cúspide hacia los bordes inferiores de la pila (figura 15). Este sistema de carga genera la segregación en la superficie de la capa extendida en dos ocasiones por viaje:

1. Al iniciar la descarga del viaje en la pavimentadora, ésta distribuye sobre la vía en primer lugar el agregado grueso que se encuentra depositado en la parte trasera del platón.
2. Al terminar la descarga, se distribuye el material grueso que ha viajado en la parte delantera del platón.

Normalmente, la segregación que se produce en el primer caso es más pronunciada, en particular si la tolva receptora de la pavimentadora se encuentra relativamente vacía, hasta el punto de que lleguen a ser visibles las barras transportadoras alimentadoras.

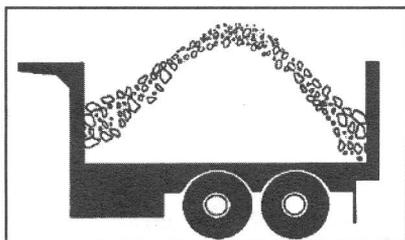


Figura 14. Carga del camión en una sola pila (ref. 2).

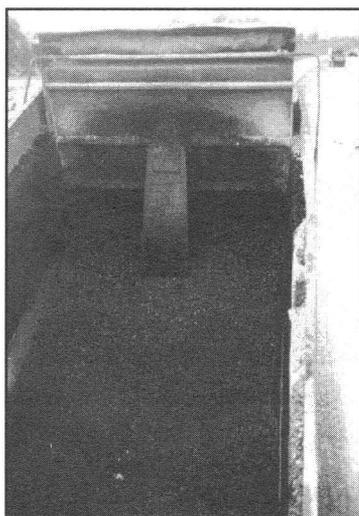


Figura 15. Mezcla segregada dentro del platón<sup>8</sup>.

8. Road Rehabilitation. Roadtec.

La prevención de este tipo de segregación es simple. Basta cargar correctamente el camión en la planta, depositando una primera bachada en un extremo frontal del platón para producir un efecto de amontonamiento contra el frente y los lados de éste, una segunda en el otro extremo (para lo cual el conductor debe desplazar el vehículo) para producir las mismas condiciones, y una tercera en la parte central, sobre los conos formados por las dos anteriores (figura 16). En un camión correctamente cargado, la mezcla deberá ocupar algo más de la mitad de la altura del platón (figura 17).

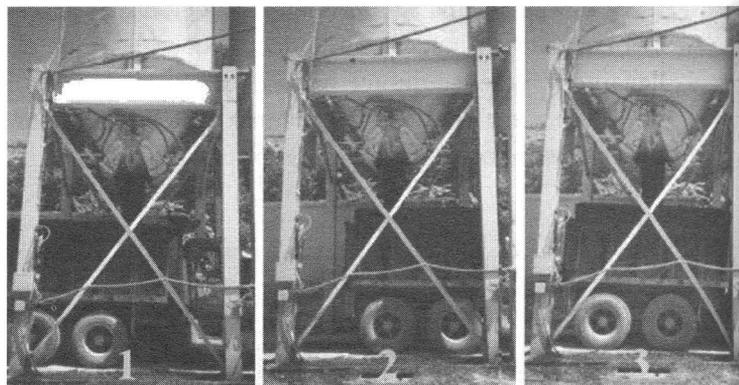


Figura 16. Carga del camión en tres etapas (ref. 2).

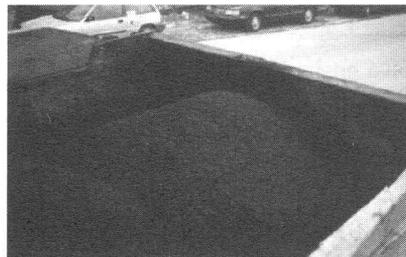


Figura 17. Platón de un camión correctamente cargado (ref. 2).

Cuando la carga se realiza en vehículos de gran tamaño (semirremolques, por ejemplo), las dos primeras bachadas se deberán cargar como se indicó en el párrafo anterior, colocando las siguientes (generalmente tres) progresivamente hacia el centro del platón.

Si se vierte la mezcla dentro del platón de la manera descrita se evita que al inicio y al término de la descarga de los camiones sobre la pavimentadora se acumule una gran cantidad de partículas gruesas, previniendo así este tipo de segregación.

### Descarga de la mezcla en la pavimentadora

Si el procedimiento recomendado para la carga del camión en la planta no se ha utilizado, el problema se puede aliviar –aunque no eliminar– inclinando levemente el platón y manteniéndolo cerrado, de modo que se pueda dirigir la masa de la mezcla hacia la parte posterior, buscando que se produzca alguna combinación entre la parte segregada y el resto de la mezcla (figura 18). En general, se considera que la práctica de levantar el platón es buena, así el camión haya sido cargado correctamente, por cuanto ello incrementa la eficiencia en el intercambio de camiones, se acelera el proceso de la descarga en la pavimentadora y se reduce la segregación térmica. Es recomendable, además, descargar el camión en una masa rápida y de manera que inunde la tolva receptora de la pavimentadora.



Figura 18. Platón de un camión cargado y levantado (ref. 2).

### Uso de vehículos de transferencia

El uso de un vehículo de transferencia de mezcla, o *shuttle buggy* (figura 19), también ayuda a controlar este tipo de segregación cuando la carga de los camiones ha sido incorrecta. Esta máquina tiene la capacidad de eliminar la segregación entre viajes y la segregación térmica (y de reducir la aleatoria), debido a que el material es perfectamente remezclado por sus sinfines antes de ser remitido a la tolva de la pavimentadora (figura 20).



Figura 19. Vehículo para la transferencia de la mezcla<sup>9</sup>.

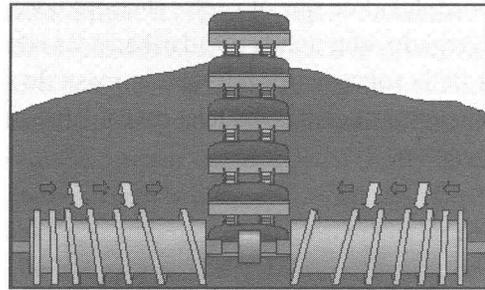


Figura 20. Sinfines mezcladores del vehículo de transferencia (ref. 3).

### Condición de la tolva receptora de la pavimentadora entre los viajes de mezcla

La cantidad de mezcla que contenga la tolva receptora en el momento de la descarga del camión puede contribuir o no a la prevención de la segregación entre viajes. Si la tolva se encuentra total o parcialmente vacía entre dos viajes de mezcla (figura 21) y el nuevo viaje trae material segregado en la parte trasera del platón, la mezcla vertida al comienzo en la tolva contendrá fundamentalmente partículas de agregado grueso que, además, se encontrarán a una temperatura menor que el conjunto de la mezcla. Como la tolva está casi vacía, este material segregado será llevado por los dos transportadores alimentadores a través de las compuertas de control de flujo hacia los sinfines de distribución sin ser mezclado con el material más caliente o más fino, con el agravante de que al llegar una cantidad de mezcla escasa se reduce la fuerza en el borde de ataque de la enrasadora, lo que da como resultado una mezcla extendida, con un área de textura muy rugosa a cada lado del eje de la pavimentadora.

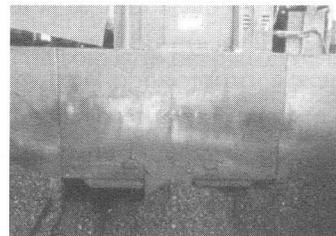


Figura 21. Tolva receptora casi vacía (ref. 2).

Si, por el contrario, la tolva receptora está relativamente llena (figura 22) y la volqueta trae mezcla segregada en la parte trasera del platón, existe una

9. Andy Bateman (1999). Shuttle Buggy Gets First Workout on B.C. Highway Project. *Aggregates & Roadbuilding Magazine*. Westmount, Quebec, July - August.

buena posibilidad de que al verter el contenido, el material segregado, que tiende a rodar hacia las secciones laterales de la tolva, se mezcle con la masa de mezcla que se encuentra en ella, reduciendo así la posibilidad de segregación.



**Figura 22.** Tolva receptora en condición apropiada para recibir un viaje (ref. 2).

Mantener la tolva receptora “medio llena” entre viajes consecutivos de mezcla hace que la cantidad de mezcla en los sinfines sea abundante y constante. Esto, a su vez, mantiene constante la fuerza en el borde de ataque de la enrasadora, lo que a su turno permite mantener constante el ángulo de ataque de ésta, favoreciendo la extensión de una carpeta lisa. Se aconseja mantener la tolva permanentemente llena, o cuando menos en un 25% de su capacidad.

### Manejo de las secciones laterales de la tolva receptora

Cuando una volqueta con una mezcla segregada descarga en la tolva receptora de la pavimentadora, las partículas gruesas tienden a dirigirse hacia las secciones laterales, donde permanecen hasta que éstas son vaciadas. El vaciado de las secciones laterales de la tolva es uno de los factores determinantes en la segregación que ocurre tras la plancha enrasadora. Si la tolva está más o menos llena, la elevación de las secciones laterales empujará la mezcla, propiciando la formación de dos montones de mezcla en frente de la pavimentadora (figura 23), lo que se traducirá en pérdidas de lisura de la carpeta que se extiende, cuando la máquina pase sobre ellos.

Con el fin de vaciar las secciones laterales sin arrojar mezcla en frente de la máquina, es necesario desocupar la tolva. Ello, sin embargo, no es una buena práctica, como ya se ha indicado. Cuando las secciones laterales se levantan, las partículas gruesas que se han alojado

en ellas son enviadas al fondo de la tolva vacía y se mezclan con la mezcla segregada que cae inicialmente de la parte trasera del platón en el viaje siguiente, lo que da como resultado la inevitable extensión de una mezcla segregada.



**Figura 23.** Porciones de mezcla en frente de la pavimentadora (ref. 2).

Con el fin de mantener la tolva “medio llena” en todo momento, existen dos criterios en relación con el manejo de las secciones laterales de la tolva y el ingeniero deberá adoptar aquel que le brinde mejores resultados. Uno es el que recomienda levantarlas a menudo mientras la pavimentadora está en movimiento, para prevenir que la mezcla se enfríe por debajo de la temperatura adecuada de extensión. Otro, totalmente opuesto, es el que recomienda no elevar ni vaciar las secciones laterales de la tolva y sugiere, en cambio, aplicar alguno de los dos procedimientos siguientes:

1. La mezcla que al ser vaciada desde los camiones al inicio de cada jornada de trabajo fluye hacia los lados de la tolva receptora se debe mantener en dicho lugar durante toda la jornada, lo que implica que las secciones laterales no sean levantadas en ningún momento. Esta mezcla se deberá descartar al final de la jornada.
2. Un segundo procedimiento, más económico, consiste en reducir la capacidad de las esquinas de la tolva receptora fijando dos platinas, de modo que no se acumule mezcla en los bordes y, por consiguiente, no sea necesario levantar las secciones laterales para descartar material (figura 24). Cuando las platinas están en su lugar, la tolva se puede mantener “medio llena” en todo momento, lo que ayuda a reducir las posibilidades de segregación.

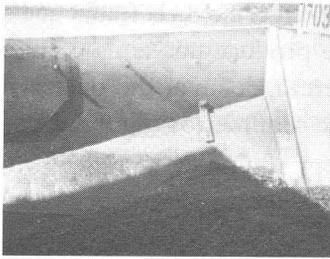


Figura 24. Tolva receptora con platinas (ref. 2).

### SEGREGACIÓN LONGITUDINAL

La segregación de la mezcla en sentido longitudinal se puede presentar de dos maneras. Una, caracterizada por la presencia de una franja de textura muy rugosa en la carpeta, hacia el borde de la franja extendida por la máquina pavimentadora (figura 25). Este tipo de segregación se origina durante la transferencia de la mezcla recién elaborada al silo de almacenamiento, en las plantas que poseen este dispositivo. El otro tipo de segregación longitudinal es el que se presenta en el eje de la franja extendida, el cual tiene su origen en las características de la máquina pavimentadora o en algunos detalles ineficientes en su operación.

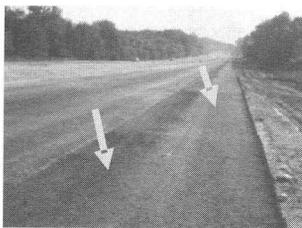


Figura 25. Segregación longitudinal de borde (ref. 2).

#### Segregación longitudinal en el borde de la franja extendida

La mayoría de las plantas actuales están equipadas con silos para el almacenamiento temporal de las mezclas en caliente, cuya finalidad es prevenir detenciones en la planta cuando haya interrupciones esporádicas en los trabajos de pavimentación o debido a la escasez de camiones para el transporte de la mezcla. Estos silos trabajan bien, siempre y cuando se tomen ciertas precauciones, pero pueden causar segregación de la mezcla si no se usan correctamente.

Existen diferentes tipos de silos y todos ellos pueden producir resultados satisfactorios si se operan correctamente. El diámetro y la altura de su cono inferior deben ser adecuados para prevenir efectos de cono inverso a medida que la mezcla es desalojada de la unidad.

Cuando la mezcla recién fabricada es transferida al silo de almacenamiento, normalmente es lanzada en el centro de éste (figura 26) y, aunque se trata de formar una pila cónica en la cual las partículas más gruesas tienden a rodar hacia las paredes del silo, al ser vaciado éste, el material grueso tiende a revolverse con el resto de la mezcla, no habiendo motivo para que se produzca una segregación manifiesta.

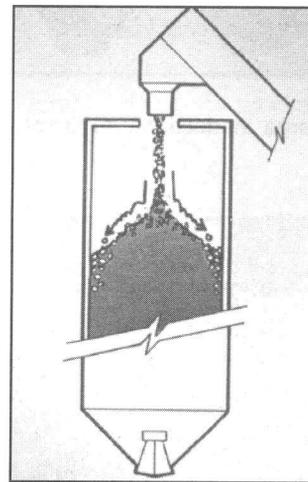
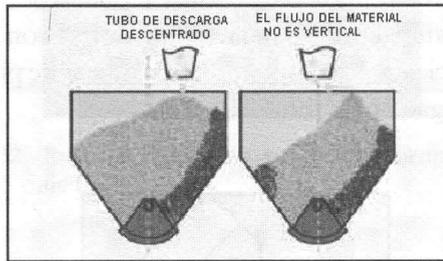


Figura 26. Alimentación del silo de almacenamiento (ref. 2).

El problema se presenta si el sistema que alimenta el silo hace que la mezcla caiga descentrada dentro de él, pues así la pila tiende a tener mayor altura en un lado, dando oportunidad para que el agregado grueso ruede y se deposite en el lado más bajo y sea descargado posteriormente a un solo lado del platón de la volqueta que transporta la mezcla a la obra. Cuando el platón vierte la mezcla en la tolva de la pavimentadora, el material grueso caerá en el mismo lado de ésta y pasará por los sinfines y bajo la enrasadora por ese lado, dando como resultado una carpeta con una franja lateral continua de gran aspereza.

Este tipo de segregación puede ocurrir aun cuando se use una tolva de retención temporal en la parte superior del silo, cuya finalidad es retener la mezcla transportada por el elevador hasta completar su capacidad y luego

descargarla de un golpe en el silo de almacenamiento. Si la mezcla recién elaborada no es descargada verticalmente en el centro de dicha tolva, las partículas gruesas de la mezcla rodarán hacia un lado de ella (figura 27) y, al vaciarla sobre el silo, dichas partículas se depositarán a un solo lado de éste; lo mismo sucederá cuando el silo sea descargado sobre el platón de la volqueta y ésta descargue en la tolva de la pavimentadora.



**Figura 27.** Descarga inadecuada en la tolva de retención temporal (ref. 3).

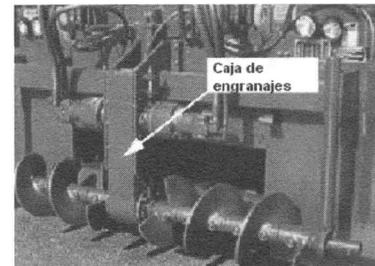
De acuerdo con el Instituto del Asfalto<sup>10</sup>, el rango ideal para operar la mayoría de los silos se encuentra entre el 25 y el 75% de su capacidad total. Los riesgos de segregación aumentan cuando están llenos por debajo del 25%, por cuanto la mezcla cae en la parte cónica inferior del silo, además de que se posibilita el enfriamiento de la mezcla.

La descarga rápida por la compuerta del silo disminuye la posibilidad de segregación en los platones de las volquetas, por cuanto se reduce la acción de rodamiento de la mezcla cuando fluye hacia ellos.

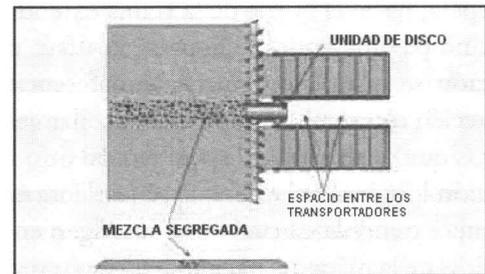
### Segregación longitudinal tras el eje de la pavimentadora

Los sinfines deben funcionar de manera continua, ajustando su velocidad de modo que se pueda obtener un flujo continuo y lento de mezcla. Los sinfines que funcionan a gran velocidad se deben arrancar y detener continuamente, lo cual contribuye a distribuir en forma inadecuada la mezcla en la parte central, bajo la caja de engranajes (figura 28), generando una distribución de

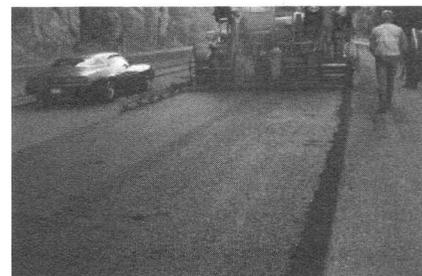
material grueso en el eje de la franja que se está extendiendo, lo que produce una zona continua segregada y de gran aspereza, de un ancho que oscila entre unos quince y veinte centímetros (figuras 29 y 30).



**Figura 28.** Sinfines y caja de engranajes<sup>11</sup>.



**Figura 29.** Segregación tras el eje de la pavimentadora (ref. 3).



**Figura 30.** Segregación tras el eje de la pavimentadora (ref. 11).

La instalación de deflectores de retroceso o el uso de sinfines de marcha inversa permiten empujar material homogéneo por debajo y alrededor de la caja de engranajes, con el fin de compensar la presencia de partículas gruesas que puedan causar segregación en

10. Asphalt Institute. *Eliminate Twelve Segregation Snarls*. Lexington KY.

11. [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).

la línea central<sup>12</sup> (figura 31). Como último recurso, se puede tratar de elevar el sistema de sinfines una o dos pulgadas y observar si dicha operación ayuda o no a reducir la segregación en el centro de la franja.

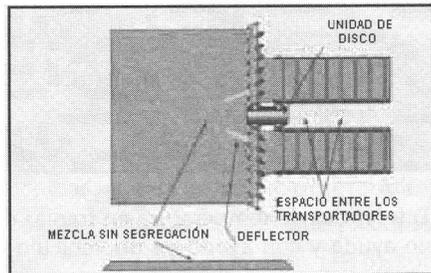


Figura 31. Pavimentadora con deflectores (ref. 3).

## MANO DE OBRA

Durante la operación de extensión de la mezcla, el personal que va detrás de la terminadora con palas y rastrillos para realizar retoques menores, que ha de ser el mínimo necesario, deberá proceder con el mayor cuidado y uniformemente para evitar la segregación (figura 32). Hace más de 30 años un autor francés recomendaba que “el obrero del rastrillo no mejora jamás el perfil del pavimento; por el contrario, produce una segregación superficial importante. (...) Esta práctica del rastrillo debe proibirse”<sup>13</sup>.



Figura 32. Intervención manual mínima tras la pavimentadora.

En los lugares donde resulte inevitable retocar o completar la extensión con trabajo manual, la mezcla no se debe arrojar con palas porque, procediendo de esta manera, es casi seguro que habrá segregación de las partes gruesas y finas. Lo más adecuado es formar pequeños montones de mezcla y distribuirlos uniformemente con rastrillos. De todos modos, es inevitable que la apariencia de una mezcla extendida a mano sea diferente de la que presenta cuando es extendida con máquina<sup>14</sup>.

## SEGREGACIÓN TÉRMICA

La segregación térmica es el diferencial de temperatura que se produce en la mezcla asfáltica extendida en la vía, como resultado de la mayor velocidad de enfriamiento que sufre la periferia de la masa de mezcla transportada en el camión, durante el viaje hacia el sitio de las obras (figura 33).

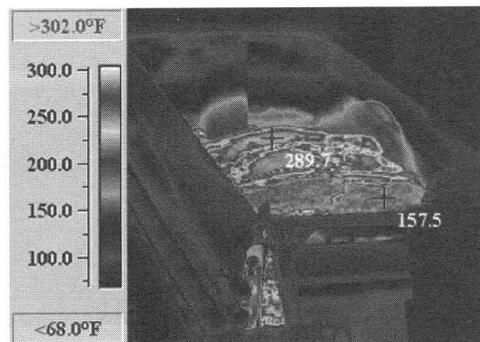


Figura 33. Diferencias de temperatura en la mezcla transportada<sup>15</sup>.

Al depositar la mezcla en la tolva receptora de la pavimentadora, esa porción de material más frío es trasladada hacia los sinfines y queda extendida posteriormente en áreas aisladas de la vía. El fenómeno se hace más notorio cuando se deja vaciar la tolva receptora de la pavimentadora, después de cada viaje de mezcla. Al someter la capa a una compactación uniforme, es-

12. <http://www.co-asphalt.com/advantage/segregation/index.cfm>.

13. Georges Jeuffroy (1972). *Proyecto y construcción de carreteras*. Barcelona: Editores Técnicos Asociados.

14. Asphalt Institute. *Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente*. Serie de manuales N.º 22 (MS-22). Lexington KY.

15. [http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/07\\_construction/temperature\\_differentials.htm](http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/07_construction/temperature_differentials.htm).

tas áreas aisladas con mezcla más fría presentarán una menor densidad y, consecuentemente, una mayor cantidad de vacíos con aire que el resto de la capa, debido a que el patrón de compactación se suele establecer a partir de las condiciones térmicas del conjunto de la masa, la cual se encuentra a mayor temperatura. Quienes han estudiado en detalle el problema han concluido que diferencias mayores de 15 °C entre áreas de mezcla en caliente al ser extendida, dan lugar a diferencias en el contenido de vacíos con aire de la capa compactada de cuando menos 2%, y que por cada 1% de incremento en dichos vacíos se produce una reducción aproximada de 10% en la vida del pavimento<sup>16</sup>.

En la figura siguiente se incluye una fotografía tomada con una cámara infrarroja, la cual muestra áreas de una capa recién extendida de concreto asfáltico, con temperaturas tan bajas como 67,2 °C, que se tradujeron en daños evidentes del pavimento en un término no mayor de un año, como lo muestra la fotografía de la parte derecha (figura 34).

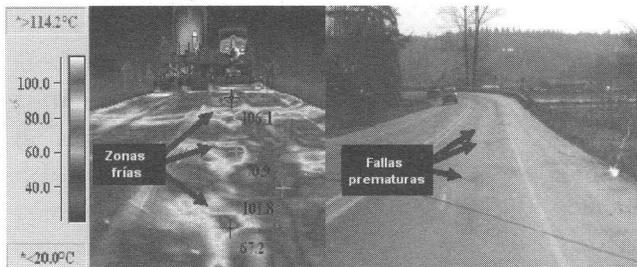


Figura 34. Correlación entre la segregación térmica y el deterioro del pavimento (ref. 16).

Aunque una medida como levantar el platón del camión con la mezcla manteniéndolo cerrado (figura 18) puede paliar la segregación térmica, el equipo que ha demostrado ser realmente efectivo en el control de este fenómeno es el vehículo de transferencia. A continuación se ilustra el resultado de una prueba realizada en España en la cual se extendieron al mismo tiempo dos franjas contiguas de mezcla, una cargando la pavimentadora desde los camiones de transporte y la otra

utilizando un vehículo de transferencia. Las diferencias de homogeneidad en las temperaturas de extensión de las dos franjas son evidentes (figura 35).

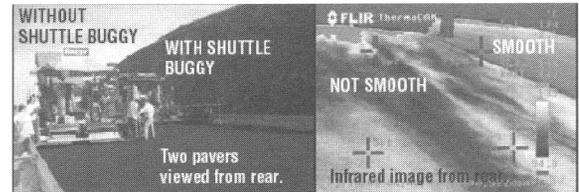


Figura 35. Diferencias de temperatura en franjas de mezcla extendida sin ayuda y con ayuda de un vehículo de transferencia.

A continuación se puede apreciar la uniformidad en la temperatura de una mezcla extendida y en su acabado, cuando el proceso se ha realizado con ayuda de un vehículo para la transferencia de la mezcla (figura 36).

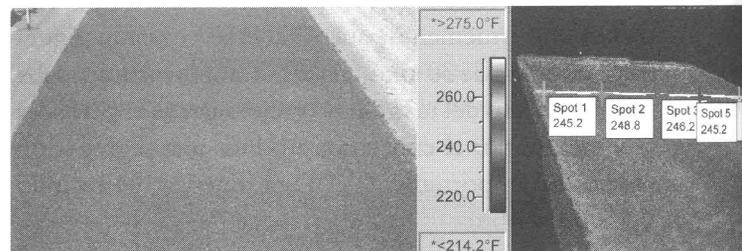


Figura 36. Aspecto y temperatura de una mezcla remezclada en un vehículo de transferencia.

## EVALUACIÓN DE LA SEGREGACIÓN

Los efectos adversos de la segregación granulométrica sobre el comportamiento de los pavimentos asfálticos son reconocidos, sin excepción, por todos los ingenieros. Por ello, durante la construcción siempre se tiende a prevenirlos. Las *Especificaciones generales de construcción de carreteras del Inviás*, por ejemplo, establecen en su Artículo 450, referente a los concretos asfálticos, que “Tampoco se permitirá la segregación de la mezcla. Si ella ocurre, la extensión deberá ser suspendida inmediatamente, hasta que su causa sea determinada y corregida”. El problema radica en el hecho de que la especificación no contempla un procedimiento que permita medir la segregación granulométrica y tomar una decisión objetiva. La identificación de las áreas segregadas por defectos

16. L. Phillips, K. Willoughby & J. Mahoney (2003). Infrared Thermography Revolutionizes Hot-Mix Asphalt Paving. *Inframation*.

de granulometría se convierte, entonces, en una tarea visual y dicha naturaleza subjetiva da lugar a frecuentes faltas de consenso entre el constructor y el interventor.

La asignatura referente al establecimiento de una metodología aceptada universalmente para medir la segregación granulométrica está aún pendiente. Sólo cuando se logre, se podrá desarrollar una especificación confiable y estadísticamente viable para detectar y cuantificar el fenómeno. Por el momento, algunos ingenieros norteamericanos consideran, con base en sus experiencias, que la segregación granulométrica se produce cuando los porcentajes que pasan los tamices de 4,75 mm (# 4) o de 2,36 mm (# 8) son, cuando menos, 10% menores que los fijados al establecer la fórmula de trabajo<sup>17</sup>.

Otras investigaciones mostraron una correlación consistente entre las observaciones visuales de áreas pavimentadas con textura no uniforme y los resultados del ensayo del círculo de arena, según la norma ASTM E-965 (figura 37). El examen de los datos de áreas de pavimentos construidos con mezclas asfálticas de tipo denso, consideradas visualmente aceptables y confirmadas con el análisis de vacíos de núcleos extraídos del pavimento, indicó que al establecer un límite de profundidad de textura de 0,30 mm, el 88% de las áreas que presentaban vacíos con aire mayores de 10% en la mezcla compactada quedaba claramente identificados<sup>18</sup>. Sin embargo, es preciso tener en cuenta que los valores límites de textura superficial deben ser específicos para cada clase de mezcla. Una mezcla del tipo SMA, por ejemplo, debería tener un límite de macrotextura muy superior al recién citado.

Otros investigadores han hecho intentos para distinguir entre áreas con diversos niveles de segregación, a partir del volumen de vacíos de la mezcla compactada, de su rigidez (*stiffness*), de su granulometría y de su contenido de asfalto. El procedimiento parece, por el momento, algo dispendioso como para pretender establecer con base en él un control rutinario del fenómeno.

Hace algunos años se elaboró un proyecto de norma y de especificación en formato AASHTO<sup>19</sup>, comparando los resultados de medidas de textura con la tecnología Rosan (ROad Surface ANalyzer) con la “profundidad media estimada de textura” de un área de pavimento no segregada, calculada ésta a partir del tamaño máximo del agregado pétreo y de otros parámetros granulométricos de éste. Hasta el momento, no se conoce la aprobación de dicho proyecto de norma.

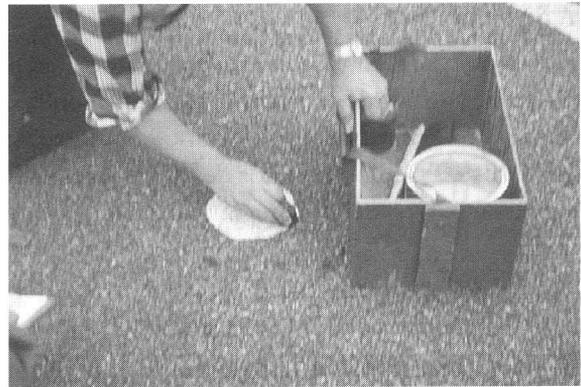


Figura 37. Ensayo del círculo de arena.

En relación con la segregación térmica, si bien la mayoría de las especificaciones de construcción vial todavía no la mencionan, su valoración cuantitativa resulta más fácil y posible con el empleo de cámaras fotográficas infrarrojas. En el estado actual del conocimiento, se considera que la existencia de áreas repetidas con diferenciales de temperatura entre 10 y 15 °C indica un bajo nivel de segregación térmica; diferenciales entre 16 y 21 °C tienen características asociadas con niveles medios de segregación, y si el diferencial supera los 21 °C, se considera que el nivel de segregación es alto.

El Instituto Nacional de Vías de Colombia ha dado un paso en favor del control de la segregación térmica y del establecimiento de las responsabilidades de los contratistas, cuando se presenten en el pavimento en servicio fallas con este origen. En su parte pertinente,

17. [http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/07\\_construction/segregation.htm](http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/07_construction/segregation.htm).

18. Asphalt Technology News (1999, Fall). *NCAT Completes a National Study on Segregation in HMA Pavements*, vol. 11, N.º 2, Auburn University.

19. M. Stroup-Gardiner & E.R. Brown (2000). Segregation in Hot-Mix Asphalt Pavements - Appendix L. *NCHRP Report*, 441. Washington D.C.: Transportation Research Board.

la nueva especificación establece que “El Constructor deberá entregar al Interventor un registro fotográfico, tomado con cámara infrarroja, de las temperaturas de extensión y compactación de toda la mezcla colocada, debidamente referenciado. Estas fotografías, que serán incluidas en el Informe Final de Interventoría, servirán al Instituto Nacional de Vías como antecedente técnico si se presentan deterioros del pavimento durante el periodo de garantía, como consecuencia de la segregación térmica durante la construcción de las capas asfálticas”.

### LISTA DE VERIFICACIÓN

A manera de resumen y de ayuda de memoria, se presenta una breve lista de verificación (*checklist*) en la que se indican el origen probable de los tipos de segregación citados en este artículo y algunos de los posibles ajustes destinados a corregir el problema (tabla 1).

### CONCLUSIONES

1. La segregación, sea granulométrica o térmica, afecta de manera adversa la durabilidad de los pavimentos de concreto asfáltico, por cuanto genera un incremento en los vacíos con aire en las áreas segregadas, aumentando la posibilidad de daños por humedad en el pavimento. Además, las áreas segregadas son propensas a los desprendimientos y a su posterior desintegración por la acción del tránsito.
2. El mejor remedio contra la segregación es, por supuesto, evitarla. Las medidas para su prevención incluyen, en primer término, la definición apropiada de la granulometría y demás propiedades de los agregados, y el establecimiento de

una fórmula de trabajo correcta; en segundo lugar, la disponibilidad de todos los elementos necesarios para el trabajo por ejecutar, los cuales se deberán encontrar en condiciones óptimas de operación, y en tercera instancia, la disponibilidad de funcionarios debidamente capacitados para el manejo de los equipos y para realizar un control permanente y oportuno en las etapas de elaboración, transporte, colocación y compactación de la mezcla asfáltica en caliente.

3. Las causas de los diferentes tipos de segregación están más o menos identificadas, así como algunas formas de enfrentarlas, como se ha descrito en este documento y se ha resumido en la tabla 1.
4. La segregación térmica se puede determinar cuantitativamente mediante el empleo de cámaras fotográficas infrarrojas. En cambio, la valoración de la segregación granulométrica está soportada aún en criterios eminentemente subjetivos. Se espera que con los avances recientes en la tecnología y en la investigación, se cuente en poco tiempo con ensayos normalizados para su calificación y con valores límites para el rechazo de las áreas afectadas.
5. El ingeniero deberá tener siempre en mente que si es capaz de detectar la segregación de una mezcla de concreto asfáltico, también podrá tomar medidas para minimizarla o eliminarla. Por lo tanto, deberá ser muy observador y usar su intuición sin temor, para hacer todas las modificaciones que considere pertinentes en el manejo de los agregados, de las mezclas y de los equipos de fabricación, transporte y extensión de la mezcla, hasta encontrar la solución al problema que se le presente.

**Tabla 1**  
Lista de verificación para la segregación de las mezclas de concreto asfáltico

Forma de segregación	Origen	Posibles verificaciones y ajustes
Aleatoria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gradación de diseño inapropiada.</li> <li>• Acopio inadecuado de los agregados.</li> <li>• Deficiencias en el sistema de alimentación en frío.</li> <li>• Acumulación de llenante mineral en una tolva en caliente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rediseñar la mezcla.</li> <li>• Revisar el manejo de los acopios.</li> <li>• Aumentar el número de tolvas en frío.</li> <li>• Mantener las tolvas lo más llenas que sea posible.</li> <li>• Disponer fondos con alivio para prevenir la obstrucción de las tolvas.</li> <li>• Instalar un deflector en la tolva en caliente.</li> </ul>
Entre viajes de mezcla	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deficiencias al verter la mezcla en las volquetas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar el procedimiento de carga de las volquetas.</li> <li>• Inclinar levemente, sin abrirlo, el platón con la mezcla.</li> <li>• Emplear un vehículo para la transferencia de la mezcla (<i>shuttle buggy</i>).</li> <li>• Mantener llena la tolva de la pavimentadora más de 25% en todo momento.</li> <li>• Mantener abiertas las secciones laterales de la tolva de la pavimentadora.</li> </ul>
Longitudinal en el borde de la franja extendida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transferencia inadecuada de la mezcla desde la planta hacia el silo de almacenamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar el sistema de transporte y entrega de la mezcla en el silo.</li> <li>• Verificar las características del silo y su funcionamiento.</li> <li>• Descargar rápidamente la compuerta del silo.</li> </ul>
Longitudinal en el centro de la franja extendida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Características de operación de la pavimentadora.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminuir la velocidad de los sinfines.</li> <li>• Elevar el sistema de sinfines.</li> <li>• Colocar placas deflectoras.</li> </ul>
Térmica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enfriamiento diferencial de la mezcla durante su transporte a la obra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cubrir el platón durante el transporte.</li> <li>• Levantar el platón sin abrirlo, antes de verter la mezcla a la pavimentadora.</li> <li>• Emplear un vehículo para la transferencia de la mezcla (<i>shuttle buggy</i>).</li> </ul>