

**CAT® PAVING PRODUCTS**

# GUÍA PARA LA COMPACTACIÓN DE ASFALTO

**CATERPILLAR®**







**PRODUCTOS PARA PAVIMENTACIÓN CAT®**

# GUÍA PARA LA COMPACTACIÓN DE ASFALTO

**CATERPILLAR®**

La *Guía para la Compactación de Asfalto* es publicada por Cat® Paving Products. Se ha hecho todo lo posible para asegurar que las especificaciones e información contenida en este libro sean correctas. El propósito de a información sobre el funcionamiento del producto es que se utilice solamente como guía para hacer estimaciones. Debido a las muchas variables propias de cada obra específica de pavimentación (incluyendo el diseño y características de la mezcla, las especificaciones del proyecto, las preferencias de aplicación del propietario del equipo, las eficiencias de los operadores del equipo, las condiciones del suelo, altitud, etc.), ni Caterpillar Inc. ni sus distribuidores garantizan que las máquinas y metodologías aquí descritas tendrán el desempeño especificado. Debido a que las especificaciones del equipo y de los materiales están sujetas a cambio sin previo aviso, debe recurrir a su Distribuidor Caterpillar para obtener la información más reciente sobre el producto y las opciones disponibles. Las máquinas mostradas pueden incluir equipo opcional y/o adicional. CAT, CATERPILLAR, sus respectivos logotipos, "Caterpillar Yellow," y la imagen comercial POWER EDGE, así como la identidad corporativa y del producto aquí referidos, son marcas de fábrica Caterpillar y no se puede hacer uso de ellas si la debida autorización.

**Nota:** Para información específica sobre el producto, siempre se debe recurrir al Manual de Operación y Mantenimiento Caterpillar correspondiente.

OSBQ1583

© 2012 Caterpillar Inc. - All rights reserved.

# ÍNDICE

<b>Sección 1:</b>	CONCEPTOS BÁSICOS DE LA COMPACTACIÓN	6
<b>Sección 2:</b>	LAS FUERZAS DE COMPACTACIÓN	12
<b>Sección 3:</b>	FACTORES QUE AFECTAN LA COMPACTACIÓN	28
<b>Sección 4:</b>	MÉTODOS Y ESPECIFICACIONES	50
<b>Sección 5:</b>	PATRONES DE RODAMIENTO	78
<b>Sección 6:</b>	COMPACTACIÓN DE JUNTAS	96
<b>Sección 7:</b>	PROBLEMAS DE COMPACTACIÓN	116
	GLOSARIO DE TÉRMINOS	136



# INTRODUCCIÓN

La *Guía para Compactación de Asfalto* de Cat Paving Products es un manual de referencia práctico y de aplicación para los operadores de las máquinas, el personal de control de calidad y los supervisores. Cubre los principios básicos de la compactación de asfalto y ofrece ejemplos específicos de cómo aplicar dichos principios con mayor efectividad.

En esta guía, la palabra “asfalto” se usará para describir lo que en algunas partes del mundo se conoce como “material bituminoso” o “concreto asfáltico”. Las fórmulas específicas para el diseño del asfalto se presentarán en la Sección 3 y nos referiremos a dichas fórmulas usando terminología comúnmente aceptada.

El diseño y fabricación del asfalto varía mucho en las diferentes partes del mundo. Las fuentes de agregados también son diferentes. Igualmente, los cementos asfálticos utilizados para la fabricación del asfalto tienen diferencias en cuanto a su composición química. Por último, los tipos de equipos de pavimentación utilizados para tender el asfalto son diferentes en los distintos lugares. Por lo tanto, con todas estas diferencias, es imposible desarrollar técnicas específicas y detalladas de compactación de asfalto que puedan utilizarse en todas las situaciones.

Sin embargo, los principios de la compactación de asfalto siguen siendo los mismos para todas las aplicaciones. Los operadores del equipo y el personal de control de calidad deben entender muy bien estos principios. Deben saber cómo responder ante las múltiples variables.





3540  
CAT

CATERPILLAR

## Sección 1

# CONCEPTOS BÁSICOS DE LA COMPACTACIÓN

La cuadrilla de trabajo puede desarrollar habilidades analíticas que ayudan a garantizar el éxito en el trabajo de compactación de una carpeta asfáltica. Se debe empezar con un compromiso a seguir las mejores prácticas fundamentales y una buena planeación.



### [ ¿EN QUÉ CONSISTE LA COMPACTACIÓN? ]

La compactación del asfalto es un proceso mecánico. Se utilizan diversas fuerzas para aumentar la densidad de la capa de asfalto después de que la máquina pavimentadora ha tendido la capa de material. El propósito de la compactación es reducir el número de vacíos en la capa asfáltica y acercar los agregados más entre sí. La resistencia de la carpeta asfáltica se logra eliminando la mayoría de los espacios de aire para lograr un contacto más estrecho de piedra con piedra.

La compactación generalmente se inicia a la temperatura más alta posible. Una vez que la capa de asfalto se enfría abajo de cierta temperatura, es difícil o imposible seguir aumentando la densidad. Por lo tanto, generalmente se tiene disponible solamente una pequeña ventana de oportunidad para lograr la densidad requerida. La planeación y la preparación son sumamente importantes para el trabajo de compactación del asfalto, si se quiere terminar el trabajo en el tiempo especificado.

Por ejemplo, la densidad de una capa de asfalto después de que pasa por debajo de la regla vibratoria puede ser de un 85% de la Densidad Teórica Máxima. En otro proyecto, con un diseño de mezcla diferente y el mismo equipo de pavimentación, la densidad de la capa de asfalto puede ser tan baja como 78% de la Densidad Teórica Máxima. Si se utiliza un equipo de pavimentación con regla

vibratoria con barras “tamper” que ejercen mayor energía a la capa de asfalto, la densidad tendida por la regla puede ser hasta de 92% de la Densidad Teórica Máxima.

Es obvio que el proceso de compactación va a ser diferente en cada uno de esos proyectos, aunque la densidad final especificada puede ser la misma. Los operadores, el personal de control de calidad y los supervisores del proyecto deben planear cada proyecto en forma distinta. Es probable que el tipo y número de compactadores sea diferente. Los patrones de rodado también serán diferentes.

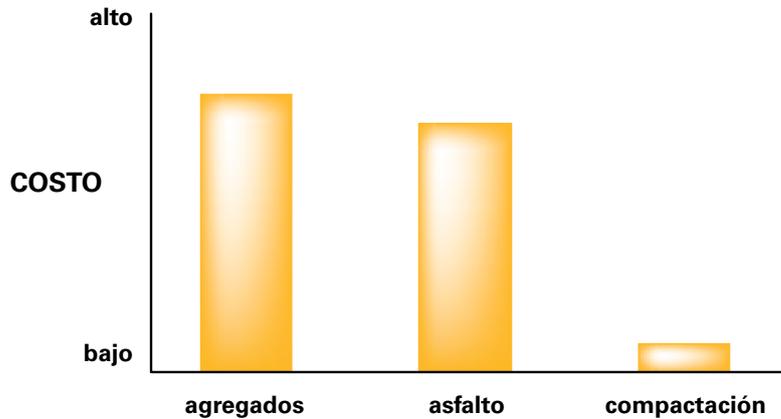
En algunos lugares, las agencias gubernamentales han creado especificaciones para los métodos que deben seguirse en el proceso de compactación. En esos casos, el equipo de pavimentación debe seguir dichos procedimientos especificados.

Sin embargo, en otros lugares, el departamento de obras públicas solo proporciona las especificaciones del resultado final. En esos casos, el personal del proyecto tiene la libertad para desarrollar su propio método de compactación. En su mayor parte, en esta guía se va a trabajar sobre el supuesto de que el personal de pavimentación trabaja considerando las especificaciones propuestas para el resultado final. En la Sección 4 se muestra una especificación típica para un método de trabajo.



*La compactación del asfalto se inicia con la plancha regla pavimentadora y se termina con los compactadores de rodillos trabajando inmediatamente detrás de la pavimentadora. Los miembros de la cuadrilla con frecuencia vigilan el proceso de compactación.*

**COMPARACIÓN DE COSTOS RELATIVOS ENTRE LOS COMPONENTES DE PAVIMENTACIÓN CON ASFALTO**



*El proceso de compactación cuesta muy poco en comparación con los costos de los agregados y el cemento asfáltico.*

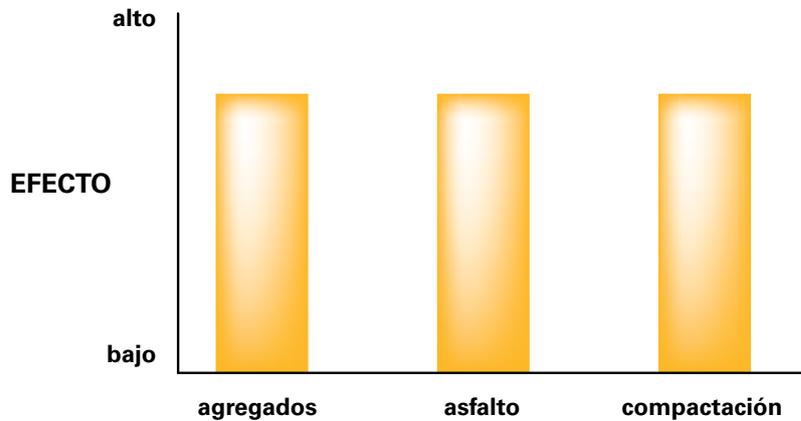
**[ EL VALOR DE LA COMPACTACIÓN ]**

Hace algunos años, la compactación del asfalto se consideraba como un mal necesario y el proceso realmente no ofrecía un valor agregado a la estructura del pavimento. En muchos casos, a los operadores de las máquinas compactadoras se les consideraba personal que solo requería un nivel básico de habilidades y típicamente se les ofrecía muy poca capacitación.

Recientemente, el costo de los agregados de buena calidad ha aumentado, mientras que su disponibilidad ha disminuido. El precio del cemento asfáltico ha subido aún más. De manera que la relación entre los materiales y el proceso de compactación ha hecho que se les de más énfasis en la producción y el tendido de los materiales. De hecho, la compactación cuesta muy poco por tonelada de material bituminoso.

Sin embargo, sin una densidad especificada, el material bituminoso producido y tendido no tiene ningún valor. El proceso de compactación debe considerarse tan importante como la producción y el tendido del material. Los operadores de los compactadores necesitan capacitación para desarrollar las habilidades necesarias. El personal de control de calidad debe poder planear el proceso de compactación y de resolver los problemas cuando la densidad no es la adecuada o cuando el proceso de compactación deja asperezas en la capa de superficie.

### COMPARACIÓN DEL COSTO RELATIVO ENTRE LA CONTRIBUCIÓN DE CADA UNO DE LOS COMPONENTES Y EL AUMENTO EN LA VIDA DEL PAVIMENTO



*La compactación tiene el mismo valor que el material que se está produciendo.*

#### [ LA COMPACTACIÓN AYUDA A LA SUSTENTABILIDAD ]

Las estructuras de asfalto correctamente compactadas contribuyen a la sustentabilidad en varios aspectos.

Primero, una estructura de asfalto está diseñada para soportar cierto volumen de tráfico y de carga durante un período específico de tiempo. El ingeniero de diseño calcula el tipo de material, la profundidad de las capas y la densidad especificada de cada capa para lograr la resistencia general requerida.

Cuando las capas de asfalto tienen consistentemente una alta densidad, la estructura generalmente proporcionará la vida de servicio esperada o aún una vida de servicio que excede lo planeado.

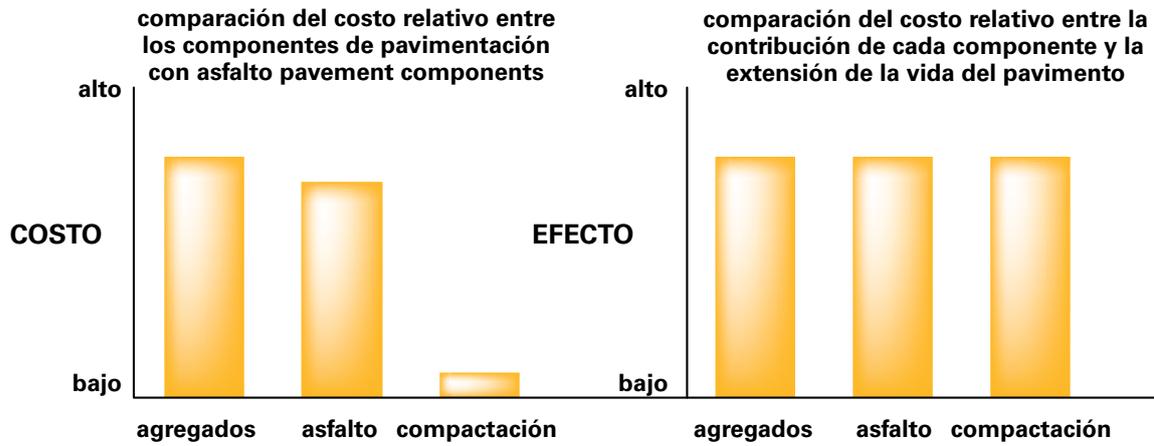
Cuando se pospone el mantenimiento del pavimento porque el pavimento aún está en buenas condiciones, se ahorra energía (menos emisiones)

y hay menos compactación interrupciones del tráfico (inconvenientes y más emisiones) durante la vida de la estructura. Además, hay la posibilidad de eliminar un procedimiento de mantenimiento durante la vida de la estructura.

Segundo, los operadores de compactadores que tienen un alto nivel de habilidades saben como lograr la densidad en la capa de asfalto con un mínimo de efecto en la textura de la capa de superficie. Además, una densidad alta ayuda a minimizar los defectos de superficie, como huellas y grietas.

Una superficie tersa reduce la resistencia a la rodadura y se requiere menos energía para mover un vehículo sobre la superficie a una cierta velocidad. Aunque el consumo de combustible se redujera solamente un 1% debido a la textura del pavimento, el impacto global sería enorme.

**COSTO DE LOS COMPONENTES VS IMPACTO SOBRE LA VIDA DEL PAVIMENTO**



Una comparación entre el costo y el impacto sobre la vida del pavimento.

**Resumen:** Con tantos factores que afectan el poder lograr una densidad especificada en las capas de asfalto, es importante que los operadores de las máquinas estén bien capacitados, que el personal de control de calidad tenga las habilidades para poder resolver problemas y que se utilice un equipo con tecnología avanzada.

Los problemas o dificultades en el proceso de compactación generalmente pueden resolverse cuando la cuadrilla de trabajo hace un buen trabajo de planeación y aplica las mejores prácticas fundamentales. El objetivo de esta guía es ayudar a todo el personal involucrado en el proceso de compactación a desarrollar esas habilidades analíticas y adquirir un buen conocimiento de las mejores prácticas.

La Sección 2 empieza con una explicación de las fuerzas que impactan la compactación del asfalto.



## Sección 2

# LAS FUERZAS DE COMPACTACIÓN

Una buena cuadrilla de trabajo entiende la relación que existe entre las fuerzas de compactación y la forma en que la carpeta asfáltica reacciona ante esas fuerzas



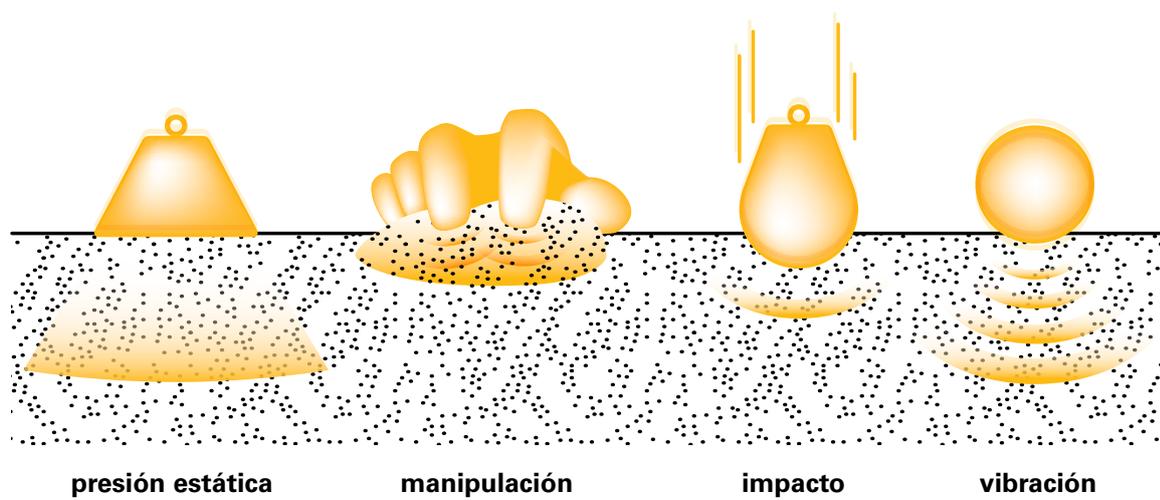
## FUERZAS

Se utilizan cuatro fuerzas para eliminar los vacíos de aire y formar un buen soporte en las capas de asfalto: la carga estática, la manipulación, el impacto y la vibración. Los operadores de las máquinas y el personal de control de calidad deben entender cómo utilizar esas cuatro fuerzas para poder lograr la densidad requerida en forma productiva y, al mismo tiempo, mantener la textura tersa de la capa asfáltica.

La carga estática y la manipulación generalmente requieren menores fuerzas y son las más fáciles

de entender. La carga estática se produce con un compactador de rodillos estáticos de acero o con un compactador de neumáticos.

El impacto y la vibración son fuerzas dinámicas y típicamente generan mayores fuerzas de compactación. Los compactadores vibradores de rodillo de acero desarrollan fuerzas de impacto y vibración y típicamente son los que reciben mayor atención.



### [ PRESIÓN ESTÁTICA CON RODILLO DE ACERO ]

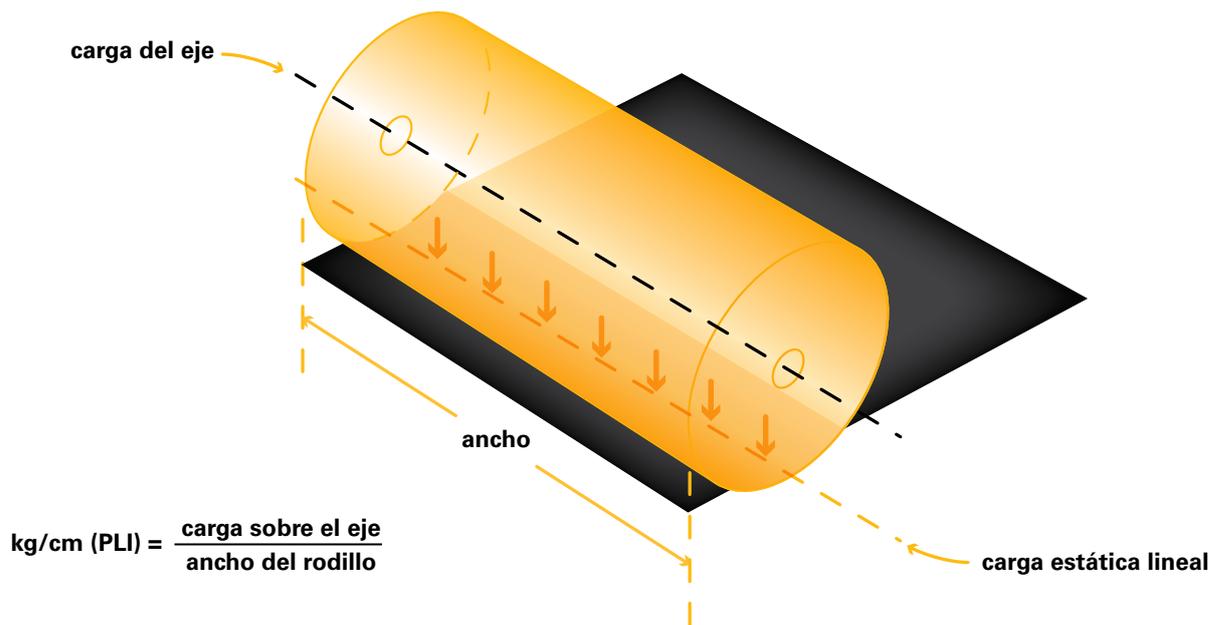
Cuando se operan sin vibración los compactadores de rodillo de acero, ejercen presión estática sobre la carpeta asfáltica. El nivel de presión estática depende del peso del rodillo y del área del rodillo que tiene contacto con la carpeta asfáltica. Un mayor peso del rodillo produce una mayor presión estática, igualmente, una menor área de contacto ejerce mayor presión. La presión estática se mide en bars o libras por pulgada cuadrada (psi).

Una manera más sencilla de ver la fuerza estática es dividir el peso del rodillo entre el ancho del rodillo. Este resultado se expresa como kilogramos

por centímetro o libras por pulgada. Es importante recordar que un mayor peso de la máquina no siempre produce la carga estática más alta.

La gráfica a continuación muestra tres Rodillos Vibradores Tándem de Cat. La máquina más pesada es la CB64, una unidad con rodillos de 3 m (84") de ancho. La siguiente unidad, la CB54XW, pesa menos y tiene rodillos de 200 cm (79") de ancho. La máquina más ligera es la CB54 con rodillos de 170 cm (67")

	<b>CB64</b>	<b>CB54XW</b>	<b>CB54</b>
Peso @ Rodillo	6.490 kg	5.949 kg	5.402 kg
Ancho del Rodillo	213 cm	200 cm	170 cm
Carga estática lineal	31 kg/cm	30 kg/cm	32 kg/cm



Lo que resulta interesante es que la unidad más ligera, la CB54, tiene la carga estática lineal más alta. Eso sucede con frecuencia porque los rodillos son más angostos.

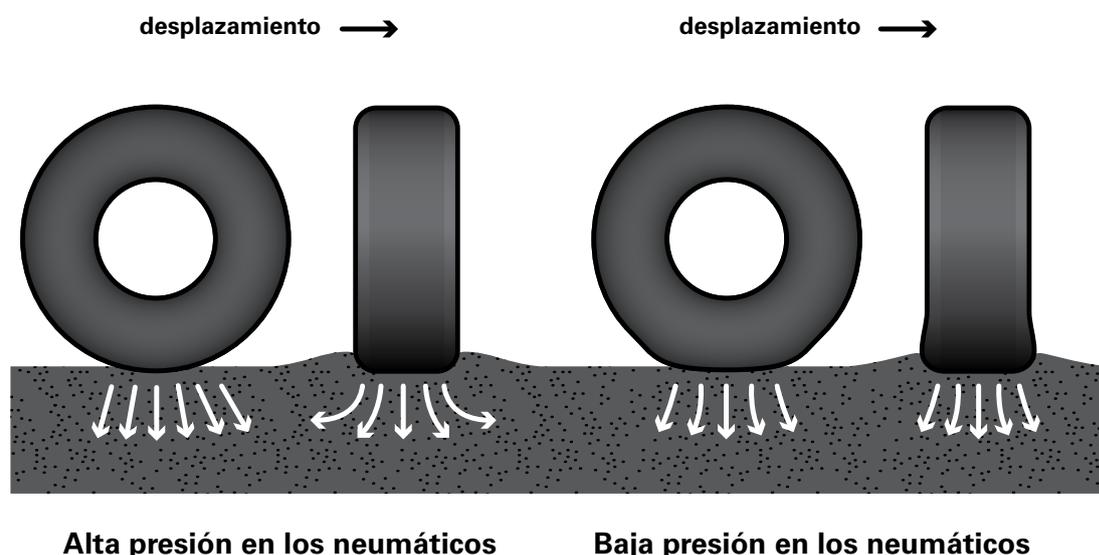
Por lo tanto, si se está trabajando en un proyecto y se requiere que la compactadora ejerza una fuerza estática relativamente alta, entonces es mejor utilizar el rodillo más angosto disponible, pero

que pueda también cumplir con los requisitos de producción.

Entonces, para resumir, hay que clasificar todas las máquinas compactadoras con rodillo de acero de acuerdo a la carga estática lineal. Eso les ayudará a seleccionar el equipo correcto para las aplicaciones estáticas.

**Sugerencia para el usuario:** La fase de compactación de terminado generalmente se logra con un compactador de rodillo de acero programada al modo de operación estática. Un compactador con rodillos relativamente angostos que ejerce una carga lineal más alta, reducirá más las marcas dejadas donde se detiene el rodillo, que un compactador con rodillos más anchos y carga lineal más baja. El compactador con rodillos más angostos y mayor carga lineal puede hasta lograr una densidad ligeramente mayor en la fase de terminado.

## EFFECTO DE LA DIFERENCIA DE LA PRESIÓN EN LOS NEUMÁTICOS SOBRE LA FUERZA DE COMPACTACIÓN



### [ PRESIÓN ESTÁTICA DEL COMPACTADOR DE NEUMÁTICOS ]

El otro tipo de compactador que ejerce fuerza estática es el de rodillo neumático o neumáticos de goma. La presión ejercida sobre el suelo depende del peso de cada neumático y del área del neumático en contacto con la carpeta asfáltica.

Se puede cambiar el peso sobre cada neumático cambiando la cantidad de lastre en el compactador. El aumento en el peso aumenta la carga por neumático y la fuerza estática penetrará más profundamente en la carpeta asfáltica.

La mayoría de los compactadores de neumáticos tienen tanques de lastre llenos con agua, con arena mojada o algún otro material. Algunos de los

compactadores de neumáticos vienen con pesas de acero que pueden retirarse. Cuando se entrega el compactador de neumáticos en la obra, es raro que se cambie el peso del lastre. En la obra, la forma más común para cambiar la fuerza estática es ajustando la presión de los neumáticos.

Cuando se disminuye la presión del neumático, este se aplana más y el área de contacto es mayor. Por lo tanto, se aplica menos presión estática sobre la carpeta asfáltica.

### CW34 CON LASTRE HASTA 2.000 KG Y 3.000 KG

Presión del neumático	Presión de Contacto con el Suelo	
	@ 2.000 kg	@ 3.000 kg
300 kpa (44 psi)	260 kpa (38 psi)	397 kpa (58 psi)
500 kpa (73 psi)	357 kpa (52 psi)	386 kpa (56 psi)
700 kpa (102 psi)	498 kpa (72 psi)	457 kpa (66 psi)
900 kpa (131 psi)	764 kpa (111 psi)	573 kpa (83 psi)



*La opción de inflado en movimiento (“air-on-the-run”) permite que sea más fácil ajustar la presión de aire en los neumáticos*

Cuando se aumenta la presión en el neumático, este se sostiene más vertical y el área de contacto con la carpeta es menor, esa menor área de contacto hace que la fuerza estática sobre la carpeta sea mayor.

Segundo. Al inflar los neumáticos, nunca se debe exceder la presión máxima recomendada por el fabricante. Inflar de más los neumáticos de goma puede causar falla prematura de los neumáticos.

Deben considerarse dos cosas al aumentar la presión de los neumáticos. Primero, una mayor fuerza estática dejará marcas más profundas sobre la superficie de la carpeta. Esas marcas profundas pueden ser difíciles de eliminar durante la fase final de compactación.

**Sugerencia para el usuario:** *Cuando se revisa y se ajusta la presión de los neumáticos, debe asegurarse de inflar cada neumático a la misma presión. Si la presión en los neumáticos es diferente, la densidad a lo largo de la carpeta asfáltica también será diferente. Además, se podrá notar que el asfalto caliente se adhiere más fácilmente al neumático o neumáticos que no están inflados lo suficiente. El mantenimiento y la inspección de los neumáticos son críticos en los compactadores de neumáticas.*

**Sugerencia para el usuario:** *La fuerza estática ejercida por un compactador de rodillo de acero o un compactador de neumáticos se ve afectada por la velocidad de trabajo de la máquina. Entre mayor velocidad de trabajo, menor la densidad. Por lo tanto, si se necesita mayor densidad con el uso de un compactador estático, el primer cambio que debe hacerse es de bajar la velocidad de trabajo. También se pueden agregar más pasadas, pero una menor velocidad de trabajo debe ser la primera variable a considerar.*

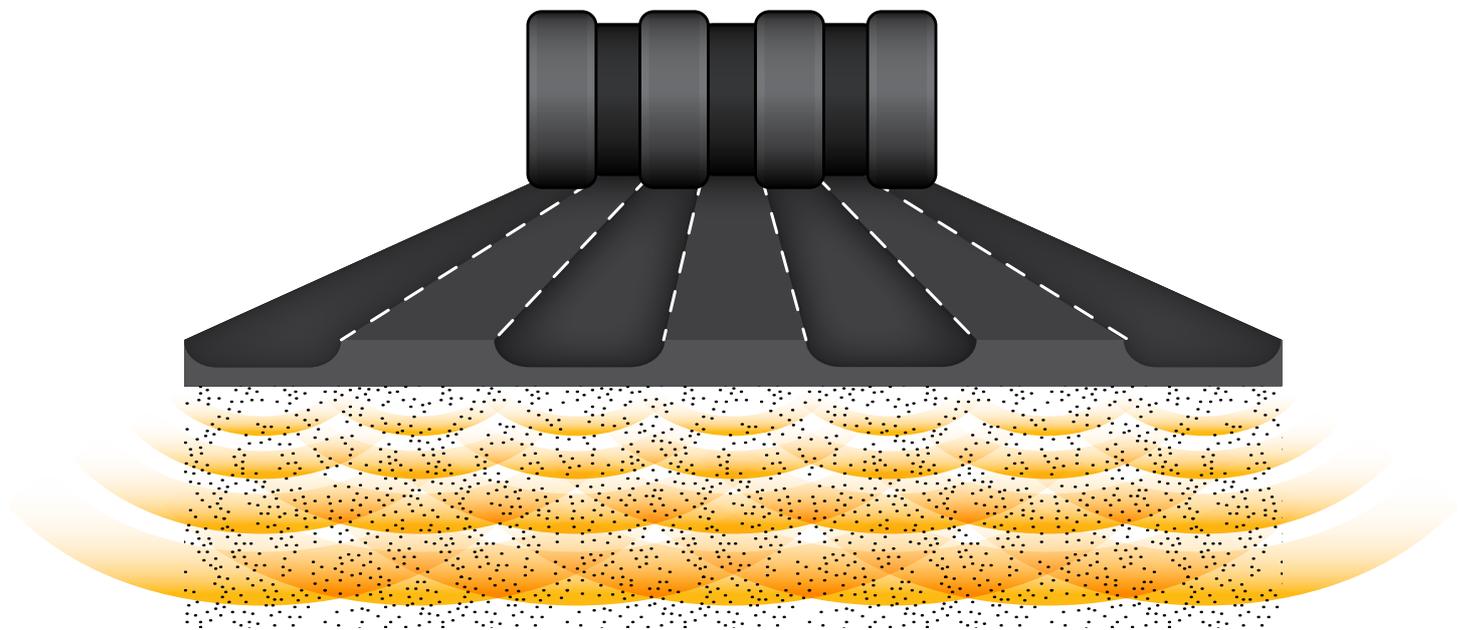
### [ MANIPULACIÓN ]

La manipulación, que también es una fuerza estática, ocurre cuando las fuerzas ejercidas sobre la carpeta asfáltica no son completamente verticales. En ese caso, las líneas de fuerza se transmiten en muchas direcciones. El beneficio de la manipulación es que esta fuerza cambia la textura haciéndola más compacta. La manipulación se relaciona con compactadores de neumáticos y compactadores oscilatorios.

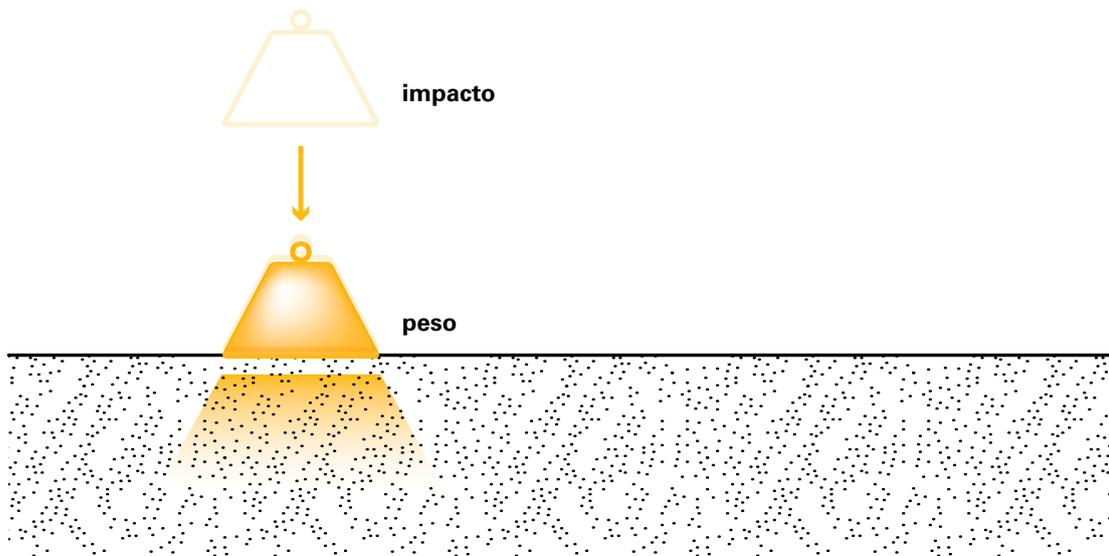
Los neumáticos escalonados, traslapados en los ejes de los compactadores de neumáticos, manipulan la carpeta debajo y entre los neumáticos en una forma confinada. Las líneas de fuerza no

solamente son verticales, sino también se mueven hacia los lados. Las fuerzas verticales empujan el agregado grueso hacia abajo para aumentar la densidad, mientras que las fuerzas de lado a lado crean un terminado de superficie más compacto que ayuda a evitar que penetre la humedad.

Algunos compactadores tienen rodillos oscilatorios. Los rodillos oscilatorios producen líneas de fuerzas tangenciales, o hacia delante y atrás, que trabajan principalmente sobre la superficie de la carpeta. La fuerza oscilatoria produce el mismo beneficio que la manipulación, comprime y sella la superficie de la carpeta asfáltica.



*Los neumáticos traslapados producen áreas de contacto y presiones traslapadas, creando las fuerzas de manipulación.*



### [ IMPACTO ]

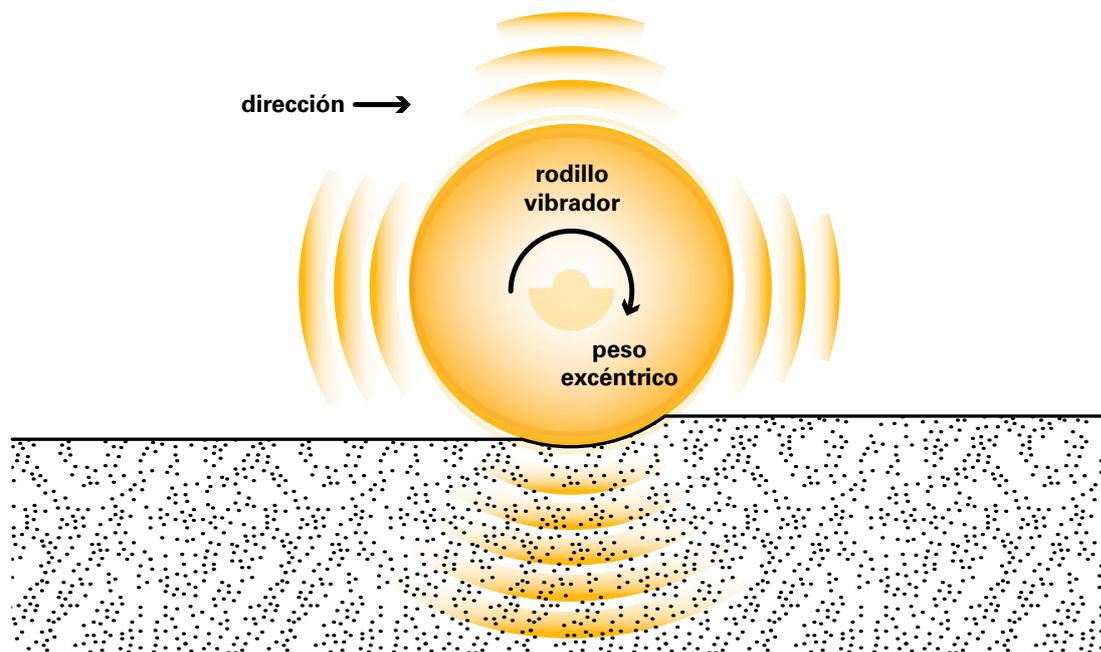
El impacto, la siguiente fuerza de compactación, es una fuerza dinámica que ejerce más fuerza sobre la carpeta asfáltica que una fuerza estática equivalente. Ya vimos que el peso en el área del rodillo, dividido entre el ancho del rodillo, produce una carga lineal estática.

En los compactadores vibradores con rodillo de acero, el rodillo de hecho penetra en la carpeta. La fuerza estática del rodillo aumenta con los movimientos del rodillo o el impacto del rodillo. El impacto genera más energía. La energía del impacto es más fuerte sobre la superficie de la carpeta asfáltica y disminuye al penetrar más profundamente en la carpeta.

Las fuerzas de impacto crean densidad en la carpeta más rápido que las fuerzas estáticas. El aumento de la producción es el beneficio de usar compactadores de rodillo vibratorio.

El riesgo de utilizar la fuerza de impacto es que demasiada energía puede dañar los agregados en la carpeta. Es posible sobre-compactar la carpeta utilizando demasiada fuerza de impacto; de hecho, la densidad de la carpeta puede reducirse cuando se aplica demasiada fuerza. Lo que se necesita para una compactación efectiva es un equilibrio entre las fuerzas de impacto y las otras características de la máquina, como el peso, la velocidad de trabajo y la frecuencia de la vibración.

## VIBRACIÓN



### [ VIBRACIÓN ]

[ Vibración ]

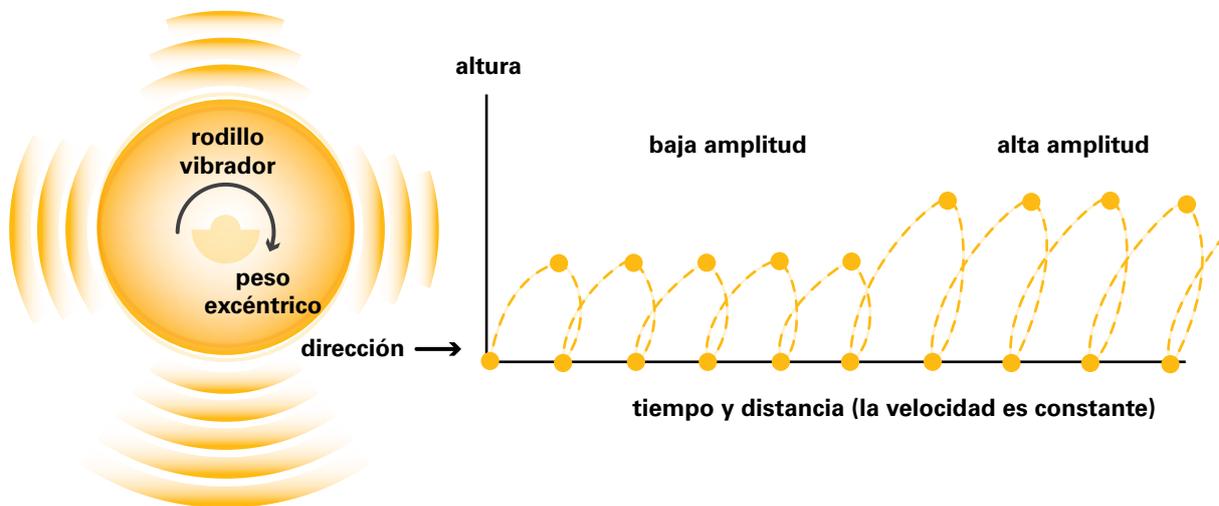
La fuerza de vibración es la más compleja de las cuatro fuerzas de compactación. Las fuerzas vibratorias aumentan la energía producida por el peso y el impacto.

Dentro del rodillo de acero hay un eje vibrador. En el centro del eje vibrador hay un peso excéntrico. Cuando se activa el sistema de vibración, el eje vibrador empieza a girar rápidamente. El giro del eje

con el peso excéntrico hace que el rodillo se mueva, o vibre, en todas direcciones. La vibración hace que se liberen una serie de ondas de presión en la carpeta asfáltica. Las ondas de presión vibratoria hacen que se muevan los agregados de la carpeta. El movimiento de los agregados ayuda a reorientar los agregados más gruesos de manera que la fuerza de impacto puede reducir más fácilmente los vacíos de aire entre los agregados, poniéndolos así en contacto más apretado.

**Sugerencia para el Usuario:** En general, se debe seleccionar la mayor amplitud aceptada por la carpeta, sin hacer que los rodillos boten o dejen marcas de impacto. Hay que recordar que la selección de la amplitud tiene el mayor impacto para producir la densidad deseada, y por lo tanto, para lograr el índice de productividad de la máquina compactadora.

AMPLITUD



[ EL IMPACTO ES IGUAL A LA AMPLITUD ]

En un compactador vibrador con rodillo de acero, hemos visto que los rodillos se mueven muy rápido hacia arriba y hacia abajo para crear el impacto y la vibración. La fuerza de impacto creada por el rodillo que penetra en la carpeta se mide con un término conocido como amplitud.

Amplitud es la distancia que el rodillo penetra en la carpeta asfáltica. La amplitud es el factor más significativo cuando se habla de la efectividad de la compactación.

La mayoría de los compactadores vibradores ofrecen una variedad de ajustes de amplitud. Cuando el operador cambia la amplitud, se cambia la configuración del peso excéntrico dentro del

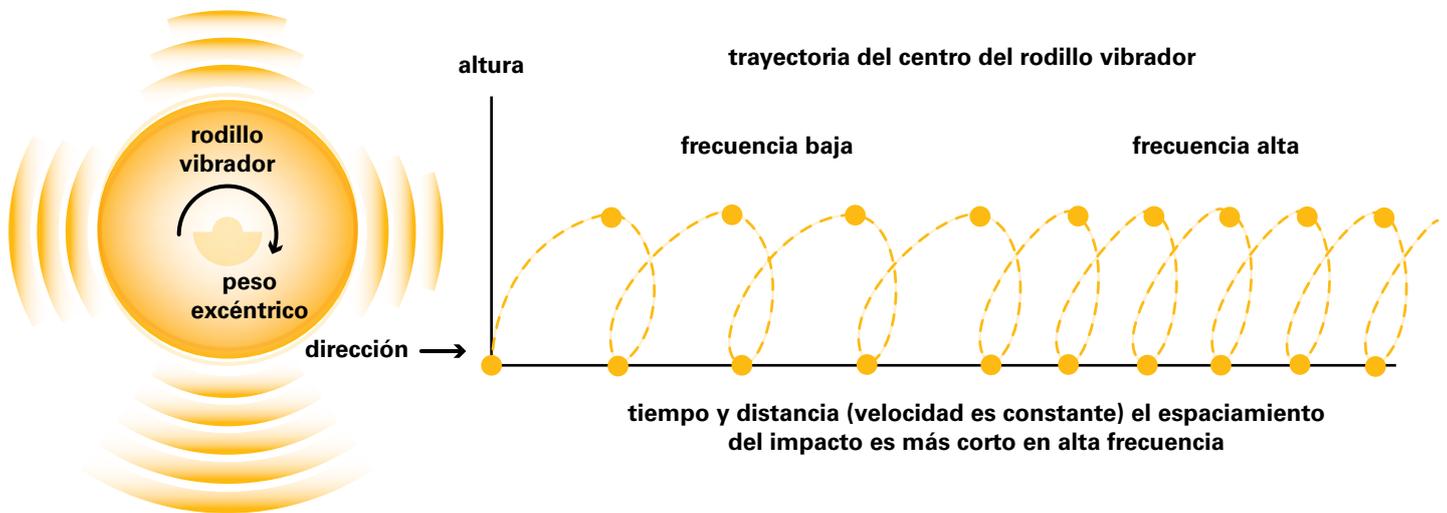
rodillo. Cuando el peso excéntrico está más descentrado, es mayor la amplitud y aumenta la fuerza de impacto. Cuando el peso excéntrico está más balanceado, disminuye la amplitud y es menor la fuerza de impacto.

Todo el personal involucrado en el proceso de compactación debe conocer las capacidades de amplitud de cada compactador en la obra. Si es necesario, deben desarrollar una lista de verificación ("checklist") para ayudar a seleccionar la amplitud correcta.

En general, hay tres niveles de amplitud: bajo, medio y alto.

<b>Nivel Bajo de Amplitud</b>	0,2 mm a 0,5 mm (0,01" - 0,02")
<b>Nivel Medio de Amplitud</b>	0,5 mm a 0,8 mm (0,02" - 0,03")
<b>Nivel Alto de Amplitud</b>	Arriba 0,8 mm (0,03")

## FRECUENCIA



### [ VIBRACIÓN ES IGUAL A FRECUENCIA ]

A la fuerza de vibración se le llama frecuencia. La frecuencia se define como el número de veces que el rodillo golpea la carpeta y se mide en Hertz, o vibraciones por minuto.

El principal efecto de la frecuencia de vibración es su relación con la velocidad de trabajo (desplazamiento) del compactador. Como el rodillo va penetrando en la carpeta asfáltica, se debe estar seguro que los impactos queden adecuadamente espaciados. Si el espacio entre los impactos es

demasiado pueden verse marcas de impacto en la superficie de la carpeta. Si el espacio entre impactos es reducido, pueden verse crestas en la superficie de la carpeta. El espaciado correcto de los impactos es cuando se aplican de 26 a 46 impactos por metro (8 a 14 impactos por pie).

Muchos compactadores modernos tienen dos frecuencias de vibración, o en otros casos, frecuencias que son variables. Las frecuencias se clasifican como baja, media o alta.

<b>Frecuencia Baja</b>	40 a 47 Hz (2.400 a 2.800 vibraciones por minuto)
<b>Frecuencia Media</b>	47 a 57 Hz (2.800 a 3.400 vibraciones por minuto)
<b>Frecuencia Alta</b>	Más de 57 Hz (más de 3.400 vibraciones por minuto)

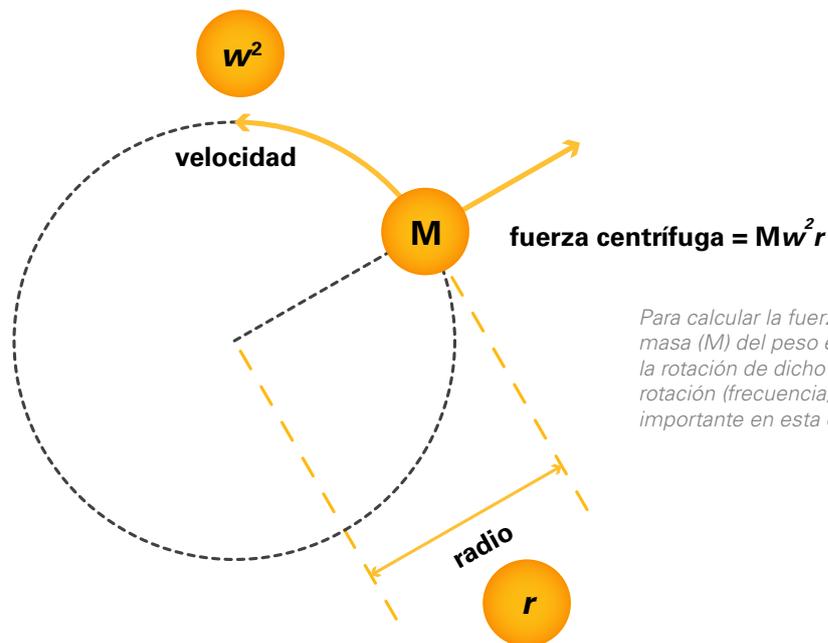
### [ COMO RELACIONAR AMPLITUD Y FRECUENCIA ]

Luego tenemos que entender la relación entre amplitud y frecuencia. La amplitud alta se crea cuando el peso excéntrico está en su posición más descentrada. Cuando el peso excéntrico está en su posición más descentrada o fuera de balance, el eje del excéntrico tiene que girar lentamente para evitar provocar calor excesivo y el desgaste del cojinete del eje del excéntrico. Por lo tanto, la amplitud alta solamente puede asociarse con baja frecuencia de vibración.

La amplitud baja se crea cuando el peso excéntrico está en una posición más balanceada. Cuando el eje del peso excéntrico está más balanceado, puede girar más rápidamente sin dañar los componentes

del rodillo vibrador. Por lo tanto, la amplitud baja puede asociarse con frecuencia vibratoria alta o baja.

En la obra, la cuadrilla encargada del trabajo de compactación tiene que determinar cuáles son las características correctas de vibración para lograr la densidad deseada efectiva y eficientemente. Si la carpeta requiere mucha fuerza o energía para lograr la densidad especificada, entonces el personal seleccionará una amplitud media o alta, Cuando se seleccionan amplitudes más altas siempre se utilizará una frecuencia más baja.



*Para calcular la fuerza centrífuga, se multiplica la masa (M) del peso excéntrico por el radio (r) de la rotación de dicho peso y por la velocidad de rotación (frecuencia) al cuadrado (w²). El factor más importante en esta ecuación es la frecuencia.*

## [ ¿QUÉ ES LA FUERZA CENTRÍFUGA? ]

La fuerza centrífuga es un cálculo que ayuda a los que diseñan el compactador a establecer el balance correcto entre el peso del rodillo, la masa del peso excéntrico y la velocidad de rotación del peso excéntrico. La fuerza centrífuga no tiene un significado práctico para el operador del compactador ni para el personal de control de calidad.

Con frecuencia hay confusión acerca del significado de la fuerza centrífuga como se muestra en el material de especificaciones del compactador. Mucha gente cree que entre más alta la fuerza centrífuga, mayor la energía de compactación.

Esta es una conclusión equivocada. Un vistazo a la fórmula para calcular la fuerza centrífuga ayudará a aclarar la situación.

Para calcular la fuerza centrífuga, la masa del peso excéntrico se multiplica por el radio de rotación del peso excéntrico y por la velocidad de rotación (frecuencia), al cuadrado. El factor más importante en esta ecuación es la frecuencia. Si la frecuencia aumenta, la fuerza centrífuga aumenta significativamente. Este concepto puede ilustrarse viendo las especificaciones del sistema vibrador del Compactador de Doble Rodillo Cat, equipado con doble frecuencia y cuatro amplitudes.

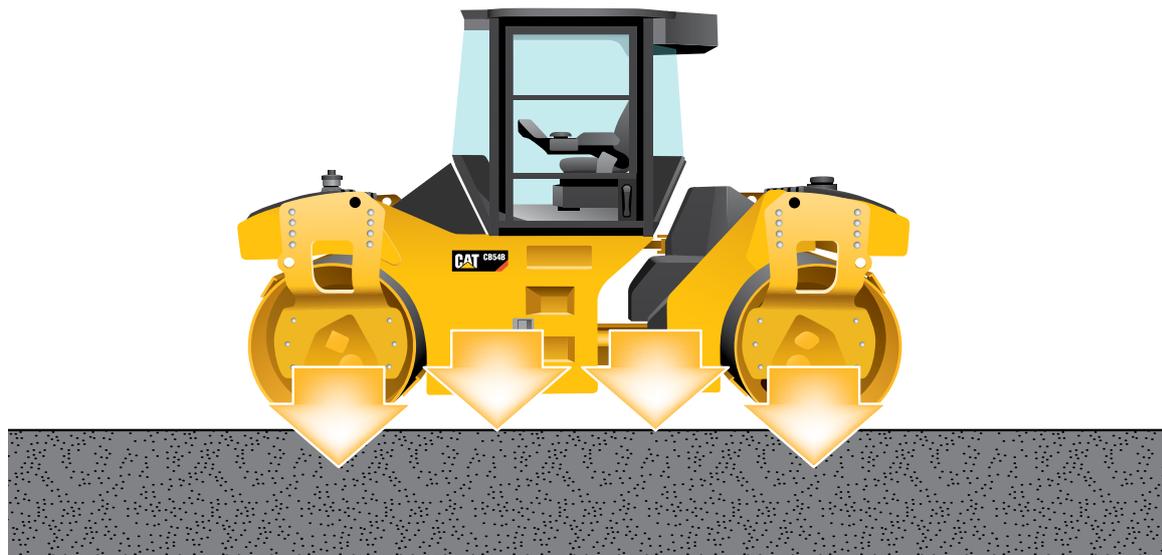
**SISTEMA VIBRADOR CAT**

<b>Frecuencia</b>	<b>Amplitud</b>	<b>Fuerza Centrífuga</b>
42 Hz (2.520 vpm)	Alta: 0,86 mm (0,034")	89 kN (19.980 lb)
42 Hz (2.520 vpm)	Baja: 0,73 mm (0,029")	75 kN (16.965 lb)
63 Hz (3.800 vpm)	Alta: 0,44 mm (0,017")	103 kN (23.243 lb)
63 Hz (3.800 vpm)	Baja: 0,33 mm (0,013")	78 kN (17.438 lb)

En esta máquina, los números más altos de fuerza centrífuga resultan cuando se selecciona una frecuencia alta. Con frecuencia alta, la amplitud o fuerza de impacto es relativamente baja.

Los números más bajos de fuerza centrífuga resultan cuando se seleccione una frecuencia baja. Como se mostró anteriormente, las amplitudes son siempre más altas cuando se selecciona una frecuencia baja.

Así que, como muestra la gráfica, una fuerza centrífuga más alta no necesariamente corresponde a mayor energía de compactación. Una fuerza centrífuga más alta con frecuencia significa menos energía de compactación. A los operadores del compactador y al personal de control de calidad se les aconseja que ignoren la fuerza centrífuga cuando están considerando las características de un sistema vibratorio.



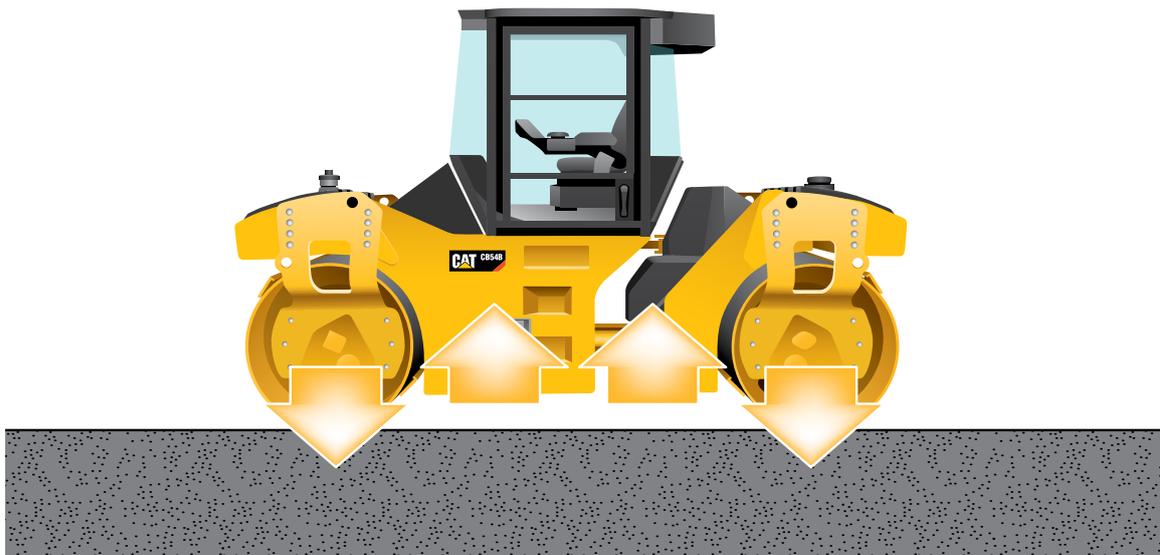
*Cuando la compactación está balanceada, la mayor parte de la fuerza vibratoria se transmite a la carpeta asfáltica.*

### [ VIBRACIÓN BALANCEADA EN EL COMPACTADOR ]

Cuando todo está en equilibrio – amplitud, frecuencia, velocidad de la máquina y peso del rodillo – las fuerzas de impacto y vibración son aceptadas por la carpeta. Todas las características de vibración están trabajando juntas cerca de lo que se llama resonancia del sistema y la máquina opera suavemente. Bajo esas condiciones la mayor parte de la fuerza vibratoria se transmite a la carpeta. La fuerza de compactación transmitida se maximiza para lograr la operación más productiva.

Utilizando la misma máquina sobre la misma carpeta asfáltica, se puede seleccionar la misma

amplitud pero aumentar la frecuencia. La máquina puede ya no tener el sistema de resonancia correcto. En esas condiciones, parte de la energía de compactación no es aceptada por la carpeta, sino que se regresa a la máquina. Los rodillos empiezan a perder contacto con la carpeta. Cuando los rodillos rebotan, el operador pierde el control de la dirección. La vibración desequilibrada resulta en una compactación menos efectiva, puede dañar la carpeta asfáltica y es incómoda para el operador.



*Parte de la energía de compactación se transfiere de regreso a la máquina si la compactación no está bien balanceada.*

**Sugerencia para el Usuario:** Si el rodillo empieza a rebotar, intente alguna de las siguientes medidas para volver a una operación apropiada:

- Revisar la velocidad de trabajo para asegurar que se está operando dentro del rango que produce de 26 a 46 impactos por metro (8 a 14 impactos por pie).
- Cambiar el ajuste a una amplitud más baja.
- Cambiar a una frecuencia más alta, si está disponible en la máquina.
- Operar con un rodillo vibrando y el otro estático.
- Operar en modo estático.

**Resumen:** Las fuerzas de compactación y demás características de la máquina están relacionadas. Es importante que la cuadrilla de operación entienda la relación que existe entre las fuerzas de compactación y la forma en que la carpeta asfáltica acepta dichas fuerzas. Cuando las fuerzas de compactación y las otras características están correctamente alineadas, el resultado será una compactación eficiente.



## Sección 3

# FACTORES QUE AFECTAN LA COMPACTACIÓN

La compactación requiere algo más que experiencia, más que basarse en lo que sucedió en la obra anterior. El proceso de compactación brindará mejores resultados cuando se sepa que información se requiere y como interpretarla.



## FACTORES

En la Sección Dos, analizamos las fuerzas de compactación y otros factores que afectan la compactación del asfalto.

Dichos factores, como la frecuencia, amplitud, velocidad del trabajo y ancho del rodillo, pueden ser controlados por la cuadrilla de compactación.

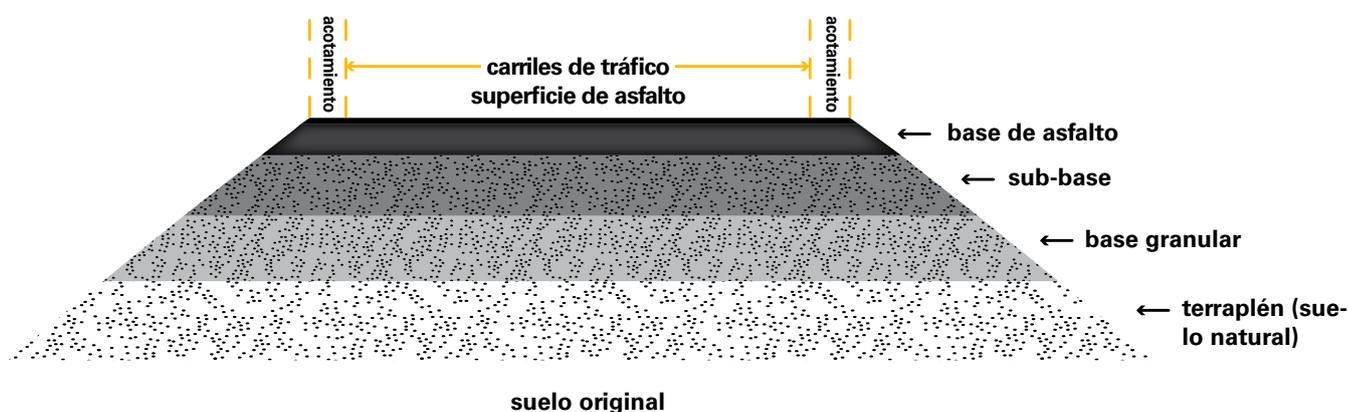
Hay muchos otros factores que afectan la compactación del asfalto que no pueden ser controlados por los operadores del compactador, el personal de control de calidad en la obra ni por los supervisores.

Esos factores incluyen:

- El diseño del proyecto
- El diseño de la mezcla
- El espesor de la capa de asfalto
- La temperatura de la mezcla
- Las condiciones climatológicas

Es importante que los operadores y el personal de control de calidad tengan la información necesaria acerca de dichos factores, porque los tienen que tomar en cuenta al momento de desarrollar las técnicas de compactación más idóneas para cada proyecto específico.

## CORTE TRANSVERSAL DE UNA CARRETERA



### [ DISEÑO DEL PROYECTO ]

El diseño del proyecto de pavimentación afecta las técnicas de compactación. En la construcción de una nueva carretera o en proyectos de reconstrucción total, generalmente se aplican múltiples capas de asfalto. Cada capa está conformada por diferentes materiales y tiene un grosor diferente.

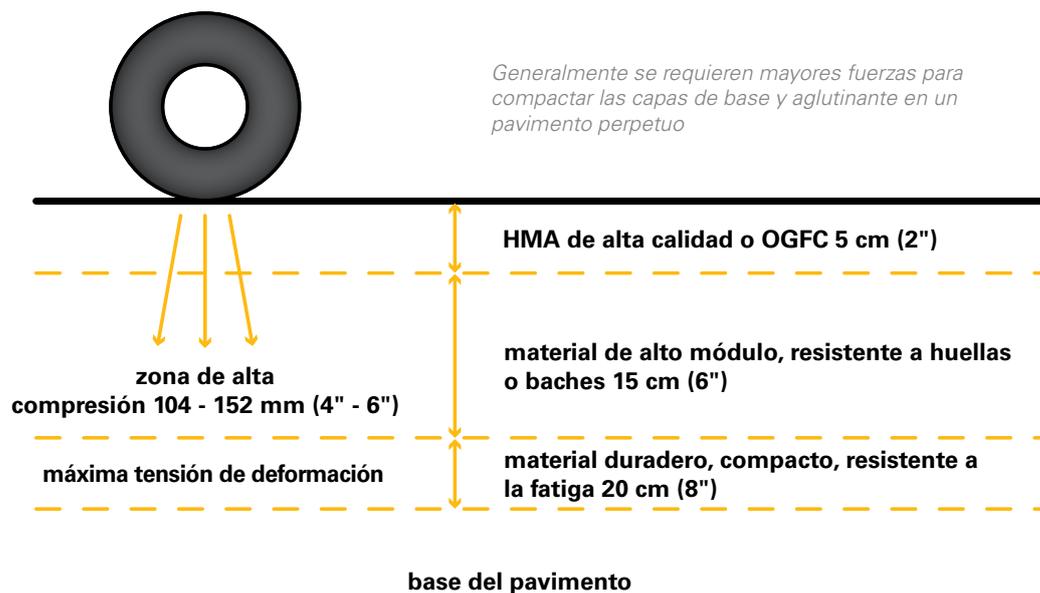
La primera capa, llamada base, se tiende sobre una base de agregado estabilizado o sub-base y generalmente consiste de una mezcla con agregados relativamente gruesos. Esa es generalmente la capa más gruesa. Se tiende sobre una base flexible, así que normalmente se requiere alta energía de compactación para lograr la densidad deseada.

**Sugerencia para el Usuario:** Cuando se compacta asfalto tendido sobre una base granular, hay que recordar que parte de la fuerza de impacto del compactador (o amplitud) va a ser absorbida por la base que es algo flexible. Al preparar la lista de verificación (checklist) para seleccionar la amplitud, siempre se debe considerar el tipo de base que está debajo de la capa de asfalto. Si es una base rígida, como una superficie escarificada o fresada, se debe tener cuidado de no usar demasiada amplitud. Si la base es flexible, el efecto será menor si se usa amplitud media o alta.

Con frecuencia se utiliza una segunda capa de asfalto, llamada aglutinante o capa intermedia. Esa capa aglutinante generalmente es más delgada que la capa de base y utilizan agregados más pequeños. La capa aglutinante normalmente requiere menos energía de compactación para lograr la densidad deseada. Las capas de base y de aglutinante contribuyen al soporte estructural. La capa intermedia puede contribuir al drenado junto con las capas de base asfáltica con granulometría abierta.

Por último, se aplica una capa de superficie llamada la capa de desgaste o capa de rodadura. Normalmente la capa de superficie es la capa más delgada y está compuesta por los agregados más pequeños. La capa de superficie está diseñada para ser la capa más rígida y ser la que más contribuye a la resistencia del pavimento. Como la capa de superficie por lo general es relativamente delgada y está tendida sobre una superficie rígida, requiere menos energía de compactación.

## DISEÑO DE PAVIMENTO PERPETUO



Pavimento perpetuo es un término que se utiliza para describir otro diseño estructural de larga vida. El pavimento perpetuo está diseñado para soportar un número casi infinito de cargas de los ejes sin sufrir deterioro estructural. Capas gruesas de asfalto, en ocasiones hasta de 60 cms. (22"), limitan el nivel de deformación inducido por las cargas debajo de las capas de asfalto.

El diseño de un pavimento perpetuo generalmente utiliza mezclas de alta calidad resistentes a la deformación. La mayoría de las capas inferiores en el diseño de la capa perpetua requieren un mayor grado de energía de compactación para lograr la densidad especificada.

Otra aplicación muy común del proceso de compactación de pavimentos es la de compactar una o dos capas relativamente delgadas sobre una superficie escarificada o fresada. Gran parte del trabajo actual sobre estructuras de asfalto consiste en dar mantenimiento eliminando parcialmente las capas hasta cierta profundidad y luego repavimentar.

Después del paso de aplanado en frío, puede haber una capa niveladora y luego una capa de superficie. Rara vez estas capas son de más de 50 mm (2"). Por lo tanto, normalmente se usa menos energía de compactación para esta aplicación.



*Compactación de capas delgadas sobre superficies escarificadas generalmente requiere menos fuerza de compactación.*

### [ DISEÑO DE LA MEZCLA ]

Asfalto es un término genérico que incluye muchos diferentes tipos de mezclas de agregados, finos, modificadores y cemento asfáltico. Se produce en plantas de asfalto a temperaturas de entre 145 °C y 190 °C (300-350 °F). Una variación del asfalto tradicional de mezcla caliente es el asfalto de mezcla templada. La tecnología del asfalto de mezcla templada permite la producción y el tendido de la mezcla a temperaturas de hasta 40 °C (100 °F) más bajas que el asfalto convencional de mezcla caliente, sin sacrificar su desempeño. En este manual se aborda la compactación de asfaltos de mezcla caliente y de mezcla templada de la misma manera.

Las mezclas de granulometría densa se producen con agregados de granulometría continua.

En otras palabras, hay una variedad de tamaños de agregados en su diseño. La fórmula del diseño incluye cemento asfáltico y finos. Típicamente, los agregados más gruesos están rodeados por una matriz de masilla compuesta de cemento asfáltico y finos. El cemento asfáltico puede ser modificado por materiales como polímeros o látex para desarrollar rigidez adicional.

Como los agregados más grandes están rodeados por la mezcla de cemento asfáltico y finos, hay menos peligro de dañar los agregados con el uso de una fuerza alta de compactación. Dependiendo del espesor de la capa, con frecuencia se selecciona una amplitud media o alta cuando se compactan mezclas de granulometría densa.

**Sugerencia para el Usuario:** *A la lista de verificación (checklist) para seleccionar la amplitud, debe agregarse el tipo de cemento asfáltico. Si el cemento asfáltico tiene modificadores como polímeros, fibras o látex, la viscosidad del cemento asfáltico será mayor. Será más difícil juntar más estrechamente los agregados unos con otros durante el proceso de compactación, debido a la alta viscosidad del cemento asfáltico modificado. Por lo tanto, deben considerarse amplitudes más altas cuando se sabe que hay cemento asfáltico de alta viscosidad en la capa que se está compactando. La información acerca de del tipo de cemento asfáltico puede encontrarse en la fórmula de la mezcla utilizada para ese trabajo de pavimentación, la cual debe estar disponible para los supervisores y el personal de control de calidad.*

## MEZCLA DE GRANULOMETRÍA DENSA O PESADA



Las mezclas de granulometría densa o pesada con frecuencia se clasifican como gruesas o finas. Las mezclas gruesas tienen un tamaño máximo de agregado de 19 mm (3/4") o más. Las mezclas gruesas generalmente se tienden en capas más gruesas, de 75 mm (3") o más.

Las carpetas asfálticas hechas con mezcla gruesa tienen menos posibilidades de moverse cuando la energía de compactación es alta. Se pueden utilizar compactadores vibratorios con mayores rangos de amplitud y compactadores neumáticos con presiones más altas contra el suelo.

## MEZCLA GRUESA O ÁSPERA



*A las mezclas de granulometría graduada con agregado grueso se les llama mezclas gruesas.*

## MEZCLA FINA O BLANDA

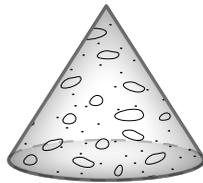


*A las mezclas de granulometría graduada con agregados más pequeños se les llama mezclas finas o blandas.*

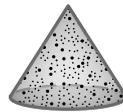
Algunas mezclas de granulometría graduada se clasifican como mezclas finas. Las mezclas finas tienen agregados con un máximo de hasta 13 mm (1/2") y típicamente un porcentaje relativamente alto de finos y cemento asfáltico. Algunas mezclas finas pueden ser inestables durante el proceso de compactación, sobre todo si el grosor de la capa excede los 50 mm (2"). Puede ser necesario

recorrer a la compactación estática para ayudar a estabilizar las mezclas finas o blandas antes de las pasadas con el rodillo vibrador. Alta energía de compactación puede dañar las capas de mezcla fina. Se recomiendan el uso de compactadores más ligeros, ya sea de rodillo de acero o neumáticos, para compactar mezclas finas.

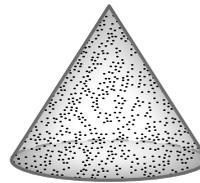
## MEZCLA DE GRANULOMETRÍA ABIERTA



**agregado  
máximo  
nominal**



**agregado  
pequeño**



**finos**

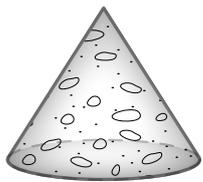


**cemento  
asfáltico**

Las mezclas de granulometría abierta tienen agregados de tamaño relativamente uniforme, típicamente sin partículas de tamaños intermedios. Los diseños típicos de mezclas con esta estructura son para capas de fricción permeables y bases permeables tratadas con asfalto. Debido a sus estructuras abiertas, se deben tomar precauciones

para minimizar la cantidad de cemento asfáltico que se escurra a la parte inferior de la capa, utilizando un cemento asfáltico modificado, generalmente goma de látex o fibras. En las mezclas de granulometría abierta es típico el contacto de piedra-con-piedra cuando hay una cubierta pesada de partículas de cemento asfáltico.

## MEZCLA QUE OMITEN ALGUNAS GRANULOMETRÍAS



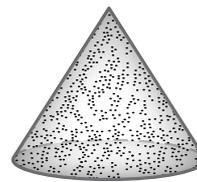
**agregado  
máximo  
nominal**



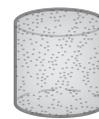
**agregado  
intermedio**



**agregado  
pequeño**



**finos**

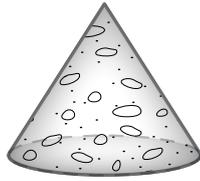


**cemento  
asfáltico**

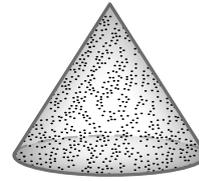
Las mezclas con granulometría que omiten algunas gradaciones usan agregados que van, desde gruesos hasta finos, pero omitiendo algunos de los tamaños intermedios. Esas mezclas también se

caracterizan por el contacto de piedra-con-piedra y son más permeables que las mezclas de granulometría densa.

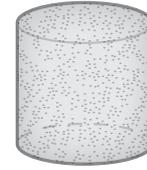
## ASFALTO DE MATRIZ PÉTREA



**agregado  
máximo  
nominal**



**finos**



**cemento  
asfáltico**

El asfalto con matriz pétreo (SMA), igual que otras mezclas de granulometría abierta, no cuenta con la mayoría de los tamaños intermedios de agregados. Sin embargo, las mezclas de asfalto con matriz pétreo tienen una proporción mucho más alta de

finos. El cemento asfáltico modificado se combina con estos finos para producir un recubrimiento grueso de masilla alrededor y entre las partículas grandes de agregado.

**Sugerencia para el Usuario:** Las mezclas de granulometría abierta, las mezclas que omiten algunas granulometrías y el asfalto de matriz pétreo, todas tienen más contacto de piedra-con-piedra que las mezclas de granulometría densa. Debido a ese alto contacto de piedra-con-piedra, hay más posibilidades de que se dañen los agregados durante el proceso de compactación. Normalmente se recomienda bajar la amplitud en los compactadores vibratorios o usar compactación estática para ese tipo de mezclas. Pudiera requerirse una especificación del método para controlar el proceso de compactación cuando se usan esas mezclas. Además, algunas mezclas de matriz pétreo (SMA) que han sido modificadas pueden ser extremadamente rígidas y pueden requerir mayor fuerza de compactación.

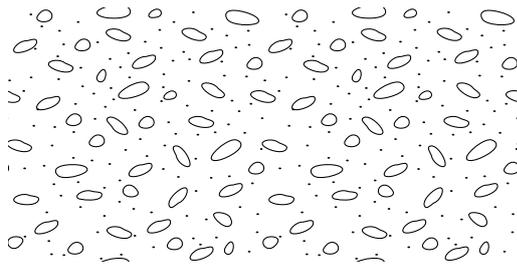
### [ FORMA DEL AGREGADO ]

La forma de los agregados también afecta la compactación. La forma del agregado determina el nivel de fricción interna entre las partículas.

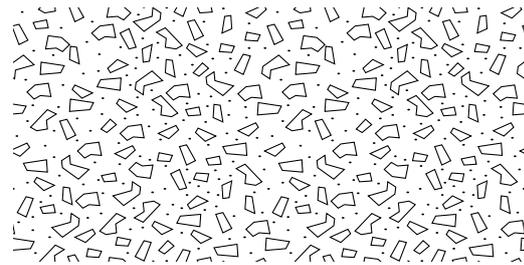
Los agregados redondeados tienen baja fricción interna y se acercan más entre sí con menos energía de compactación dentro de la capa de asfalto. Sin embargo, las mezclas con agregados redondeados tienden a ser inestables y se mueven de un lado a otro bajo el peso del compactador. Por lo tanto, cuando se sabe que la forma de los agregados es redondeada, se debe seleccionar una amplitud baja de vibración o un compactador estático ligero.

Los agregados angulares, por otra parte, tienen un grado alto de fricción interna. Una vez que se mueven y entran en contacto, los agregados angulares producen un pavimento de alta resistencia. Se necesitan compactadores de mayor fuerza y más pesados para contrarrestar la fricción interna entre las superficies fracturadas del agregado de piedras trituradas. La mayoría de los diseños de mezclas para tráfico pesado especifican el uso de agregados triturados con un cierto número y conformación de superficies.

#### **AGREGADOS REDONDEADOS** **poca fricción interna**



#### **AGREGADOS ANGULARES** **mucha fricción interna**



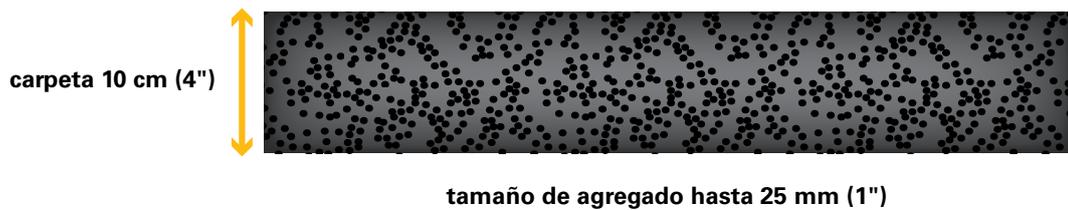
### [ ESPESOR DE LA CAPA / TAMAÑO DE LOS AGREGADOS ]

No importa qué tipo de mezcla ni el tipo de proyecto, un factor muy importante es la relación entre el tamaño del agregado más grande en la mezcla y el grosor de la capa asfáltica. Esta relación afecta la capacidad de la carpeta de aceptar la energía de compactación y lograr la densidad especificada.

Con una relación de 4:1, hay suficiente espacio para el movimiento de los agregados, permitiendo que estos se reorienten. Muchos departamentos de obras públicas especifican una relación de 3:1 como mínimo para el diseño de una mezcla para tráfico pesado.

Por ejemplo, una capa de 10 cm (4") de grueso y un tamaño máximo de agregado de 25 mm (1") es relativamente fácil de compactar. Se pueden utilizar fuerzas de compactación altas y no preocuparse de dañar los agregados.

#### RELACION DE 4:1 ENTRE EL ESPESOR DE LA CAPA Y EL TAMAÑO DE AGREGADO



#### RELACIÓN DE 2:1 ENTRE EL ESPESOR DE LA CAPA Y TAMAÑO DE AGREGADO



## FACTORES

Cuando la relación entre el grosor de la capa y el tamaño de los agregados es de menos de 3:1, el proceso de compactación es mucho más difícil. Sobre todo cuando hay agregados angulares en la capa asfáltica, es probable que esos agregados no se acomoden a lograr una orientación compactada sin dañarse. Es más probable que el operador del compactador

note que el rodillo está rebotando o que aparecen piedras sin recubrimiento en la superficie de la carpeta asfáltica. La falta de densidad y agregados dañados pueden ser la causa de que falle prematuramente la carpeta asfáltica. Cuando la relación entre el grosor de la capa y el tamaño de agregados es de menos de 3:1, se requiere baja energía de compactación.



*El grosor de la carpeta puede ser variable cuando la cuadrilla de pavimentación utiliza el control de pendiente.*

**Sugerencia para el Usuario:** Aunque el diseño pida la relación mínima requerida de 3:1, hay casos en que la relación entre el grosor de la capa y el tamaño de agregados será menor. La situación más común ocurre cuando se utiliza el control de pendiente en el equipo de pavimentación para crear un perfil. Control de pendiente de la plancha de la pavimentadora significa que el grosor de la carpeta probablemente puede variar a lo ancho de la carpeta. La mitad izquierda de la carpeta puede ser de 75 mm a 50 mm (3-2") de gruesa y la mitad derecha de la carpeta puede tener un grosor de 50 mm a 25 mm (2-1"). La mitad izquierda de la carpeta se compactará normalmente, pero los rodillos probablemente empezarán a rebotar cuando la máquina se mueva hacia el lado derecho. Se necesita menos energía de compactación del lado derecho. La solución más sencilla para ese problema es operar el compactador con un rodillo vibrando y el otro rodillo estático, o los dos rodillos estáticos. El cambio de operación del sistema vibrador se puede hacer fácilmente moviendo un contacto en el tablero del operador. El operador no tiene que bajarse de la máquina y cambiar los ajustes de amplitud para contrarrestar el rebote del rodillo.

## [ TEMPERATURA DE LA MEZCLA ]

El siguiente factor, la temperatura de la capa de asfalto, tiene un efecto importante sobre la compactación. Crear densidad en cualquier capa de asfalto generalmente es más fácil a la temperatura más alta posible. A altas temperaturas el cemento asfáltico, que es parte de la mezcla, tiene su viscosidad más baja. Los agregados de la mezcla se acercan más fácilmente entre sí cuando el cemento asfáltico es más fluido, o tiene su viscosidad más baja. El cemento asfáltico se endurece al enfriarse. Los agregados en la mezcla quedan bloqueados en su posición y ya no se puede expulsar más aire.

Dependiendo del desempeño de una mezcla a altas temperaturas, el límite superior que permite la compactación es de 160 °C (320 °F).

Algunos tipos de mezclas pueden ser inestables a altas temperaturas y se moverán frente al rodillo en lugar de consolidarse debajo del rodillo. Las mezclas que son inestables a altas temperaturas generalmente tienen un alto porcentaje de agregados pequeños, finos y cemento asfáltico. Cuando una mezcla se deforma debido a altas temperaturas, la solución está en mantenerse más atrás de la pavimentadora para permitir que la carpeta se enfríe lo suficiente para permitir una compactación normal.



Casi toda, si no es que toda, la densidad requerida en la capa asfáltica, debe lograrse para cuando la carpeta se enfría hasta 90 °C (190 °F). A esta temperatura el asfalto se hace tan rígido que ya no es posible ningún movimiento de los agregados. Aunque se podrían limpiar algunas marcas de la superficie de la carpeta, no es probable que se logre densidad adicional. Si la carpeta se está enfriando antes de lograr la densidad requerida:

- Trabajar más cerca de la máquina pavimentadora
- Aumentar la energía de compactación
- Agregar más compactadores

Hay excepciones a las reglas generales de los límites superiores e inferiores de temperatura para la compactación. Algunas mezclas tienen una zona blanda que está entre los límites tradicionales de temperatura. La carpeta se compactará normalmente dentro de un rango muy alto de temperatura. Luego se volverá inestable a un nivel intermedio de temperatura, generalmente llamada la zona blanda.



*Una señal de que el compactador está trabajando en una zona blanda es una marca volteada y agrietada de la orilla del rodillo.*

Si un compactador opera sobre la carpeta durante la zona blanda o sensible, normalmente se podrá ver que la carpeta se mueve adelante del rodillo o los neumáticos. Otra señal de que se está operando en la zona blanda es cuando aparece la marca del corte de la orilla del rodillo volteada y agrietada. La orilla del rodillo normalmente deja una marca recta de corte. Es más fácil que el operador detecte la marca de corte volteada que indica que el compactador está en la zona blanda.

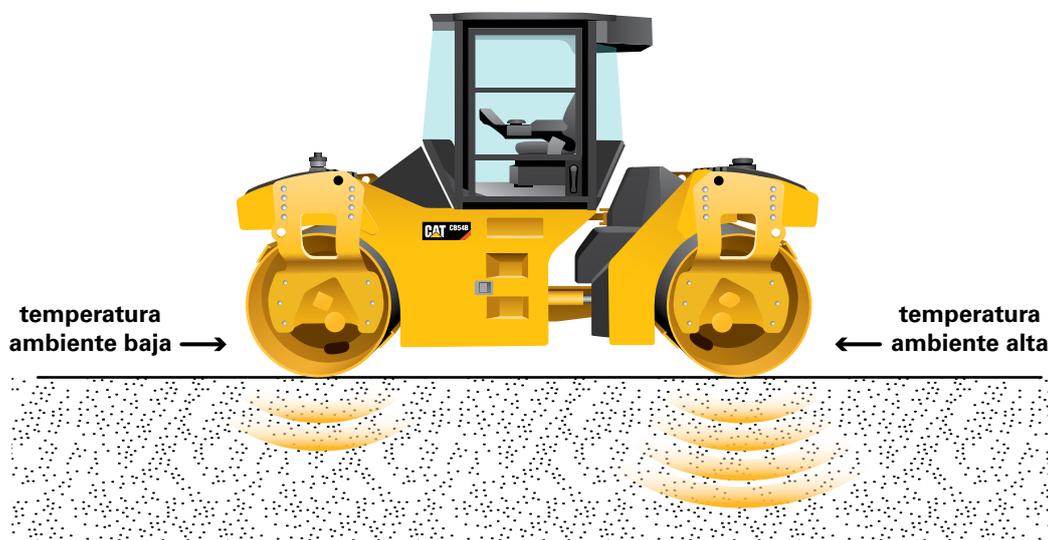
Cuando se está compactando una mezcla que tiene una zona blanda, se debe lograr la mayor densidad posible en la zona de alta temperatura. Normalmente la compactación debe detenerse cuando la carpeta entra en la zona blanda. Cuando termina la zona blanda, generalmente la carpeta se vuelve estable de nuevo y se puede lograr densidad adicional. La carpeta debe estar cerca de la densidad final antes de que empiece la zona blanda. Cuando termina la zona blanda y vuelve a iniciarse la compactación, debe seleccionarse una amplitud baja para evitar que el rodillo rebote sobre la carpeta densa, fría.

### [ CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS ]

El último factor que influye en la compactación es el clima, sobre todo la temperatura ambiente y las condiciones del viento. En los días calientes y soleados con alta temperatura ambiente, la carpeta retiene más tiempo el calor, de manera que aumenta el período de manejabilidad.

En los días frescos y airosos, la carpeta pierde el calor más rápidamente. De hecho se puede formar una costra sobre la superficie de la mezcla que evita que las fuerzas de compactación penetren uniformemente en la carpeta.

La temperatura de la carpeta se checa de dos maneras. La forma más común es utilizar un escáner infrarrojo para medir la temperatura. El escáner proporciona una lectura rápida de la temperatura de la superficie en un punto dado. El operador o el técnico de control de calidad pueden rápidamente monitorear la temperatura de la carpeta en diferentes puntos. La otra forma para revisar la temperatura de la carpeta es utilizando un termómetro tipo sonda. La sonda muestra la temperatura interna de la carpeta y es un mejor indicador de cómo va a reaccionar la mezcla a las fuerzas de compactación.



**Sugerencia para el Usuario:** Los operadores de los compactadores quizá tengan que ajustar los patrones de rolado al cambiar las condiciones ambientales durante el día. Por la mañana, cuando la temperatura normalmente es más baja, se puede utilizar un patrón de rolado corto para mantenerse muy cerca de la máquina pavimentadora. Al ir aumentando la temperatura ambiente y la carpeta va manteniendo más tiempo el calor, los operadores de los compactadores pueden aumentar la longitud de sus patrones de rolado sin preocuparse tanto por mantenerse cerca de la pavimentadora.

## FACTORES

Todos estos factores de temperatura y diseño de la mezcla son importantes porque determinan cuánto tiempo se tiene para lograr la densidad requerida antes de que la carpeta se enfríe a menos de 90 °C (190 °F). También se puede usar esta información para determinar cuánto tiempo se tiene antes del inicio de la zona blanda o sensible, si la hay.

En el pasado, el personal de control de calidad tenía que utilizar las gráficas de ingeniería

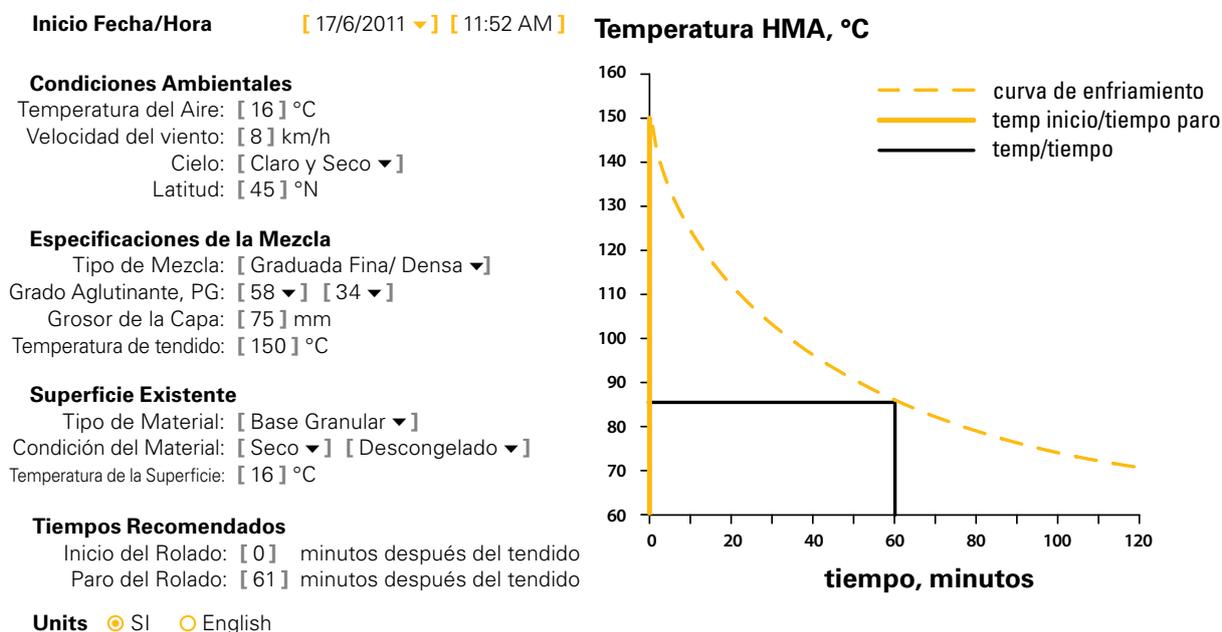
para determinar el tiempo disponible para la compactación, basadas en el grosor de la capa, temperatura de la capa detrás de la pavimentadora y condiciones ambientales. Hoy existen algunos programas de software para calcular ese tiempo más rápidamente y con mayor precisión. Un tipo de software se llama "PaveCool" (PaveCool Versión 2.400 copyright 2001- 2005 Minnesota Department of Transportation). A continuación se muestran una serie de cálculos del "PaveCool".

**Sugerencia para el Usuario:** La temperatura de la superficie de la carpeta es siempre más baja que la temperatura interna de la carpeta. Si se tiene disponible, debe utilizarse una sonda para verificar la temperatura interna. Luego utilizar el escáner infrarrojo para verificar la temperatura de la superficie en el mismo punto. Se puede encontrar que la temperatura de la superficie es hasta 15 °C (30 °F) más baja que la temperatura interna. Conocer el diferencial de la temperatura permite correlacionar la temperatura de la superficie mostrada por el escáner con la temperatura interna real.

**Sugerencia para el Usuario:** Caterpillar recomienda que el personal de control de calidad desarrolle una serie de curvas de enfriamiento antes de iniciar un proyecto. Dichas curvas de enfriamiento deben representar cualquier cambio en el grosor de la carpeta y deben anticipar los cambios en la temperatura de la mezcla y las condiciones climatológicas.

**Sugerencia para el Usuario:** Las curvas de enfriamiento también son sumamente útiles cuando se compactan mezclas que tienen una zona blanda o frágil. Se puede configurar el software "PaveCool" para mostrar el tiempo antes de iniciar la zona blanda o sensible y el tiempo que durará esa zona sensible.

### [ CURVAS DE ENFRIAMIENTO ]



El software "PaveCool" requiere los datos sobre las condiciones ambientales, las especificaciones de la mezcla y la superficie existente. En este ejemplo, la temperatura del aire es de 16 °C (60 °F), El viento es ligero, está soleado y el proyecto está localizado cerca de Paris, Francia (45° latitud norte). La capa de asfalto consiste de material graduado como denso, tendido con 75 mm (3") de grosor y pasando bajo la plancha de la pavimentadora a 150 °C (302 °F). La capa de asfalto se está tendiendo sobre material granular que está también a 16 °C (61 °F). La curva de enfriamiento resultante muestra que hay 61 minutos para la compactación antes de que se enfríe la carpeta a la temperatura mínima que se ha fijado a 85 °C (185 °F).

Inicio Fecha/Hora [ 17/6/2011 ▼ ] [ 11:52 AM ]

**Condiciones Ambientales**

Temperatura del Aire: [ 16 ] °C  
 Velocidad del viento: [ 8 ] km/h  
 Cielo: [ Claro y Seco ▼ ]  
 Latitud: [ 45 ] °N

**Especificaciones de la Mezcla**

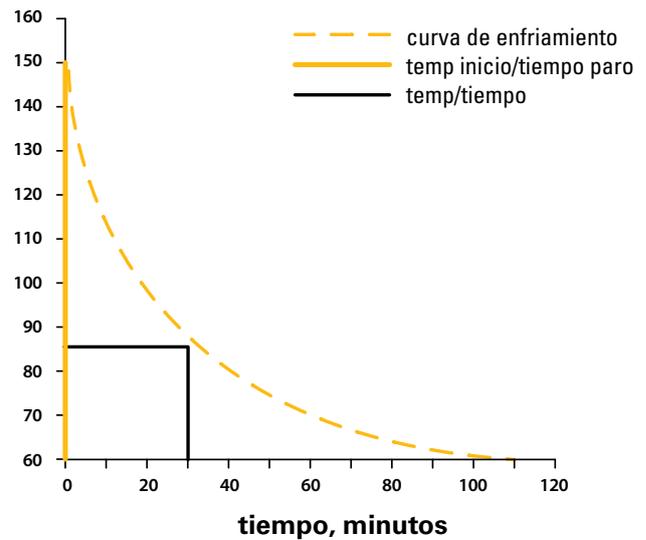
Tipo de Mezcla: [ Graduada Fina/ Densa ▼ ]  
 Grado Aglutinante, PG: [ 58 ▼ ] [ 34 ▼ ]  
 Grosor de la Capa: [ 50 ] mm  
 Temperatura de Tendido: [ 150 ] °C

**Superficie Existente**

Tipo de Material: [ Base Granular ▼ ]  
 Condición del Material: [ Seco ▼ ] [ Descongelado ▼ ]  
 Temperatura de la Superficie: [ 16 ] °C

**Tiempos Recomendados**

Inicio del Rolado: [ 0 ] minutos después del tendido  
 Paro del Rolado: [ 31 ] minutos después del tendido

Units  SI  English**Temperatura HMA, °C**

En este ejemplo, todos los datos son iguales excepto por el grosor de la capa que ha cambiado a 50 mm (2"). Cuando se calcula la nueva curva de enfriamiento, el tiempo disponible para la compactación ha disminuido un 50%. El tiempo disponible para compactación es ahora de 31 minutos.

Inicio Fecha/Hora [ 17/6/2011 ▼ ] [ 11:52 AM ]

**Condiciones Ambientales**

Temperatura del Aire: [ 16 ] °C  
 Velocidad del viento: [ 8 ] km/h  
 Cielo: [ Claro y Seco ▼ ]  
 Latitud: [ 45 ] °N

**Especificaciones de la Mezcla**

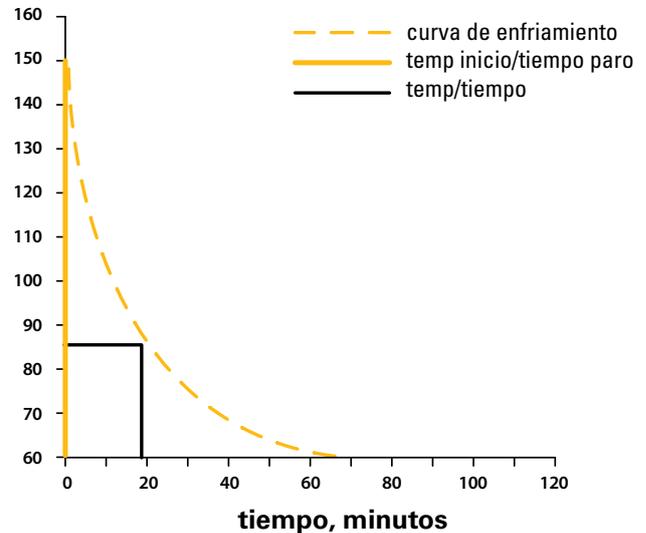
Tipo de Mezcla: [ Graduada Fina/ Densa ▼ ]  
 Grado Aglutinante, PG: [ 58 ▼ ] [ 34 ▼ ]  
 Grosor de la Capa: [ 38 ] mm  
 Temperatura de Tendido: [ 150 ] °C

**Superficie Existente**

Tipo de Material: [ Base Granular ▼ ]  
 Condición del Material: [ Seco ▼ ] [ Descongelado ▼ ]  
 Temperatura de la Superficie: [ 16 ] °C

**Tiempos Recomendados**

Inicio del Rolado: [ 0 ] minutos después del tendido  
 Paro del Rolado: [ 19 ] minutos después del tendido

Units  SI  English**Temperatura HMA, °C**

Ahora, supongamos que se está tendiendo una capa de superficie relativamente delgada que tiene un grosor de 38 mm (1,5"). Todo lo demás permanece igual. La curva de enfriamiento muestra que solamente se tienen 19 minutos para la compactación.

El grosor de la capa tiene un impacto muy importante sobre el tiempo que se tiene disponible para la compactación. Entre más delgada la capa, más difícil es el proceso de compactación. Saber cuánto tiempo se tiene disponible para lograr la

densidad deseada en carpetas delgadas ayuda a determinar los patrones de rolado y el número de máquinas compactadoras que se requieren para el proyecto.



La capacidad de desplazar el rodillo facilita una cobertura más ancha para una compactación más rápida en carpetas delgadas que pierden rápidamente el calor.

**Sugerencia para el Usuario:** Algunas máquinas compactadoras tienen la capacidad de desplazar los rodillos de adelante y de atrás para casi doblar el ancho de la cobertura de compactación. Así, generalmente se requieren menos pasadas traslapadas para cubrir el ancho de la carpeta asfáltica. Con los rodillos desplazados se reduce la fuerza de compactación ejercida sobre la carpeta. Pero, las carpetas delgadas requieren menos fuerza de compactación y el compactador puede trabajar más cerca de la pavimentadora en donde la carpeta está más caliente y más susceptible a la compactación.

**Inicio Fecha/Hora** [ 17/6/2011 ▼ ] [ 11:52 AM ]

**Temperatura HMA, °C**

**Condiciones Ambientales**

Temperatura del Aire: [ 16 ] °C  
 Velocidad del viento: [ 8 ] km/h  
 Cielo: [ Claro y Seco ▼ ]  
 Latitud: [ 45 ] °N

**Especificaciones de la Mezcla**

Tipo de Mezcla: [ Graduada Fina/ Densa ▼ ]  
 Grado Aglutinante, PG: [ 58 ▼ ] [ 34 ▼ ]  
 Grosor de la Capa: [ 38 ] mm  
 Temperatura de Tendido: [ 140 ] °C

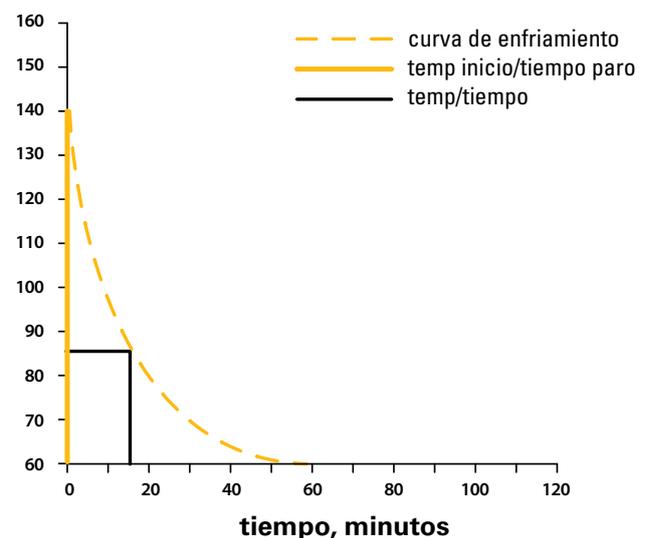
**Superficie Existente**

Tipo de Material: [ Base Granular ▼ ]  
 Condición del Material: [ Seco ▼ ] [ Descongelado ▼ ]  
 Temperatura de la Superficie: [ 16 ] °C

**Tiempos Recomendados**

Inicio del Rolado: [ 0 ] minutos después del tendido  
 Paro del Rolado: [ 16 ] minutos después del tendido

**Units**  SI  English



Ahora, consideremos cómo afecta la temperatura de la carpeta el tiempo disponible para la compactación. En este ejemplo, el grosor de la carpeta es de 38 mm (1,5"), pero la temperatura de la carpeta que va pasando debajo de la plancha pavimentadora baja a 140 °C (284 °F). Comparado con la temperatura de la carpeta de 150 °C (302 °F) en donde se tenían 19 minutos disponibles para la compactación, la carpeta ligeramente más fría reduce el tiempo disponible para la compactación a 16 minutos.

Inicio Fecha/Hora [ 17/6/2011 ▼ ] [ 11:52 AM ]

**Condiciones Ambientales**

Temperatura del Aire: [ 16 ] °C  
 Velocidad del viento: [ 8 ] km/h  
 Cielo: [ Claro y Seco ▼ ]  
 Latitud: [ 45 ] °N

**Especificaciones de la Mezcla**

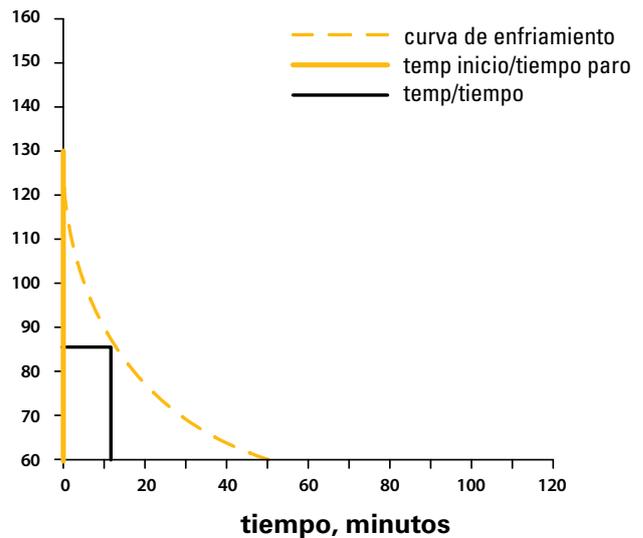
Tipo de Mezcla: [ Graduada Fina/ Densa ▼ ]  
 Grado Aglutinante, PG: [ 58 ▼ ] [ 34 ▼ ]  
 Grosor de la Capa: [ 38 ] mm  
 Temperatura de Tendido: [ 130 ] °C

**Superficie Existente**

Tipo de Material: [ Base Granular ▼ ]  
 Condición del Material: [ Seco ▼ ] [ Descongelado ▼ ]  
 Temperatura de la Superficie: [ 16 ] °C

**Tiempos Recomendados**

Inicio del Rolado: [ 0 ] minutos después del tendido  
 Paro del Rolado: [ 12 ] minutos después del tendido

Units  SI  English**Temperatura HMA, °C**

Por último, cuando la temperatura de la carpeta se reduce a 130 °C (266 °F), el tiempo disponible para la compactación baja a 12 minutos. Cuando baja la temperatura de la carpeta, sí se reduce el tiempo disponible para la compactación, pero no al grado en que el grosor de la carpeta afecta el tiempo disponible para la compactación.

Inicio Fecha/Hora [ 17/6/2011 ▼ ] [ 11:52 AM ]

**Condiciones Ambientales**

Temperatura del Aire: [ 10 ] °C  
 Velocidad del viento: [ 8 ] km/h  
 Cielo: [ Claro y Seco ▼ ]  
 Latitud: [ 45 ] °N

**Especificaciones de la Mezcla**

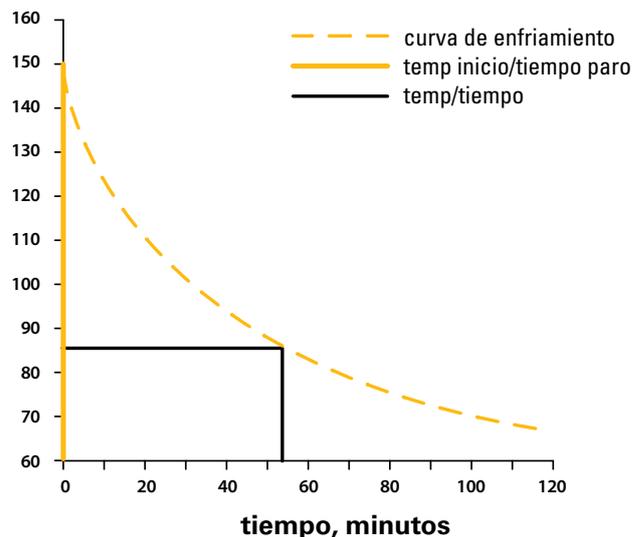
Tipo de Mezcla: [ Graduada Fina/ Densa ▼ ]  
 Grado Aglutinante, PG: [ 58 ▼ ] [ 34 ▼ ]  
 Grosor de la Capa: [ 75 ] mm  
 Temperatura de Tendido: [ 150 ] °C

**Superficie Existente**

Tipo de Material: [ Base Granular ▼ ]  
 Condición del Material: [ Seco ▼ ] [ Descongelado ▼ ]  
 Temperatura de la Superficie: [ 10 ] °C

**Tiempos Recomendados**

Inicio del Rolado: [ 0 ] minutos después del tendido  
 Paro del Rolado: [ 54 ] minutos después del tendido

Units  SI  English**Temperatura HMA, °C**

Ahora consideremos el efecto de la temperatura ambiente sobre el tiempo disponible para la compactación. En este ejemplo, el grosor de la carpeta se revierte a los 75 mm (3"). Cuando la temperatura ambiente era de 16 °C (61 °F), había 61 minutos disponibles para la compactación. Cuando se reduce la temperatura ambiente a 10 °C (50 °F), el tiempo disponible para la compactación se reduce como un 10%, a 54 minutos.

# FACTORES

Inicio Fecha/Hora [ 17/6/2011 ▼ ] [ 11:52 AM ]

## Condiciones Ambientales

Temperatura del Aire: [ 5 ] °C  
 Velocidad del viento: [ 8 ] km/h  
 Cielo: [ Claro y Seco ▼ ]  
 Latitud: [ 45 ] °N

## Especificaciones de la Mezcla

Tipo de Mezcla: [ Graduada Fina/ Densa ▼ ]  
 Grado Aglutinante, PG: [ 58 ▼ ] [ 34 ▼ ]  
 Grosor de la Capa: [ 75 ] mm  
 Temperatura de Tendido: [ 150 ] °C

## Superficie Existente

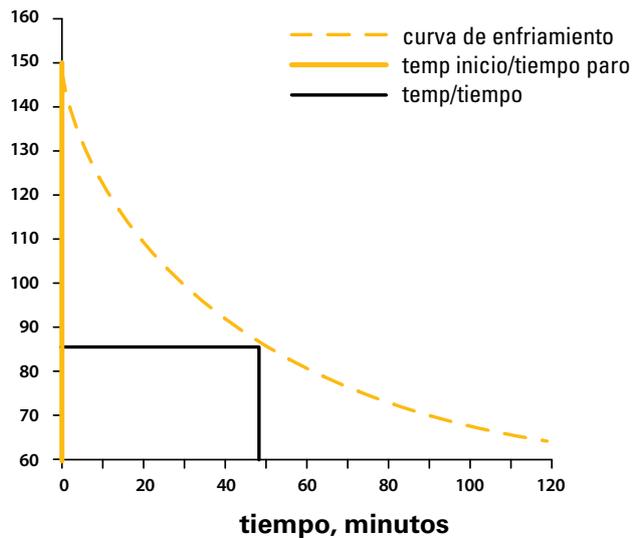
Tipo de Material: [ Base Granular ▼ ]  
 Condición del Material: [ Seco ▼ ] [ Descongelado ▼ ]  
 Temperatura de la Superficie: [ 5 ] °C

## Tiempos Recomendados

Inicio del Rolado: [ 0 ] minutos después del tendido  
 Paro del Rolado: [ 49 ] minutos después del tendido

Units  SI  English

## Temperatura HMA, °C



Finalmente, la temperatura ambiente se reduce a 5 °C (41 °F). El tiempo disponible para la compactación se reduce de nuevo a 49 minutos. Es evidente que al reducirse la temperatura ambiente se reduce el tiempo disponible para la compactación, sin embargo, no al grado en que sucede al reducir el grosor de la carpeta.

Inicio Fecha/Hora [ 17/6/2011 ▼ ] [ 11:52 AM ]

## Condiciones Ambientales

Temperatura del Aire: [ 16 ] °C  
 Velocidad del viento: [ 8 ] km/h  
 Cielo: [ Claro y Seco ▼ ]  
 Latitud: [ 45 ] °N

## Especificaciones de la Mezcla

Tipo de Mezcla: [ Graduada Fina/ Densa ▼ ]  
 Grado Aglutinante, PG: [ 58 ▼ ] [ 34 ▼ ]  
 Grosor de la Capa: [ 65 ] mm  
 Temperatura de Tendido: [ 150 ] °C

## Superficie Existente

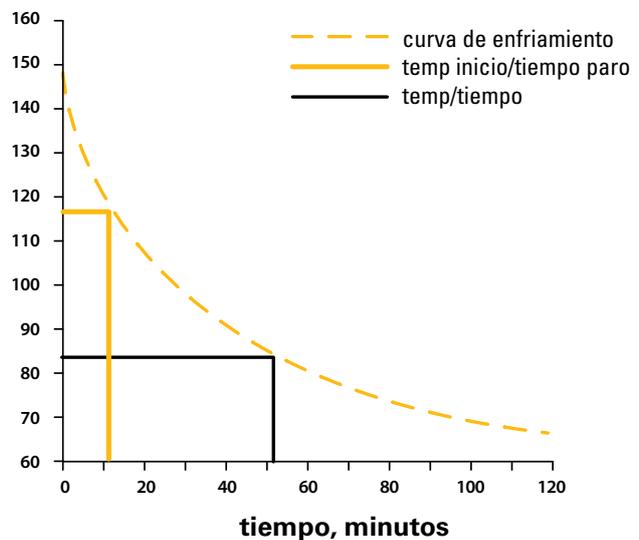
Tipo de Material: [ Base Granular ▼ ]  
 Condición del Material: [ Seco ▼ ] [ Descongelado ▼ ]  
 Temperatura de la Superficie: [ 16 ] °C

## Tiempos Recomendados

Inicio del Rolado: [ 12 ] minutos después del tendido  
 Paro del Rolado: [ 52 ] minutos después del tendido

Units  SI  English

## Temperatura HMA, °C



En este ejemplo, la temperatura ambiente es de 16 °C (61 °F). Se está tendiendo una mezcla bien graduada (con diferentes tamaños de agregados, cemento asfáltico y finos) con una profundidad de 65 mm (2,5"). La mezcla pasa debajo de la plancha pavimentadora a 150 °C (302 °F). La documentación indica que la mezcla empieza a mostrar blandura o fragilidad a los 115 °C (239 °F) y que la carpeta vuelve a estabilizarse a los 85 °C (185 °F). La curva de enfriamiento muestra que hay 12 minutos disponibles para compactación antes de que inicie la zona blanda o sensible. Se va a querer lograr la mayor densidad posible durante ese período de 12 minutos y luego mantenerse fuera de la carpeta durante 40 minutos. Después de que desaparece la zona blanda, generalmente se utiliza alta frecuencia con baja amplitud para lograr densidad adicional si se requiere. O quizá lo único que se necesita es un rolado estático para limpiar las marcas del rodillo. De nuevo, conocer el tiempo disponible para la compactación antes de que inicie la zona blanda ayudará para establecer el patrón de rolado y determinar el número y tipos de equipos de compactación.

## [ LISTA DE VERIFICACIÓN (CHECKLIST) PARA LA AMPLITUD ]

En la Sección 2 vimos que la amplitud se define como la distancia que penetra el rodillo en la carpeta asfáltica y que la fuerza de impacto creada por el movimiento del rodillo es el factor principal para generar la densidad en una capa de asfalto. También vimos que demasiada amplitud puede dañar la capa de asfalto. Seleccionar la amplitud correcta es un paso vital durante el proceso de planeación en cualquier aplicación de compactación de asfalto.

El operador del compactador, el técnico de control de calidad o el supervisor necesitan preparar una lista de verificación (checklist) de los factores que se presentaron en la Sección 3. Ya sea que consista en una lista mental o una forma impresa, se debe considerar cada uno de los factores. A continuación se presenta un ejemplo de una lista de verificación.

### (LISTA DE VERIFICACIÓN (CHECKLIST) PARA LA AMPLITUD

<b>Factor</b>	<b>Fuerza Baja</b>	<b>Fuerza Alta</b>
Grosor de la Capa	< 50 mm (2")	>50 mm (2")
Base	Rígida	Flexible
Viscosidad del Alquitrán	Baja	Alta
Forma del Agregado	Redondeado	Angular
Ambiente Temperatura	Alta	Baja

Esta lista ayuda a conjuntar todos los factores de compactación que se presentaron en la Sección Tres y puede ayudar a determinar cuánta fuerza de compactación se requiere para una aplicación específica. A la izquierda están los factores de la aplicación que llevarían a escoger una amplitud media. A la derecha están los factores de la aplicación que nos llevarían a seleccionar una amplitud media o alta.

Como regla general, una capa de menos de 50 mm (2") de grueso, no aceptaría una energía de compactación alta. Por lo tanto, típicamente se seleccionaría una de amplitud dentro de un rango de 0,25 mm a 0,6 mm (0,01 - 0,025"). Cuando la capa de asfalto es más gruesa que 50 mm (2"), la carpeta asfáltica puede aceptar más energía de compactación y se seleccionaría una amplitud de 0,6 mm (0,025") o más.

El tipo de base sobre la cual se está pavimentando afecta la selección de la amplitud. Si la base es rígida, como una superficie escarificada o fresada o una superficie de asfalto ya existente, demasiada energía de compactación hará que el rodillo rebote más fácilmente. Si se está pavimentando sobre material granulado o sub-base estabilizada, ese tipo de base cede más fácilmente. En ese caso se seleccionarían amplitudes más altas para esa aplicación porque la base flexible puede absorber parte de la energía de compactación.

También se tiene que considerar el tipo de cemento asfáltico que se utiliza en el diseño de una mezcla específica. Por ejemplo, si el cemento asfáltico se ha modificado con fibras o goma de látex, el alquitrán tendrá una viscosidad alta, la mezcla se considerará rígida y requerirá fuerzas más altas. El cemento asfáltico no modificado tiene viscosidad más baja y la mezcla necesitará menos energía de compactación para lograr la densidad requerida.

## FACTORES

Siempre se debe considerar la forma de los agregados en el diseño de una mezcla. La mayoría de las estructuras de asfalto tipo carreteras de tráfico pesado utilizan mezclas con agregados de superficies fracturadas.

Los agregados angulares producen un alto grado de fricción interna. La tendencia sería seleccionar niveles de amplitud más altos para mover las piedras y eliminar todos los vacíos de aire.

La mayoría de las mezclas para calles y estacionamientos tienen agregados con algunas superficies redondeadas. Como el agregado se mueve más fácilmente, esas mezclas requieren energía de compactación más baja.

Las condiciones climatológicas son el último factor en la lista de verificación (checklist) En los días calientes y soleados las capas de asfalto tienden a retener el calor durante más tiempo y entonces, como se tiene más tiempo, se pueden utilizar fuerzas más bajas.

Cuando la temperatura ambiente es baja y hay mucho viento, la capa de asfalto se enfría rápidamente. Para lograr la densidad deseada antes de que la carpeta pierda demasiada temperatura, se seleccionaría una amplitud más alta para tratar de alcanzar la densidad más rápidamente. A continuación se presentan dos ejemplos de cómo puede beneficiar el uso de la lista de verificación.

### [ SELECCIÓN DE AMPLITUD -- EJERCICIO I ]

#### LISTA DE VERIFICACIÓN PARA LA AMPLITUD

<b>Factor</b>	<b>Fuerza Baja</b>	<b>Fuerza Alta</b>
Grosor de la Capa	40 mm (1,6")	–
Base	Superficie Fresada	–
Viscosidad del Alquitrán	–	Alta
Forma del Agregado	–	Triturado
Ambiente Temperatura	–	10 °C (50 °F)

En este proyecto, la pavimentadora está tendiendo una capa de 40 mm (1,6") de grosor, de asfalto de mezcla graduada con cemento asfáltico modificado con polímeros, el tamaño del agregado más grueso es de 12,5 mm (1/2") y es agregado con todas las superficies fracturadas. Es una sola capa de asfalto que se tiende sobre una superficie escarificada. Viendo la lista de verificación de la amplitud, se puede ver que dos de los factores están del lado de la fuerza más baja, mientras que tres de los factores indican que se necesita una fuerza más alta.

¿Significa esto que se debe seleccionar una amplitud de media a alta? En esta aplicación,

probablemente se seleccionaría una amplitud de baja a media. El grosor de la capa es de menos de 50 mm (2"), y la base rígida no aceptarían una energía de amplitud alta. A veces algunos factores, sobre todo el grosor de la capa, son más importantes que otros factores en la lista de los factores para seleccionar la amplitud. No siempre es fácil seleccionar la amplitud. Hay que recordar la regla general cuando se selecciona la amplitud: Seleccionar la amplitud más alta que pueda tolerar la carpeta asfáltica sin causar rebote del rodillo o dañar la carpeta.

## [ SELECCIÓN DE AMPLITUD -- EJERCICIO II ]

## LISTA DE VERIFICACIÓN PARA LA AMPLITUD

<b>Factor</b>	<b>Fuerza Baja</b>	<b>Fuerza Alta</b>
Grosor de la Capa	–	75 mm (3")
Base	–	Granular
Viscosidad del Alquitrán	–	Alta
Forma del Agregado	–	Triturado
Ambiente Temperatura	32 °C (90 °F)	–

Para este proyecto, la selección de amplitud es relativamente fácil. Se están tendiendo 75 mm (3") de asfalto de mezcla bien graduada como primera capa sobre material granular. El diseño de la mezcla incluye cemento asfáltico de alta viscosidad y agregado triturado de 19 mm (3/4") con superficies fracturadas. Es un día caliente. Se alinean cuatro

factores del lado de la Fuerza Alta. Solamente la alta temperatura se muestra en el lado de la Fuerza Baja. Esta capa de asfalto puede aceptar amplitud alta por varias razones. Primero, la capa es relativamente gruesa. Segundo, y muy importante, la relación entre el grosor de la capa y el tamaño de agregado más grueso es de 4:1.

**Resumen:** Conocer los factores que afectan la compactación del asfalto es una habilidad vital para los operadores, los técnicos de control de calidad y los supervisores. Gran parte de la información acerca del diseño de la mezcla está en la fórmula de la mezcla para la obra, la cual debe proporcionar la planta de asfalto. Cuestiones como el grosor de la capa y tipo de base para cada capa se mostrarán en los planos del corte transversal de la carpeta. Solamente se necesitan analizar las condiciones climatológicas para cada turno.

Si se recopila suficiente información y se sabe cómo interpretarla, usted y su equipo podrán tomar mejores decisiones cuando se prepara el proceso de compactación. Si solamente dependen de la experiencia o de los trabajos anteriores, puede estar ignorando información nueva importante.

Lo que se ha aprendido sobre las fuerzas de compactación y los factores que afectan la compactación, les ayudará a preparar el tren de compactación. Ese es el tema de la Sección 4.



## Sección 4

# MÉTODOS Y ESPECIFICACIONES

Una preparación adecuada del proceso de compactación es esencial para el éxito de su proyecto. A continuación se presentan los procedimientos apropiados, ya sea que se siga un método o las especificaciones para un resultado final en específico.





*Cat CD54 trabaja en la fase inicial de compactación.*

Las unidades 2 y 3 cubrieron las fuerzas de compactación y otros factores que afectan la compactación del asfalto. La unidad 4 se enfoca en preparar un tren de compactación que cumpla con los requerimientos del proyecto, su densidad y textura de la superficie.

La unidad 4 contiene dos secciones diferentes. La primera se enfoca en la preparación del proceso de compactación siguiendo las especificaciones de un método que indica el tipo de equipo, velocidad del trabajo, número de pasadas, y otros factores.

La segunda sección se enfoca en la preparación del tren de compactación siguiendo las especificaciones para un resultado final. En otras palabras, los miembros de la cuadrilla y el personal de control de calidad determinan los tipos de equipo y patrones de compactación que producen la densidad deseada e igualan los requerimientos de producción.

## Sección I: ESPECIFICACIONES DEL MÉTODO

La información de la Sección I se basa en la investigación realizada por el Laboratorio Central de Puentes y Carreteras en París, Francia. Con base en esta investigación ampliamente aceptada, se

especifica el tipo de equipo de compactación, número de pasadas, y velocidad de trabajo para los distintos tipos de capas de pavimento bituminoso.

### SECCIÓN DE CARRETERA

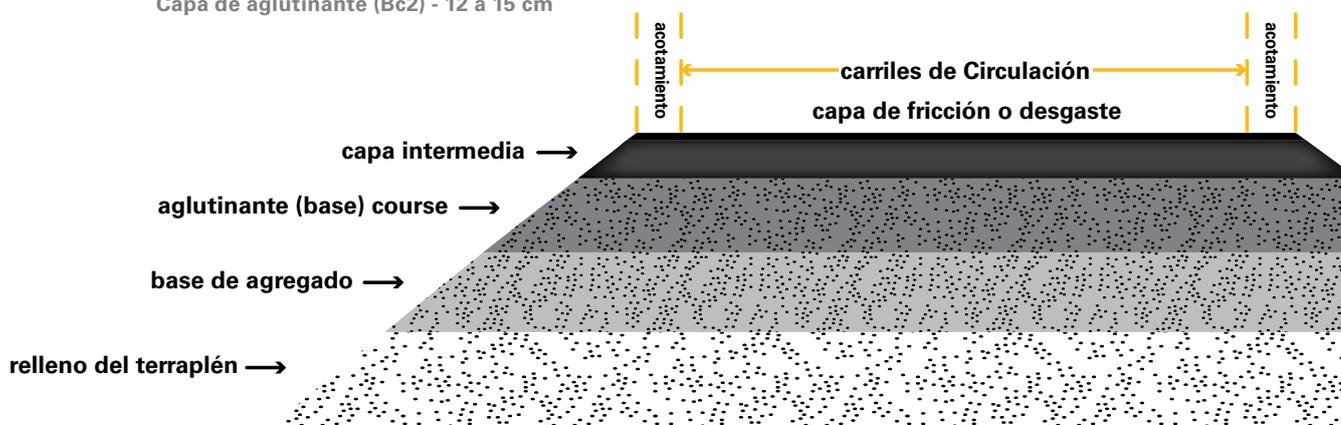
Capa de desgaste delgada (Wc1) - 3 a 5 cm

Capa de desgaste estándar (Wc2) - 6 a 9 cm

Capa intermedia (Ic) - 6 a 9 cm

Capa de aglutinante (Bc1) - 8 a 12 cm

Capa de aglutinante (Bc2) - 12 a 15 cm



### [ TIPO DE CAPA ]

Hay cinco categorías de capas en esta especificación. Una capa de desgaste delgada (Wc1) tiene un espesor que varía de 3 a 5 cm. Hay una capa de desgaste estándar (Wc2) con un espesor de entre 6 y 9 cm.

Una categoría de capa de aglutinante se basa un rango de espesor de 6 a 9 cm.

Hay dos clasificaciones para la capa base. La capa base estándar (Bc1) tiene un espesor de entre 8 y 12 cm. La capa opcional (Bc2) varía de 12 cm a 15 cm.

Como se explicó en la unidad 2, cada tipo de capa regularmente requiere un tipo de mezcla diferente y se tiende a diferentes espesores. Por lo tanto, la magnitud de la fuerza de compactación será diferente para cada capa.

## [ COBERTURA BASADA EN EL ANCHO DEL RODILLO ]

La relación entre el ancho del rodillo y el ancho de la capa es una consideración importante. A fin de mantenerse a la par con la producción del proceso de pavimentación, el ancho del rodillo debe ser tal que el compactador pueda cubrir el ancho de la capa en tan solo tres pasadas traslapadas. Se considera que el traslape será de mínimo 15 cm. Si el compactador disponible no puede cubrir el ancho de la capa en tres pasadas traslapadas, entonces se deben agregar más compactadores.

La siguiente tabla sirve como guía para ayudar a determinar cuántos rodillos de cierto ancho de tambor se requieren para cubrir distintos anchos de pavimentación. Las áreas sombreadas indican la necesidad de por lo menos un compactador más, o un compactador con rodillos más anchos, a fin de igualar el requerimiento de producción. Por ejemplo, un compactador con tambores de 170 cm de ancho será eficaz en anchos de pavimentación de hasta 4,5 m.

### NÚMERO DE RODILLOS REQUERIDOS POR ANCHO DE CARRETERA (COBERTURA)

Ancho de pavimento (metros)	Ancho del rodillo				
	150 mm	170 mm	200 mm	210 mm	300 mm
3,3	1	1	1	1	1
3,6	1	1	1	1	1
3,9	1	1	1	1	1
4,2	2	1	1	1	1
4,5	2	1	1	1	1
4,8	2	2	1	1	1
5,1	2	2	1	1	1
5,4	2	2	1	1	1
5,7	2	2	2	1	1
6	2	2	2	2	1
7	2	2	2	2	1
8	2	2	2	2	1
9	3	2	2	2	2

**Nota:** Se recomienda usar compactadores con tambores separados al ancho máximo únicamente cuando se compactan capas de desgaste delgadas.

## [ CLASIFICACIÓN DE COMPACTADORES ]

En el sistema francés, se clasifican los rodillos vibradores con tambor de acero según la carga lineal estática y la amplitud del tambor. La fórmula de clasificación se expresa como la carga lineal en kilogramos por centímetro multiplicados por la raíz cuadrada de la amplitud nominal.

La mayoría de los compactadores vibratorios tienen más de una amplitud. Por lo tanto, la clasificación puede cambiar cuando se cambia la amplitud en un compactador.

### Ejemplo de compactador vibratorio

4.680 kg (peso en el tambor) / 170 cm (ancho del tambor) = 27,5 kg/cm  
 27,5 kg/cm x raíz cuadrada 0,62 mm = 21,7  
 21,7 = Clase V1

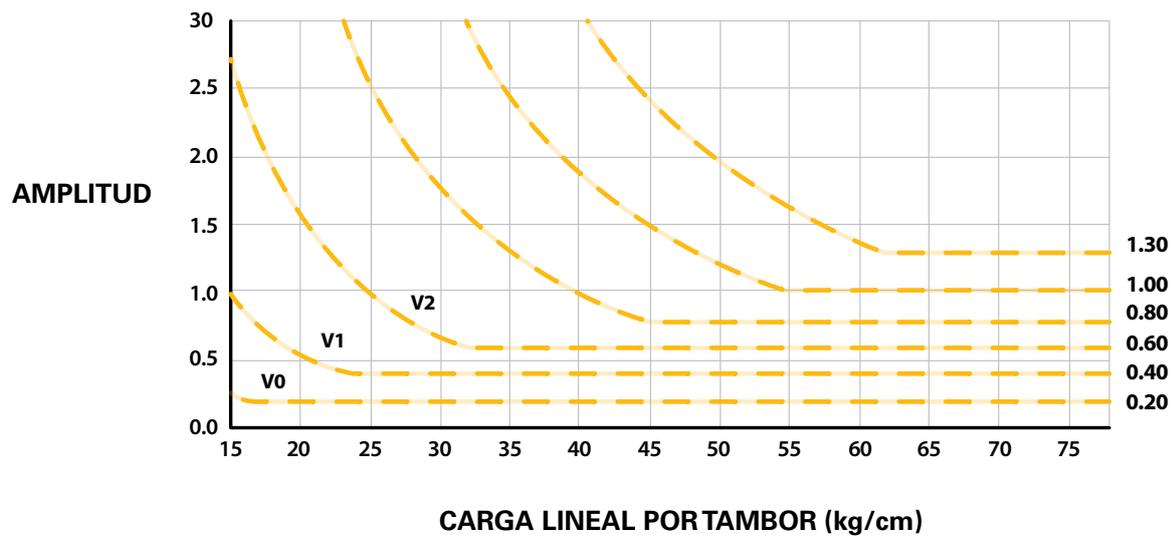
## [ CLASES DE COMPACTADORES VIBRATORIOS ]

El compactador en la tabla siguiente tiene tres opciones de amplitud. Al cambiar los resultados de la amplitud cambia la clasificación del compactador. La clase VO tendrá una energía de compactación relativamente baja.

La clase V1 tendrá un rango medio de energía de compactación. La clase V2 tendrá una energía de compactación alta.

Rango	Bajo	Medio	Alto
amplitud (AO) (mm)	0,34	0,80	1,05
peso del rodillo (kg/cm)	27,50	27,50	27,50
peso x raíz cuadrada de AO =	16,04	24,60	28,18
clasificación	<b>VO</b>	<b>V1</b>	<b>V2</b>

## MÉTODOS



Este diagrama muestra los rangos de las distintas clasificaciones de compactadores con base en la carga lineal por tambor y amplitud. Para propósitos prácticos, se utilizan sólo tres rangos de clasificación en la especificaciones por método: V0, V1 y V2.

Hay dos clasificaciones para compactadores neumáticos. La fórmula para la clasificación de compactadores neumáticos se expresa como el peso total en toneladas dividido por el número de ruedas.

### Ejemplo de compactador neumático

21 ton. Ing. (peso de máquina) ÷ 7 (número de ruedas) = 3 ton. Ing. /rueda  
3 ton. Ing. / rueda = Clase P1

### Clases de compactador neumático

**Clase**  
P0  
P1

**Peso por rueda**  
Mayor a 1,5 ton. ing. y menor a 2,5 ton. ing.  
Mayor a 2,5 ton. ing. y menor a 4,0 ton. ing.

	Wc1		Wc2		Ic		Bc1		Bc2	
	pasadas	velocidad								
<b>clase P0</b>	18	6								
<b>clase P1</b>	14	6	20	6						
<b>clase V2</b>			4	4	5	4	15	4	25	3
<b>clase V1</b>	4	4	8	4	7	4				
<b>clase V0</b>	7	4								

*Nota:* Velocidades en km/h.

### [ SELECCIÓN DE CLASIFICACIÓN DE MÁQUINA ]

El objetivo de las especificaciones por método es integrar la información referente a la clasificación de la máquina y tipo de capa en un diagrama de referencia que guíe al usuario a seleccionar el tipo de máquina, número de pasadas y velocidad de trabajo. En la parte superior del diagrama hay cinco tipos de capas: capa de desgaste delgada (Wc1); capa de desgaste gruesa (Wc2); capa intermedia (Ic); capa base estándar (Bc1); y capa base gruesa (Bc2).

Las clases de máquinas aparecen a la izquierda del diagrama. El compactador neumático ligero es la P0, El compactador neumático pesado es P1. Las tres clases de compactadores vibratorios van de la energía de vibración más alta (V2) a la de energía de vibración media (V1) y terminan con la de energía de vibración más baja (V0).

Para una capa de desgaste delgada (Wc1), el compactador neumático clase P0 debe realizar 18 pasadas a una velocidad de 6 kilómetros por hora. Si se usa un compactador neumático clase P1, se tendrían que hacer 14 pasadas a 6 kilómetros por hora. Un compactador vibratorio clase V1 debe

completar cuatro pasadas a 4 kilómetros por hora. Un compactador vibrador clase V0 debe completar siete pasadas a 4 kilómetros por hora. Nótese que no se permite usar las clases V2 en capas de desgaste delgadas.

En capas de desgaste gruesas (Wc2), los compactadores neumáticos clase P0 no están permitidos. Los compactadores neumáticos P1 realizarán veinte pasadas a 6 kilómetros por hora. Los compactadores vibratorios clase V2 realizarían cuatro pasadas a 4 kilómetros por hora. Los compactadores V1 deben completar ocho pasadas a 4 kilómetros por hora. El diagrama proporciona las instrucciones específicas para cada clase de máquina en cada tipo de capa de pavimentación.

Otras herramientas como la Calculadora Interactiva de Producción Cat® (Cat® Interactive Production Calculator), pueden ayudar a determinar el número de compactadores que se requieren con base en la velocidad de pavimentación, el ancho de la capa y el ancho del tambor del compactador.

## CALCULADORA DE COMPACTACIÓN

<b>Vehículo</b>	Modelo del Compactador: [ <i>Hacer clic para seleccionar otro modelo</i> ] [ <b>CB534D</b> ]
<b>Velocidad de pavimentadora</b>	Tipo de capa: [ <i>Hacer clic para seleccionar tipo de capa</i> ] [ <b>Capa de desgaste estándar 0/10 - 6 a 9 cm</b> ]
<b>Compactación</b>	<b>Datos de entrada generales</b>
<b>Material utilizado</b>	Tasa de producción de planta de asfalto: [ <b>160</b> ] toneladas/hr
<b>Pendiente</b>	Espesor de pavimentación: [ <b>65</b> ] mm
<b>Espesor</b>	Ancho de pavimentación: [ <b>4,00</b> ] metro
<b>Resumen del trabajo</b>	Ancho del tambor actual: [ <b>170</b> ] cm
<b>Legal</b>	[ <i>Hacer clic para cambiar tasa de eficiencia del compactador</i> ] [ <b>77</b> ] %
	Velocidad actual del compactador: [ <b>4</b> ] km/h
	Número total de pasadas: [ <b>4</b> ]
	Número de compactadores requerido (con base en ancho): [ <b>1</b> ]
	Número de compactadores requerido (con base en velocidad): [ <b>1</b> ]
<b>Salida</b>	<b>Número de compactadores requerido:</b> [ <b>1</b> ]

Una versión de la Calculadora Interactiva de Producción Cat está programada con las fórmulas y requerimientos del método aplicado por el Laboratorio Central de Puentes y Carreteras de París, Francia para la selección de compactadores y patrones de aplanado. En el primer ejemplo, la tasa de producción es de 160 toneladas por hora. El proyecto tiene una capa de desgaste de espesor estándar pavimentada a una profundidad de 65 mm y un ancho de 4 metros. El número de pasadas y la velocidad del trabajo se seleccionan automáticamente con base en los diagramas de especificaciones del método. El programa tiene calculado que un compactador con un ancho de tambor de 170 cm podrá cubrir el requerimiento de cobertura y el requerimiento de producción. ¿Qué sucedería si la tasa de producción aumentara?



## CALCULADORA DE COMPACTACIÓN

<b>Vehículo</b>	Modelo del Compactador: [ <i>Hacer clic para seleccionar otro modelo</i> ] [ <b>CB534D</b> ]
<b>Velocidad de pavimentadora</b>	Tipo de capa: [ <i>Hacer clic para seleccionar tipo de capa</i> ] <b>Capa de desgaste estándar 0/10 - 6 a 9 cm</b> ]
<b>Compactación</b>	<b>Datos de entrada generales</b>
<b>Material utilizado</b>	Tasa de producción de planta de asfalto: [ <b>200</b> ] toneladas/hr
<b>Pendiente</b>	Espesor de pavimentación: [ <b>65</b> ] mm
<b>Espesor</b>	Ancho de pavimentación: [ <b>4,00</b> ] metro
<b>Resumen del trabajo</b>	Ancho del tambor actual: [ <b>170</b> ] cm
<b>Legal</b>	[ <i>Hacer clic para cambiar tasa de eficiencia del compactador</i> ] [ <b>77</b> ] %
	Velocidad actual del compactador: [ <b>4</b> ] km/h
	Número total de pasadas: [ <b>4</b> ]
	Número de compactadores requerido (con base en ancho): [ <b>1</b> ]
	Número de compactadores requerido (con base en velocidad): [ <b>2</b> ]
<b>Salida</b>	<b>Número de compactadores requerido:</b> [ <b>2</b> ]

Cuando la tasa de producción por hora se incrementa de 160 toneladas por hora a 200 toneladas por hora, los cálculos muestran que se requerirán dos compactadores para igualar la mayor producción. Se debe recordar que la calculadora está programada para seleccionar la velocidad de trabajo y el número de pasadas según el tipo de capa y espesor.



## CALCULADORA DE COMPACTACIÓN

<b>Vehículo</b>	Modelo del Compactador: [ <i>Hacer clic para seleccionar otro modelo</i> ] [ <b>CB534D</b> ]
<b>Velocidad de pavimentadora</b>	Tipo de capa: [ <i>Hacer clic para seleccionar tipo de capa</i> ] [ <b>Capa de aglutinante 0/12 (Bc2) - 12 a 15 cm</b> ]
<b>Compactación</b>	<b>Datos de entrada generales</b>
<b>Material utilizado</b>	Tasa de producción de planta de asfalto: [ <b>200</b> ] toneladas/hr
<b>Pendiente</b>	Espesor de pavimentación: [ <b>125</b> ] mm
<b>Espesor</b>	Ancho de pavimentación: [ <b>4,00</b> ] metro
<b>Resumen del trabajo</b>	Ancho del tambor actual: [ <b>170</b> ] cm
<b>Legal</b>	[ <i>Hacer clic para cambiar tasa de eficiencia del compactador</i> ] [ <b>77</b> ] %
	Velocidad actual del compactador: [ <b>4</b> ] km/h
	Número total de pasadas: [ <b>25</b> ]
	Número de compactadores requerido (con base en ancho): [ <b>1</b> ]
	Número de compactadores requerido (con base en velocidad): [ <b>4</b> ]
<b>Salida</b>	<b>Número de compactadores requerido:</b> [ <b>4</b> ]

Es interesante notar cuántos compactadores se van a requerir cuando el tipo de capa se cambia a una capa de aglutinante (Bc2) gruesa que se está tendiendo a una profundidad de 125 mm. La velocidad de compactación permanece igual según la especificación, pero el número de pasadas aumenta a 25. El cálculo muestra que se van a requerir 4 compactadores con tambores de 170 cm de ancho para cubrir la tasa de producción. También es importante recordar que deben ser compactadores clase V2.

Las especificaciones por método se utilizan en muchas áreas y se basan en investigaciones realizadas y la experiencia con varios proyectos. Si se requiere aplicar las especificaciones por método, ese dato se incluirá en los planes del proyecto o en los lineamientos publicados por el departamento de obras públicas responsable de la obra. Siempre se debe consultar con los funcionarios públicos a fin de aclarar cualquier duda o pregunta sobre las especificaciones del método.

Las especificaciones según el resultado final ofrecen más opciones para las cuadrillas que están realizando la obra. La segunda sección de la unidad 4 se enfoca en los pasos para configurar el proceso de compactación a fin de satisfacer las especificaciones según el resultado final.

## Sección II: ESPECIFICACIONES SEGÚN RESULTADO FINAL

## [ ANCHO DEL TAMBOR ]

Al momento de seleccionar compactadores para un proyecto, una regla general indica que los tambores deben ser lo suficientemente anchos para cubrir el ancho de la carpeta asfáltica en no más de tres pasadas traslapadas. En algunas situaciones, el compactador va a necesitar más de tres pasadas. Si es así, se debe agregar otro compactador. Esta regla general se aplica para proyectos como son autopistas, carreteras y calles principales donde la producción es regularmente un factor importante.

Esta regla por lo general no aplica para proyectos como son estacionamientos o proyectos de baja producción. El siguiente diagrama es un marco de referencia que se puede utilizar para seleccionar el ancho del rodillo correcto para cubrir la carpeta asfáltica en no más de tres pasadas traslapadas. Los anchos de rodillo que se muestran son el mínimo y el máximo regularmente disponibles para proyectos de alta producción.

## Número de pasadas traslapadas requeridas por ancho del tambor

Ancho de pavimentación Metros / Pies	Ancho del tambor				
	140 cm (55")	150 cm (59")	170 cm (67")	200 cm (79")	213 cm (84")
2,5 / 8	2	2	2		
2,75 / 9	3	3	2		
3,00 / 10	3	3	3	2	2
3,35 / 11	3	3	3	2	2
3,70 / 12	(4)	3	3	2	2
4,00 / 13			3	3	2
4,25 / 14			3	3	3
4,50 / 15				3	3
4,80 / 16				3	3
5,20 / 17				3	3
5,50 / 18					3

**Nota 1:** No se recomienda usar modelos de tambores más anchos en proyectos de pavimentación angostos (menos de 3 m / 10') porque puede ocurrir una deformación de la carpeta asfáltica al momento de girar los rodillos en la superficie más angosta de la carpeta asfáltica.

**Nota 2:** Algunos compactadores de asfalto de doble rodillo permiten tener los tambores en tándem. Los tambores en tándem aumentan significativamente el ancho de cobertura del compactador. Por ejemplo, el Cat CD54 tiene un ancho de tambor de 170 cm (67"). Con su desplazamiento máximo en tándem, el ancho

de compactación del CD54 es de 300 cm (118"). Caterpillar recomienda utilizar los tambores en tándem solamente en carpetas de menos de 50 mm (2") de espesor si se desea igualar una especificación de densidad durante la fase inicial de compactación.

El ancho del rodillo es lo más importante para el primer compactador que está operando detrás de la pavimentadora. En general, el proceso de compactación se divide en tres fases: aplanado (inicial), intermedia y acabado. Se utilizan diferentes tipos de equipo y técnicas de compactación en cada fase.

### [ COMPACTACIÓN INICIAL ]

La compactación inicial es el primer paso en el proceso de compactación y debe producir la mayor parte de la densidad especificada para la carpeta asfáltica. Por ejemplo, si la densidad especificada para la compactación final es 95% de densidad máxima teórica, la fase inicial debe producir por lo menos del 91% al 93% del máximo teórico.

La compactación inicial debe comenzar a la temperatura máxima posible de la carpeta asfáltica que soporte el peso del compactador sin que se distorsione la carpeta asfáltica. Se debe recordar que una vez que la carpeta asfáltica empieza a enfriarse, el cemento asfáltico en la mezcla se vuelve más rígido y es más difícil lograr la densidad deseada.

Por esta razón la fase de compactación inicial debe realizarse en una zona muy cercana al pavimentador. La máquina pavimentadora y el compactador de fase inicial deben tener la misma tasa de producción.

**Nota:** Las velocidades de pavimentación que se manejan en esta sección suponen el uso de reglas vibratorias y no reglas apisonadas (tamper).



*El compactador de fase inicial trabaja cerca de la pavimentadora.*



*El compactador vibratorio con rodillo de acero son las más utilizadas para la compactación inicial.*

Los compactadores vibratorios con tambor de acero son los más comunes para la fase inicial de compactación. Debido a que los compactadores vibratorios combinan peso e impacto, regularmente tienen las más altas tasas de producción. En ocasiones se usan los compactadores neumáticos en la fase inicial de compactación en las capas base o aglutinante.

Los compactadores vibratorios tienen diferentes características vibratorias así como diferentes anchos de tambor. La manera en que se ajuste el sistema vibratorio afecta qué tan bien el compactador de fase inicial igualará la producción de la pavimentadora. Veamos algunos ejemplos tomados de la Calculadora Interactiva de Producción Cat.

**CALCULADORA DE VELOCIDAD DE PAVIMENTADORA**

<b>Vehículo</b>	<b>Datos de entrada generales</b>		
<b>Velocidad de pavimentadora</b>	Espesor de pavimentación:	[ 2,00 ] pul.	[ 50,8 ] mm
<b>Compactación</b>	Ancho de pavimentación:	[ 12,00 ] pies	[ 3,658 ] metro
<b>Hilera</b>	Densidad de material suelto:	[ 130 ] lbs/pie <sup>3</sup>	[ 2.082 ] kg/m <sup>3</sup>
<b>Rendimiento</b>	<b>Velocidad de pavimentadora a tasa de producción dada</b>		
<b>Pendiente</b>	Tasa de producción de planta de asfalto:	[ 200 ] ton. Ing./hr	[ 181 ] toneladas/hr
<b>Espesor</b>	Velocidad de pavimentación calculada - 100% Eficiencia:	[ 25,6 ] pie/min	[ 7,81 ] m/min
<b>Resumen del trabajo</b>	Velocidad de pavimentación calculada - 95% Eficiencia:	[ 26,9 ] pie/min	[ 8,20 ] m/min
<b>Legal</b>	Velocidad de pavimentación calculada - 90% Eficiencia:	[ 28,2 ] pie/min	[ 8,59 ] m/min
	Velocidad de pavimentación calculada - 85% Eficiencia:	[ 29,4 ] pie/min	[ 8,98 ] m/min
	Velocidad de pavimentación calculada - 80% Eficiencia:	[ 30,7 ] pie/min	[ 9,37 ] m/min
	Velocidad de pavimentación calculada - 75% Eficiencia:	[ 32,0 ] pie/min	[ 9,76 ] m/min
<b>Salida</b>	<b>Velocidad de Pavimentación Efectiva:</b>	[ 25,6 ] pie/min	[ 7,81 ] m/min

En este ejemplo, la tasa de producción es de 181 toneladas por hora (200 toneladas inglesas por hora). El ancho de pavimentación es 3,66 m (12') y el espesor de pavimentación es 50 mm (2"). El peso del material al pasar por la regla (energía vibratoria solamente) es 2.082 kg/m<sup>3</sup> (130 lb/pie<sup>3</sup>). Si se utiliza algún dispositivo de transferencia de material en el proyecto, la velocidad de pavimentación real podría ser tan baja como 7,8 m por minuto (25,6 pies por minuto). Si se está transfiriendo la mezcla directamente desde los camiones a la pavimentadora, la velocidad de pavimentación real se calcula a 9,8 metros por minuto (32 pies por minuto). A una tasa de eficiencia del 75%, la velocidad efectiva es de 7,8 metros por minuto (25,6 pies por minuto). Por lo tanto, la tasa de producción del compactador inicial debería ser lo suficientemente alta para igualar la velocidad de pavimentación efectiva.



## CALCULADORA DE COMPACTACIÓN

<b>Vehículo</b>	Modelo del Compactador: [ <a href="#">Hacer clic para seleccionar otro modelo</a> ] [ <b>CB54</b> ]
<b>Velocidad de pavimentadora</b>	
<b>Compactación</b>	<b>Datos de entrada generales</b>
<b>Hilera</b>	Ancho de pavimentación: [ <b>12,00</b> ] pies [ <b>3,658</b> ] metro
<b>Rendimiento</b>	Ancho del tambor actual: [ <b>67</b> ] pul. [ <b>170,18</b> ] cm
<b>Pendiente</b>	Dimensión de traslape: [ <b>6,0</b> ] pul. [ <b>15,2</b> ] cm
<b>Espesor</b>	Frecuencia del rodillo: [ <b>2.520</b> ] VPM [ <b>2.520</b> ] VPM
<b>Resumen del trabajo</b>	Impactos (recomendados): [ <b>11</b> ] por pie [ <b>36</b> ] por m
<b>Legal</b>	<b>Número de pasadas para cubrir el ancho de la carpeta asfáltica una vez:</b> [ <b>3</b> ]
	Número de pasadas repetidas (tomado de franjas de prueba): [ <b>2</b> ]
	<b>Número total de pasadas:</b> [ <b>7</b> ]
	Tasa de eficiencia del compactador (recomendada 75 a 85%): [ <b>80</b> ] %
	<small>Velocidad efectiva de pavimentadora</small>
	<b>Velocidad actual del compactador:</b> [ <b>229</b> ] fpm [ <b>70</b> ] mpm [ <b>25,6</b> ] pie/min
<b>Salida</b>	<b>Velocidad efectiva del compactador*:</b> [ <b>26</b> ] fpm [ <b>8</b> ] mpm [ <b>7,81</b> ] m/min

\* La velocidad efectiva del compactador debe ser por lo menos 100% pero no más de 115% de la velocidad efectiva de la pavimentadora. [ **% = 102** ]

En este ejemplo se está utilizando un compactador de Asfalto Cat CB54. La CB54 tiene rodillos de 170 cm (67") de ancho que pueden cubrir la carpeta asfáltica en tres pasadas traslapadas. Se ha seleccionado una frecuencia baja, 42 Hz (2.520 vibraciones por minuto). Del trabajo realizado con mezclas similares en franjas de prueba, se estima que dos pasadas repetidas producirán la densidad especificada para la fase inicial. Tres pasadas traslapadas con dos pasadas repetidas crean un patrón de siete pasadas. Una tasa de eficiencia del 80% considera las paradas para reabastecimiento de agua y paros del compactador para hacer reversas. Una velocidad de trabajo real de 70 metros por minuto (229 pies por minuto) igualará la velocidad de pavimentación efectiva. La calculadora de producción también muestra que el espaciamiento de impacto está dentro del rango deseado, el cual es de 26 a 46 impactos por metro (8-14 impactos por pie).



## CALCULADORA DE VELOCIDAD DE LA PAVIMENTADORA

<b>Vehículo</b>	<b>Datos de entrada generales</b>		
<b>Velocidad de pavimentadora</b>	Espesor de pavimentación:	[ 2,00 ] pul.	[ 50,8 ] mm
<b>Compactación</b>	Ancho de pavimentación:	[ 12,00 ] pies	[ 3,658 ] metro
<b>Hilera</b>	Densidad de material suelto:	[ 130 ] lbs/pie <sup>3</sup>	[ 2.082 ] kg/m <sup>3</sup>
<b>Rendimiento</b>	<b>Velocidad de pavimentadora a tasa de producción dada</b>		
<b>Pendiente</b>	Tasa de producción de planta de asfalto:	[ 276 ] ton. Ing./hr	[ 250 ] toneladas/hr
<b>Espesor</b>	Velocidad de pavimentación calculada - 100% Eficiencia:	[ 35,4 ] pie/min	[ 10,80 ] m/min
<b>Resumen del trabajo</b>	Velocidad de pavimentación calculada - 95% Eficiencia:	[ 37,2 ] pie/min	[ 11,34 ] m/min
<b>Legal</b>	Velocidad de pavimentación calculada - 90% Eficiencia:	[ 38,9 ] pie/min	[ 11,88 ] m/min
	Velocidad de pavimentación calculada - 85% Eficiencia:	[ 40,7 ] pie/min	[ 12,42 ] m/min
	Velocidad de pavimentación calculada - 80% Eficiencia:	[ 42,5 ] pie/min	[ 12,96 ] m/min
	Velocidad de pavimentación calculada - 75% Eficiencia:	[ 44,2 ] pie/min	[ 13,50 ] m/min
<b>Salida</b>	<b>Velocidad de Pavimentación Efectiva:</b>	[ 35,4 ] pie/min	[ 10,80 ] m/min

¿Qué sucedería si la tasa de producción fuera mayor, por ejemplo 250 toneladas por hora (276 toneladas inglesas por hora)? El cálculo de velocidad de la pavimentadora muestra que la velocidad de pavimentación aumenta conforme aumenta el tonelaje por hora, suponiendo que el espesor de pavimentación y el ancho no cambian. Después de aumentar la producción por hora a 250 toneladas por hora (276 toneladas inglesas por hora), la velocidad efectiva aumenta a 10,8 metros por minuto (35,4 pies por minuto).



## CALCULADORA DE COMPACTACIÓN

Vehículo
Velocidad de pavimentadora
<b>Compactación</b>
Hilera
Rendimiento
Pendiente
Espesor
Resumen del trabajo
Legal

Modelo del Compactador: [ *Hacer clic para seleccionar otro modelo* ] [ **CB54** ]

### Datos de entrada generales

Ancho de pavimentación:	[ <b>12,00</b> ] <i>pies</i>	[ <b>3,658</b> ] <i>metro</i>
Ancho del tambor actual:	[ <b>67</b> ] <i>pul.</i>	[ <b>170,18</b> ] <i>cm</i>
Dimensión de traslape:	[ <b>6,0</b> ] <i>pul.</i>	[ <b>16,5</b> ] <i>cm</i>
Frecuencia del rodillo:	[ <b>2.520</b> ] <i>VPM</i>	[ <b>2.520</b> ] <i>VPM</i>
Impactos (recomendados):	[ <b>8</b> ] <i>por pie</i>	[ <b>26</b> ] <i>por m</i>
<b>Número de pasadas para cubrir el ancho de la carpeta asfáltica una vez:</b>	[ <b>3</b> ]	
Número de pasadas repetidas (tomado de franjas de prueba):	[ <b>2</b> ]	
<b>Número total de pasadas:</b>	[ <b>7</b> ]	
Tasa de eficiencia de compactador (recomendada 75 a 85%):	[ <b>80</b> ] %	

Velocidad efectiva de pavimentadora

<b>Velocidad actual del compactador:</b>	[ <b>315</b> ] <i>fpm</i>	[ <b>96</b> ] <i>mpm</i>	[ <b>35,4</b> ] <i>pie/min</i>
<b>Velocidad efectiva del compactador*:</b>	[ <b>36</b> ] <i>fpm</i>	[ <b>11</b> ] <i>mpm</i>	[ <b>10,80</b> ] <i>m/min</i>

\* La velocidad efectiva del compactador debe ser por lo menos 100% pero no más de 115% de la velocidad efectiva de la pavimentadora. [ **% = 102** ]

Después, es importante determinar si el compactador de fase inicial puede mantener el ritmo de la mayor producción. La velocidad de trabajo real del compactador tiene que haber aumentado a 96 metros por minuto (315 pies por minuto) para igualar la velocidad de pavimentación efectiva. Si se mantiene una frecuencia de vibración de 42 Hz (2.520 vibraciones por minuto) mientras se aumenta la velocidad de trabajo a 96 metros por minuto (315 pies por minuto) se crea un espaciamiento entre impactos de rodillo de 26 impactos por metro (8 impactos por pie). Este espaciamiento de impacto es el mínimo permitido. Si es posible, sería mejor utilizar un espaciamiento con un impacto más frecuente. Una manera de afectar el espaciamiento es aumentando la frecuencia mientras se conserva la misma velocidad de trabajo.



## CALCULADORA DE COMPACTACIÓN

<b>Vehículo</b>	Modelo del Compactador: <input type="text" value="Hacer clic para seleccionar otro modelo"/> [ <b>CB54</b> ]
<b>Velocidad de pavimentadora</b>	
<b>Compactación</b>	
<b>Hilera</b>	
<b>Rendimiento</b>	
<b>Pendiente</b>	
<b>Espesor</b>	
<b>Resumen del trabajo</b>	
<b>Legal</b>	
<b>Salida</b>	

**Datos de entrada generales**

Ancho de pavimentación:	[ <b>12,00</b> ] pies	[ <b>3,658</b> ] metro
Ancho del tambor actual:	[ <b>67</b> ] pul.	[ <b>170,18</b> ] cm
Dimensión de traslape:	[ <b>6,5</b> ] pul.	[ <b>16,5</b> ] cm
Frecuencia del rodillo:	[ <b>3.800</b> ] VPM	[ <b>3.800</b> ] VPM
Impactos (recomendados):	[ <b>12</b> ] por pie	[ <b>39</b> ] por m
<b>Número de pasadas para cubrir el ancho de la carpeta asfáltica una vez:</b>	[ <b>3</b> ]	
Número de pasadas repetidas (tomado de franjas de prueba):	[ <b>2</b> ]	
<b>Número total de pasadas:</b>	[ <b>7</b> ]	
Tasa de eficiencia de compactador (recomendada 75 a 85%):	[ <b>80</b> ] %	

Velocidad efectiva de pavimentadora

<b>Velocidad actual del compactador:</b>	[ <b>317</b> ] fpm	[ <b>97</b> ] mpm	[ <b>35,4</b> ] pie/min
<b>Velocidad efectiva del compactador*:</b>	[ <b>36</b> ] fpm	[ <b>11</b> ] mpm	[ <b>10,80</b> ] m/min

\* La velocidad efectiva del compactador debe ser por lo menos 100% pero no más de 115% de la velocidad efectiva de la pavimentadora. [ **% = 102** ]

La CB54 comúnmente viene equipada con frecuencia dual. La frecuencia alta en la CB54 es de 63,3 Hz (3.800 vibraciones por minuto). Si se selecciona la frecuencia alta y se ajusta la velocidad de trabajo en 97 metros por minuto (317 pies por minuto), el espaciamiento de impacto sería de 39 impactos por metro (12 impactos por pie). Este espaciamiento de impacto es más apropiado para producir una densidad y textura uniformes. Otra solución para este ejemplo sería aumentar el ancho del rodillo de tal modo que el compactador pueda cubrir la carpeta asfáltica en dos pasadas traslapadas en lugar de tres pasadas.



## CALCULADORA DE COMPACTACIÓN

<b>Vehículo</b>	Modelo del Compactador: [ <a href="#">Hacer clic para seleccionar otro modelo</a> ] [ <b>CB54 XW</b> ]								
<b>Velocidad de pavimentadora</b>	<b>Datos de entrada generales</b>								
<b>Compactación</b>	Ancho de pavimentación: [ <b>12,00</b> ] <i>pies</i> [ <b>3,658</b> ] <i>metro</i>								
<b>Hilera</b>	Ancho del tambor actual: [ <b>79</b> ] <i>pul.</i> [ <b>200,66</b> ] <i>cm</i>								
<b>Rendimiento</b>	Dimensión de traslape: [ <b>6,5</b> ] <i>pul.</i> [ <b>16,5</b> ] <i>cm</i>								
<b>Pendiente</b>	Frecuencia del rodillo: [ <b>2.520</b> ] <i>VPM</i> [ <b>2.520</b> ] <i>VPM</i>								
<b>Espesor</b>	Impactos (recomendados): [ <b>11</b> ] <i>por pie</i> [ <b>36</b> ] <i>por m</i>								
<b>Resumen del trabajo</b>	<b>Número de pasadas para cubrir el ancho de la carpeta asfáltica una vez:</b> [ <b>2</b> ]								
<b>Legal</b>	<b>Número de pasadas repetidas (tomado de franjas de prueba):</b> [ <b>2</b> ]								
	<b>Número total de pasadas:</b> [ <b>5</b> ]								
	Tasa de eficiencia de compactador (recomendada 75 a 85%): [ <b>80</b> ] %								
<b>Salida</b>	<table border="0"> <tr> <td><b>Velocidad actual del compactador:</b></td> <td>[ <b>229</b> ] <i>fpm</i></td> <td>[ <b>70</b> ] <i>mpm</i></td> <td>[ <b>35,4</b> ] <i>pie/min</i></td> </tr> <tr> <td><b>Velocidad efectiva del compactador*:</b></td> <td>[ <b>37</b> ] <i>fpm</i></td> <td>[ <b>11</b> ] <i>mpm</i></td> <td>[ <b>10,80</b> ] <i>m/min</i></td> </tr> </table>	<b>Velocidad actual del compactador:</b>	[ <b>229</b> ] <i>fpm</i>	[ <b>70</b> ] <i>mpm</i>	[ <b>35,4</b> ] <i>pie/min</i>	<b>Velocidad efectiva del compactador*:</b>	[ <b>37</b> ] <i>fpm</i>	[ <b>11</b> ] <i>mpm</i>	[ <b>10,80</b> ] <i>m/min</i>
<b>Velocidad actual del compactador:</b>	[ <b>229</b> ] <i>fpm</i>	[ <b>70</b> ] <i>mpm</i>	[ <b>35,4</b> ] <i>pie/min</i>						
<b>Velocidad efectiva del compactador*:</b>	[ <b>37</b> ] <i>fpm</i>	[ <b>11</b> ] <i>mpm</i>	[ <b>10,80</b> ] <i>m/min</i>						

Velocidad efectiva de pavimentadora

\* La velocidad efectiva del compactador debe ser por lo menos 100% pero no más de 115% de la velocidad efectiva de la pavimentadora. [ **% = 105** ]

Un compactador con 200 cm (79") de ancho de tambor, si está disponible, cubriría la carpeta asfáltica de 3,66 m (12') en dos pasadas traslapadas en lugar de tres pasadas. El ancho extra del rodillo cambia el patrón de compactación de siete pasadas a cinco pasadas. La velocidad de trabajo disminuye a 70 metros por minuto (229 pies por minuto). La frecuencia de vibración se revierte a 42 Hz (2.520 vibraciones por minuto). La velocidad de trabajo produce un espaciamiento de impacto más aceptable, 36 impactos por metro (11 impactos por pie).

Se debe recordar que una baja frecuencia siempre está asociada con una mayor amplitud. Con esto se podría alcanzar la densidad especificada más rápidamente utilizando una frecuencia baja y media para una amplitud alta en carpetas asfálticas con espesores de 50 mm (2") y mayores.

La selección correcta del compactador para la fase inicial de compactación es crítica para lograr una densidad consistente y aceptable. Se requiere de una planeación previa al proyecto a fin de confirmar que el compactador podrá igualar la velocidad de pavimentación.

## [ COMPACTACIÓN INTERMEDIA ]

La compactación intermedia es el paso que sigue inmediatamente después de la fase inicial en la mayoría de las mezclas. Las metas de la compactación intermedia son crear la densidad final especificada en la carpeta asfáltica y comenzar el proceso de borrado de las marcas que dejó el compactador de fase inicial.

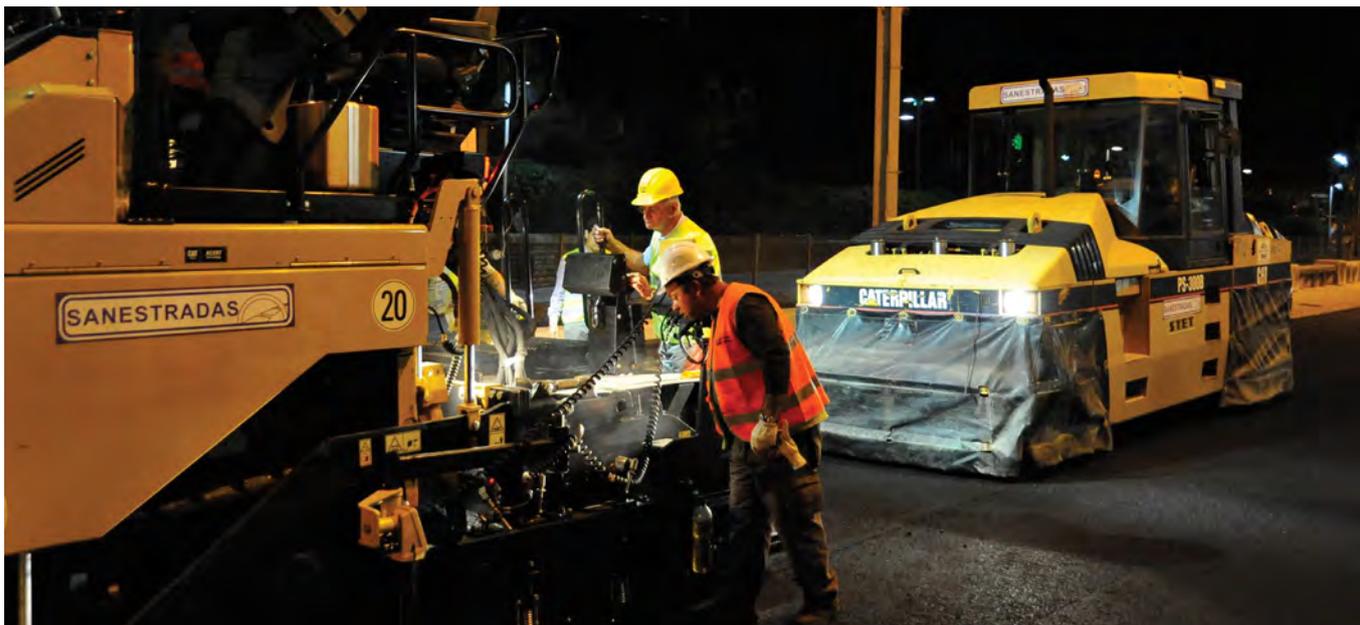
La carpeta asfáltica debe estar lo suficientemente caliente para permitir algún movimiento del agregado por lo que regularmente los compactadores intermedios trabajan en la zona de temperatura que recién acaba de pasar por la temperatura de fase inicial.

Dependiendo del espesor de la carpeta asfáltica, se tiene que tener cuidado del tipo y cantidad de fuerza que se aplica. Hay que recordar que, la carpeta asfáltica en la fase inicial ya está a punto de lograr la densidad final especificada y sólo se está tratando de aumentar la densidad en un 1% a 3%.

Los compactadores neumáticos son la opción más común para la compactación intermedia ya que ejercen una presión estática alta sin hacer fuerzas de impacto. El tipo de compactador neumático seleccionado para la fase intermedia depende del espesor de la carpeta asfáltica y el diseño de la mezcla de asfalto.

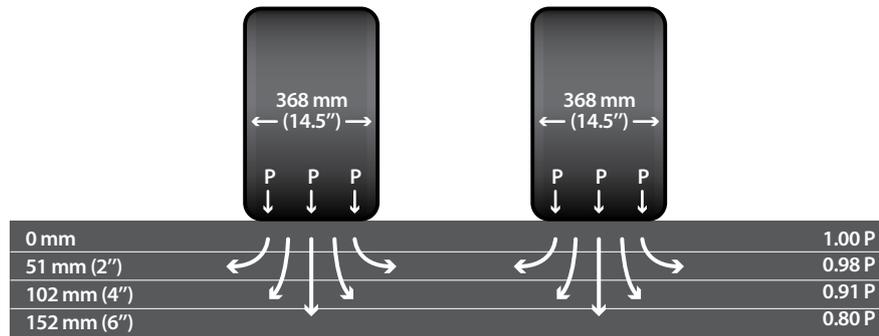


*La compactación intermedia sigue inmediatamente después de la fase inicial.*



*Los compactadores neumáticos pueden ejercer fuerzas altas sin crear fuerzas de impacto.*

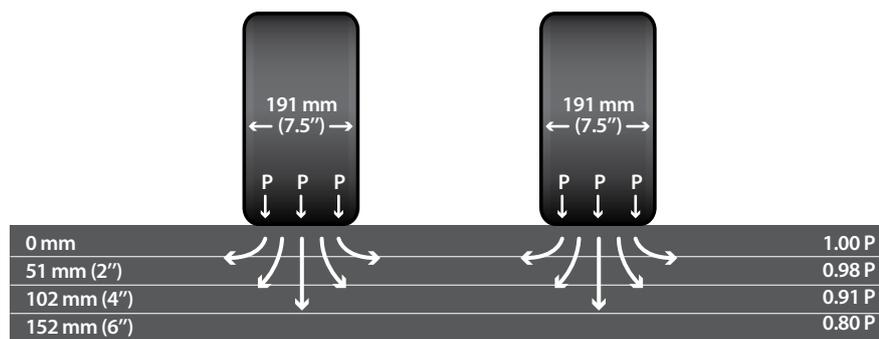
**DISTRIBUCIÓN DE LA PRESIÓN EN UNA LLANTA ANCHA**



Para la compactación de una carpeta asfáltica gruesa y rugosa, la mejor opción es usar un compactador neumático con llantas anchas. Las llantas anchas pueden soportar cargas mucho mayores de las que se requieren para obtener la densidad final en mezclas rugosas que se caracterizan por tener agregado grueso. Se debe

considerar que incluso a una profundidad de 100 mm (4") la presión de compactación sigue siendo de 90% efectiva. Los compactadores neumáticos de llanta ancha son una buena opción para las capas base y de aglutinantes que normalmente requieren capas más gruesas en la estructura del pavimento.

**DISTRIBUCIÓN DE LA PRESIÓN EN UNA LLANTA ANGOSTA**



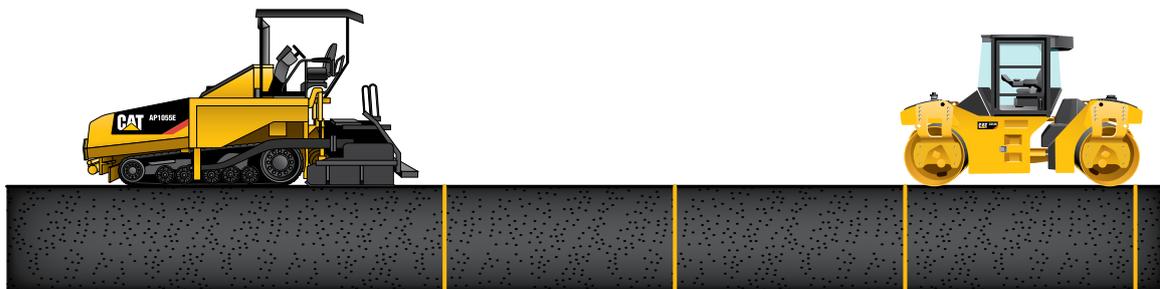
Los compactadores neumáticos con llantas angostas ejercen una alta presión de contacto contra el suelo, pero esa presión es mucho más eficaz en carpetas asfálticas delgadas y rígidas. Se debe de considerar que la presión disminuye

rápidamente cuando la profundidad de la carpeta asfáltica excede los 50 mm (2"). Los compactadores neumáticos con llantas angostas son una buena opción para capas de desgaste ya que regularmente se hacen con el material más delgado y rígido.

Si se están seleccionando compactadores vibratorios de tambor de acero para la fase intermedia de compactación, se debe tener cuidado de no usar mucha fuerza de impacto. La carpeta asfáltica ya casi obtiene su densidad final así que una alta frecuencia combinada con la amplitud más baja probablemente funcionará mejor. También, la temperatura de la carpeta asfáltica en la zona intermedia se debe de haber enfriado a aproximadamente 110 °C (230 °F). Aplicar vibración de manera agresiva en las carpetas frías puede provocar marcas de impacto que no se borrarían durante la fase de acabado o pueden provocar agregados fracturados en la superficie de la carpeta asfáltica.



*Los compactadores vibradores que se usan en la fase intermedia se ajustan en una amplitud baja.*



*El compactador de acabado puede estar a una hora de distancia de la pavimentadora en el área donde la carpeta asfáltica ya se enfrió.*

## [ COMPACTACIÓN DE ACABADO ]

La fase final es la compactación de acabado. El objetivo de la fase de acabado es remover cualquier marca de paro del rodillo o marcas de las llantas neumáticas. Pueden haber pequeños incrementos en la densidad durante la fase de acabado, pero si se pretende obtener mayor densidad durante la fase de acabado, se están tomando muchos riesgos.

La fase de acabado normalmente se realiza cuando la carpeta asfáltica todavía está lo suficientemente tibia para permitir eliminar las marcas en la superficie.

Si el compactador de terminado está dejando sus propias marcas de paro, la carpeta asfáltica está todavía muy caliente y se debe esperar más tiempo para iniciar la compactación de acabado. Es práctica común empezar con el compactador de acabado una hora después de la máquina pavimentadora. Los operadores del compactador de acabado aprovechan los sensores de temperatura integrados al tablero o scanners de temperatura portátiles para ayudarles a permanecer en la zona de temperatura correcta.

Los compactadores de doble rodillos operando en el modo estático son los compactadores de acabado más comunes. Se debe recordar que mientras más angosto el ancho del tambor, mayor será la fuerza estática ejercida. Es común utilizar compactadores más chicos en los trabajos de terminado.

No se debe aplicar vibración en la fase de acabado. Si se requiere mayor densidad, el problema se debe tratar en las fases inicial e intermedia. El objetivo de la fase de acabado es la textura, no aumentos de densidad. El compactador de acabado realiza pasadas largas y lentas para alisar la carpeta asfáltica. Si ya se completó la fase de acabado en una porción de la carpeta asfáltica y el compactador de acabado necesita estacionarse y espera, se debe estacionar únicamente en una sección de la carpeta asfáltica o la superficie adyacente que esté lo suficientemente fría para soportar la máquina sin deformar la carpeta asfáltica.



*Es común utilizar compactadores de doble rodillo operando en modo estático durante la fase de compactación de acabado.*

### [ FRANJAS DE PRUEBA ]

En muchos proyectos, el departamento de obras públicas responsable requerirá que se realice satisfactoriamente una franja de prueba antes de empezar la producción en pleno. Los requerimientos para las franjas de prueba varían mucho de un lugar a otro. En general, la franja de prueba verifica que la producción de asfalto cumpla con la fórmula de mezcla de la obra, que el equipo de pavimentación tienda la carpeta asfáltica de manera satisfactoria y que el equipo de compactación seleccionado logre la densidad especificada.

Una franja de prueba puede ser un elemento separado o parte del proyecto de pavimentación. Contendrá el tonelaje adecuado para completar las pruebas requeridas. En el presente manual, el objetivo es probar la densidad.

Para realizar la franja de prueba, el técnico en control de calidad o el supervisor necesitarán tener un dispositivo de medición de temperatura exacto, y un medidor de densidad calibrado. El equipo de compactación que se use en la franja de prueba debe ser el mismo que se planea usar para el proyecto.

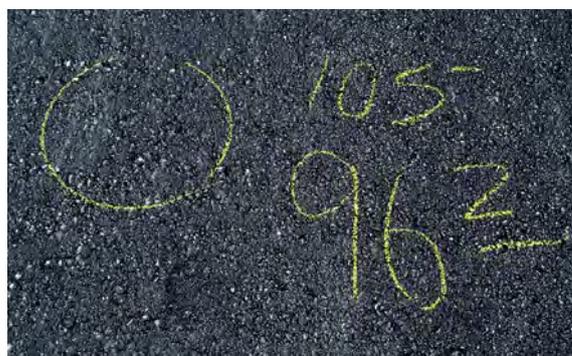
El técnico en control de calidad o el supervisor debe tener un patrón de compactación ya planeado para cada fase de compactación, y debe tener una amplitud y frecuencia vibratorias seleccionadas así como la velocidad de trabajo para el compactador de fase inicial. Las características vibratorias se determinan por el tipo de mezcla, el espesor de la capa de asfalto y la velocidad de trabajo de la pavimentadora.

Tan pronto como la pavimentadora se retire de la junta de inicio se empieza a recolectar los datos. Una vez que la pavimentadora ha alcanzado la velocidad de pavimentación planeada y se ha establecido el espesor correcto para la carpeta, se verifica directamente la temperatura de la carpeta asfáltica detrás de la regla de la pavimentadora. Se siguen haciendo estas mediciones a todo lo largo de la franja de prueba, y se documenta la temperatura de la carpeta asfáltica. Una temperatura constante en la carpeta asfáltica es una de las claves para crear una densidad consistente en toda la carpeta. Si la mezcla que se usó en el proyecto tiene una zona sensible, se podrá documentar la temperatura para el inicio de la zona sensible y la temperatura para cuando esa sensibilidad desaparezca.



Se debe verificar la densidad de la carpeta asfáltica que tendió la regla antes de iniciar el proceso de compactación. Es muy útil saber la densidad tendida por la regla para seleccionar la amplitud y el número de pasadas necesarias para obtener la densidad requerida.

Verificar la densidad tendida por la regla en varios lugares a todo lo ancho de la carpeta asfáltica. Verificar la densidad de la carpeta después de cada pasada del compactador de fase inicial.



*En ocasiones se pasa por alto verificar la densidad de la carpeta asfáltica antes de la compactación inicial (imagen superior) en la franja de prueba. Los valores de densidad y temperatura que se anotan en la carpeta asfáltica (arriba) ayudan a los operadores del compactador.*

**Sugerencia para el usuario:** Cuando se coloque el medidor de densidad en la carpeta asfáltica para hacer la primera verificación de densidad, se debe dibujar su contorno a lo largo de la base del medidor con gis. Esa línea ayudará a poner el medidor exactamente en el mismo lugar después de cada pasada.

## MÉTODOS

Se debe seguir realizando pasadas con el compactador de fase inicial hasta alcanzar la densidad especificada para la fase inicial. Este es un ejemplo de una franja de prueba que se creó para un proyecto de autopistas.

### [ ESPECIFICACIONES DE DENSIDAD ]

Densidad mínima:	92% densidad máxima teórica
Densidad especificada:	93,5 a 95,5 densidad máxima teórica

### [ CONDICIONES DEL PROYECTO ]

Mezcla de asfalto:	25 mm (1") densidad graduada
Cemento asfáltico:	5,8% producto oleaginoso de polímero modificado
Espesor de pavimentación:	80 mm (3,1")
Ancho de pavimentación:	3,66 m (12')
Densidad de tendido de la regla:	80% densidad máxima teórica
Temperatura de la carpeta asfáltica:	149 °C (300 °F)

### [ CARACTERÍSTICAS VIBRATORIAS, FASE INICIAL ]

Ancho del tambor:	200 cm (79")
Fuerza estática por tambor:	29,7 kg/cm (166 lb/en)
Amplitud:	0,78 mm (0,031")
Frecuencia:	42 Hz (2.520 vibraciones por minuto)

### [ RESULTADOS DE LA FRANJA DE PRUEBA, FASE INICIAL ]

Pasada uno:	84%
Pasada dos:	87%
Pasada tres:	90%
Pasada cuatro:	92%

### [ CARACTERÍSTICAS VIBRATORIAS, FASE INTERMEDIA ]

Ancho del tambor:	200 cm (79")
Fuerza estática por tambor:	29,7 kg/cm (166 lb/pul.)
Amplitud:	0,30 mm (0,012")
Frecuencia:	63,3 Hz (3.800 vpm)

### [ RESULTADOS DE LA FRANJA DE PRUEBA, FASE INTERMEDIA ]

Pasada cinco:	93%
Pasada seis:	94%

### [ CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS, FASE DE ACABADO ]

Ancho del tambor:	170 cm (67")
Fuerza estática por tambor:	31,8 kg/cm (178 lb/pul.)

### [ RESULTADOS DE LA FRANJA DE PRUEBA, FASE DE ACABADO ]

Pasada siete:	94,5%
Pasada ocho:	95,0%

**Resumen:** Esta franja de prueba requirió de cuatro pasadas en la fase inicial para alcanzar el nivel de aceptación de densidad mínima. Dos pasadas intermedias agregaron suficiente densidad para cubrir la especificación deseada. La compactación de terminado agregó otro porcentaje. ¿El proceso de compactación cumplió con el requerimiento de densidad, pero no cumplió con el requerimiento de producción? Se puede utilizar la Calculadora Interactiva de Producción Cat para confirmar que la producción de compactación cumplió con la producción de pavimentación.

## CALCULADORA DE VELOCIDAD DEL PAVIMENTADOR

<b>Vehículo</b>	<b>Datos de entrada generales</b>		
<b>Velocidad de pavimentadora</b>	Espesor de pavimentación:	[ 3,15 ] pul.	[ 80,0 ] mm
<b>Compactación</b>	Ancho de pavimentación:	[ 12,00 ] pies	[ 3,658 ] metro
<b>Hilera</b>	Densidad de material suelto:	[ 127 ] lbs/pie <sup>3</sup>	[ 2.034 ] kg/m <sup>3</sup>
<b>Rendimiento</b>	<b>Velocidad de pavimentadora a tasa de producción dada</b>		
<b>Pendiente</b>	Tasa de producción de planta de asfalto:	[ 220 ] ton. Ing./hr	[ 200 ] toneladas/hr
<b>Espesor</b>	Velocidad de pavimentación calculada - 100% Eficiencia:	[ 18,3 ] pie/min	[ 5,58 ] m/min
<b>Resumen del trabajo</b>	Velocidad de pavimentación calculada - 95% Eficiencia:	[ 19,2 ] pie/min	[ 5,86 ] m/min
<b>Legal</b>	Velocidad de pavimentación calculada - 90% Eficiencia:	[ 20,1 ] pie/min	[ 6,14 ] m/min
	Velocidad de pavimentación calculada - 85% Eficiencia:	[ 21,0 ] pie/min	[ 6,42 ] m/min
	Velocidad de pavimentación calculada - 80% Eficiencia:	[ 22,0 ] pie/min	[ 6,70 ] m/min
	Velocidad de pavimentación calculada - 75% Eficiencia:	[ 22,9 ] pie/min	[ 6,97 ] m/min
<b>Salida</b>	<b>Velocidad de Pavimentación Efectiva:</b>	[ 18,3 ] pie/min	[ 5,58 ] m/min

La tasa de producción planeada para este proyecto es de 200 toneladas por hora (220 toneladas inglesas por hora). Ya se verificó la densidad tendida por la regla y por consiguiente se puede calcular con exactitud el peso del material tendido. En este proyecto, el peso tendido por la regla es de 2.034 kg/m<sup>3</sup> (127 lb/pie<sup>3</sup>). La profundidad de pavimentación es de 80 mm (3,15") y el ancho de pavimentación es 3,66 m (12'). La velocidad de pavimentación efectiva es por lo tanto de 5,58 metros por minuto (18,3' por minuto). Ahora se tiene que confirmar que el compactador de fase inicial puede mantener el ritmo de la pavimentadora.

## CALCULADORA DE COMPACTACIÓN

Vehículo
Velocidad de pavimentadora
<b>Compactación</b>
Hilera
Rendimiento
Pendiente
Espesor
Resumen del trabajo
Legal

Modelo del Compactador: [ [Hacer clic para seleccionar otro modelo](#) ] [ **CB54 XW** ]

### Datos de entrada generales

Ancho de pavimentación:	[ <b>12,00</b> ] pies	[ <b>3,658</b> ] metro
Ancho del tambor actual:	[ <b>79</b> ] pul.	[ <b>200,66</b> ] cm
Dimensión de traslape:	[ <b>6,0</b> ] pul.	[ <b>15,2</b> ] cm
Frecuencia del rodillo:	[ <b>2.520</b> ] VPM	[ <b>2.520</b> ] VPM
Impactos (recomendados):	[ <b>12</b> ] por pie	[ <b>38</b> ] por m
<b>Número de pasadas para cubrir el ancho de la carpeta asfáltica una vez:</b>	[ <b>2</b> ]	
Número de pasadas repetidas (tomado de franjas de prueba):	[ <b>4</b> ]	
<b>Número total de pasadas:</b>	[ <b>9</b> ]	
Tasa de eficiencia de compactador (recomendada 75 a 85%):	[ <b>80</b> ] %	

Velocidad efectiva de pavimentadora

<b>Velocidad actual del compactador:</b>	[ <b>210</b> ] fpm	[ <b>64</b> ] mpm	[ <b>18,3</b> ] pie/min
<b>Velocidad efectiva del compactador*:</b>	[ <b>19</b> ] fpm	[ <b>6</b> ] mpm	[ <b>5,58</b> ] m/min

\* La velocidad efectiva del compactador debe ser por lo menos 100% pero no más de 115% de la velocidad efectiva de la pavimentadora. [ **% = 104** ]

El compactador seleccionado para la fase inicial tiene rodillos de 200 cm (79") de ancho. Este compactador puede cubrir la carpeta asfáltica en dos pasadas traslapadas. En la franja de prueba, se requirieron cuatro pasadas para obtener la densidad de aceptación mínima. La calculadora muestra que éste sería un patrón de nueve pasadas. A una velocidad de trabajo real de 64 metros por minuto (210 pies por minuto), el compactador de fase inicial irá a la par de la velocidad de pavimentación. La frecuencia vibratoria se ajustó a 42 Hz (2.520 vibraciones por minuto). La frecuencia y velocidad de trabajo en este ejemplo se combinan para crear 38 impactos por metro (12 impactos por pie). Este espaciamiento de impacto es ideal para lograr una densidad y textura consistentes.

La franja de prueba se completó con éxito en cuanto a las mediciones de densidad tomadas en campo. Los núcleos extraídos de la capa de asfalto y analizados en laboratorio confirmarán las densidades y permitirán calibrar mejor el medidor de densidad, si fuera necesario.



*El corte de núcleos y análisis de laboratorio darán la confirmación final que la densidad de la franja de prueba cumple con los requerimientos deseados.*

### [ OBTENCIÓN DE MAYOR DENSIDAD EN LA FRANJA DE PRUEBA ]

Si el compactador de fase inicial no logra la densidad requerida con la configuración de vibración y los patrones de compactación seleccionados, será necesario realizar cambios. En ocasiones se puede continuar operando en la misma área de la franja de prueba si la carpeta asfáltica sigue lo suficientemente caliente. A continuación se indican maneras de aumentar la densidad.

- **Agregar más pasadas.** Se pueden dar más pasadas siempre y cuando se conserve la velocidad de pavimentación.
- **Aumentar la amplitud.** Si se tiene la opción de una mayor amplitud y la capa de asfalto acepta mayor fuerza sin provocar que el rodillo brinque, se puede hacer esto.
- **Aumentar la presión de las llantas o el peso del balasto.** Si se está usando un compactador neumático en la compactación inicial, se debe poder aumentar la fuerza de compactación sin dañar la carpeta asfáltica.
- **Usar un compactador de mayor producción.** Si se tiene, se puede cambiar por un compactador con rodillos más anchos o mayor amplitud. Un compactador con rodillos más anchos puede cubrir la carpeta asfáltica en menos pasadas traslapadas y crear un patrón más rápido que facilite agregar pasadas.
- **Trabajar más próximo a la pavimentadora.** Al mantener el compactador inicial más cerca de la pavimentadora, se puede trabajar con el asfalto más caliente. Hacer esto, puede requerir acortar la longitud de los patrones de rodado.
- **Bajar la velocidad de trabajo del compactador.** Una velocidad de trabajo más lenta permite ejercer más fuerza sobre el área que se está pavimentando ya que el espaciamiento de impacto es más corto. Esta opción supone que una velocidad más lenta permitirá al compactador ir al mismo ritmo que la pavimentadora.

**Resumen:** *La preparación del proceso de compactación y una realización satisfactoria de las franjas de prueba requieren planeación y recopilación de datos. Es muy riesgoso suponer que si un proceso tuvo éxito en un proyecto, va a ser igual en otro. Es verdad que la experiencia es una buena maestra, pero hay muchas variables que pueden afectar la densidad. Cada proyecto merece realizar un profundo análisis antes de empezar a trabajar.*



## Sección 5

# PATRONES DE RODAMIENTO

Al utilizar el Calculador Interactivo de Producción Cat® (Cat® Interactive Production Calculator) para crear curvas de enfriamiento, se pueden planear patrones con éxito antes empezar su proyecto.



## PATRONES

Un patrón de rodamiento es una serie de movimientos que realizan uno o varios compactadores sobre una carpeta de asfalto recién tendida y sin compactar. El patrón de rodamiento tiene como objetivo facilitar su repetición de manera consistente a fin de producir una densidad uniforme en la carpeta de asfalto.

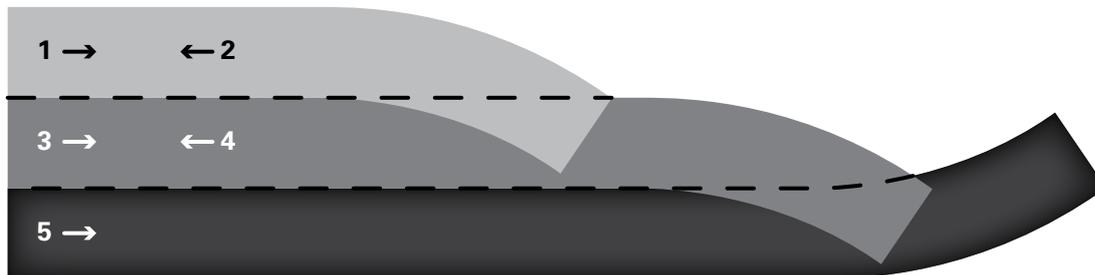
El patrón de rodamiento cubre una cierta área de metros cuadrados (pies) definida por el largo y ancho del patrón. Se supone que el espesor de la carpeta de asfalto se mantiene relativamente constante de un extremo al otro de la carpeta asfáltica dentro del patrón. La temperatura de la mezcla de asfalto dentro del patrón de rodamiento también se mantendrá de manera razonablemente constante en tanto que el área cubierta por el patrón siempre que mantenga la misma relación con la pavimentadora conforme esta avanza. Por lo tanto, un patrón de rodamiento con un número

constante de pases, a una velocidad de trabajo constante y fuerzas de compactación constantes deben producir una densidad uniforme.

**Nota:** En el presente manual, el término "pase" significa el movimiento del compactador en una dirección. En otras palabras cuando el compactador inicia un patrón al avanzar hacia adelante desde un punto de inicio a otro más próximo a la pavimentadora, dicho movimiento se considera un pase. Cuando el compactador da reversa para regresar al punto de inicio del patrón, dicho movimiento se considera otro pase.

Una vez que se ha establecido un patrón de rodamiento, no se debe de alterar a menos que haya cambios en el proceso de pavimentación delante del compactador, cambios en la fórmula de la mezcla o cambios en las condiciones climáticas.

### REVERSA



### [ PATRÓN BÁSICO DE COMPACTADO ]

Hay ciertas técnicas que son comunes para cualquier patrón de rodamiento. Una técnica es detenerse y dar reversa con un tambor en tándem al final de un pase.

En el diagrama anterior, se supone que la carpeta asfáltica tiene dos orillas no confinadas o que no están adyacentes a una carpeta asfáltica fría por donde se puede rodar. El operador del compactador debe detenerse y dar reversa en la carpeta asfáltica caliente.

Nótese que los primeros dos pases se encuentran a lo largo de una orilla de la carpeta asfáltica. Al final

del Primer Pase, el operador gira hacia el centro de la carpeta asfáltica y se detiene lentamente con ambos tambores girando en un ángulo de por lo menos 30° dejando la marca de detención en ángulo con respecto a la dirección de compactación. El operador da reversa en la misma trayectoria para el Segundo Pase.

El Tercer Pase es justo en el centro de la carpeta asfáltica con cierta cobertura traslapada sobre los Pases Uno y Dos. El Pase Tres es más largo que el Primero a fin de mantenerse al mismo ritmo que la pavimentadora y borrar la marca de detención que quedó al final del Primer Pase.



*Dos compactadores de fase inicial dando reversa detrás de la pavimentadora. Realizan una parada en ángulo.*

Al final del Pase Tres, el operador gira hacia la orilla no compactada, teniendo cuidado de no salirse de la orilla de la carpeta asfáltica. Nuevamente, la marca de detención se deja en ángulo respecto a la dirección de compactación. El operador da reversa en la misma trayectoria para el Cuarto Pase.

El Pase Cinco es a lo largo de la otra orilla no confinada con cierto traslape en la cobertura de las Pasadas Tres y Cuatro. El Quinto Pase continúa a través de la marca de detención que quedó al final de la Pasada Tres. Al final de la Pasada Cinco, el operador gira hacia el centro de la carpeta asfáltica dejando una marca de detención en ángulo donde el siguiente patrón la borrará. El operador da reversa en la misma trayectoria para la Pasada Seis.

La Pasada Siete reposicionará el compactador para empezar otro patrón. Este se llama el patrón de la pasada siete.

Este patrón resulta cuando se toman tres pasadas traslapadas para cubrir el ancho de la carpeta asfáltica y requiere de dos pasadas por cobertura para crear la densidad requerida.

Los compactadores de fase inicial siempre se detienen para dar reversa cerca de la parte trasera de la pavimentadora. Existen reglas absolutas que dictan qué tan atrás de la pavimentadora se debe detener el compactador. La seguridad en el lugar de trabajo debe ser primordial. Un lineamiento razonable sería que los compactadores se detuvieran por lo menos 5 m (16') detrás de la pavimentadora. Se debe recordar que puede haber trabajadores u operadores de la plancha vibratoria trabajando en la carpeta asfáltica justo detrás de la pavimentadora.

**Sugerencia para el usuario:** Al momento de detener un compactador de tambor de acero con dirección en reversa, ya sea en una carpeta asfáltica caliente o una carpeta asfáltica fría adyacente, siempre se debe apagar el sistema vibrador tan pronto empiece a detenerse. Se debe recordar que es importante mantener el espaciamiento del impacto del tambor. Conforme la velocidad de la máquina disminuye, los impactos van a estar mucho más cerca uno del otro. Se puede desactivar el sistema vibratorio manualmente o se puede seleccionar la función "AutoVibe" que automáticamente detendrá y arrancará el sistema vibratorio cuando la velocidad de trabajo alcance los niveles programados.



*Los compactadores neumáticos tienen permitido detenerse en forma recta en la carpeta asfáltica.*

A diferencia de los tambores de acero, las llantas de caucho en los compactadores neumáticos no necesitan girarse cuando se detiene el compactador. Un giro brusco de los compactadores neumáticos desgarrará la carpeta asfáltica.

El compactador neumático debe detenerse lentamente sin girar. Va a haber una ligera marca de detención en la carpeta asfáltica, pero regularmente el compactador de terminado borrará estas marcas totalmente.

### [ PATRÓN PARA DOS ORILLAS NO CONFINADAS ]

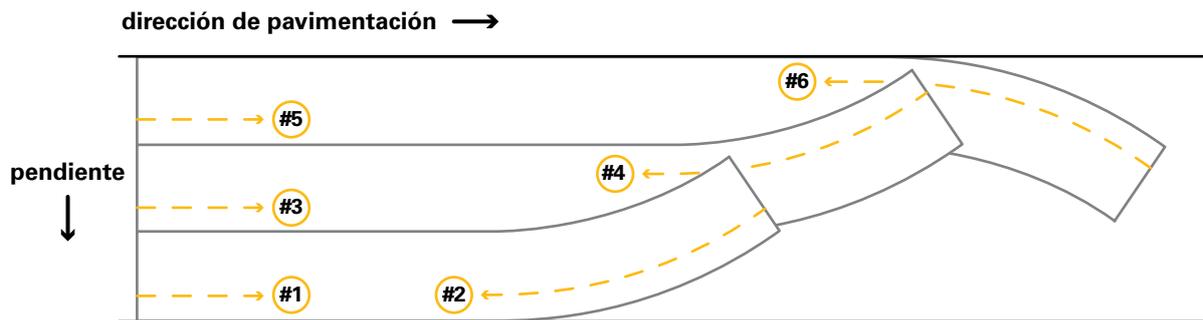
En este ejemplo, se supone que la carpeta asfáltica tiene dos orillas no confinadas, que la orilla izquierda es el centro de la estructura y que hay una pendiente del 2% desde la línea central hacia la orilla no confinada derecha.

Cuando la estructura a compactar tiene dos orillas no confinadas y superficie en pendiente, Caterpillar recomienda hacer las primeras pasadas a largo de la orilla inferior de la estructura. La siguiente serie debe hacerse en el centro de la carpeta asfáltica. Las pasadas finales deben de hacerse a lo largo de la orilla no confinada superior. La compactación

partiendo de la orilla inferior a la superior promueve mayor resistencia en la carpeta asfáltica y menos deformaciones de la misma.

En general, la Primera Pasada a lo largo de cualquier orilla no confinada debe realizarse con el borde del tambor por lo menos a 15 cm (6") de distancia de la orilla. La Segunda Pasada, regularmente la pasada de retorno en la misma área de cobertura que la primera pasada, debe realizarse con el tambor ligeramente traslapando el borde. Esta secuencia también ayuda a minimizar la distorsión de la carpeta asfáltica.

**DOS ORILLAS NO CONFINADAS**



Al momento de compactar orillas no confinadas, se debe observar en busca de grietas en la carpeta asfáltica a lo largo del borde del tambor cuando éste retrocede de la orilla no confinada. Algunas mezclas con grandes agregados o bajos contenidos de cemento asfáltico mostrarán grietas si no se recubre la orilla durante la primera pasada.

Los compactadores neumáticos no deben pasar por encima de orillas no confinadas. Las llantas de caucho deben estar por lo menos a 15 cms. (6") de distancia de la orilla no confinada para evitar que pase por encima o distorsione la orilla de la carpeta asfáltica.

Cuando aparezcan grietas se debe cambiar de inmediato el patrón de rodamiento para traslapar la orilla no confinada con cada pasada a lo largo de la orilla de la carpeta asfáltica.



*Grieta en la carpeta asfáltica a lo largo del borde del tambor al retroceder de la orilla no confinada*



*Los compactadores neumáticos siempre permanecen a 15 cm (6") de la orilla no confinada.*

**[ PATRÓN PARA UNA ORILLA CONFINADA ]**

En este ejemplo, se supone que la orilla izquierda de la carpeta asfáltica está emparejada a una carpeta asfáltica adyacente a lo largo de la línea central de la estructura. La carpeta asfáltica adyacente está compactada y fría. Se ponen conos de tráfico al lado de la orilla central de la carpeta asfáltica fría y hay tráfico presente en la carpeta asfáltica fría. Una pendiente del 2% corre desde la línea central hacia la orilla no confinada. Hay dos patrones de rodamiento aceptables para esta aplicación.

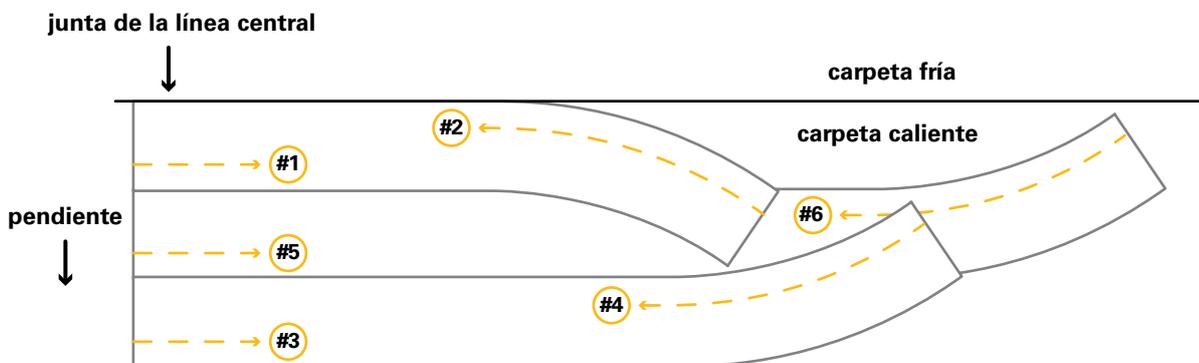
Si hay una especificación de densidad para la junta en el proyecto, entonces la primera pasada debe hacerse a lo largo de la orilla izquierda de la carpeta asfáltica para aprovechar la temperatura más alta de la carpeta resultante de la más alta densidad de la junta. Ambos tambores deben estar totalmente en la carpeta asfáltica caliente y aproximadamente a 15-30 cm (6-12") de distancia de la carpeta asfáltica fría. Durante la Pasada Dos, la pasada de retorno a lo largo de la orilla izquierda, se deben poner los tambores de tal modo que se traslapen sobre la junta caliente / fría por aproximadamente 15 cm (6"). Este traslape comenzará el proceso de sellar la junta central longitudinal.

Las Pasadas Tres y Cuatro se realizarán a lo largo de la orilla no confinada para desarrollar fuerza y minimizar la deformación de la carpeta asfáltica en la orilla no confinada.

Las Pasadas Cinco y Seis se realizan en el centro de la carpeta asfáltica. Esta porción de la carpeta asfáltica será la más fría para este momento, pero la porción central de la carpeta tendrá en realidad, dos orillas confinadas para ayudar en la compactación.

Si no hay especificaciones respecto a la densidad de la junta, entonces las Pasadas Uno y Dos pueden hacerse a lo largo de la orilla derecha en el lado más bajo de la carpeta asfáltica en pendiente como se muestra en la ilustración para dos orillas no confinadas. El centro de la carpeta asfáltica se compacta con las Pasadas Tres y Cuatro. Finalmente, la junta de la línea central se compacta con la Pasada Cinco ligeramente alejada de la junta y la Pasada Seis se traslapa sobre la junta.

**UNA ORILLA NO CONFINADA**





*El uso de compactadores neumáticos en la fase intermedia es más eficaz para sellar juntas caliente/frío longitudinales.*



*Cuando el compactador puede rodar hasta una carpeta asfáltica compactada y fría se evita dejar marcas de la parada de los tambores en la carpeta asfáltica fresca.*

Todos los demás compactadores durante las fases intermedia y de terminado pueden traslapar la junta longitudinal. Las llantas de caucho de los compactadores neumáticos son particularmente eficientes "apretando" juntas. El operador del compactador neumático debe tratar de montar la junta con una de las llantas.

En algunos proyectos, la orilla de la carpeta asfáltica que está emparejada con la junta estará adyacente a una carpeta asfáltica compactada fría. Cuando sea posible, los operadores del compactador deben rodar hacia afuera de la carpeta asfáltica caliente y sobre la carpeta fría para detenerse y regresar en la misma dirección. Al dar reversa en la carpeta fría, no se harán marcas de detención en la carpeta de asfalto caliente y se mejorará la textura de la superficie.

El operador del compactador debe estar consciente de varias cuestiones de seguridad al momento de rodar fuera de la carpeta asfáltica caliente, detenerse y dar reversa. Primero, puede haber tráfico utilizando el carril adyacente. Puede haber vehículos piloto dirigiendo el tráfico a través de la zona de trabajo. El operador nunca se debe pasar a la carpeta asfáltica adyacente si hay tráfico presente.

Segundo, puede haber trabajadores alrededor de la pavimentadora. En particular, puede haber trabajadores rastrillando la junta detrás de la pavimentadora. Se debe tener cuidado de salirse de la carpeta asfáltica lo suficientemente atrás de la pavimentadora si hay trabajadores presentes.

## [ PATRÓN HACIENDO USO DEL CARRIL DE EMERGENCIA ]

En algunos proyectos, el plan requiere que el ancho de pavimentación incluya un carril de emergencia (también llamado carril de acotamiento) junto con el carril principal. Normalmente, si el carril de emergencia es menor a 1,5 m (5') de ancho, se incluirá en el patrón convencional utilizado para el compactador de fase inicial. O, si el carril de emergencia tiene una pendiente aparte, en ocasiones se utilizará un compactador utilitario no incluido en el patrón del carril principal.

Sin embargo, si el carril de emergencia es de por lo menos 1,5 m (5') de ancho, se puede incluir en el patrón de fase inicial y se puede usar para todas las paradas y reversas del compactador.

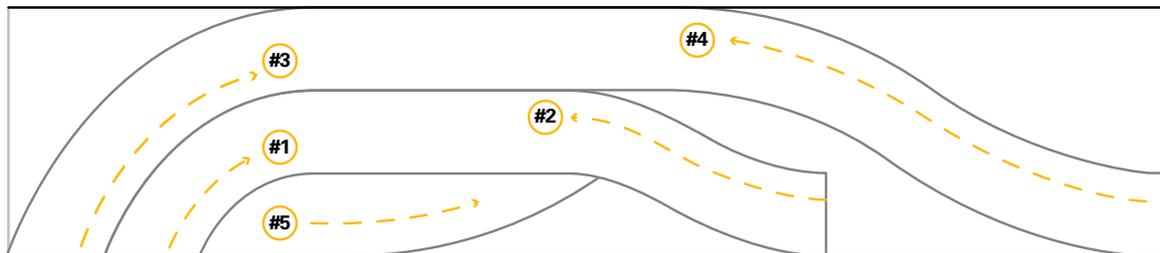
El patrón de rodamiento se parecerá a una serie de medios círculos. Después de cada pasada,

hacia adelante y hacia atrás, el operador del compactador hará un arco lentamente a través del carril principal y avanzará derecho en el carril de emergencia con los dos tambores en el carril de emergencia. El operador del compactador se detendrá en forma recta. Generalmente se permite detenerse en forma recta en los carriles de emergencia ya que no hay especificaciones de textura de la superficie para estos carriles.

Si el tren de compactación incluye un compactador neumático, el compactador neumático continuará haciendo paradas rectas en el carril principal y tendrá que salirse en el carril de emergencia. También, el compactador de terminado debe usar el carril de emergencia para detenerse y dar reversa.

## REVERSA EN EL CARRIL DE EMERGENCIA

213 cm (84") ancho de tambor



[ **PATRONES DE COMPACTACIÓN ESCALONADOS** ]

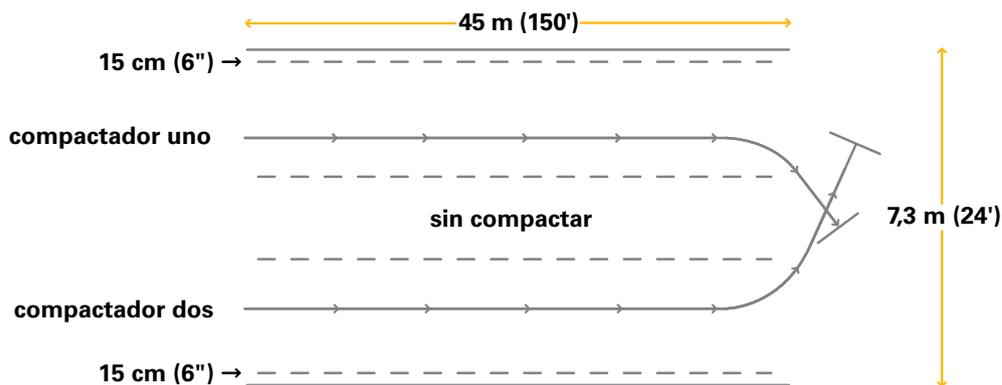
En algunos proyectos, dos o más compactadores pueden operar la posición de compactado inicial directamente detrás de la pavimentadora. Se debe utilizar un patrón escalonado en las siguientes situaciones.

- **Pavimentación muy ancha.** Cuando el ancho de pavimentación excede 6 m (20'), es poco probable que un solo compactador pueda cubrir el ancho del recarpeteo en tres o menos pasadas. Por lo tanto, en general, un solo compactador inicial no podrá igualar la producción de la pavimentadora.
- **Mezcla rígida que requiere muchas pasadas.** Algunos diseños de mezclas, especialmente aquellos que incluyen cemento asfáltico modificado, son muy rígidos y requieren muchas pasadas para lograr los niveles de densidad requeridos.

En este caso, el patrón que se requiere que realice el compactador hará que éste se retrase con respecto a la pavimentadora.

- **Poco tiempo para compactación inicial.** El tiempo disponible para realizar la compactación inicial puede verse limitado por el espesor de la carpeta asfáltica, la temperatura ambiente, o la aparición de zonas sensibles en la carpeta asfáltica. En ocasiones, se requiere tener más de un compactador inicial para lidiar con pérdidas rápidas de temperatura y poco tiempo para lograr la densidad inicial.

**FASE INICIAL – PASADA UNO**

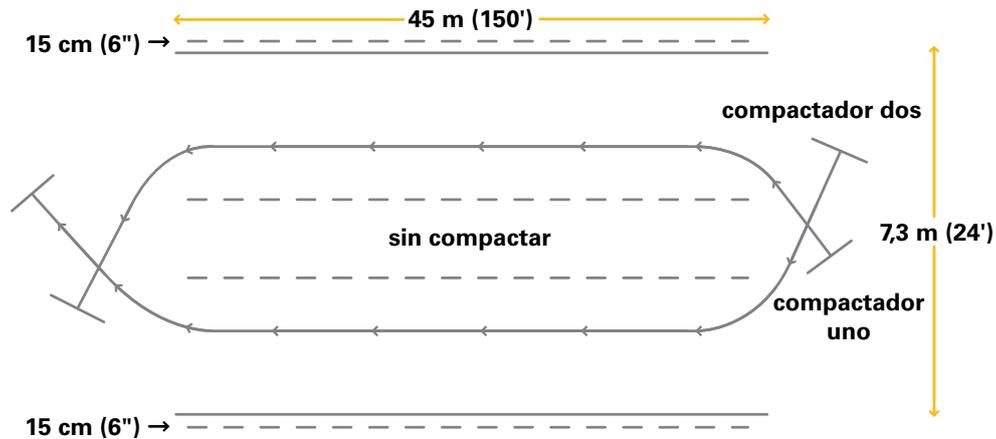


En el primer ejemplo, se supone que la pavimentadora está tendiendo 275 toneladas por hora (300 toneladas inglesas por hora) con un ancho de 7,3 m (24') y un espesor de 50 mm (2"). La velocidad de pavimentación efectiva es de 6 metros por minuto (20 pies por minuto). Hay dos compactadores con tambores en tándem de 200 cm (79") de ancho para la compactación inicial. Se requieren dos pasadas para lograr la densidad de compactación especificada para la fase inicial.

El compactador Uno empieza primero a lo largo de la orilla izquierda con el borde del tambor externo a aprox. 15 cm (6") de distancia de la orilla no confinada. El compactador Dos empieza justo después del compactador Uno y opera a lo largo de la orilla derecha, también alejada de la orilla no confinada. El compactador Uno se detiene lentamente y en ángulo respecto al centro de la carpeta asfáltica y da reversa. El compactador Dos avanza un poco más allá del compactador Uno para también girar hacia el centro y regresarse.

**Sugerencia para el usuario:** Al momento de usar un patrón escalonado, el compactador que dirige debe guardar la suficiente distancia del segundo compactador de tal modo que el operador pueda completar la maniobra de parada y retorno antes de que el segundo compactador empiece el mismo procedimiento.

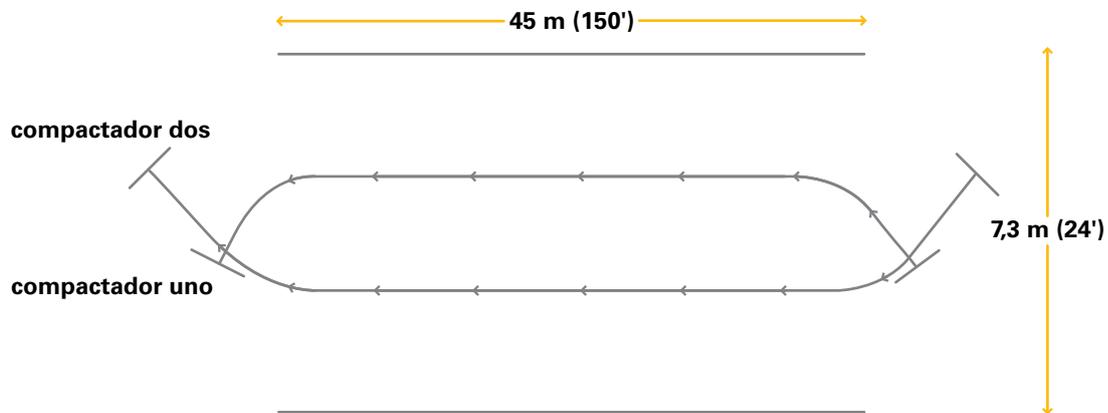
**FASE INICIAL – PASADA DOS**



Durante la Pasada Dos, el retorno al punto de inicio, el Compactador Uno está a la cabeza y el Compactador Dos se encuentra ligeramente atrás. En la Pasada Dos, los tambores externos se traslapan ligeramente con la orilla no confinada. Nuevamente, ambos compactadores voltean hacia

el centro de la carpeta asfáltica para detenerse y dar reversa. En este punto las orillas externas de la carpeta asfáltica ya se compactaron dos veces. Hay una franja en el centro de la carpeta asfáltica de aproximadamente 3,5 m (11,5') de ancho.

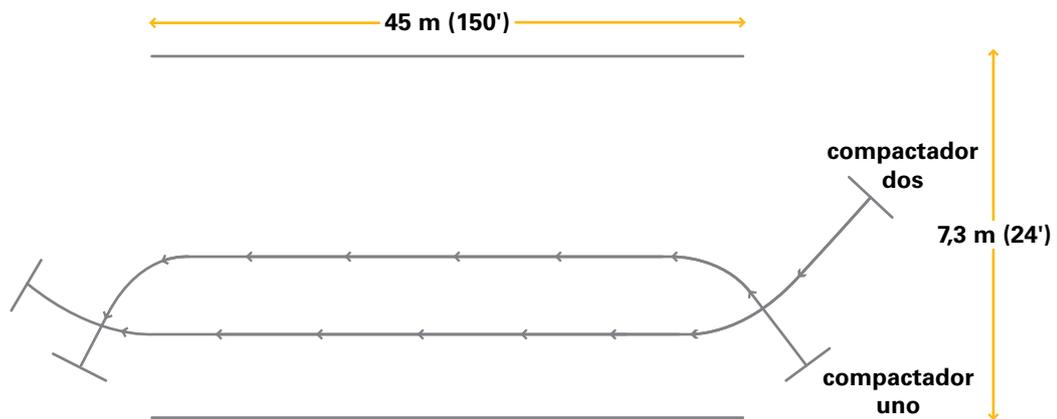
**FASE INICIAL – PASADA TRES**



Para la Pasada Tres, el Compactador Uno va primero y opera en el centro izquierdo de la carpeta asfáltica con un ligero traslape del borde izquierdo del tambor sobre el área cubierta en las primeras dos pasadas. El Compactador Uno pasará recto sobre las dos marcas de detención que dejaron los tambores del Compactador Dos, avanzando hacia adelante aproximadamente 8 m (25') más allá de la marca de detención antes de girar hacia la orilla derecha para detenerse y dar reversa.

El Compactador Dos está ligeramente atrás y opera en la porción centro derecha de la carpeta asfáltica con el borde del tambor derecho ligeramente traslapando el área cubierta en las primeras dos pasadas. El Compactador Dos borrará la primera marca de detención que dejó el Compactador Uno, avanza otros 8 m (25') más allá de la marca de detención y gira hacia la orilla izquierda para detenerse y dar reversa.

**FASE INICIAL – PASADA CUATRO**



Durante la Pasada Cuatro, los dos compactadores regresan por la misma área de vuelta al punto de inicio con el Compactador Uno ligeramente adelante del Compactador Dos. Se recomienda que rueden

justo por encima de las marcas de detención que quedaron al final de la Pasada Dos antes de detenerse y dar reversa.



*Si se hacen paradas repetidas para dar reversa por la misma área se sobrecargará el asfalto fresco.*

**Sugerencia para el usuario:** Cuando sea posible se debe usar un patrón que limpie las marcas de detención del compactador. No se detenga y dé reversa en la misma área. Detenerse y dar reversa en la misma área puede distorsionar la carpeta asfáltica y crear protuberancias que no se pueden borrar. Aunque es muy importante evitar detenerse en la misma área cuando los compactadores se mueven hacia adelante y hacia atrás en la carpeta asfáltica caliente detrás de la pavimentadora, también es una buena práctica escalonar las marcas de detención al final de las pasadas de retorno.

## PATRONES

La Pasada Cinco será una pasada estática avanzando hacia la pavimentadora. Ambos operadores de compactador deben posicionar sus máquinas a lo largo de las orillas de la carpeta asfáltica fresca y activar los sistemas de vibración

cuando los compactadores entren a las zonas sin compactar. Debe haber una nueva área de patrón de aproximadamente 36 m (120') de largo enfrente del patrón anterior.

**Sugerencia para el usuario:** Si el nuevo patrón es muy corto, en otras palabras, la pavimentadora no ha avanzado lo suficiente, los operadores de los compactadores deben reducir la velocidad de trabajos durante la Pasada Cinco. La Pasada Cinco se realiza en modo no vibratorio por lo que no afecta el espaciamiento en el impacto del tambor. Se debe reducir la velocidad del compactador, pero nunca se deben estacionar encima de la carpeta asfáltica fresca.

**Sugerencia para el usuario:** En ocasiones el área que se dejó sin compactar al centro de la carpeta asfáltica es relativamente angosta. En este caso, se debe hacer un traslape grande entre los tambores de los dos compactadores en el centro de la carpeta asfáltica. Como gran parte de la superficie del tambor va a estar vibrando en una carpeta que ya está densa; es probable que los tambores reboten. Los operadores deben estar listos para reducir la cantidad de fuerza que se está imprimiendo operando uno de los tambores de manera vibratoria y el otro de forma estática.



[ **PATRÓN ESCALONADO CON DOS COMPACTADORES** ]

utilizando dos compactadores sobre una carpeta asfáltica de 4,6 m (15') de ancho. La pavimentadora está tendiendo 360 toneladas por hora (400 toneladas inglesas por hora) a un espesor de aproximadamente 76 mm (3"). Un dispositivo de transferencia de material está alimentando la mezcla a la pavimentadora y la velocidad de la misma es de 9 metros por minuto (29 pies por minuto). La densidad de la carpeta asfáltica que pasa por la plancha vibratoria es de 80% de la densidad máxima teórica.

En la franja de prueba, se verifica que se requieren cuatro pasadas vibratorias a amplitudes media-alta para alcanzar la densidad especificada

para la fase inicial. La velocidad de trabajo del compactador es de 70 metros por minuto (230 pies por minuto). La frecuencia vibratoria es de 42 Hz (2.520 vibraciones por minuto). Por lo tanto, el espaciamiento de impacto es de 36 impactos por metro (11 impactos por pie).

La temperatura de la carpeta asfáltica al momento de pasar por la plancha vibratoria se mantiene constante en aproximadamente 150 °C (300 °F). Cuando la carpeta asfáltica se enfría a aproximadamente 115 °C (240 °F), se vuelve sensible. Esta condición persiste hasta que la carpeta se enfría a 85 °C (185 °F).

**Fecha/hora de inicio** [ 7/3/2011 ▼ ] [ 7:08 AM ]

**Condiciones ambientales**

Temperatura de aire: [ 15,6 ] °C  
 Velocidad del viento: [ 8 ] km/h  
 Cielo: [ Claro y seco ▼ ]  
 Latitud: [ 45 ] °N

**Especificaciones de la mezcla**

Tipo de mezcla: [ Fina/Densa Graduada ▼ ]  
 Aglutinante grado, PG: [ 64 ▼ ] [ -28 ▼ ]  
 Espesor de la carpeta: [ 76 ] mm  
 Temperatura de entrega: [ 149 ] °C

**Superficie existente**

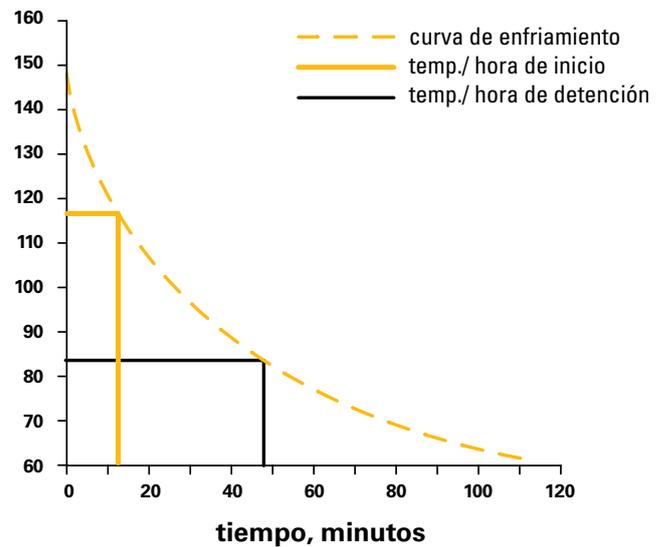
Tipo de material: [ AC ▼ ]  
 Condiciones de material: [ - ▼ ] [ - ▼ ]  
 Temp. de superficie: [ 15,6 ] °C

**Tiempos recomendados**

Iniciar compactado: [ 13 ] minutos después de tendido  
 Detener compactado: [ 45 ] minutos después de tendido

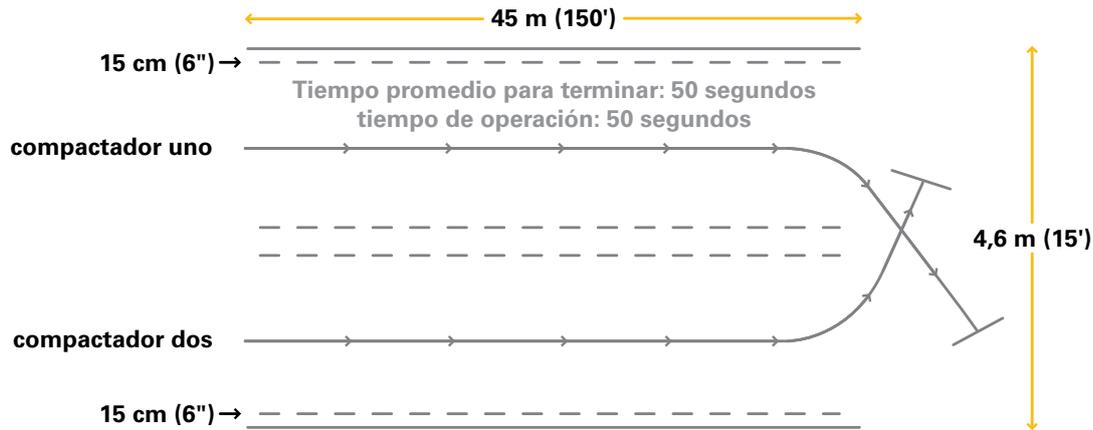
**Units**  SI  English

**Temperatura HMA, °C**



La curva de enfriamiento muestra que al inicio del turno con la temperatura ambiente alrededor de 16 °C (61 °F), hay 13 minutos disponibles para la compactación detrás de la pavimentadora en la fase inicial antes de que la carpeta asfáltica se ponga sensible. Esta sensibilidad durará otros 32 minutos. Las fases de compactación intermedia y de terminado pueden empezar 45 minutos detrás de la pavimentadora. El problema más importante es determinar si se puede lograr la fase inicial en menos de 13 minutos utilizando dos compactadores.

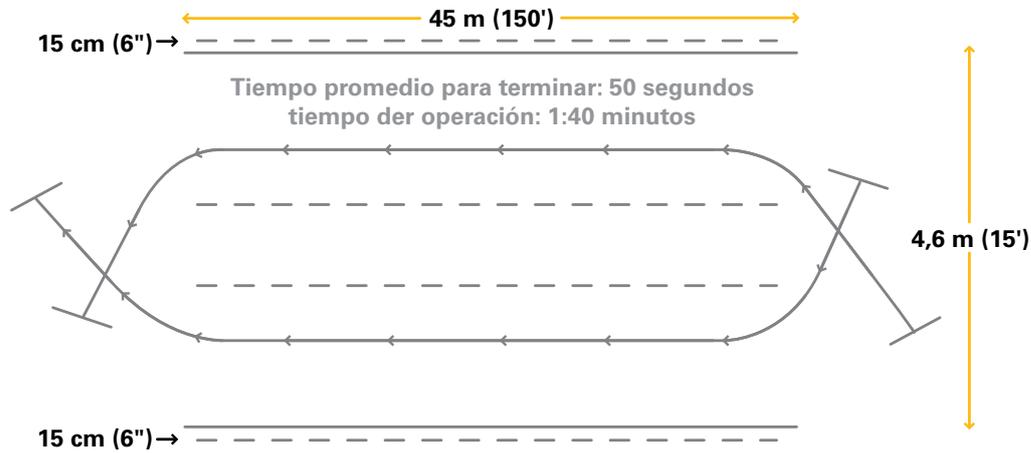
**FASE INICIAL – PASADA UNO**



La primera pasada en la fase inicial de compactación mide aproximadamente 45 m (150') de largo. El Compactador Uno empieza primero y compacta el área a lo largo de la orilla izquierda con el borde del tambor separado aproximadamente 15 cm (6") de la orilla. El Compactador Dos se encuentra ligeramente atrás y está compactando el área del lado derecho de la carpeta asfáltica con los tambores alejados de la orilla. Ambos compactadores giran hacia el centro de la carpeta asfáltica para detenerse y dar reversa. Tan pronto como el Compactador Dos complete su maniobra de reversa, ambos compactadores empiezan la segunda pasada. A una velocidad de trabajo de 70 metros por minuto (230 pies por minuto), la Pasada Uno consume 50 segundos.

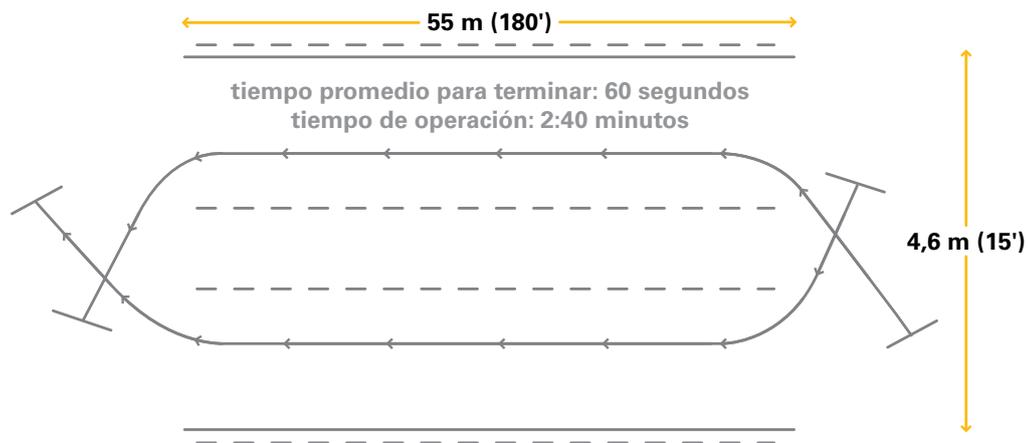
**Nota:** Para calcular el tiempo que toma el que un compactador complete una pasada, se debe aplicar un factor de eficiencia del 75%. Se toma en cuenta el tiempo invertido en ir bajando la velocidad del compactador y detenerse en ángulo antes de dar reversa.

**FASE INICIAL – PASADA DOS**



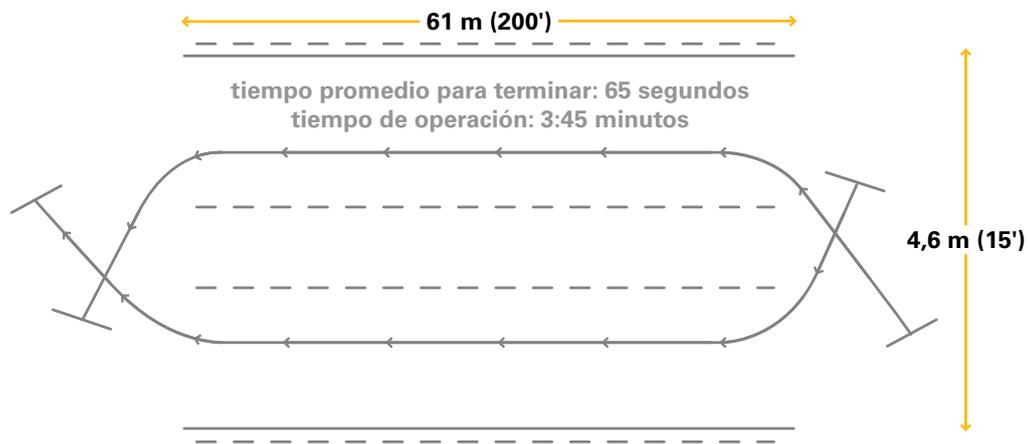
Durante la segunda pasada, los tambores de ambos compactadores se acomodan para traslapar ligeramente las orillas. El Compactador Dos va a la cabeza en la pasada de retorno y ambos compactadores giran al centro cuando van en reversa. El segundo pase toma otros 50 segundos. Tiempo total de operación es 1 minuto y 40 segundos.

**FASE INICIAL – PASADA TRES**



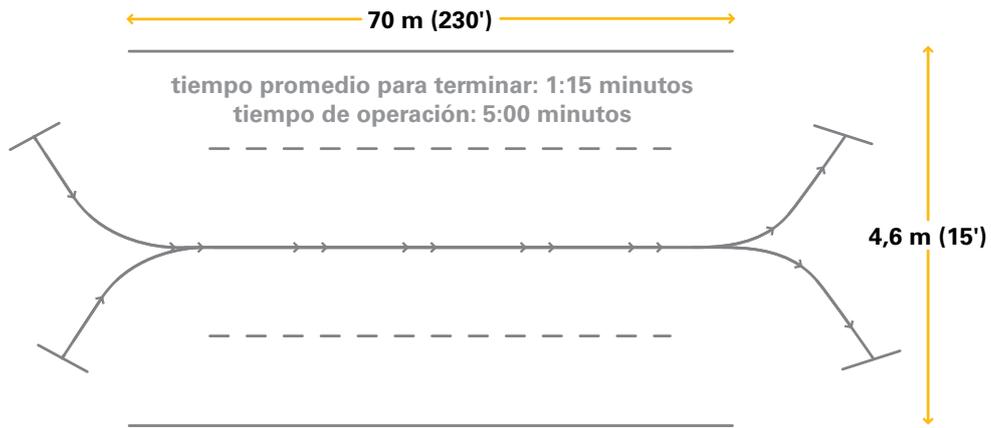
*Durante la Pasada Tres, el Compactador Uno va nuevamente a la cabeza y extiende la longitud del patrón otros 10 m (30') a fin de pasar por encima de las marcas de detención anteriores y mover el patrón más cerca de la pavimentadora. Esta pasada consumirá aproximadamente 60 segundos y el tiempo de operación total es de 2 minutos y 40 segundos.*

**FASE INICIAL – PASADA CUATRO**



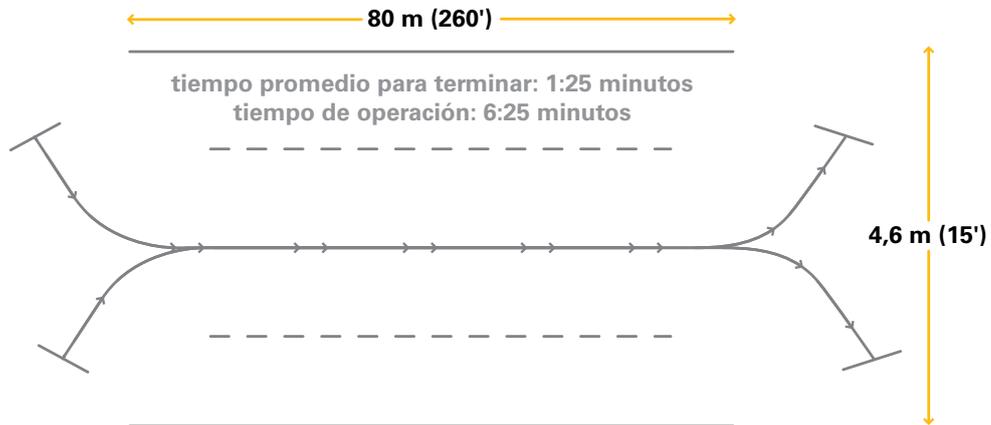
*Durante la Pasada Cuatro, ambos compactadores regresan a lo largo de las orillas. Se incrementa un poco la longitud del patrón, conforme los compactadores trabajan más allá de las marcas de detención anteriores. Ahora las orillas derecha e izquierda de la carpeta asfáltica ya han sido compactadas cuatro veces, el número de pasadas verificado en la franja de prueba. El tiempo de operación es de 3 minutos y 45 segundos. Todavía falta una franja de aproximadamente 1,3 m (52") en el centro de la carpeta asfáltica. Dado que el ancho del tambor de los dos compactadores es de 1,7 m (67"), los dos compactadores ahora pueden operar en una sola fila para completar la cobertura de la carpeta asfáltica.*

**FASE INICIAL – PASADA CINCO**



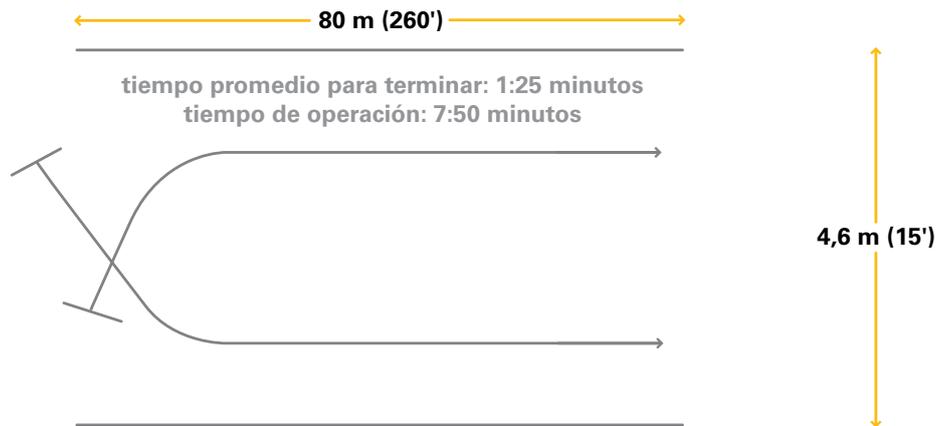
El ancho del área sin compactar es ligeramente menor que el ancho de los tambores de modo que hay un pequeño traslape en ambos lados del tambor. Debido a este traslape, no hay necesidad de preocuparse en que los tambores reboten en la porción más densa de la carpeta asfáltica. El Compactador Uno y el Compactador Dos giran hacia las orillas de la carpeta asfáltica al final de la pasada. Esta pasada nuevamente es más larga para seguir con el progreso de la pavimentadora. La Pasada Cinco tomará 1 minuto y 15 segundos para un tiempo de operación de 5 minutos en este punto.

**FASE INICIAL – PASADA SEIS**



Ambos compactadores regresan al centro de la carpeta asfáltica en una sola fila durante la Pasada Seis. Ruedan más allá de sus marcas de detención. En este punto todas las áreas de la carpeta de asfalto ya recibieron cuatro pasadas vibratorias. La densidad debe ser contante en todo el ancho y largo del patrón. El tiempo de operación es de 6 minutos y 25 segundos.

**FASE INICIAL – PASADA SIETE**



La última pasada, la Séptima, se completará en modo no vibratorio mientras los dos compactadores se reposicionan a lo largo de las orillas de la carpeta asfáltica para empezar un nuevo patrón. Se ha requerido poco menos de 8 minutos para los dos compactadores asignados a la fase inicial de compactación. Su patrón se completó mucho antes de alcanzar la zona sensible.

**Nota:** Los ejemplos que se muestran en esta sección ilustran patrones para dos compactadores trabajando escalonados. Los patrones con tres compactadores son menos frecuentes pero se pueden requerir en aplicaciones de pavimentación anchas utilizando mezclas rígidas difíciles de compactar.

**Resumen:** Los operadores de compactadores y el personal de control de calidad deben saber cómo establecer patrones de rodamiento que logren tres metas. La primera meta es lograr la densidad especificada. La segunda es mantener la misma tasa de producción que la pavimentadora. La tercera es crear patrones que aprovechen las oportunidades a fin de asegurar la textura de la carpeta asfáltica. Al emplear el Calculador Interactivo de Producción Cat para crear curvas de enfriamiento se pueden planear patrones exitosos antes de empezar el proyecto.



## Sección 6

# COMPACTACIÓN DE JUNTAS

Obtener juntas de gran calidad requiere los mayores esfuerzos tanto de la cuadrilla de pavimentación como de la cuadrilla de compactación. Asegure que sus cuadrillas cumplan con estos objetivos durante la ejecución de la obra.





*Una junta bien formada y debidamente compactada debe ser plana y lisa.*

Existen dos tipos de juntas, las longitudinales y las transversales. Las juntas longitudinales se presentan en la intersección paralela de dos carpetas de asfalto. Pueden haber juntas longitudinales entre una carpeta fría y una caliente, una carpeta caliente y una tibia, o dos carpetas calientes que se extendieron simultáneamente.

Las juntas transversales se presentan en la intersección perpendicular de dos carpetas asfálticas. Es usual que se presenten juntas transversales cuando la pavimentación empieza como continuación de una carpeta asfáltica que se extendió con anterioridad. La primera parte de la Unidad 6 se enfocará en la construcción y compactación de juntas transversales

### [ GUÍA PARA LA COMPACTACIÓN DE JUNTAS TRANSVERSALES ]

Una junta transversal se presenta cuando la pavimentación empieza en un punto donde la carpeta asfáltica fresco se une a una carpeta asfáltica previamente compactada. La junta transversal se inicia de manera perpendicular a la dirección de pavimentación así como de compactación.

Diferentes técnicas se utilizan para compactar juntas transversales, pero la meta siempre es la misma. Se debe compactar la junta de modo que quede plana y el área delante de la junta debe estar plana y suave, sin protuberancias ni depresiones. La cuadrilla debe tomar en consideración las mejores prácticas antes de realizar la pavimentación y compactación de una junta transversal.

En primer lugar, antes de iniciar la pavimentación, siempre verificar que la junta transversal esté en buenas condiciones. Nunca se debe comenzar con un borde redondeado o irregular en la junta transversal.

Mediante el uso de una perfiladora, un montacargas con perfiladora o una sierra circular, realizar un corte recto y vertical en la junta transversal. El área donde la junta se corte debe tener el espesor correcto y estar paralela al sentido de avance de la pavimentación.

**Sugerencia para el usuario:** Cuando se está pavimentando un carril o se están haciendo preparaciones para el final de un turno, la cuadrilla de pavimentación regularmente cambia el control del sistema de alimentación a modo manual a fin de utilizar toda la mezcla y evitar dejar una gran pila de mezcla al momento de elevar la plancha compactadora de la pavimentadora. Consecuentemente el patrón del material enfrente de la plancha compactadora empieza a cambiar y el espesor de la carpeta asfáltica empieza a variar. Caterpillar recomienda que la cuadrilla marque la carpeta asfáltica tan pronto como cambien el sistema de alimentación a manual. Se debe cortar la junta transversal en el punto donde se marcó la carpeta asfáltica para evitar hacer cortes en lugares donde la carpeta asfáltica tiene una mayor o menor profundidad.



*Ejemplo de un punto de referencia incorrecto. La cara redondeada con una depresión profunda dificultará la compactación.*



*Es necesario tener un corte recto y vertical para formar una junta transversal.*

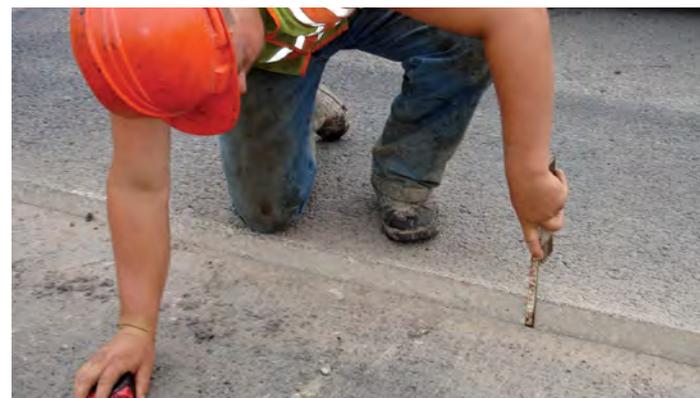
Una buena junta para iniciar la pavimentación debe tener una cara vertical y la carpeta asfáltica plana, sin redondeos ni elevaciones ni depresiones. La cara de la junta se debe imprimir con un ligante para ayudar a crear una unión entre la carpeta asfáltica fría y la caliente. Limpie la zona de la carpeta asfáltica fría justo detrás de la junta a fin de que la altura de referencia de la plancha compactadora de la pavimentadora sea exacta.

Otro factor importante al iniciar el extendido y compactación en una junta transversal es el colocar los tabloncillos correctos debajo de la plancha compactadora antes de que esta se descienda. Los tabloncillos de inicio proporcionan el espesor

de pre-compactación de la carpeta asfáltica al momento en que la cuadrilla de pavimentación retira la plancha compactadora de la junta de inicio. Para fines de aproximación, se puede suponer que la carpeta asfáltica una vez tendida por la plancha vibradora se compactará a una tasa de aproximadamente 6 mm (1/4") por cada 25 mm (1") de espesor de la carpeta asfáltica suelta. Por lo tanto, si el espesor suelto es de 50 mm (2"), se necesitará que los tabloncillos de inicio sean de 12 mm (1/2") de espesor. Si la pavimentadora tiene una plancha apisonadora, la tasa de compactación será mucho menor, regularmente alrededor del 10% y el espesor de los tabloncillos de inicio será menor.



*Ejemplo de una junta cortada correctamente con sierra, se recubrió con una carpeta de ligante antes de iniciar la pavimentación*



*Revisar el espesor de la junta de inicio ayuda a que la cuadrilla seleccione el espesor correcto para los tabloncillos de inicio*



*Una vez que se retira la pavimentadora se debe hacer el trabajo manual de la junta transversal de inicio.*

Si la cuadrilla de pavimentación ha hecho un buen trabajo en la preparación de su junta transversal de inicio, la junta requerirá muy poco trabajo manual. Si la junta está muy alta o muy baja, se va a tener que trabajar mucho manualmente antes de que comience el proceso de compactación de las juntas. Una vez se hayan realizado todas las correcciones en la junta, puede empezar la compactación.

La técnica de compactación de juntas transversales recomendada por Caterpillar busca obtener una junta transversal fría/caliente totalmente plana mientras se mantiene la textura de la carpeta asfáltica delante de la junta.



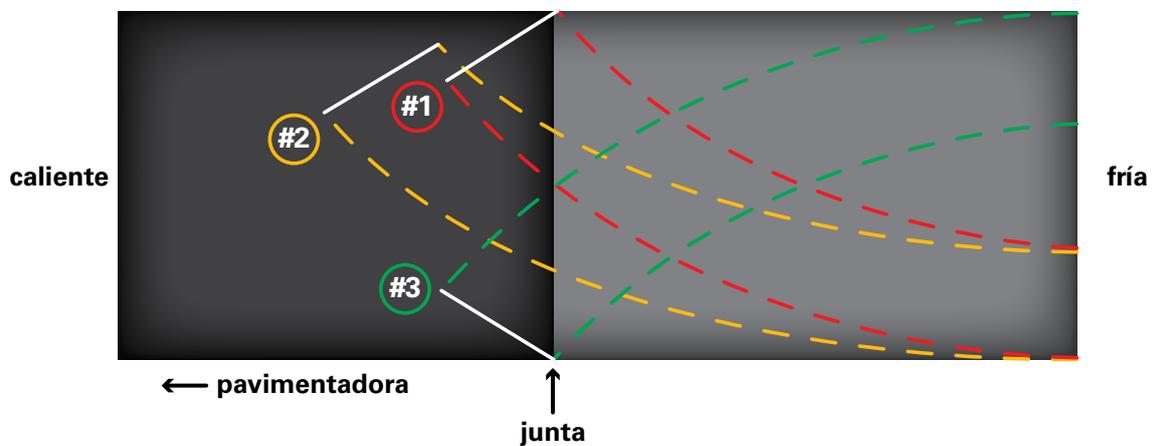
**Sugerencia para el usuario:** Caterpillar recomienda que la cuadrilla mida el espesor de la junta de inicio compactada. Luego, reste ese número del espesor de la carpeta asfáltica suelta o esponjada que se tendió durante el turno anterior. El resultado será el espesor exacto del tablón de inicio. Por ejemplo, si la altura de la junta transversal compactada es de 40 mm (1,6") y el espesor de la carpeta asfáltica suelta o esponjada que tendió la plancha compactadora era de 50 mm (2"), entonces los tablonetes de inicio deben medir lo más próximo a 10 mm (0,4") como sea posible.

El operador del compactador puede empezar en el centro de la carpeta asfáltica fría y compactada o desde un lado de la misma. Avanzará en modo no vibratorio hacia la junta transversal empezando a girar los tambores de tal manera que ingrese a la junta en ángulo. El tambor delantero ingresará hasta que pase por completo la junta y cuidando no distorsionar la orilla de la carpeta asfáltica recién extendida si es que esta no se encuentra confinada.

Avance nuevamente desde el extremo de la carpeta fría y compacta, en modo no vibratorio, a través del

centro de la carpeta asfáltica. Retorne por la misma trayectoria realizada.

Ubíquese nuevamente en el centro de la carpeta asfáltica fría. Avance el tambor para que el tambor delantero en ángulo ingrese a la parte remanente de carpeta recientemente extendida. Utilice una regla patrón para verificar que la compactación de la junta es plana a lo ancho de la misma. Repita este procedimiento sin vibrar hasta según se requiera.



El procedimiento de compactación de la junta transversal ofrece dos beneficios. Primero, el ingreso a la junta transversal fría/caliente es en ángulo. Este ingreso en ángulo permite aplanar la mezcla caliente mientras se minimiza la tendencia a que el tambor empuje la mezcla fuera de la junta.

Segundo, todas las marcas de detención del tambor sobre la carpeta asfáltica extendida delante de la junta se dejan en ángulo respecto a la dirección de compactación. Una vez que el compactador inicie la compactación sobre la carpeta caliente, las marcas

de detención se borrarán y se logrará una mayor textura homogénea en el área de la junta. También se debe notar que el operador avance lo suficiente al final del segundo pase para que las marcas de parada no queden en la misma área.



*Al momento de iniciar la compactación sobre la carpeta caliente, el compactador borra las marcas dejadas durante la compactación de la junta*

Cuando los pasos recomendados para la pavimentación y compactación de la junta transversal se han completado, se puede iniciar el patrón de compactación sugerido en la Unidad 5.

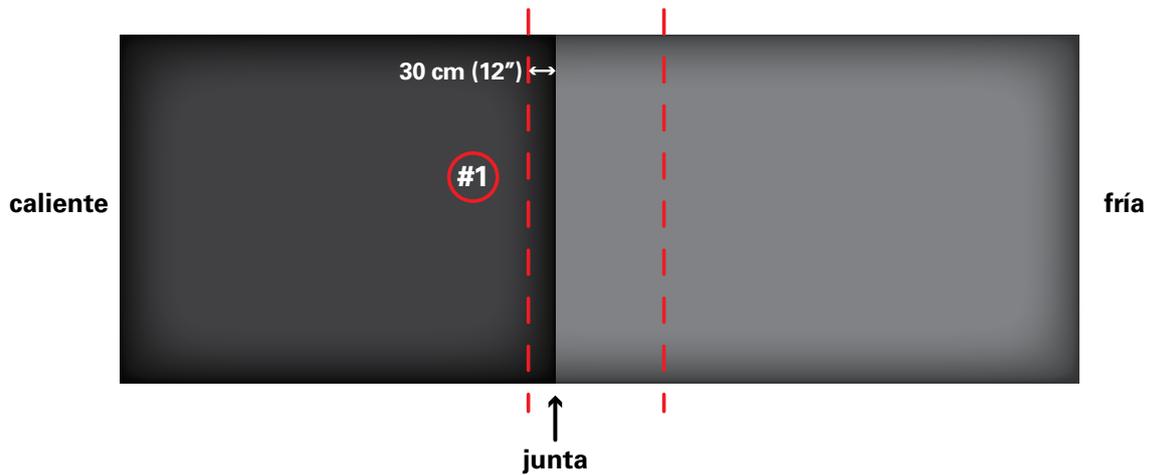
La pavimentadora no debe de tener que esperar a que se compacte la junta transversal, sino que debe de poder pavimentar a la velocidad calculada y aún así estar a una distancia razonable de la junta al momento de empezar la compactación inicial.

Otro patrón de compactación de la junta transversal que en ocasiones se usa requiere de un espacio adecuado para que el compactador se acerque a la junta por un lado.

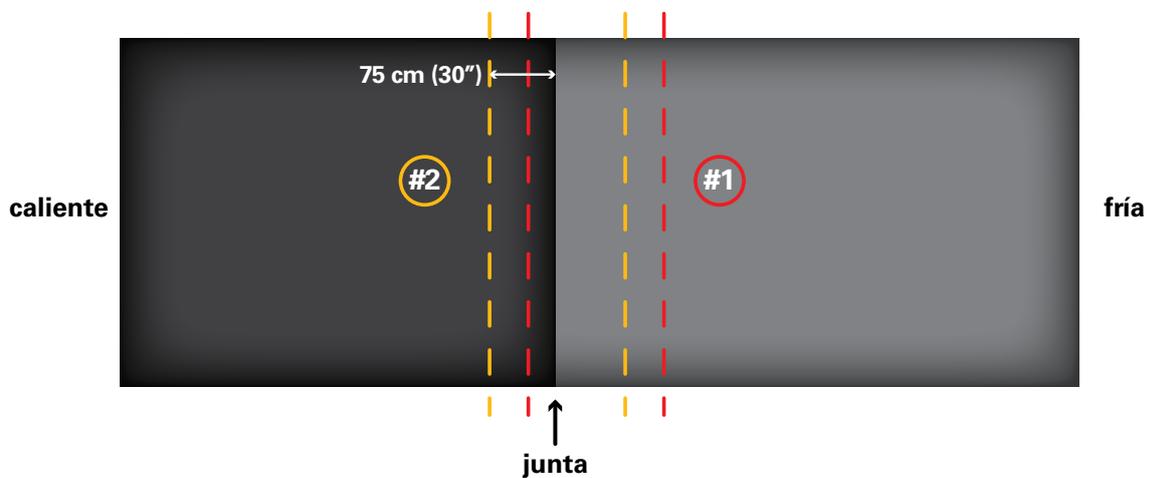
Algunas cuadrillas prefieren, cuando es posible, hacer la compactación de la junta transversal haciendo el ingreso del tambor de manera lateral. Esta técnica es muy eficaz para aplanar la junta, sin embargo, deja marcas perpendiculares a la dirección de compactación.



Cuando el espacio lo permite, se puede hacer la compactación de una junta transversal entrando por un lado.

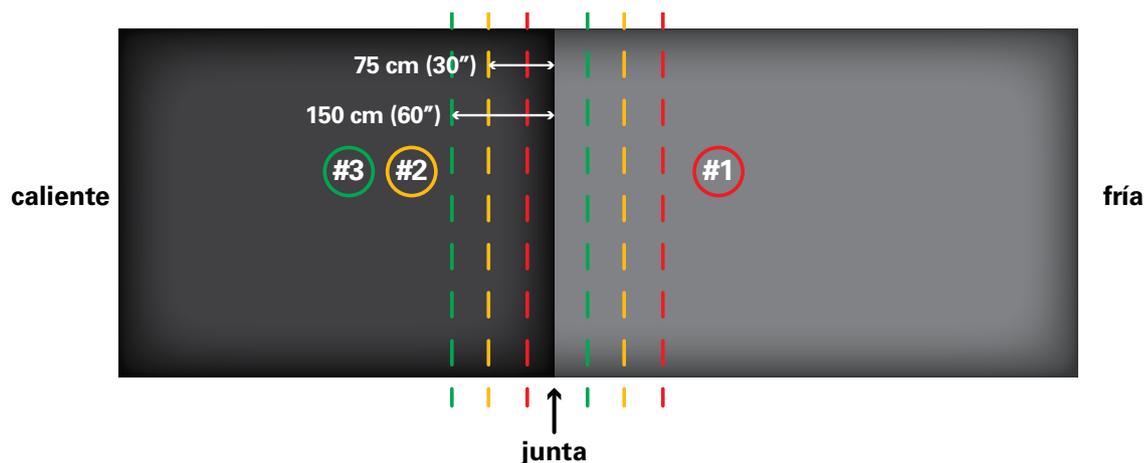


Cuando se hace la compactación de una junta transversal entrando de lado, la primera pasada debe realizarse con la mayor parte de los tambores en la carpeta asfáltica fría y un traslape de 30 cm (12") sobre la carpeta asfáltica caliente. Revisar la planitud de la junta.



Si se requiere otro pase para aplanar la junta transversal, se avanza con una sección más grande de los tambores en la carpeta asfáltica caliente. El mayor traslape ayudará a borrar la marca de orilla del pase realizado.

## JUNTAS



*De ser necesarios pases adicionales, se avanza a través de la junta con la mayor parte del tambor en la carpeta asfáltica caliente para limpiar la segunda marca de orilla del tambor. La marca de corte que dejó el tercer pase está perpendicular a la dirección de compactación. Cuando el compactador inicial empiece su primer patrón, tenderá a empujar la marca de orilla del tambor y puede crear una pequeña protuberancia un poco más allá de la junta transversal. Caterpillar no recomienda este patrón para ningún proyecto que tenga requerimientos de textura.*

Todos los pases sobre las juntas transversales, sin importar qué procedimiento se siga, deben hacerse en modo no vibratorio. No es necesario activar el sistema vibratorio del tambor para poder aplanar la junta. De usarse un compactador utilitario para la compactación de la junta transversal, se puede realizar a vibración de baja amplitud, si es necesario.

Si se construye mal una junta, puede requerir mucho trabajo manual antes de que se pueda comenzar con la compactación. Nunca se debe usar el compactador para tratar de aplanar una junta sobre la que la pavimentadora tendió una carpeta asfáltica caliente muy gruesa.

Se debe recordar que la carpeta asfáltica se compactará hasta cierto límite. Si se continúa vibrando sobre la junta, sólo se fracturarán los

agregados, se sobrecargará la carpeta asfáltica en esa área y se terminará perdiendo densidad debido a la sobrecompactación.

Finalmente, Caterpillar no recomienda compactar la junta transversal de la carpeta asfáltica sólo pasando a través de la junta del lado frío al caliente.

Si el compactador pasa en forma recta a través de la junta transversal, el tambor tenderá a brincar sobre la carpeta asfáltica caliente en lugar de apisonar la mezcla debajo del tambor. Así mismo, el tambor alejará la mezcla de la cara de la junta, y esto puede contribuir a que el aire quede atrapado en la mezcla provocando una falla prematura de la junta.

**Resumen:** La compactación de juntas transversales es realmente un trabajo en equipo. Primero, la cuadrilla de pavimentación debe preparar la junta correctamente, dejando la altura de pre-compactación correcta y una superficie plana sin protuberancias o depresiones. Luego, la cuadrilla de compactación debe aplanar y sellar la junta sin distorsionar la carpeta asfáltica o crear protuberancias. Seguir las mejores prácticas es esencial en la pavimentación y compactación de juntas transversales.

## [ GUÍA PARA LA COMPACTACIÓN DE JUNTAS LONGITUDINALES ]

La construcción y compactación de juntas longitudinales involucra otro proceso de múltiples pasos que requiere cumplir con varios principios correctamente. La manera en que el equipo de compactación realice el trabajo en las juntas longitudinales depende de los objetivos del proyecto.

Si la apariencia es el objetivo principal, entonces el proceso de compactación se debe enfocar en hacer la junta lo más invisible posible. La apariencia de la junta es normalmente lo más importante en estacionamientos y calles de ciudad.

Si la densidad de la junta es el objetivo principal, entonces el proceso de compactación se debe enfocar en lograr la mayor densidad en y alrededor de la junta longitudinal. La densidad de la junta normalmente es lo más importante en carreteras de mucho volumen y aeropuertos. El proceso de crear la más alta densidad en la junta longitudinal es el primer tópico a tratar.



*Tener una orilla recta donde pegar la junta es esencial en una junta longitudinal.*

**Sugerencia para el usuario:** Una opción útil para algunas aplicaciones es un perfilador. Se instala el perfilador en los Compactadores de Asfalto Cat para poder cortar orillas no confinadas. Las orillas recortadas ofrecen una mejor cara vertical y una mejor línea de unión.

## [ JUNTAS LONGITUDINALES CUYO OBJETO ES LA ALTA DENSIDAD ]

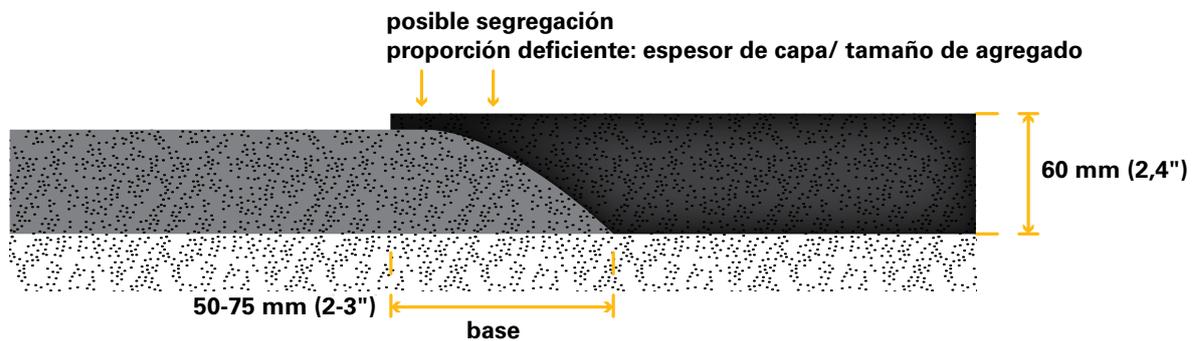
El primer paso para crear una junta longitudinal de alta densidad y buena calidad es prepararla correctamente durante el proceso de pavimentación. El operador de la pavimentadora debe tener un indicador de dirección, franja de pintura o cordón que pueda seguir. El borde de la junta debe quedar lo más recta posible para que la unión de la junta sea lo más fácil posible.

A continuación, la cuadrilla de pavimentación colocará la compuerta lateral de la plancha compactadora en contacto con la superficie de referencia. La compuerta flota sobre la superficie, creando un borde vertical que permitirá una adecuada superficie de adhesión en la unión de la junta.



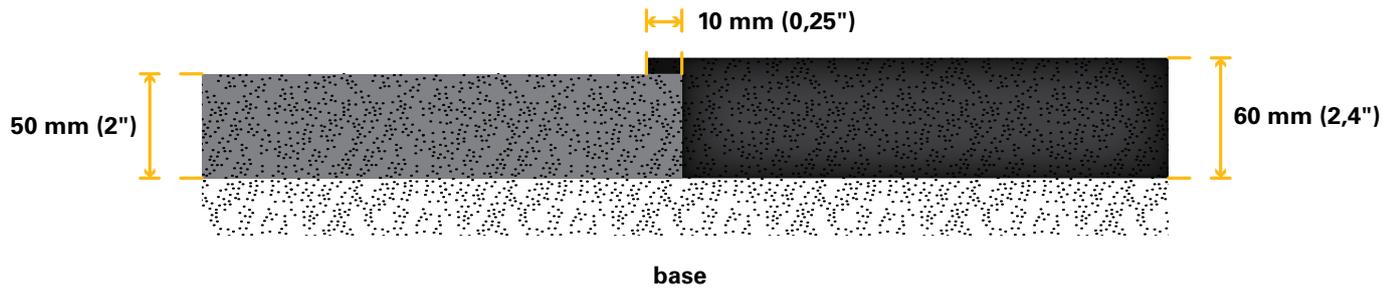
*Se crea un borde vertical no confinado al utilizar la compuerta lateral en posición flotante y haciendo contacto con la superficie de referencia*

## JUNTA LONGITUDINAL INCORRECTA – COMPUERTA LATERAL ARRIBA



*Cuando la cuadrilla de pavimentación opera la plancha compactadora con las compuertas laterales levantadas, el borde no confinado se extiende, especialmente cuando se está compactando. Este borde mal perfilado provoca que el agregado más grande se arrastre debajo de la plancha compactadora cuando se esté haciendo la unión de la junta durante el siguiente paso de pavimentación. Es probable que se observen agregados quebrados a lo largo de la junta longitudinal al momento de compactar la junta. Caterpillar siempre recomienda el uso de las compuertas laterales en flotación y haciendo contacto con la superficie al momento de estar cortando el borde no confinado donde se va a hacer la unión con el siguiente carril.*

**JUNTA LONGITUDINAL CORRECTA – COMPUERTA LATERAL ABAJO**

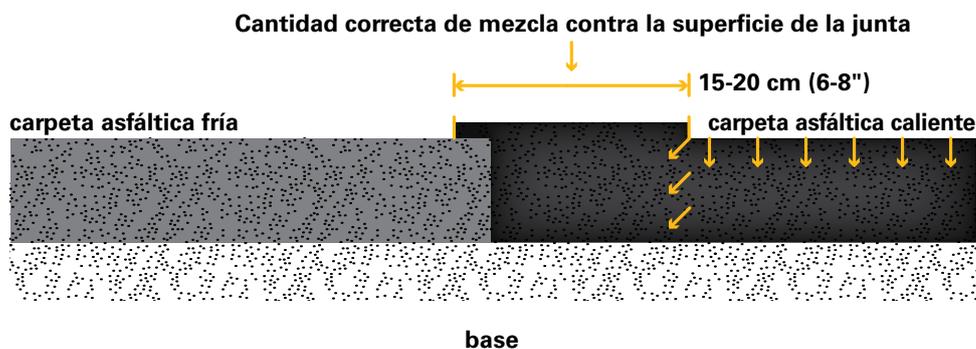


Finalmente, cuando la cuadrilla de pavimentación llegue al punto donde se ubique en el borde de inicio de la junta longitudinal, deben de traslapar la carpeta asfáltica frío por aproximadamente 10 mm (0,25"). El traslape es necesario para cerciorarse de que hay suficiente material en la junta y crear un buen sellamiento que impida la penetración de humedad. La altura de la carpeta asfáltica caliente debe ser tal que permita su tasa de compactación. En el ejemplo anterior, la carpeta compactada fría es de 50 mm (2") de espesor. La carpeta asfáltica caliente se tiende a 60 mm (2,4"). Después de la compactación, la carpeta asfáltica caliente igualará la altura de la carpeta asfáltica fría, suponiendo que la cuadrilla hizo el cálculo correcto de la tasa de compactación. Se debe recordar que la tasa de compactación, como regla general, es de aproximadamente 6 mm (1/4") por cada 25 mm (1") de espesor del tendido cuando se usa una plancha vibradora y de aproximadamente 5 mm (1/5") por cada 25 mm (1") cuando se usa una plancha vibradora y apisonadora. Siempre se debe revisar la tasa de compactación de la carpeta fresca al momento de hacer una junta longitudinal.

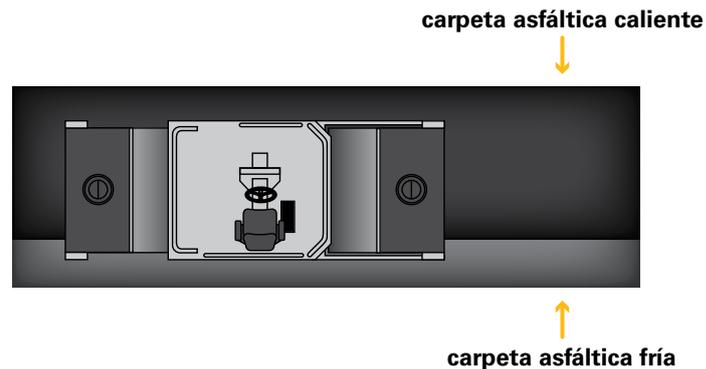
Se debe evitar rastrillar la junta longitudinal. Si el traslape de la junta y la altura de la carpeta caliente están correctas, no se va a necesitar ningún rastrillado de la junta. Está permitido hacer un poco de trabajo manual en caso de protuberancias.

La cuadrilla de pavimentación debe de corregir de inmediato la técnica de pavimentación si es necesario hacer un rastrillado excesivo antes de la compactación.

**PRIMER PASE PARA UNA JUNTA DE MAYOR DENSIDAD**



Cuando la densidad de la junta es el objetivo principal del proceso de compactación, el primer pase que haga el compactador de inicio debe hacerse con ambos tambores sobre la carpeta asfáltica caliente y aproximadamente 15-20 cm (6-8") de separación de la junta. Al mantener el compactador ligeramente alejado de la junta caliente / fría, se empuja la mezcla de asfalto hacia la cara vertical de la junta. Empujar la mezcla hacia la junta ayuda a asegurar que haya menos aire atrapado en la carpeta asfáltica una vez terminada la compactación.



*Durante el pase de retorno a lo largo de la junta longitudinal, los tambores deben traslapar ligeramente la carpeta asfáltica fría. El ligero traslape empieza el proceso de crear la densidad de la junta, sellando la junta y aplanando la carpeta asfáltica caliente de modo que su altura sea la misma que la carpeta asfáltica fría.*



*El compactador neumático sella la junta longitudinal caliente / fría.*

Durante todas las fases de compactación y con todos los tipos de equipos de compactación, se puede traslapar la junta longitudinal una vez que se ha hecho el pase inicial.

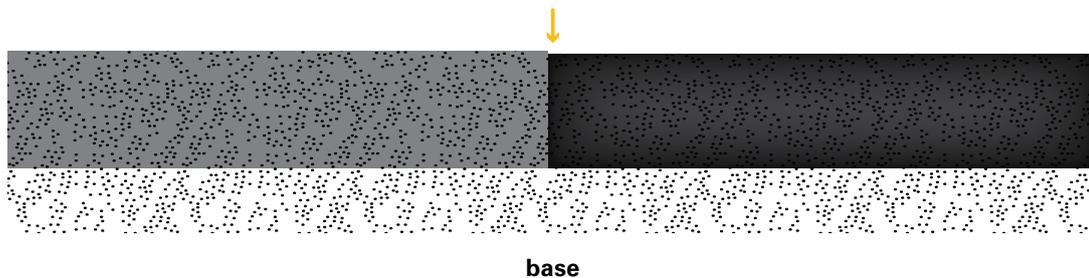
Los compactadores neumáticos son especialmente buenos para aplanar la carpeta caliente e igualar la altura de las dos carpetas de asfalto.

**Sugerencia para el usuario:** Si se está usando un compactador vibrador para traslapar la junta, se debe tener cuidado de no traslapar más de 16 cm (6") aproximadamente. Si el tambor entra vibrando demasiado en el área de la carpeta asfáltica compactada y fría, es probable que empiece a rebotar. Se observarán ondas en la carpeta asfáltica fresca y agregado fracturado en el lado frío de la junta.

**Sugerencia para el usuario:** Si hay distintas pendientes entre la carpeta asfáltica fría y la caliente, se debe tener cuidado de no aplanar la unión entre ambas. Dos pendientes diferentes crean un ángulo a lo largo de la junta. Se necesita de este ángulo para el drenaje. Si se monta sobre la junta se aplanará la comba y esto interferirá con el sentido de drenaje previsto.

## JUNTA CON ÁNGULO CORRECTO – COMPUERTA LATERAL ABAJO

Deben empalmar perfectamente sin requerir rastrillado



La junta longitudinal compactada debe resultar en una igualación de alturas entre las dos carpetas y un alto grado de densidad. La junta debe quedar sellada y bien firme para resistir la penetración de humedad. Hay tres elementos clave para lograr una buena densidad en la junta longitudinal.

- Las caras de la junta son verticales y con la altura pre-compactación correcta.
- Sin rastrillar— se permite una pequeña protuberancia
- Primer pase 15-20 cm (6 -8") de distancia de la junta

### [ JUNTAS LONGITUDINALES CUYO OBJETO ES LA APARIENCIA ]

En algunos proyectos, el objetivo principal es hacer que la junta longitudinal desaparezca lo más posible. La tarea se facilita si la junta longitudinal está entre carpetas asfálticas que se tendieron

simultáneamente utilizando varias pavimentadoras escalonadas. Crear una buena apariencia es más fácil entre una carpeta asfáltica caliente y una tibia que todavía tiene una superficie moldeable.



*Sellar la junta longitudinal durante la primera pasada mejora la apariencia de la junta.*

Para crear una junta longitudinal con la mejor apariencia final posible, se debe hacer la primera pasada a lo largo de la junta con la mayor parte de los tambores en el lado frío de la junta y un ligero traslape sobre el lado caliente. El compactador debe operar en modo no vibratorio durante esta pasada para evitar que rebote en el lado frío.

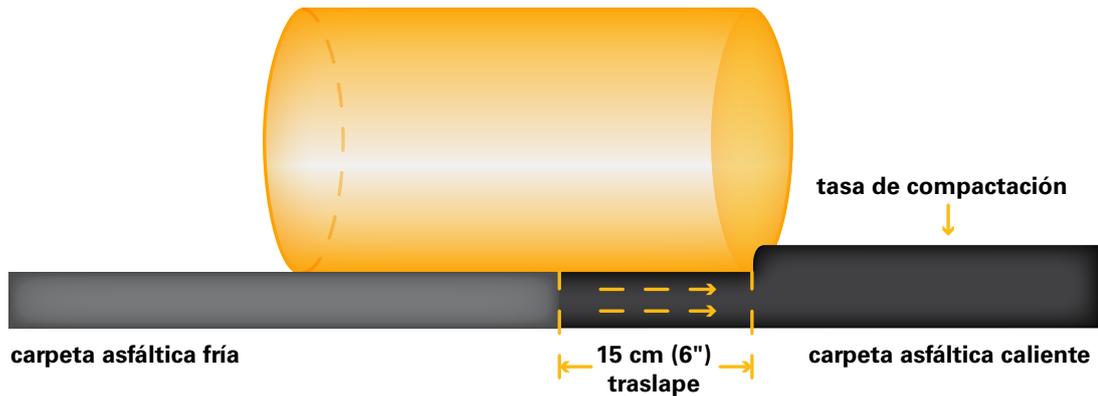
Antes de establecer un patrón que incluya una primera pasada para sellar la junta, se deben considerar los siguientes factores:

- ¿Hay suficiente tiempo para incluir esta pasada en el patrón? Desde el momento en que se realiza la compactación en modo no vibratorio con los tambores en su mayor sección sobre la carpeta fría, no se obtendrá un incremento de densidad en la carpeta caliente. Ha de requerirse una mayor velocidad de compactación para mantener el ritmo de avance de la pavimentadora. Use el Calculador de Producción Cat para verificar si es posible realizar esta pasada.
- ¿Cuánta temperatura perderá la carpeta asfáltica si se agrega esta pasada extra? La temperatura de la carpeta asfáltica es crítica para lograr la densidad especificada. Cuando la temperatura ambiente es baja y la carpeta asfáltica es delgada, ocurre una pérdida rápida de calor. Es posible usar el compactador de fase inicial para la pasada que selle la junta. Tal vez se necesite agregar otro compactador para completar esta pasada extra.
- ¿Hay suficiente espacio en el lado frío de la junta para acomodar el ancho del compactador? Si se está trabajando en una carretera o una calle, pueden haber conos para desviar el tráfico o alguna otra barrera muy próxima a la junta longitudinal que impida trabajar en el lado frío. Tal vez se necesite usar un compactador de tambor angosto, más apropiado para operar en espacios confinados.

Si se está pavimentando y compactando un estacionamiento, o se está trabajando en un área residencial nueva, probablemente no haya problemas de tráfico o espacio. Sin embargo,

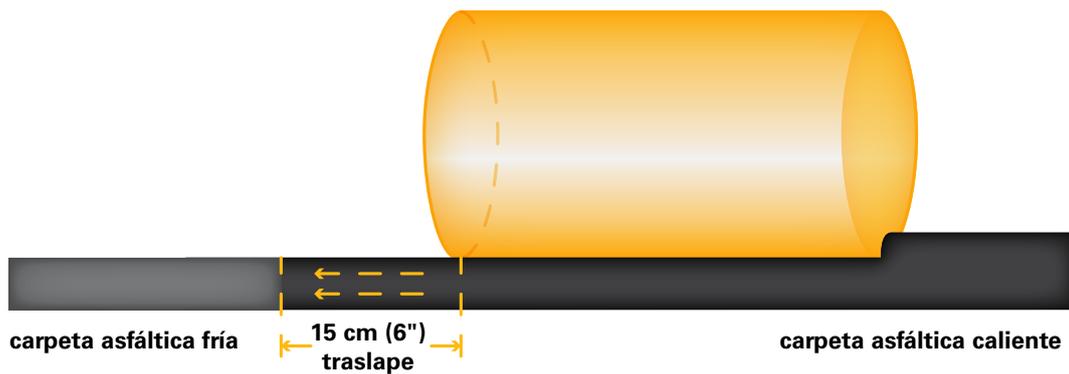
siempre se deben confirmar los requerimientos de producción y las temperaturas de la carpeta asfáltica al momento de planear la obra para incluir el pase de sellamiento de la junta.

## JUNTA LONGITUDINAL – PRIMER PASE



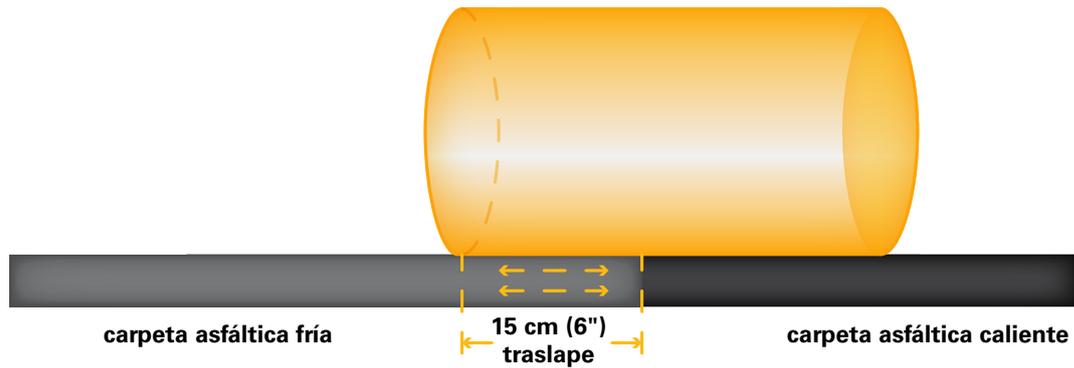
*Durante el Primer Pase, los tambores traslapan ligeramente en el lado caliente. En lo que respecta a la apariencia, los tambores empujan la mezcla caliente para hacer que la junta quede igual en ambos lados. En cuanto a densidad, cierta mezcla se empuja fuera de la junta ya que no hay confinamiento cerca del borde del tambor.*

## JUNTA LONGITUDINAL – SEGUNDO PASE



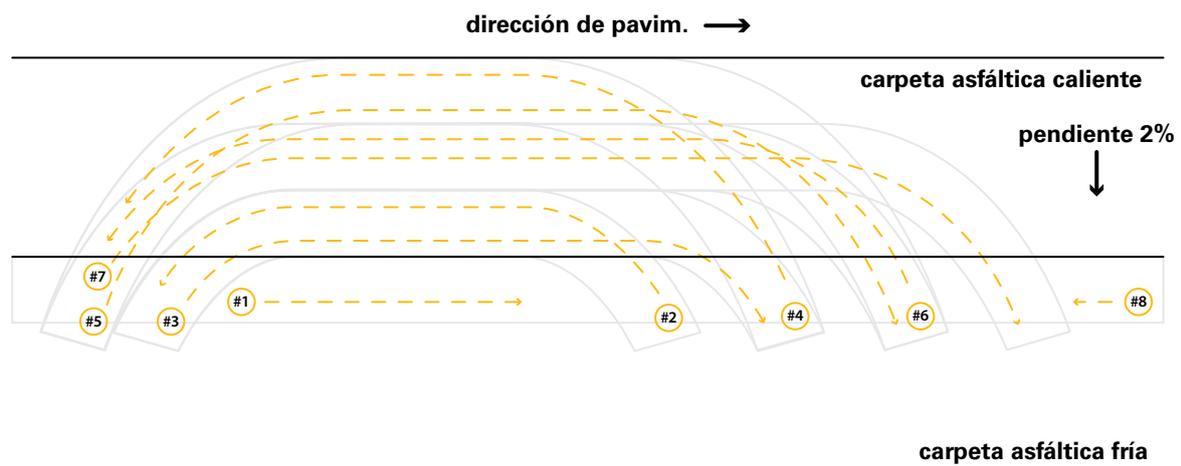
*Durante el Segundo Pase, posicionar el compactador con ambos tambores vibrando completamente sobre la carpeta asfáltica caliente y manteniendo una distancia del borde del tambor de 15 cm (6") de la cara de la junta. Este pase vibrando empieza a crear la densidad requerida y tiende a empujar un poco de mezcla de regreso hacia la junta longitudinal.*

## JUNTA LONGITUDINAL – TERCERO PASE



Durante el Tercer Pase, se posicionan los tambores del compactador de modo que traslapen ligeramente la junta longitudinal con la mayor parte de los tambores sobre la carpeta asfáltica caliente. Como el traslape sobre la carpeta asfáltica fría es poco, se puede operar con los tambores vibrando. Todas las demás pasadas, si se requieren, con los demás compactadores se pueden hacer traslapando la junta durante los pases que se hagan pegados a la junta longitudinal.

## PATRÓN DE COMPACTACIÓN COMPLETO



Asumiendo que luego de dos pases se alcanza la densidad especificada, el patrón de compactación sería ligeramente distinto al indicado debido al primer pase para sellar la junta. El patrón que se muestra permite utilizar la carpeta asfáltica fría para la detención del compactador e iniciar el retorno. Observe que durante el Cuarto y Quinto Pase el operador se desplaza sobre el borde no confinado. Es preferible compactar el borde no confinado luego de la junta, sobre todo cuando la carpeta asfáltica tiene una pendiente descendente entre la junta y el borde no confinado. El Sexto y Séptimo Pase se realizan por el centro y terminan por compactar la carpeta.

Concluido el Séptimo Pase, el operador del compactador se detiene para dar reversa en la carpeta asfáltica fría y se encuentra un poco más adelante del punto donde ya se selló la junta. Por lo tanto, el Octavo Pase un pase no vibratorio de retorno con la mayor parte de los tambores sobre la carpeta asfáltica fría. Luego del Octavo Pase, el operador puede posicionar el compactador para comenzar un nuevo patrón. Debido al pase de sellamiento de la junta, los patrones de compactación terminan con el compactador inicial en lugares diferentes.

Si se usa un patrón de compactación como el que se muestra, el mapa de conteo de pases es una buena opción para ayudar al operador a mantener la consistencia.

[ **COMPACTACIÓN DE JUNTAS ESPECIALES** ]

Además de las juntas con caras verticales, hay juntas en cuña y juntas dentadas. Estos tipos de juntas pueden especificarse para proyectos de autopistas donde se busca la seguridad del tráfico.

Algunos departamentos de obras públicas requieren la construcción de una junta dentada cada vez que existe la posibilidad de que una orilla no confinada pueda abrirse al tráfico y la orilla mide 50 mm (2") de altura o más. El propósito de una orilla dentada es facilitar que los vehículos crucen la orilla vertical abierta.

Para ayudar en la compactación de la junta dentada, se agregan tambores como remolques a la plancha compactadora de la pavimentadora. Estos tambores normalmente se utilizan cuando la carpeta asfáltica incluye un desnivel de por lo menos 50 mm (2") de altura y una junta en cuña que es de por lo menos 50 mm (2") de espesor. Una junta dentada hecha correctamente es la clave para lograr una buena densidad en la misma.

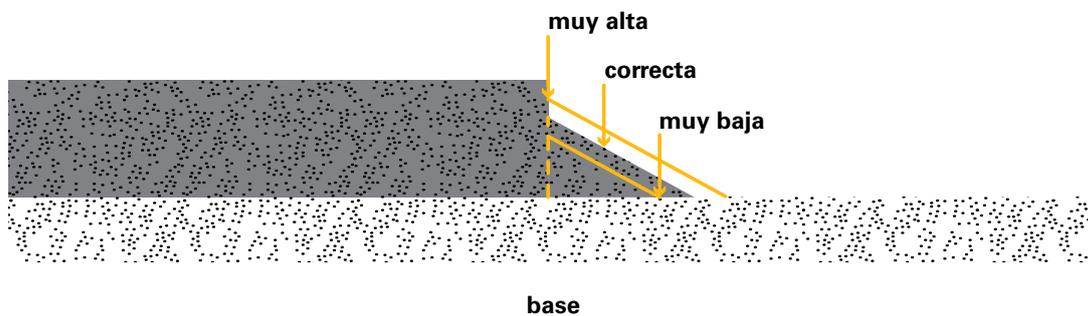


*Pavimentadora tendiendo una junta dentada.*



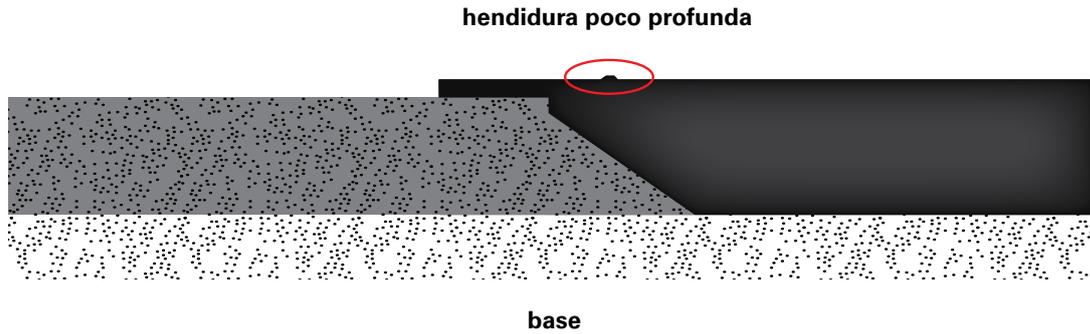
*Se pueden usar tambores en remolque para hacer las juntas dentadas.*

**JUNTA DENTADA**



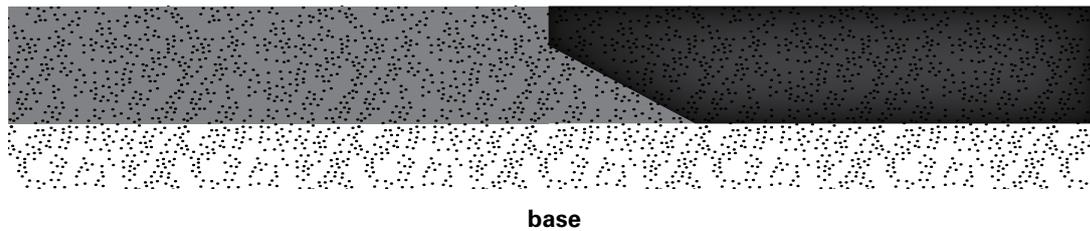
*La planificación es crítica para obtener la altura y espesor correctos en la junta dentada al momento de pavimentar. La altura de la hendidura debe ser por lo menos del doble de tamaño del agregado más grande en la mezcla de asfalto. Del mismo modo, el espesor de la cuña debe ser por lo menos del doble del tamaño del agregado. Si la hendidura es muy corta, el agregado terminará arrastrándose por la superficie de la hendidura. Si la cuña es muy delgada, el agregado se arrastrará por la superficie de la cuña.*

## JUNTA DENTADA INCORRECTA



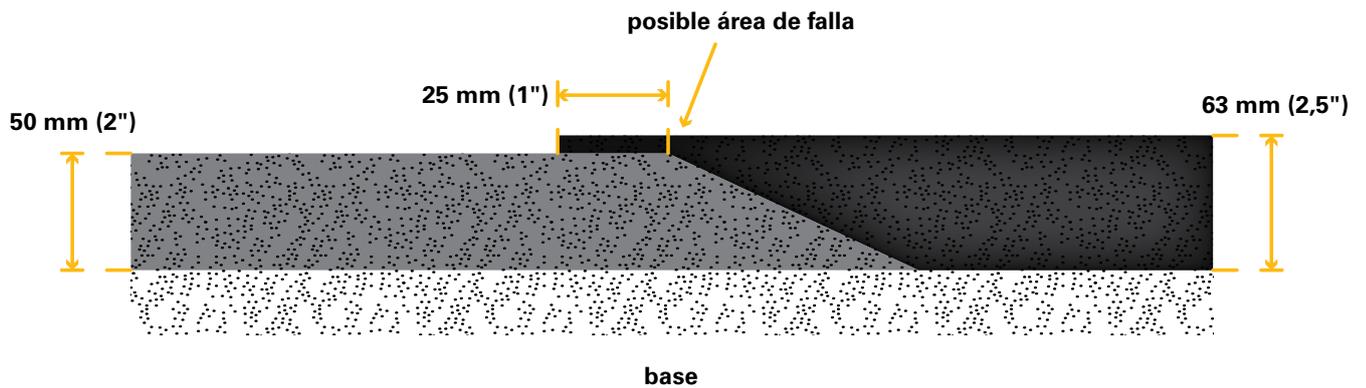
*Una hendidura poco profunda resultará en una línea de agregados grandes segregados a lo largo de la superficie de la hendidura. Incluso se pueden ver piedras sin recubrir en el área, esta es una señal de que se están fracturando los agregados debido a que la carpeta es demasiado delgada. Con el tiempo la humedad penetrará a través del agregado y la junta empezará a separarse, empezando una falla prematura de la misma.*

## JUNTA DENTADA CORRECTA

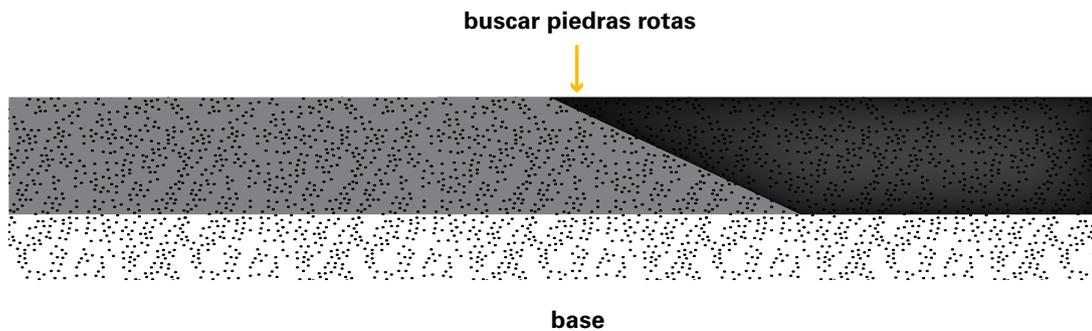


*Cuando se realiza la junta dentada correctamente, se puede compactar correctamente. Se deben seguir los mismos procedimientos que cuando se está compactando una junta con una superficie vertical. Mantenerse 15-20 cm (6-8") alejado de la junta con los tambores totalmente sobre la carpeta asfáltica caliente durante el primer pase a lo largo de la junta longitudinal. La mayoría de las investigaciones demuestran que las juntas dentadas tienen una densidad alta o inclusive mayor que la densidad de juntas verticales. Las juntas en cuña son otra opción, que en ocasiones requieren los departamentos de obras públicas por la misma razón que las juntas dentadas: seguridad del tráfico.*

**JUNTA EN CUÑA**



**JUNTA EN CUÑA**



Las juntas en cuña tienen un problema inherente debido a la falta de espesor de la carpeta asfáltica en el área más junta a la intersección de las carpetas caliente y fría. No hay hendidura vertical. Sólo una cara en ángulo, o cuña, sobre la que se pone asfalto fresco. Por lo tanto, siempre hay una posibilidad de que se segregue el asfalto en la parte superior de la cuña. Antes de la compactación, se puede observar una tira de segregación dentro de la junta. Después de la compactación, se puede observar una tira de piedra sin recubrir justo dentro de la junta. Las juntas en cuña son más apropiadas cuando el agregado más grande de la mezcla es de 9 mm (3/8"). Las mezclas con agregado mayor a esta medida tienden a segregarse en la junta en cuña.

**Resumen:** Muy parecidas a las juntas transversales, armar juntas longitudinales de calidad requiere que tanto la cuadrilla de pavimentación como la de compactación hagan su mejor esfuerzo. El proceso de compactación no puede corregir los errores que se hayan hecho durante el proceso de pavimentación. Cuando se busca identificar problemas en la junta longitudinal, se debe empezar por buscar en la orilla de las carpetas asfálticas frías. Después se debe verificar que el traslape y la altura de la carpeta asfáltica caliente estén correctos. Finalmente, se debe ajustar el patrón de compactación para que se adapte a los requerimientos de densidad de la junta o la apariencia de la junta.



## Sección 7

# PROBLEMAS DE COMPACTACIÓN

Los problemas de compactación generalmente son provocados por la variabilidad. Los esfuerzos para detectar las causas de un problema deben empezar considerando las variables que existen en el proceso de pavimentación, la temperatura de la carpeta, los patrones y la velocidad de compactación





*Adherencia de material al tambor de acero, concreto asfáltico de material granular hecho con cemento asfáltico modificado utilizando polímeros*

Esta sección cubre algunos de los problemas de compactación más comunes a los que se enfrentan los operadores, el personal de control de calidad y los supervisores de la obra.

El orden en que se presentan los problemas no tiene relevancia alguna. Se ha procurado agrupar los problemas similares para comprenderlos mejor.

### [ ADHERENCIA DEL ASFALTO A LA SUPERFICIE DEL TAMBOR ]

La causa más común del tiempo inactivo de los compactadores de asfalto de doble tambor es alguna falla en el funcionamiento del sistema de aspersión del tambor.

La ausencia de la película de agua en alguna parte de la superficie del tambor permite que se le pegue el asfalto caliente.

Cuanto más capacidad de adherencia tenga la mezcla de asfalto, mayor será el problema. Una pequeña cantidad de material adherido al tambor se convierte en un problema muy grave. Con cada vuelta que dé el tambor, se le irá adhiriendo una mayor cantidad de mezcla en dicha zona e irán aumentando las irregularidades de la carpeta en tal punto.



*Irregularidades en la carpeta provocadas por la adherencia de asfalto al tambor.*



*Las toberas de aspersión de agua operan correctamente cuando se realiza el mantenimiento adecuado y se usa agua limpia.*

Cuando se empieza a adherir el asfalto a la superficie de un tambor, se debe suspender la operación con ese compactador hasta que se retire todo el material adherido y se repare cualquier problema encontrado en el sistema de aspersión. Si se sigue utilizando el tambor compactador se puede provocar un grave daño a la carpeta asfáltica, que luego va a requerir mucho trabajo manual para rellenar y nivelar los huecos dejados en la carpeta.

- **Usar agua limpia.** Procure llenar los depósitos para el sistema de aspersión con agua de una fuente segura. Por ejemplo, si se tiene que utilizar agua de un estanque, se debe aumentar la frecuencia de los trabajos de mantenimiento.
- **Cambiar los filtros del sistema principal de aspersión.** Se deben respetar los intervalos de cambio de filtros indicados en el Manual de Operación y Mantenimiento de la máquina. Cuando está tapado el filtro del sistema principal de aspersión, el agua se desvía del filtro y pasa agua sin filtrar a los tubos de aspersión. El agua sin filtrar puede obturar las toberas de riego. Siempre se debe tener un filtro de repuesto en el compactador o en el vehículo de mantenimiento.
- **Mantener los filtros de entrada.** La mayoría de los depósitos de agua tienen un filtro primario por donde se llena el depósito. Este filtro primario es quien remueve las impurezas entrantes al sistema. No se debe prescindir del filtro primario. La manguera de suministro del agua debe conectarse dentro del filtro primario.
- **Limpie las toberas de aspersión.** Las toberas de aspersión cuentan con mallas internas de bronce o plástico. Estas mallas deben revisarse a diario para verificar si se encuentran obturadas. Limpie cuando sea necesario. Si se utiliza agua contaminada, debe aumentarse la

Una tobera de aspersión obturada es la causa principal de tener zonas no humectadas en la superficie del tambor. Un buen mantenimiento y un buen suministro de agua limpia son la clave para evitar que se tapen las toberas del sistema de aspersión.

frecuencia del mantenimiento de las toberas. De taparse un lado de la tobera, el cono de aspersión se ve restringido y por ello una zona seca en el tambor aparece capaz de adherir asfalto.

- **Utilice las felpas para distribución del agua.** Los tambores deben tener algún tipo de cubiertas o felpa para ayudar a la distribución uniforme del agua en la superficie del tambor. En la medida que esta felpa se desgaste busque ajustarla para mantener el contacto con el tambor. En caso tengan un mayor desgaste, reemplazarlas.
- **Conocer las características del sistema de aspersión.** La mayor parte de los sistemas de aspersión son de operación continua o intermitente. Nunca dejar de aplicar el agua buscando un ahorro. Es preferible detener el tambor compactador para llenar el depósito de agua que detenerlo por tener que limpiar el tambor.
- **El sistema de aspersión de agua debe protegerse cuando el clima es muy frío.** Hay un kit anticongelante opcional disponible para el sistema de aspersión. Incluye un depósito aparte para anticongelante. Al terminar el turno, el operador puede hacer circular anticongelante a través del sistema para evitar que se congele durante la noche.

**Sugerencia para el Usuario:** Se debe saber cómo operar el sistema de aspersión de agua en caso de que falle la bomba de aspersión. La mayoría de los sistemas de aspersión incluyen dos bombas de agua y casi todos los sistemas tienen la capacidad de alimentar las dos líneas aspersión con una sola bomba. Se debe saber qué hay que hacer para operar con una sola bomba mientras se entrega la bomba de repuesto.



*El asfalto caliente se puede adherir a los neumáticos de goma y hacer que luego se desprendan pedazos de los neumáticos, causando una pérdida importante de textura superficial y apariencia cosmética.*

### [ ADHERENCIA DEL ASFALTO A LOS NEUMÁTICOS DE GOMA ]

El asfalto también se puede adherir a los neumáticos de goma. La severidad de la adherencia depende principalmente de cuán adherente del asfalto. La adherencia del asfalto a los neumáticos también se ve afectada por la diferencia de temperatura entre la superficie del asfalto y los neumáticos.

- Se debe utilizar un agente removedor biodegradable para limpiar los neumáticos afectados antes de seguir con el proceso de compactación.
- Se debe asegurar que las cubiertas de distribución del agua y los rastrillos limpiadores de los neumáticos estén en posición correcta y en buenas condiciones de trabajo.

Cuando se empieza a adherir el asfalto a los neumáticos de goma en un compactador de neumáticos, el operador debe detener el trabajo inmediatamente y corregir el problema.

- Mover el compactador de neumáticos sobre la carpeta de asfalto a un área en donde la temperatura de la carpeta sea relativamente baja.
- Calentar los neumáticos operando sobre la carpeta templada antes de moverse a una zona de temperatura más alta.



*Los faldones de los neumáticos son muy importantes en los compactadores de neumáticos y deben instalarse para ayudar a evitar la pérdida de calor en los neumáticos de goma.*

Es muy importante calentar los neumáticos y mantenerlos a la temperatura correcta. Los faldones de los neumáticos ayudan a mantener el calor confinado alrededor de los ejes delantero y trasero. Caterpillar recomienda que se utilicen cubiertas para los neumáticos en los compactadores de neumáticos para todas las aplicaciones de compactación de asfalto. Las cubiertas son especialmente importantes cuando se compacta un asfalto que contiene cemento asfáltico modificado. Si no se instalan cubiertas para los neumáticos, estos estarán expuestos a las condiciones ambientales y pueden perder rápidamente el calor.

Se pueden utilizar agentes removedores para ayudar a evitar que el asfalto caliente se adhiera a los neumáticos de goma. Siempre se debe consultar al departamento de obras públicas para saber cuáles son los agentes permitidos.

La mayoría de las máquinas compactadoras tienen un sistema de aspersión para los neumáticos que con frecuencia utiliza agua y algún aditivo. Algunos aditivos comunes incluyen detergentes, suavizadores de agua o aditivos de uso múltiple que aumentan el espesor de la película de agua que se riega sobre los neumáticos.

**Sugerencia para el Usuario:** *Cuando se va a subir un compactador de neumáticos sobre algún transporte, hay que levantar y asegurar los faldones de los neumáticos en la posición correcta para su transporte. Si se dejan abajo las cubiertas, los neumáticos pueden rodar sobre ellas y dañarlas.*



*Los agentes removedores se pueden aplicar utilizando un aspersor o el sistema de aspersión para neumáticos del compactador.*

En algunos lugares, se sustituye el agua con aceite vegetal natural en el depósito del sistema de aspersión. No deben usarse destilados del petróleo pues son dañinos para el asfalto y para el ambiente.

Preparar el compactador de neumáticos para colocarlo en la posición deseada detrás de la pavimentadora, implica planear la forma en que se van a calentar los neumáticos. Se aplica un agente removedor (si es necesario), y se mantienen los neumáticos calientes

- Antes de iniciar el proceso de pavimentación y compactación, se debe operar el compactador de neumáticos sobre una superficie pavimentada que esté antes del punto de inicio. Se opera a alta velocidad para producir calor en los neumáticos de goma al flexionarlos.
- Cuando se usa un agente removedor, deben mojarse completamente los neumáticos justamente cuando la máquina está lista para iniciar su primer pasada.
- Se debe revisar la temperatura de la carpeta asfáltica y guiar al operador del compactador de neumáticos hacia la zona que tenga la temperatura correcta.
- Hay que estar alertas para detectar cualquier señal de adherencia excesiva de asfalto en los neumáticos. Sobre todo, hay que vigilar que no caigan pedazos de asfalto de los neumáticos cuando la máquina se detiene y se mueve en reversa
- Si se detecta excesiva adherencia de asfalto, hay que limpiar inmediatamente los neumáticos. La máquina se regresa a una zona de temperatura más baja. Gradualmente se mueve el compactador hacia adelante, permitiendo que los neumáticos se calienten antes de llegar a la zona de temperatura deseada.
- Una vez que se han calentado los neumáticos, deben mantenerse calientes. Si se interrumpe el proceso de pavimentación y compactación, no debe dejarse el compactador parado. Se mueve la máquina a un lugar sobre la carpeta de asfalto en donde pueda seguir rodando para mantener calientes los neumáticos de goma.

**[ MARCAS PROFUNDAS DE LOS NEUMÁTICOS DE GOMA ]**

El uso de un compactador de neumáticos en las carpetas de asfalto caliente, sobre todo en carpetas de 75 mm (3") o más de espesor, puede dejar marcas profundas de los neumáticos que luego son difícil de limpiar, más aún detrás de las planchas compactadoras vibratorias.

En general, el compactador de neumáticos se utiliza durante la fase intermedia de compactación sobre una carpeta de asfalto que ya está cerca de la densidad final deseada. Las marcas que deja en la carpeta generalmente son poco profundas y se pueden aplanar con el compactador de la fase de terminado.

Sin embargo, si se utiliza el compactador durante la fase inicial de compactación o si el compactador de neumáticos aplanan un área en donde la carpeta está más gruesa y caliente de lo normal, los neumáticos de goma pueden dejar marcas profundas que no se limpian fácilmente durante la compactación de terminado.

El uso de un compactador de neumáticos durante la fase inicial es más común cuando se está

compactando una base o carpeta de aglutinante a la que luego se le colocará otra carpeta encima. En ese caso, las marcas de los neumáticos y la pérdida de textura de la superficie no representan tanto problema.

No es común utilizar un compactador de neumáticos durante la fase inicial en la carpeta de asfalto final (la carpeta de desgaste) porque a la carpeta final generalmente se le mide la textura de la superficie. El compactador de neumáticos generalmente está en la posición intermedia cuando se compacta la carpeta final de asfalto.

Si aparecen marcas profundas de neumáticos durante la compactación de la carpeta final:

- Se mueve el compactador de neumáticos lo más alejado de la pavimentadora en donde la carpeta de asfalto está menos caliente, o
- Se disminuye la presión de aire en los neumáticos para aplanarlos un poco y reducir la presión de contacto de los neumáticos sobre la carpeta.



*Las marcas de neumáticos dejadas por un compactador de neumáticos normalmente se pueden limpiar con el compactador de la fase final.*



*Las marcas profundas de los neumáticos creadas cuando se opera sobre una carpeta gruesa compuesta de una mezcla sensible son difíciles de limpiar.*

### [ MARCAS DE IMPACTO DEL VIBRADOR ]

Cuando se aplica demasiada energía de vibración para compactar a una carpeta de asfalto, pueden aparecer en la superficie de la carpeta asfáltica marcas de impacto que no se limpian durante la fase de final.

En la Sección 2, “Las Fuerzas de Compactación,” vimos los efectos del peso y la amplitud. En la Sección 3, aprendimos acerca de otros factores, como la velocidad de trabajo y el espesor de la carpeta, que influyen en el proceso de compactación. En la foto inferior izquierda, se ve claramente por qué la carpeta de asfalto tiene marcas de impacto del tambor compactador.

El compactador hizo muchas pasadas a baja velocidad y vibrando sobre la unión entre la carpeta de asfalto y la canaleta de concreto, buscando emparejar las alturas entre ambas. Es seguro que los tambores estaban rebotando en esta área. Hasta se puede ver la superficie blanca, polvosa resultante, lo que indica agregado fracturado. En este caso, el problema fue creado por la cuadrilla de pavimentación que pavimentó la unión

demasiado alta. El compactador solo puede reducir el espesor de la carpeta hasta cierto punto. Cuando la carpeta se endurece, los tambores empiezan a rebotar y dejan marcas de impacto.

Como repaso, si se empieza a notar que los tambores rebotan, o si se empiezan a ver marcas de impacto sobre la superficie de la carpeta de asfalto, debe ajustarse una o más de las siguientes variables:

- Revisar la velocidad de trabajo para asegurar que se esté operando dentro del rango que produce de 26 a 46 impactos por metro (8-14 impactos por pie).
- Ajustar la máquina a una amplitud menor.
- Cambiar a una frecuencia más alta, si la máquina tiene ese ajuste.
- Operar con un tambor con vibración y el otro tambor estático.
- Operar en modo estático.



*(Arriba) Marcas de impacto del tambor compactador.  
(Derecha) Establezca un proceso que no distorsione el asfalto caliente al operar en reversa.*



**[ OPERACIÓN EN REVERSA SOBRE LA CARPETA ASFÁLTICA ]**

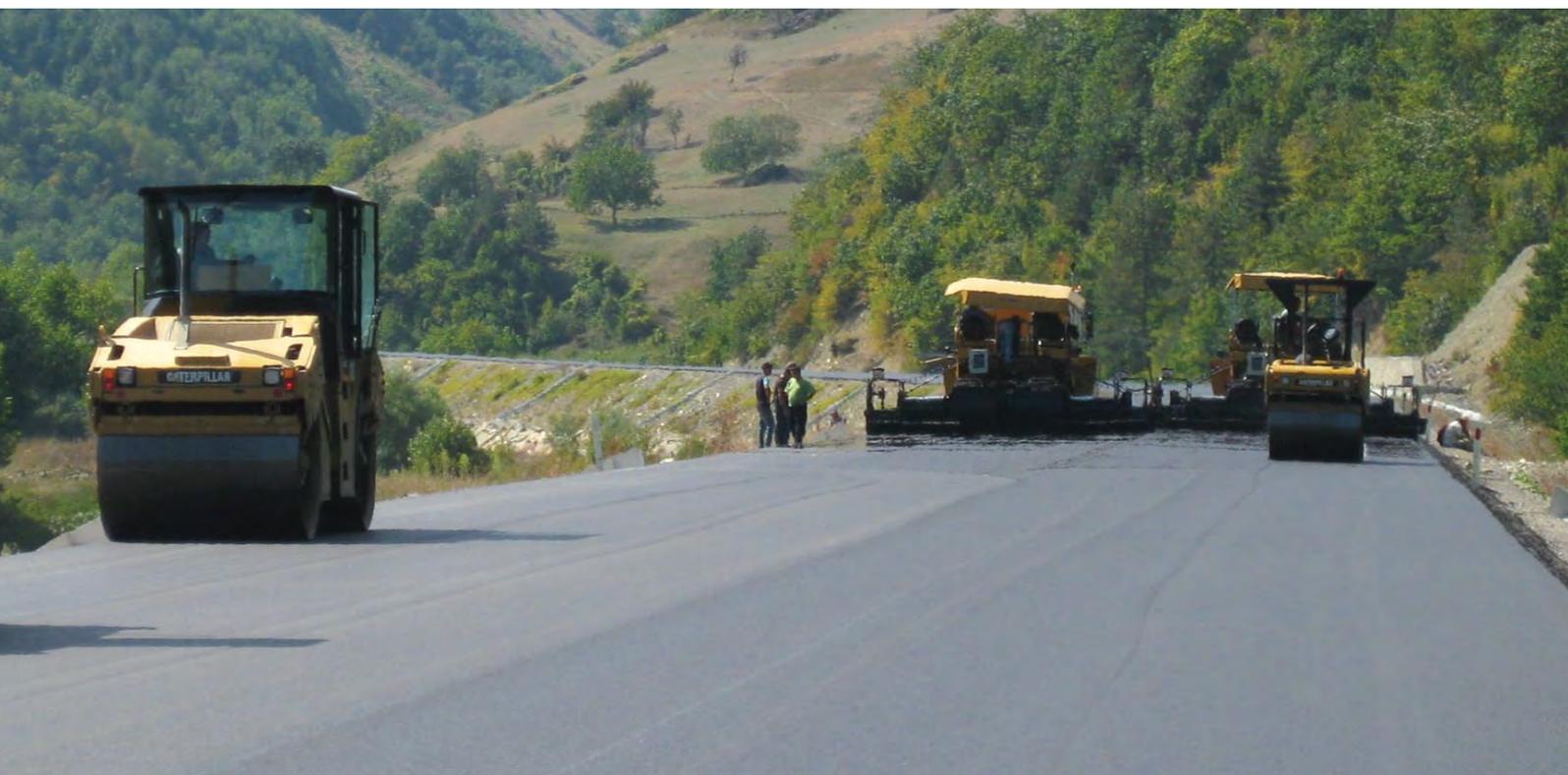
La mayoría de los patrones de compactación utilizados por los compactadores vibratorios con tambor de acero requieren que la máquina se pare y mueva en reversa sobre la carpeta de asfalto caliente. La Sección 5 cubre con detalle los patrones de compactación. En esta sección se revisan los principales problemas que pueden ser causados al parar la máquina sobre una carpeta de asfalto fresco.

Un compactador con tambor de acero siempre se detiene en cierto ángulo sobre una carpeta de asfalto fresco cuando va a dar reversa al final de una pasada. Cuando al parar la máquina se deja una marca en ángulo de por lo menos 30°, eso permite una mayor facilidad para que el siguiente compactador pueda limpiar la marca dejada. Se debe usar un compactador con un ancho del tambor que permita completar un giro con ángulo cuando se detiene en reversa.

El operador tendrá dificultad para detenerse y dar reversa sobre una carpeta relativamente estrecha cuando utiliza un compactador con tambores de 200 cm (79") de ancho o más. Antes de iniciar un

proyecto, se deben considerar todos los anchos de pavimentación que encontrará la cuadrilla de compactación. Se puede utilizar una herramienta como el Calculador Interactivo de Producción Cat para empatar la producción del compactador con la producción de la máquina pavimentadora.

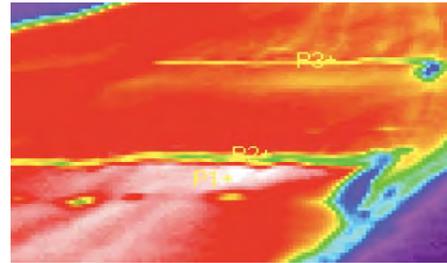
Como regla general, se deben considerar compactadores con tambores de un ancho que permita cubrir la carpeta asfáltica con tres pasadas traslapadas. Estos compactadores tendrán más espacio para hacer paradas en ángulo sobre la carpeta de asfalto fresco. Cuando la producción requiere que se seleccionen compactadores con tambores más anchos, que cubren la carpeta con dos pasadas traslapadas, se debe asegurar que se ayude a los operadores a establecer un patrón que no distorsione el asfalto caliente.



### [ CÓMO DETENER LA MÁQUINA SOBRE LA CARPETA ASFÁLTICA ]

Ningún tipo de compactador de asfalto debe detenerse en espera a que se extienda la carpeta asfáltica, hasta que la carpeta esté completamente compactada y se haya enfriado a menos de 20 °C (70 °F). Es sobre todo importante evitar parar la

máquina y esperar cuando se trata de una carpeta de asfalto en la que se va a evaluar la rugosidad. Se debe hacer todo lo posible por detener el compactador en un lugar donde no dañe la carpeta recién extendida.



*Detenida y estacionada sobre parte del acotamiento.*

*Retirada después de una parada de seis minutos.*

*La imagen térmica muestra áreas frías.*

Siempre que se detiene y se estaciona un compactador sobre una carpeta de asfalto fresco, los tambores o los neumáticos marcan la carpeta. Las fotos muestran el efecto de una parada de seis minutos sobre la carpeta de asfalto. En ese ejemplo, la pavimentadora se detiene para esperar la llegada de más camiones de asfalto, el compactador de la fase inicial terminó su patrón de aplanado y por ello se detuvo, colocando los tambores en ángulo y sobre 90 cm (3') del carril de emergencia y otra parte de los tambores sobre el carril de tráfico que va a ser evaluado por su textura.

Después de un paro de seis minutos, el proceso de pavimentación se reanudó y el operador del compactador inició un nuevo patrón de compactación. Una revisión de la carpeta asfáltica en el punto en que se había estacionado la máquina revela que hay agua depositada en el área donde se detuvieron los tambores a la vez que se percibe un hundimiento en la carpeta.

Una imagen térmica muestra que los tambores de acero causaron una importante pérdida de calor en la zona de la carpeta donde descansaron los tambores. La temperatura en esa zona llegó a ser de 65 °C (150 °F) en donde estaban los dos tambores de acero. A la carpeta le faltan dos fases adicionales de compactación, la intermedia y la de terminado. Sin embargo, la temperatura de la

carpeta en esta área es ahora mucho menor que la de los patrones normales.

Al final del turno, se mide la rugosidad del carril de tráfico compactado y terminado utilizando un perfilógrafo. El Índice del Perfil en el lugar en donde se había detenido el compactador durante seis minutos muestra dos depresiones y protuberancias causadas por los tambores de acero y no corregidas durante las fases de compactación intermedia y de terminado. El índice del perfil es la prueba de que si se deja la máquina parada en ángulo sobre una carpeta caliente durante un rato, es probable que deje bordos permanentes en la carpeta.

Si se interrumpe el proceso de pavimentación, Caterpillar recomienda que se estacionen los compactadores afectados sobre una superficie fría y completamente compactada, que no sea parte de un carril para tráfico. Si no se encuentra un área adecuada para estacionar la máquina, se debe desactivar el sistema vibrador, mover el compactador a algún área de la carpeta de asfalto que esté alejada de algún patrón de compactación activo y seguir operando a baja velocidad sobre la carpeta hasta que se reanude el proceso de pavimentación.

**[ DETENCIONES PARA CARGAR AGUA ]**

Dependiendo del tamaño de los depósitos del sistema de aspersión y de las condiciones climatológicas, un compactador con tambores de acero debe detenerse las veces que sea necesario recargar los depósitos de agua. Es importante que la cuadrilla de trabajo planee esas paradas por agua para evitar interrupciones largas durante el proceso de compactación y no detener el compactador en alguna parte de la carpeta asfáltica que sea parte del carril de tráfico. A continuación se ofrecen algunas recomendaciones para minimizar las interrupciones durante las paradas para surtir el agua.

El compactador debe estacionarse sobre una superficie fría y compactada, o sobre el acotamiento a fin de llenar con agua los depósitos del sistema. Con frecuencia eso significa que el camión de suministro de agua debe tener una manguera larga. En algunos casos, el camión de suministro de agua debe estacionarse sobre una superficie fría y la manguera debe extenderse atravesando los 3,65 m (12') de ancho del carril de tráfico para llegar al compactador estacionado sobre el acotamiento opuesto. Con anticipación al inicio del proyecto, debe medirse la longitud de manguera requerida para llenar los depósitos. Hay que asegurar que la manguera del agua sea lo suficientemente larga para todos los casos.

En algunos proyectos, la carpeta asfáltica tendrá dos bordes no confinados sin acotamiento para

estacionar el compactador. La carpeta asfáltica también puede tener un borde no confinado sin espacio en la orilla opuesta para retirar el compactador de la carpeta. En esos casos, se debe considerar tener unos tabloncillos de madera resistentes para colocarlos a lo largo del borde no confinado de la carpeta. El compactador puede salir y entrar a la carpeta usando los tabloncillos como soporte y así no apisonar el borde no confinado de la carpeta.

Es importante minimizar el tiempo de las paradas para llenar los depósitos de agua. El proceso de pavimentación se puede tener que suspender temporalmente hasta que el(los) compactador(es) puedan reanudar su operación o, dependiendo del proyecto y del tipo de compactadores, se puede mover el compactador intermedio hacia la fase inicial mientras la máquina de la fase inicial se detiene para recargar los depósitos de agua.

No importa qué medidas se tomen durante el proceso de llenado de los depósitos de agua, existe la probabilidad de que la temperatura de la carpeta cambie y es posible que la densidad varíe dependiendo de la severidad de la pérdida de temperatura. Una manera para ahorrar tiempo durante las paradas para llenar los depósitos de agua es colocar el camión de suministro de agua en un lugar conveniente para dar servicio rápido a los compactadores.



*Compactador estacionado sobre el acotamiento durante el llenado de los depósitos de agua (izquierda) para evitar marcar la carpeta en el carril de tráfico. Si es necesario, se debe proporcionar una manera para que el compactador pueda salir de la carpeta que no tiene borde confinado.*

**CALCULADOR DE COMPACTACIÓN**

<b>Acarreo de asfalto</b>		
<b>Velocidad de pavimentación</b>		
<b>Compactación</b>		
<b>Carril</b>		
<b>Rendimiento</b>		
<b>Pendiente</b>		
<b>Espesor</b>		
<b>Resumen del Trabajo</b>		
<b>Legal</b>		
<b>Salida</b>		

<b>Entradas Generales</b>		
Espesor del pavimento:	[ 2,95 ] pul.	[ 75,0 ] mm
Ancho del Pavimento:	[ 12,00 ] pies	[ 3,658 ] metros
Densidad del Material no Compactado:	[ 130 ] lbs/pie <sup>3</sup>	[ 2.082 ] kg/m <sup>3</sup>
Capacidad del Camión o Tonelaje Total:	[ 881,8 ] ton métricas	[ 800,0 ] toneladas
<b>Longitud de la Carpeta a 100% Rendimiento:</b>	[ 4.598,70 ] pies	[ 1.402 ] metros
Longitud real de Carpeta Producida:	[ 4.691,60 ] pies	[ 1.430 ] metros
<b>% Rendimiento por carga de camión o Tonelaje:</b>	[ 102 ]	

<b>Espesor:</b>	[ 2,95 ] pul	[ 75 ] mm
<b>Longitud de la Carpeta:</b>	[ 4.691,6 ] pies	[ 1.430 ] metros
<b>Ancho:</b>	[ 12 ] pies	[ 3,658 ] metros

El uso de la opción "Yield" (Rendimiento) en el Cat Interactive Production Calculator (Calculador de Producción Interactivo Cat") puede ayudar a determinar la posición del camión de agua para los depósitos del sistema de aspersión.

Un ejemplo utilizando el Calculador Interactivo de Producción de Cat muestra la importancia de la colocación del camión de agua. En este proyecto, el índice de producción es de 200 toneladas (220 toneladas inglesas) por hora. El ancho del pavimento es de 3,65 m (12'). El espesor del pavimento es de 75 mm (3"). El peso de la mezcla tendida por la plancha es de 2.082 kg/cm<sup>3</sup> (130 lbs/pie<sup>3</sup>). Un carril del proyecto de carretera se pavimenta en forma continua durante todo el turno.

es de 1.402 m (4.598') de pavimentación en cuatro horas. Entonces se debe buscar en el proyecto un lugar que esté cerca de la distancia de rendimiento calculada, en donde sea conveniente estacionar el camión de suministro de agua y que sea un lugar adecuado para detener el compactador. Si no hay un lugar para estacionar el compactador sin dañar la carpeta asfáltica, se debe considerar retirar la máquina de la carpeta utilizando tabloncillos de madera.

Basado en la capacidad del depósito de agua y las condiciones climatológicas, el compactador debe parar para rellenar los depósitos de agua cada cuatro horas. En cuatro horas, la pavimentadora debe haber tendido 800 toneladas (880 toneladas inglesas). Una vez que se introducen los datos al programa que calcula el rendimiento, el resultado

Tener el camión de suministro de agua en el lugar correcto y el personal listo para llenar los depósitos de agua del sistema de aspersión, acorta el tiempo de interrupción de la producción y minimiza las variaciones en la temperatura de la carpeta asfáltica.

**[ COMPACTACIÓN EN ÁREAS CON RADIO REDUCIDO ]**

En algunas aplicaciones, sobre todo en calles urbanas y áreas de estacionamientos, habrá espacios en donde la máquina estará trabajando sobre superficies radiales, como rotondas o alrededor de otros obstáculos. Se debe utilizar el

equipo correcto y seguir las técnicas adecuadas para evitar distorsionar la carpeta de asfalto fresco cuando se tienen que compactar superficies radiales.



*Compactador de tambores convencionales de 170 cm (67") operando continuamente sobre la curva de la carpeta.*



*La orilla exterior del tambor extendió y distorsionó el asfalto fresco.*

Siempre que la carpeta tenga un radio reducido, el uso de un compactador de alta producción ha de distorsionar el área radial por donde avance. El extremo exterior del tambor está cubriendo una distancia mayor que el extremo interior del tambor. Por lo tanto, el extremo exterior estira la carpeta tratando de dar vuelta en el radio a la misma velocidad del extremo interior.

Si la única máquina disponible es un compactador de alta producción, entonces se debe utilizar un patrón de compactación especial para evitar distorsionar la carpeta.

El operador debe trabajar hacia el área con curva por una orilla de la carpeta. Avanzar hacia delante (1) entrando al radio, detenerse en ángulo cerca del extremo exterior del radio. Mover la máquina en reversa por el mismo recorrido.

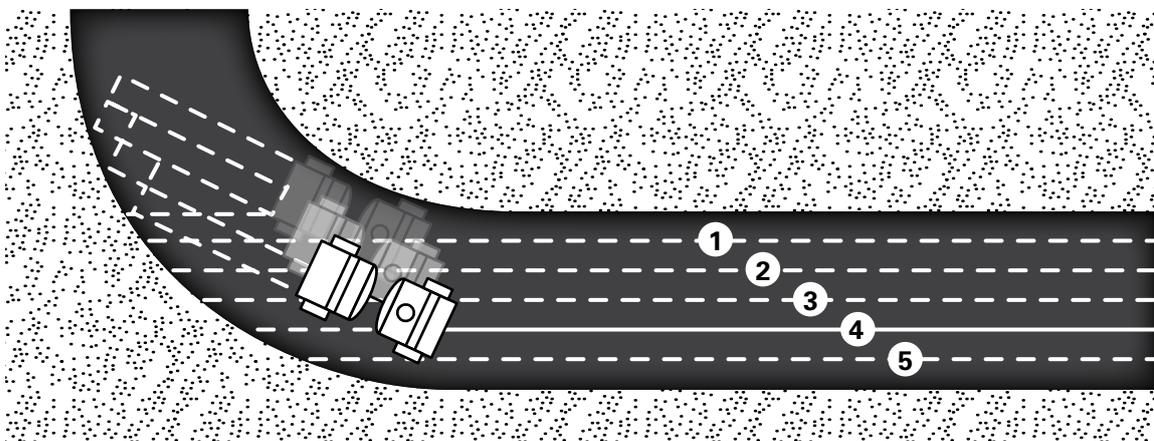
Mover el compactador hacia el centro de la carpeta (2) traslapando ligeramente la primera pasada y luego rolar hacia adelante al radio, deteniéndose de nuevo en ángulo cerca de la orilla exterior. Mover la máquina en reversa sobre el mismo recorrido.

Se repite este patrón cuantas veces sea necesario (3,4,5) para cubrir el ancho de la carpeta.

Se vuelve a colocar el compactador al inicio del radio, de manera que la máquina esté en ángulo a las pasadas ya terminadas en el área radial. Se mueve la máquina hacia adelante y hacia atrás para terminar el área radial restante.

Luego se vuelve a colocar el compactador en posición para empezar las pasadas rectas, moviéndose hacia adelante saliendo del centro del radio.

**VUELTAS O EMPALMES**



*Patrón de compactación en áreas radiales utilizando un compactador de alta producción con tambores de acero.*



*Los compactadores pequeños facilitan el trabajo de compactación en áreas con obstáculos sin romper el asfalto fresco.*



*Los compactadores con tambor dividido pueden compactar áreas radiales sin romper el asfalto fresco.*

En obras de baja producción, otra solución es utilizar un compactador pequeño, o utilitario, para compactar áreas radiales.

Los compactadores pequeños, o utilitarios, con tambores de menos de 1 m (40") de ancho, pueden dar vueltas más cerradas sobre la carpeta sin romperla. Para rotondas, calles urbanas, estacionamientos y otros proyectos de baja producción, un compactador pequeño ofrece versatilidad y generalmente tiene suficiente capacidad productiva para ir al paso del proceso de pavimentación.

Otra opción en algunas áreas es usar un compactador de asfalto de tambores divididos. Esas unidades tienen un sistema de propulsión diferente que sincroniza la velocidad de la marcha y la del tambor, de manera que una mitad del

tambor se mueve a una velocidad mayor que la otra mitad. Cuando se gira la dirección, la mitad exterior del tambor (a lo largo del arco mayor del radio) se acelera en comparación con la velocidad de la mitad interior del tambor (sobre el arco más corto del radio). Entre más se gira la dirección, mayor es la diferencia entre la velocidad de las dos mitades. De esta manera ambas mitades del tambor recorren diferentes distancias, pero dentro del mismo tiempo. La carpeta asfáltica fresca logra la densidad especificada sin distorsión.

Si en su región se distribuyen los modelos de máquinas con tambor dividido y se va a trabajar en proyectos que requieren compactación en áreas radiales, Caterpillar recomienda que se considere uno o más de los modelos con tambor dividido para la flota de compactación.

**Sugerencia para el Usuario:** Ese patrón para compactar áreas radiales aumenta el número de pasadas y requiere que el compactador esté cuidadosamente posicionado. Todos esos movimientos requieren tiempo y eso significa que la máquina pavimentadora posiblemente se adelante tanto que la carpeta asfáltica pierda demasiado calor antes de que el compactador de la primera fase la alcance. Caterpillar recomienda que la máquina pavimentadora haga varias paradas cortas de tres minutos, por ejemplo, al terminar de pavimentar una curva o área radial. Esas paradas cortas no afectarán mucho la temperatura de la carpeta y permitirán que el compactador inicial se mantenga al paso de la pavimentación.

**[ DENSIDAD INCONSISTENTE ]**

Muchos departamentos de obras públicas ahora exigen, no solamente una alta densidad de la carpeta asfáltica, sino también que la densidad sea consistente. Puede haber penalizaciones económicas relacionadas con desviaciones de las normas al hacer las mediciones de múltiples muestras, o por diferencias en los porcentajes dentro de los límites de ingeniería especificados.

Una de las responsabilidades de la cuadrilla de pavimentación es presentarle una carpeta uniforme de asfalto al compactador de la fase inicial. Detrás de la máquina pavimentadora, en cuanto sea posible, la carpeta de tener:

- Densidad uniforme tendida por la plancha
- Espesor uniforme
- Temperatura uniforme



*Una operación consistente de la máquina pavimentadora y el compactador de la fase inicial son clave para lograr una densidad consistente.*

**Sugerencia para el Usuario:** Caterpillar recomienda que se revise periódicamente la densidad del material tendido por la plancha a lo ancho de la carpeta y que se revise la temperatura de la superficie a todo lo ancho de la carpeta. El departamento de obras públicas puede haber especificado la uniformidad de la densidad del material tendido por la plancha y temperatura de la superficie de la carpeta. Como regla general, la densidad de la carpeta no debe variar más de 60 kg/m<sup>3</sup> (5 lb/pie<sup>3</sup>) a lo ancho de la carpeta asfáltica. La temperatura de la superficie no debe variar más de 10 °C (23 °F) a lo ancho de la carpeta.

## PROBLEMAS

Cada compactador que participa en el proceso de compactación y sobre todo el compactador de la fase inicial, debe también ser constante en su enfoque para lograr que la alta densidad sea consistente. Cada compactador debe trabajar de tal forma que se logre:

- Un patrón uniforme
- Una fuerza de compactación uniforme
- Una velocidad de trabajo uniforme
- Una zona de temperatura uniforme



*Mantener un patrón consistente y una densidad consistente detrás de la máquina pavimentadora puede ser todo un reto.*

Algunos operadores tienen dificultad para repetir el mismo patrón cuando van siguiendo la máquina pavimentadora. No siempre cubren cada parte de la carpeta el mismo número de veces. Por lo tanto, los resultados de las pruebas de densidad que hacen los técnicos de control de calidad pueden variar. Cuando eso sucede, el técnico de control de calidad o el supervisor tiene que trabajar con el operador del compactador para definir el patrón y asegurar que se esté repitiendo ese patrón.

Además, se debe verificar que la velocidad de pavimentación no haya cambiado. Con frecuencia los cambios en la velocidad de pavimentación no se comunican al equipo de compactación y al equipo de control de calidad. Por ejemplo, un patrón de compactación que ha estado trabajando bien,

de pronto está haciendo que el compactador se quede rezagado de la máquina pavimentadora y que esté trabajando en una zona de temperatura más baja. El compactador se queda rezagado porque se aumentó la velocidad de pavimentación, lo que motiva al operador a modificar el patrón de compactación a fin de acercarse a la pavimentadora.

Nunca se debe cambiar la velocidad de pavimentación sin antes hacer dos cosas: Primero, comunicar el cambio de velocidad al equipo de compactación. Segundo, verificar que el compactador de la fase inicial pueda seguir el paso y no rezagarse si se aumenta la velocidad.



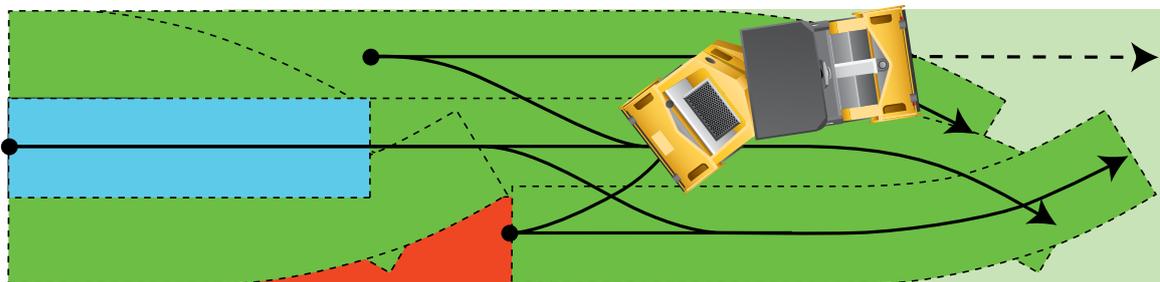


La nueva tecnología ayuda a los operadores a mantener la consistencia de los patrones de compactación.

Los compactadores de asfalto tienen algunas opciones disponibles para que los operadores puedan mantener patrones de compactación uniformes. Las pantallas ubicadas dentro de la cabina el operador pueden programarse para mostrar al operador en dónde está ubicado el tambor sobre la carpeta y cuánto se ha cubierto del patrón.

Los sistemas de posicionamiento global ofrecen mapas muy precisos de los patrones de

compactación. El control puede estar programado con el número requerido de pasadas. Luego la pantalla mostrará diferentes colores al ir completando las pasadas. El operador ya no tiene que adivinar el final del patrón para operar en reversa. Además, hay menos posibilidades de que el operador no cubra alguna de las áreas del patrón, porque la pantalla le da retroalimentación inmediata para que tome las acciones correctivas.



Ejemplo de un mapa donde se cuentan las pasadas.

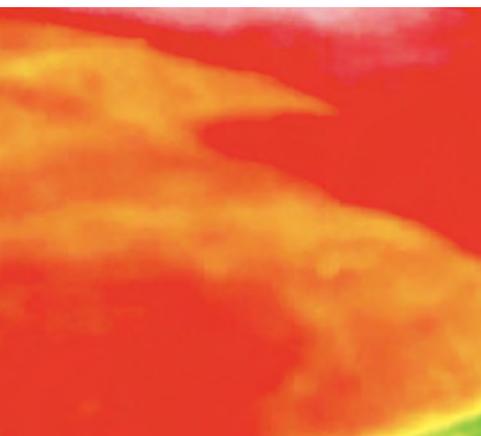


*Sensores infrarrojos envían los datos de las temperaturas a la pantalla dentro de la cabina del operador.*

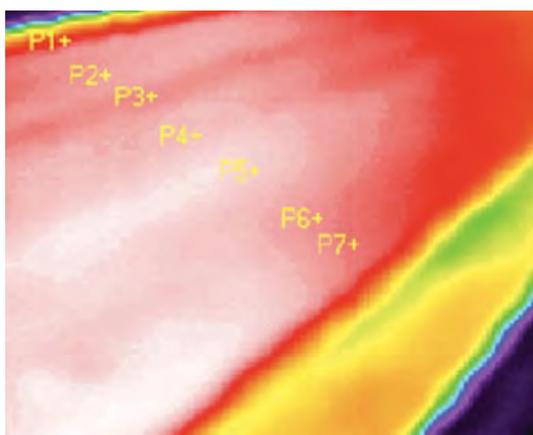
Los sensores infrarrojos para medir la temperatura son otra opción en algunos compactadores de asfalto. En los modelos Cat, los sensores están instalados al frente y atrás de la máquina. Los sensores deben limpiarse continuamente con aire comprimido para mantener los lentes libres de polvo, humo y humedad. Los sistemas de temperatura son precisos y proporcionan una referencia visual constante en el tablero de la cabina del operador. No solamente sabe el operador en dónde está ubicada la máquina en relación con el patrón de compactación definido, sino que también le indica en dónde está ubicado con respecto a la zona de temperatura deseada.

Las variaciones importantes de temperatura son causadas por paradas largas de la máquina pavimentadora. La parte de la carpeta que está debajo de la plancha permanece caliente porque está confinada. La parte de la carpeta justamente detrás de la plancha pierde calor porque está expuesta a los elementos.

La pérdida de calor depende del espesor de la carpeta, de la temperatura del aire y de la velocidad del viento. Si la temperatura de la carpeta varía más de 15 °C (30 °F), es probable que haya una variación importante en la densidad. Para ayudar a lograr una densidad uniforme, se deben limitar las paradas de la máquina pavimentadora a no más de cinco minutos.



*Variación en la temperatura causada por una parada de más de 10 minutos de la máquina pavimentadora. La impresión de la plancha que se ve en la imagen infrarroja no es visible en la imagen digital.*



Variación en la temperatura causada por una carpeta delgada en la carpeta, del lado del acotamiento.

En algunos casos, el espesor de la carpeta asfáltica varía a lo ancho de la carpeta. La parte más delgada pierde calor más rápidamente que la parte más gruesa. En el ejemplo que se muestra arriba, el acotamiento estaba más alto que el carril de tráfico en esta parte del proyecto. La carpeta tendida sobre el carril de tráfico tenía los 50 mm (2") especificados. El espesor de la carpeta disminuía hasta 25 mm (1") en el acotamiento. La densidad de la carpeta era muy variable debido a las diferencias de temperatura y también a que la relación del espesor de la carpeta con el tamaño de agregado era muy baja en la parte delgada

de la carpeta. En ese caso, todas las pruebas de densidad tomadas en el acotamiento no cumplían con los requerimientos mínimos, mientras que las pruebas de densidad tomadas en el carril de tráfico sí cumplían con los requisitos de densidad.

Siempre hay un motivo que causa la variabilidad en la densidad. Si se está buscando la razón por la que varía la densidad, hay que buscar la variabilidad en el proceso de pavimentación, en la temperatura de la carpeta asfáltica, en los patrones de compactación y en la velocidad de compactación.

**Sugerencia para el Usuario:** Los sensores de temperatura y el despliegue de los resultados en la pantalla son especialmente importantes cuando se compactan mezclas que tienen una superficie blanda. El operador puede usar la temperatura mostrada en la pantalla para verificar que el compactador inicial se esté manteniendo delante de la superficie blanda o que el compactador intermedio se esté manteniendo detrás de la superficie blanda.

**Resumen:** Los problemas de compactación pueden estar causados por una serie de factores. Un mal mantenimiento del sistema de tambores, falta de planeación, mala selección del equipo y capacitación inadecuada de los operadores son solamente algunas de las causas que pueden ocasionar problemas durante el proceso de compactación. Algunas mezclas son más difíciles de tender y compactar que otras. En esos casos, experimentar durante el trabajo puede ser la única solución cuando se está utilizando una mezcla por primera vez. Lo que la cuadrilla de trabajo aprende al trabajar en un proyecto debe recordarse y volver a utilizarse en otras obras cuando se encuentran problemas similares.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**- A -**

<b>Adhesión de Asfalto</b>	Es el término que se utiliza para describir el asfalto caliente que se adhiera al acero del rodillo o a un neumático de goma.
<b>Agentes Antiadherentes</b>	Un antiadherente es un líquido que ayuda a evitar que el material bituminoso se adhiera a las superficies de acero o de goma. Los destilados del petróleo, como el combustible diesel, están prohibidos en la mayoría de los lugares por sus efectos nocivos sobre el material bituminoso. Existen una serie de agentes antiadherentes biodegradables.
<b>Agregado</b>	Se refiere al tipo o tipos de piedra utilizada en la preparación del material bituminoso para pavimentación.
<b>Amplitud</b>	Es la profundidad que el rodillo penetra en la capa de asfalto. Amplitud es una medida crítica de la fuerza de impacto generada por el rodillo vibratorio de acero.
<b>baja</b>	Movimiento del rodillo entre 0,25 – 0,5 mm (0,01 – 0,02")
<b>media</b>	Movimiento del rodillo entre 0,5 – 0,75 mm (0,02 – 0,03")
<b>alta</b>	Movimiento del rodillo más de 0,75 mm (0,03")
<b>Análisis de Calidad</b>	Los análisis de calidad consisten en las pruebas, mediciones y análisis del material bituminoso y otros aspectos especificados para un proyecto, que se hacen dentro de un laboratorio o de algún otro ambiente controlado.
<b>Asfalto</b>	Es un término genérico que se utiliza para describir el material de pavimentación bituminoso, también se le llama asfalto de mezcla caliente o asfalto de mezcla templada.
<b>Asfalto de Matriz de Piedra</b>	El asfalto de matriz de piedra se compone casi totalmente de agregados grandes, finos y cemento asfáltico modificado. Hay contacto piedra-con-piedra, pero las piedras están cubiertas con una masilla gruesa de finos y cemento asfáltico viscoso.
<b>Asfalto Modificado con Polímeros</b>	Un polímero es un compuesto sintético formado por una cadena de moléculas similares ligadas. Los polímeros se agregan al cemento asfáltico para mejorar la resistencia de la capa asfáltica a altas temperaturas y su elasticidad a bajas temperaturas. El cemento asfáltico modificado con polímeros tiene una alta viscosidad.

**- B -**

<b>Bitumen</b>	Es una mezcla negra, pegajosa de hidrocarburos que se encuentra en forma natural o se obtiene como residuo del destilado del petróleo; al bitumen también se le llama cemento asfáltico.
<b>Boquillas de Aspersión</b>	Las boquillas del sistema de aspersión del agua se encuentran en las barras de aspersión sobre los rodillos de acero del compactador. Las boquillas aplican un patrón de aspersión en forma de abanico sobre la superficie del rodillo para ayudar a evitar que el asfalto caliente se adhiera al rodillo.
<b>Borde No Confinado</b>	Un borde no confinado es el borde de una capa asfáltica que está abierto, no envuelto por una capa adyacente o por una canaleta.
<b>Borde Confinado</b>	Un borde confinado es el borde de una capa de asfalto que está delimitado por una capa tendida anteriormente. A la intersección de las dos capas se llama junta longitudinal.

## - C -

<b>Cámara Infrarroja</b>	Una cámara infrarroja produce una imagen de la temperatura de la superficie de la carpeta asfáltica. La imagen generalmente abarca el ancho de la carpeta asfáltica por una distancia de no más de 9 m (30').
<b>Capa de Aglutinante</b>	Es el material bituminoso que se tiende sobre la base. La capa de aglutinante consiste de agregados de tamaño mediano, y generalmente tiene un espesor de 50 - 100 mm (2 - 4").
<b>Capa de Base</b>	Es generalmente la primera capa de material bituminoso de la estructura de una carretera. Esa capa de base generalmente consiste de material con agregado grueso y se tiende con un espesor de 75 mm (3") o más.
<b>Capa de Desgaste</b>	La capa de desgaste, o capa superficial o de fricción, es la capa final de la estructura de la carpeta asfáltica. Es generalmente la capa más delgada y está diseñada para ser la capa más rígida.
<b>Capa de Liga (Tack)</b>	La capa de liga o adherente es una emulsión que contiene aceite grado pavimentación, agua y un agente emulsificante. Esa capa de liga se aplica a las superficies antes de pavimentar para ayudar a mejorar la adhesión entre los estratos de material.
<b>Capa de Nivelación</b>	Es una capa delgada de material bituminoso que se tiende sobre una superficie fresada con un doble propósito, el de restaurar el perfil y el de mejorar la textura de la capa final.
<b>Carga Lineal Estática</b>	La carga lineal estática se calcula dividiendo la carga del eje entre el ancho del rodillo. La carga estática lineal se expresa en kilogramos por centímetro o libras por pulgada.
<b>Carga por eje</b>	Es el peso total aplicado por un rodillo de acero o un neumático de goma.
<b>Cemento Asfáltico</b>	Es el producto oleaginoso que se utiliza para la preparación del material bituminoso para pavimentación.
<b>Concreto Asfáltico</b>	Es otra manera de llamar al material bituminoso para pavimentación.
<b>Condiciones Ambientales</b>	Incluyen la temperatura del aire, la velocidad y dirección del viento y la condición de nublado. Las condiciones ambientales afectan la pérdida de calor en la capa de asfalto antes de la compactación final.
<b>Compactación</b>	La compactación es el proceso mecánico de reducir los espacios de aire y desarrollar la resistencia a la carga en una capa de material bituminoso, al hacer que los agregados se acomoden con un contacto muy estrecho entre sí.
<b>Compactación Escalonada</b>	La compactación escalonada es un patrón de compactación utilizando dos o más compactadores durante una fase de compactación.
<b>Compactador Utilitario</b>	Los compactadores utilitarios tienen rodillos de menos de 1 m (40") de ancho y típicamente se utilizan en proyectos de baja producción o para complementar a los compactadores más grandes en proyectos en que hay necesidad de usar un equipo maniobrable.
<b>Compuertas Laterales</b>	La plancha que extiende la capa de asfalto tiene unas compuertas en ambos extremos que mantienen la capa de asfalto dentro del ancho deseado. La parte inferior de la compuerta lateral tiene una tira de metal llamada nivelador ("ski"). Cuando la compuerta está abajo, esa placa niveladora flota sobre la pendiente y la orilla de la carpeta asfáltica queda vertical, para empatar mejor las juntas.
<b>Control de Calidad</b>	Control de calidad son las pruebas, mediciones y análisis del material bituminoso y otros aspectos específicos del proyecto en el lugar de la obra mientras se está trabajando.

## GLOSARIO

**Corta juntas** Es un aditamento que puede instalarse en el rodillo compactador. El corta juntas recorta la orilla no confinada de la capa de asfalto para dejar una superficie vertical recta para empatar las juntas.

**Curva de Enfriamiento** La curva de enfriamiento es una gráfica de la pérdida de calor en una capa de asfalto, basada en el espesor de la capa, el tipo de material y las condiciones ambientales.

### - D -

**Densidad** La densidad es el peso de un volumen dado de material, normalmente expresado en kilogramos por metro cúbico o libras por pie cuadrado.

**Densidad Máxima Teórica** La densidad máxima teórica es el peso de un volumen dado de material bituminoso compactado en una forma controlable y repetible en un ambiente de laboratorio.

**Densímetro** El densímetro se utiliza para medir la densidad de la mezcla durante el proyecto, mientras el material bituminoso está todavía suficientemente caliente para hacer ajustes. Los técnicos de control de calidad calibran y utilizan el instrumento durante el proyecto.

**Desborde** Desborde se refiere a la parte del rodillo que se extiende más allá de la orilla de la carpeta asfáltica.

### - E -

**Espaciado del Impacto** El espaciado del impacto es la relación entre la frecuencia del compactador vibratorio y la velocidad de traslado del compactador. El espaciado del impacto es el número de veces por metro o por pie que el rodillo penetra en la carpeta asfáltica.

**Espacios de aire** Son burbujas de aire encerradas dentro de una capa de asfalto cuando se tiende con una plancha de pavimentación.

**Especificación, Método** La especificación del método describe el tipo de equipo o la(s) técnica(s) que deben utilizarse en el proyecto.

**Especificación, Resultado Final** Las especificaciones del resultado final son una serie de metas de control de calidad / análisis de calidad documentados para cuestiones como la calidad del recorrido, densidad y conformidad de la mezcla asfáltica.

### - F -

**Factor de Eficiencia** Se debe utilizar un factor de eficiencia cuando se calcula la velocidad de trabajo de una máquina compactadora para compensar por el tiempo que se detiene para volver a llenar con agua los depósitos y los movimientos en reversa sin vibración. El factor normal de eficiencia para los compactadores es de 75% a 85%.

**Faldones para los neumáticos** Los faldones para los neumáticos son una opción para los compactadores de neumáticos. Los faldones se colocan alrededor del eje trasero y delantero para ayudar a mantener el calor en los neumáticos de goma y evitar que el asfalto se adhiera a los neumáticos.

**Fase de rompimiento** En algunas áreas, a la fase inicial de compactación se le llama fase de rompimiento. La fase de rompimiento debe lograr casi toda la densidad final deseada.

**Fase de Terminado** La fase de terminado de la compactación es la fase final y tiene por objeto limpiar cualquier marca dejada en la superficie por los compactadores anteriores. Como resultado de la fase de terminado puede haber ligeros aumentos en la densidad.

<b>Fase Inicial de Compactación</b>	La fase inicial de la compactación ocurre inmediatamente detrás de la máquina pavimentadora en donde la capa de asfalto está más caliente. La fase inicial debe lograr el mayor índice de densidad final.
<b>Fase intermedia de Compactación</b>	Ocurre inmediatamente después de la fase inicial en una zona de temperatura en que la capa de asfalto está todavía lo suficientemente caliente que permite aumentar la densidad. La fase intermedia debe lograr la densidad final deseada.
<b>Franja de Prueba</b>	La franja de prueba se utiliza para confirmar que el patrón de rolado y el equipo propuesto son los adecuados para lograr la densidad especificada y cumplir con el programa de pavimentación. La franja de prueba puede ser parte del proyecto o puede ser un elemento aparte.
<b>Frecuencia</b>	Frecuencia es el número de veces que el rodillo golpea la capa de asfalto y se mide en vibraciones por minuto. La Frecuencia también se puede definir como la velocidad de rotación del eje del peso excéntrico dentro del rodillo.
<b>baja</b>	40 – 46,7 Hz (2.400 - 2.800 vibraciones por minuto)
<b>media</b>	46,7 – 56,7 Hz (2.800 - 3.400 vibraciones por minuto)
<b>alta</b>	Arriba de 56,7 Hz (3.400 vibraciones por minuto)
<b>Frecuencia de Resonancia</b>	Es la combinación de la frecuencia del sistema de vibración, la amplitud, la velocidad de trabajo y la rigidez de la capa de asfalto, que hace que el rodillo rebote (oscile) sobre la superficie de la carpeta asfáltica. Un compactador vibratorio debe operar cerca de, pero no a la frecuencia de resonancia.
<b>Fricción Interna</b>	La fricción interna es la resistencia al movimiento de los agregados en una capa asfáltica. La forma de los agregados determina la cantidad de fricción interna.
<b>Fuerza Centrífuga</b>	La fuerza centrífuga es un cálculo de ingeniería que se obtiene multiplicando la masa del peso excéntrico por el radio de rotación del mismo peso, por el cuadrado de la velocidad de rotación (frecuencia). La fuerza centrífuga no tiene relación directa con la energía de compactación.
- I -	
<b>Impacto</b>	El impacto es una fuerza de compactación dinámica. El impacto ocurre cuando el rodillo de acero de un compactador vibrador penetra en la capa de asfalto.
- J -	
<b>Junta acuñada</b>	Se forma instalando una horma en el extremo de la plancha pavimentadora. En ocasiones las juntas acuñadas se especifican para evitar crear una orilla vertical no cubierta que puede estar abierta al tráfico.
<b>Junta en Cuña</b>	Una junta en cuña es una orilla cónica que evita una cara vertical en una orilla no confinada que puede estar expuesta al tráfico. La junta en cuña se forma instalando una horma en el extremo de la plancha pavimentadora.
<b>Junta caliente/fría</b>	Una junta longitudinal caliente/fría se crea tendiendo una capa caliente de asfalto junto a una capa fría de asfalto, previamente compactada.
<b>Junta caliente/templada</b>	Una junta longitudinal caliente/templada se crea tendiendo una capa caliente de asfalto junto a una capa tendida un poco antes.
<b>Junta caliente/caliente</b>	Una junta longitudinal caliente/caliente se forma con dos máquinas pavimentadoras tendiendo carpetas adyacentes escalonadas.
<b>Junta Longitudinal</b>	Es la intersección de dos capas de asfalto a lo largo de las orillas paralelas a la dirección del tendido de la carpeta asfáltica.
<b>Junta Transversal</b>	Una junta transversal es la intersección perpendicular de dos capas de asfalto. Con frecuencia una junta transversal es la reanudación de la pavimentación después de una capa compactada. A las juntas transversales también se les llama junta a tope.

## - L -

**Lastre** Es el peso que se agrega o quita a un compactador para cambiar la fuerza estática ejercida por el compactador

## - M -

**Manipulación** Es la fuerza estática generada cuando las fuerzas ejercidas sobre la capa asfáltica no son enteramente verticales sino que se producen en todas direcciones. La manipulación, que generalmente se relaciona con las máquinas compactadoras neumáticas, ayuda a sellar la superficie de la carpeta asfáltica.

**Mapeo de las pasadas** El mapeo con el uso de un Satélite de Posicionamiento Global (GPS) es una opción en algunos compactadores. Una pantalla en el tablero del operador muestra la posición actual de la máquina en el proyecto y si el compactador ha completado con éxito el patrón de compactación asignado.

**Mapeo de Temperatura** El mapeo de la temperatura es una opción en algunos compactadores de asfalto. Los sensores infrarrojos de temperatura envían los datos a una pantalla en el tablero del operador. La pantalla le muestra al operador las temperaturas de la superficie de la capa asfáltica durante el patrón de compactación.

**Marcas de Impacto** Las marcas de impacto son líneas visibles en la superficie de la capa asfáltica. Las marcas de impacto son causadas al aplicar demasiada fuerza (amplitud y peso) sobre la capa asfáltica.

**Material Bituminoso** Es la combinación de agregados, cemento asfáltico y ciertos aditivos. El material bituminoso se fabrica en las plantas de asfalto.

**mezcla caliente** Material bituminoso producido en una planta de asfalto a una temperatura de entre 149 – 177 °C (300 – 350 °F).

**mezcla tibia** Material bituminoso producido en una planta de asfalto a una temperatura de hasta 38 °C (100 °F) más baja que la mezcla caliente.

**Mezcla de Densidad Graduada** Las mezclas de densidad graduada se producen con una variedad de tamaños de agregados, cemento asfáltico y finos. Los agregados más grandes están rodeados por una masilla de finos y cemento asfáltico.

**Mezcla de Granulometría Abierta** El material bituminoso de granulometría abierta está formado por solo unos cuantos tamaños de agregados, sin agregados de tamaños intermedios. Generalmente parte del diseño de la mezcla incluye cemento asfáltico modificado. Contiene mucho contacto de piedra con piedra.

**Mezcla de Granulometría Incompleta** Las mezclas con agregados de granulometría no continua usan agregados con partículas que van desde gruesas hasta finos, saltando algunos de los tamaños intermedios. Ese tipo de mezclas son permeables y tienen mucho contacto de piedra con piedra.

## - N -

**Núcleos de Muestra** Un núcleo de muestra es una pequeña porción de la capa de asfalto compactada ya enfriada, tomada por el personal de control de calidad y llevada a un laboratorio para efectuar los análisis de calidad.

## - P -

**Patrón de Rolado** Consiste en el número y la secuencia de pasadas con traslapes y desbordes que se requieren para que el compactador cubra el ancho y longitud del área asignada y cumpla con la velocidad efectiva del proceso de pavimentación.

**Pasada** Una pasada es el desplazamiento del compactador en una dirección, del punto de partida hasta el punto en que termina el patrón de rolado o en que se inicia un nuevo patrón de rolado. En algunos lugares definen una pasada como el movimiento hacia delante y hacia atrás, dentro de la misma área de cobertura.

<b>Pavimento Perpetuo</b>	Pavimento perpetuo es un término que se utiliza para describir una estructura asfáltica diseñada para soportar un número casi infinito de cargas de ejes sin deterioro estructural.
<b>Perfil</b>	Es la sección transversal de la estructura de una carretera, más específicamente, la pendiente de la superficie de la carpeta asfáltica para lograr su drenaje.
<b>Peso Excéntrico</b>	El peso excéntrico es una masa colocada fuera de centro dentro del rodillo de un compactador vibratorio. La rotación rápida del peso excéntrico crea las fuerzas que hacen que el rodillo vibre y penetre en la capa de asfalto.
<b>Plancha apisonadora</b>	Una plancha apisonadora utiliza una o más barras compactadoras para aplicar energía de compactación adicional a la capa de asfalto para aumentar la densidad antes del proceso de compactación. Las Planchas apisonadoras típicamente aplican vibración para ayudar a apisonar la textura de la superficie.
<b>Plancha vibratoria</b>	Una plancha vibratoria ejerce fuerzas vibratorias sobre la capa asfáltica, al pasar el material debajo de la plancha. La vibración de la plancha aumenta ligeramente la densidad de la capa asfáltica y también ayuda a apisonar la textura de la superficie.
<b>Presión Estática</b>	La presión estática es la carga del eje dividida entre el área del rodillo o neumático de goma que tiene contacto con la superficie de la capa asfáltica. La presión estática se expresa en kilopascal o libras por pulgada cuadrada.

## - R -

<b>Rebote del Rodillo</b>	El rebote del rodillo ocurre cuando la capa de asfalto no puede aceptar la fuerza aplicada por el rodillo del compactador vibratorio. También se le llama desacoplamiento.
<b>Relación de Diseño</b>	La relación de diseño se define como la correlación entre el espesor de la capa de asfalto y el agregado más grande en la capa de asfalto. La mayoría de los departamentos de obras públicas exigen por lo menos una relación de 3:1 entre el espesor de la capa y el tamaño del agregado.
<b>Rendimiento</b>	Rendimiento se refiere a la distancia lineal que puede pavimentar una cantidad dada de material bituminoso a cierta profundidad y cierto ancho de carpeta.
<b>Rodillo Dividido</b>	Un compactador de asfalto con rodillo dividido tiene rodillos que están divididos a la mitad. Las velocidades de traslado y propulsión se sincronizan para permitir que una mitad del rodillo gire más rápidamente o más despacio que la otra mitad del rodillo. Los rodillos divididos son útiles en aplicaciones donde se tienen que compactar áreas con radios reducidos, como cul-de-sacs.
<b>Rodillos Tándem</b>	En algunos compactadores articulados de doble rodillo, los rodillos se pueden descentrar para aumentar el ancho de cobertura más allá del ancho del rodillo estándar.

## - S -

<b>Scanner Infrarrojo</b>	Es un dispositivo manual que mide y muestra la temperatura de un punto en la superficie de la capa asfáltica.
<b>Segregación</b>	En el caso de la pavimentación con asfalto, la segregación se refiere a la tendencia a que se separen los agregados más gruesos de la mezcla bituminosa de las partículas más pequeñas y formen una masa o banda de agregados gruesos dentro de la capa de asfalto.
<b>Sistema de aspersión</b>	El sistema de aspersión ayuda para la distribución del agua en forma pareja sobre la superficie de los rodillos de acero del compactador.

### - T -

<b>Tablón de Inicio</b>	Los tablonos de inicio son tiras de metal o de madera colocadas debajo de la plancha de la pavimentadora antes de bajar la plancha en el punto donde se inicia el trabajo. El tablón debe ser del mismo grueso que el espesor de compactación de la capa de asfalto que va a tenderse.
<b>Temperatura de finalización</b>	La temperatura de finalización es la temperatura a la que la densidad llega al punto máximo. La temperatura de transición varía de acuerdo al diseño de la mezcla, pero como regla general, esa temperatura es de alrededor de 85 °C (185 °F).
<b>Temperatura del núcleo</b>	Temperatura del núcleo se refiere a la temperatura medida con una sonda que se introduce en el centro de la capa asfáltica. La temperatura interna o del centro siempre es más alta que la temperatura de la superficie y es el indicador real de la manejabilidad de una capa de asfalto.
<b>Traslape</b>	Traslape se refiere a la parte del rodillo que se extiende sobre la pasada adyacente terminada.

### - V -

<b>Vibración</b>	La vibración es una fuerza dinámica de compactación. La vibración ayuda a que los agregados dentro de la capa de asfalto se reorienten y entren en contacto más estrecho. La vibración ocurre cuando el peso excéntrico dentro del rodillo empieza a girar rápidamente.
<b>Viscosidad</b>	Viscosidad se refiere a la velocidad de flujo de un líquido a una temperatura dada. La viscosidad del cemento asfáltico que se utiliza en el material bituminoso es afectada por la temperatura y por los aditivos mezclados con el cemento asfáltico. En el caso de la compactación, entre más alta la viscosidad del cemento asfáltico, más difícil es el proceso de compactación.

### - Z -

<b>Zona Sensible</b>	La zona sensible es el rango de temperatura en que la capa asfáltica se hace maleable y se separa del rodillo en vez de consolidarse abajo del rodillo.
----------------------	---











CD54B CAT

**CATERPILLAR®**