

## Technical Paper T-123S

# ALISADO DEL PAVIMENTO

escrito por J. Don Brock, PhD., P.E. Astec Industries, Inc.

---

## INTRODUCCIÓN

Han tenido lugar muchos cambios en la industria de la pavimentación con asfalto durante las dos últimas décadas. Los camiones se han vuelto mucho más grandes mientras que los automóviles se han vuelto mucho más pequeños. Los gastos de mantenimiento y reparación de carreteras han disminuido considerablemente en proporción a las millas recorridas y como porcentaje del Producto Nacional Bruto. Sin embargo, los viajeros todavía evalúan la calidad de las carreteras sobre la base de su alisado. Para satisfacer las expectativas del público, los ingenieros viales deben desarrollar técnicas para construir más millas de carretera por menos dólares y construir carreteras que duren más.

El alisado y la densidad uniforme son las dos propiedades más importantes de la superficie de las carreteras para lograr durabilidad y satisfacer a los contribuyentes. Estas dos propiedades están estrechamente relacionadas. Este boletín técnico describe los beneficios que se pueden obtener en el mantenimiento de carreteras y la duración del pavimento como resultado de carreteras más lisas. Además, este boletín muestra los métodos mediante los cuales se pueden obtener carreteras más lisas.

## LAS CARRETERAS MÁS LISAS DURAN MÁS Y CUESTAN MENOS

A fines de 1988, Astec Industries contrató a Michael S. Janoff de JMJ Research en Newton, Pennsylvania, para que estudiara el efecto del alisado inicial sobre el rendimiento del pavimento a largo plazo. El Sr. Janoff presentó los resultados de sus hallazgos en la reunión anual de la NAPA que se celebró en enero de 1990, en su publicación titulada "The Effect Of Increased Pavement Smoothness On Long Term Pavement Performance & Annual Pavement Maintenance Cost".

Los resultados de los estudios del Sr. Janoff son los siguientes:

- 1) Los pavimentos con un mayor alisado inicial tienen niveles más bajos de aspereza en los 10 años siguientes a la construcción.
- 2) Los pavimentos con un mayor alisado inicial tienen niveles más bajos de agrietamiento en los 10 años siguientes a la construcción.
- 3) Los pavimentos con un mayor alisado inicial tienen costos anuales

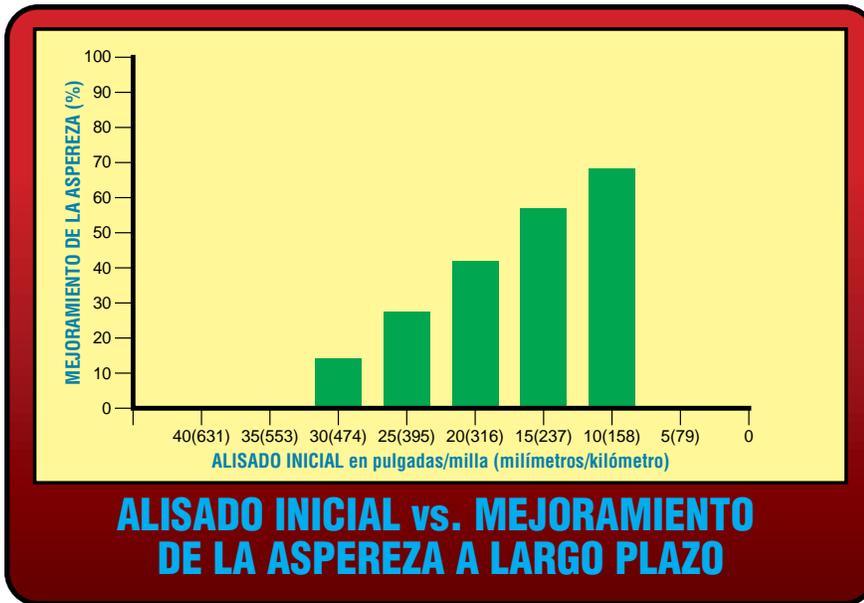


Figura 1

medios de mantenimiento más bajos en los 10 años siguientes a la construcción.

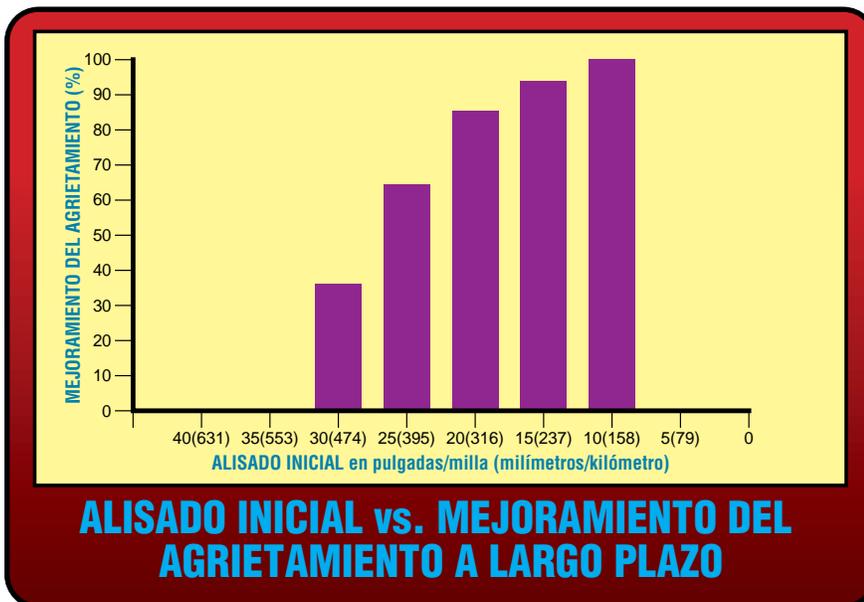


Figura 2

La Figura 1 ilustra la relación entre el alisado inicial del pavimento y la aspereza después de 10 años. La Figura 2 muestra la relación entre el alisado inicial del pavimento y el agrietamiento a largo plazo.

La Figura 3 ilustra la relación entre el alisado inicial del pavimento y el costo anual medio de mantenimiento, incluyendo una estimación conservadora “baja” y una estimación optimista “alta” del costo.

Los estudios fueron conducidos por el Estado de Arizona usando el medidor de Mays para determinar el alisado durante varios períodos. El pavimento construido con una desviación de 35 pulgadas por milla (una desviación de 552,5 milímetros por kilómetro) en comparación con uno construido en los siguientes 10 años y que

tenía una desviación de 10 pulgadas por milla (una desviación de 157,9 milímetros por kilómetro) mostró lo siguiente: el nivel de aspereza es 67% mayor; el agrietamiento a largo plazo es 100% mayor; el mantenimiento es aproximadamente US\$900 por milla de carril (US\$559,35 por kilómetro de carril) por año mayor.

La Figura 4, la Figura 5 y la Figura 6 ilustran los cambios en la aspereza, el agrietamiento y el costo anual medio de mantenimiento si el alisado inicial se reduce en incrementos de 5 pulgadas por milla (78,9 milímetros por kilómetro). A medida que se aumenta el alisado inicial de 35 pulgadas por milla (552,5 milímetros por kilómetro), se puede ver fácilmente (Figura 4 y Figura 5) que tanto la aspereza como el agrietamiento se reducen en los últimos años. Sin embargo, lo más importante es que el costo anual medio de mantenimiento ilustrado en la Figura 6 disminuye significativamente, a medida que aumenta el alisado inicial del pavimento. Los ahorros en los costos anuales de mantenimiento son conservadoramente “bajos”, estimándoseles en US\$125 por milla de carril (US\$77,69 por kilómetro de carril) por cada aumento de 5 pulgadas por milla (78,9 milímetros por kilómetro) en el alisado del pavimento desde 35 pulgadas por milla (552,5 milímetros por kilómetro). Un mejoramiento desde 35 pulgadas hasta 10 pulgadas por milla (552,5 milímetros hasta 157,9 milímetros por kilómetro) resultaría en un ahorro de US\$600 por milla de carril (US\$372,90 por kilómetro de carril) por año. Una estimación optimista “alta” aumentaría los ahorros incrementales desde US\$125 por milla de carril (US\$77,69 por kilómetro de carril) hasta aproximadamente US\$400 (US\$248,60) y hasta US\$1.200 por milla de carril (US\$745,80 por kilómetro de carril) cuando se aumenta el alisado hasta 10 pulgadas por milla (157,9 milímetros por kilómetro). Los ahorros medios correspondientes al mejoramiento desde 35 pulgadas hasta 10 pulgadas (552,5 milímetros hasta 157,9 milímetros) serían US\$900 por milla de carril (US\$559,35 por kilómetro de carril).

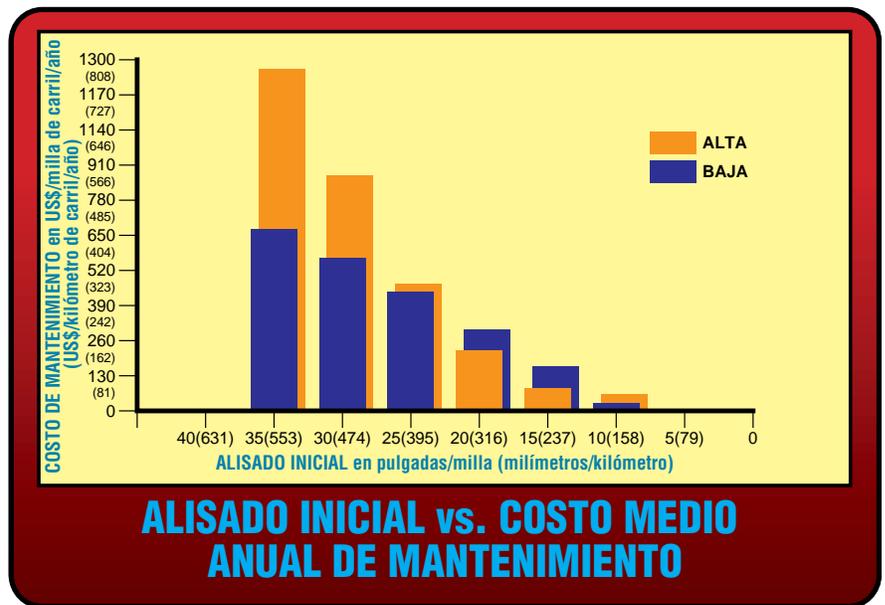


Figura 3

Figura 4

ALISADO INICIAL pulgadas/milla (milímetros/kilómetro)	ASPEREZA A LARGO PLAZO pulgadas/milla (milímetros/kilómetro)	MEJORAMIENTO (%)
35 (553)	41 (647)	0
30 (474)	35 (553)	13
25 (395)	30 (474)	27
20 (316)	24 (379)	40
15 (237)	19 (300)	54
10 (158)	13 (205)	67

**ALISADO INICIAL vs. ASPEREZA A LARGO PLAZO**

Figura 5

ALISADO INICIAL pulgadas/milla (milímetros/kilómetro)	AGRIETAMIENTO A LARGO PLAZO pulgadas/milla (milímetros/kilómetro)	MEJORAMIENTO (%)
35 (553)	26 (410)	0
30 (474)	17 (268)	35
25 (395)	9,5 (150)	63
20 (316)	4 (63)	85
15 (237)	1 (16)	96
10 (158)	0	100

**ALISADO INICIAL vs. AGRIETAMIENTO A LARGO PLAZO**

Figura 6

ALISADO INICIAL pulgadas/milla (milímetros/kilómetro)	COSTO MEDIO US\$/milla de carril US\$/kilómetro de carril)	AHORROS US\$/milla de carril (US\$/kilómetro de carril)
35 (553)	949 (590)	0
30 (474)	670 (416)	280 (174)
25 (395)	440 (273)	509 (316)
20 (316)	261 (162)	689 (428)
15 (237)	131 (81)	818 (508)
10 (158)	52 (32)	898 (558)

**ALISADO INICIAL vs. COSTO MEDIO ANUAL DE MANTENIMIENTO**

---

Desde el punto de vista de los beneficios relacionados con los costos, las agencias encargadas de las carreteras pueden darse el lujo de incurrir en costos adicionales considerables por milla (kilómetro) de carril para construir carreteras más lisas, con la seguridad de que estos costos se recuperarán gracias a los ahorros en los costos anuales de mantenimiento. Las cifras relacionadas con estos beneficios dependen de la elección del alisado inicial, la elección de las estimaciones de los ahorros relacionados con los costos y el aumento del alisado inicial.

Para convertir las lecturas del medidor de Mays que aparecen en el ensayo de Janoff en una lectura perfilográfica aproximada de 25 pies (7,6 metros), divida las lecturas del medidor de Mays entre 4. Por ejemplo, una lectura de 35 del medidor de Mays equivale aproximadamente a una lectura perfilográfica de 9. Y una lectura de 10 del medidor de Mays equivale aproximadamente a una lectura perfilográfica de 2-1/2.

Para obtener una mejor perspectiva de los ahorros en el mantenimiento, considere los ahorros durante un período de 10 años. Los ahorros alcanzan en promedio US\$9.000 por milla de carril (US\$5.593,54 por kilómetro de carril). Además, se espera que la carretera dure aproximadamente cuatro años más. Si se hubiera contratado una capa superpuesta de 2 pulgadas (50,8 milímetros) en un carril de 12 pies (3,7 metros) de ancho en 1989, el costo medio hubiera sido US\$19.000,00. Si esta capa superpuesta hubiera durado 14 años en vez de 10 años, se hubiera obtenido un ahorro de US\$12.600 en el mantenimiento durante el período de 14 años y se hubiera obtenido un ahorro adicional de US\$7.800 gracias a los 4 años adicionales de duración de la capa superpuesta. Esto resulta en un ahorro total de US\$20.400,00 por milla (US\$12.678,68 por kilómetro), lo que excede el costo de la capa superpuesta. El valor actual de esta cantidad de dinero sería aproximadamente US\$12.750,00, lo que resulta en un ahorro inmediato de 67% del costo inicial del trabajo para la agencia que proporciona las especificaciones. Obviamente, como se puede ver a partir de estos datos, una prima de 5% para un aumento del alisado (desde una lectura de 35 hasta una lectura de 10 en el medidor de Mays) (o una lectura perfilográfica de 7-10 hasta 3) sería una ganga.

## PRINCIPIOS DE LA PAVIMENTACIÓN

Como se puede ver en los ejemplos de los párrafos anteriores, si se puede construir una carretera más lisa ciertamente durará más, costará menos mantenerla y resultará, además, en un menor mantenimiento de los automóviles y camiones que viajen por la carretera.

Obviamente, un perfil superficial más áspero provoca fuerzas dinámicas

más grandes en las ruedas, las que a su vez aceleran el deterioro de la carretera. Los ejes en tándem saltantes de los camiones pueden imponer más del doble de la carga de los ejes estáticos. Obviamente, es económicamente beneficioso construir una carretera más lisa, pero ¿cómo lo logramos?

Para comprender cómo construir una carretera más lisa, debemos considerar primero los principios básicos de la pavimentación. Cuando el pavimento asfáltico se mezcla, tiene una densidad inicial de aproximadamente 76%. Cuando se coloca en la carretera,

tiene que ser comprimido o compactado hasta que llegue aproximadamente al 96% (generalmente entre un 3% y un 5% de burbujas de aire, dependiendo de los requisitos de la agencia que proporciona las especificaciones) (Figura 7).



Figura 7



Figura 8

Una regla empírica aproximada muestra que la mezcla se debe colocar inicialmente con un espesor equivalente a 1,25 veces el espesor deseado de la capa terminada. En otras palabras, una capa de 2 pulgadas (50,8 milímetros) requerirá que se extiendan 2-1/2 pulgadas (63,5 milímetros) de mezcla sobre la carretera y que se compacte o comprima la misma luego hasta alcanzar 2 pulgadas (50,8 milímetros). La Figura 8 muestra la cantidad de compresión que se debe aplicar a diferentes espesores de mezcla.

La Figura 9 muestra la relación entre el espesor y la densidad de la capa. La empa-rejadura vibratoria que compacta inicialmente la mezcla detrás de la pavimentadora será responsable de aproximadamente el 25% de la compresión de la capa. En otras palabras, en el caso de una capa de 2 pulgadas (50,8 milímetros), la emparejadura compactará normalmente la mezcla desde 2,53 pulgadas (64,3 milímetros) hasta aproximadamente 2,34 pulgadas (59,4 milímetros) o una densidad del 82%.

<b>DENSIDAD</b>	<b>96% FINAL</b>	<b>1,00 (25,4)</b>	<b>2,00 (50,8)</b>	<b>3,00 (76,2)</b>	<b>4,00 (101,6)</b>	<b>5,00 (127,0)</b>
	<b>94%</b>	<b>1,02 (25,9)</b>	<b>2,04 (51,8)</b>	<b>3,06 (77,7)</b>	<b>4,08 (103,6)</b>	<b>5,10 (129,5)</b>
	<b>92%</b>	<b>1,04 (26,4)</b>	<b>2,08 (52,8)</b>	<b>3,13 (79,5)</b>	<b>4,14 (105,2)</b>	<b>5,22 (132,6)</b>
	<b>90%</b>	<b>1,07 (27,2)</b>	<b>2,13 (54,1)</b>	<b>3,20 (81,3)</b>	<b>4,27 (108,5)</b>	<b>5,33 (135,4)</b>
	<b>88%</b>	<b>1,09 (27,7)</b>	<b>2,18 (55,4)</b>	<b>3,26 (82,8)</b>	<b>4,36 (110,7)</b>	<b>5,45 (138,4)</b>
	<b>86%</b>	<b>1,11 (28,2)</b>	<b>2,23 (56,6)</b>	<b>3,35 (85,1)</b>	<b>4,46 (113,3)</b>	<b>5,58 (141,7)</b>
	<b>84%</b>	<b>1,14 (29,0)</b>	<b>2,28 (57,9)</b>	<b>3,43 (87,1)</b>	<b>4,57 (116,1)</b>	<b>5,71 (145,0)</b>
	<b>82%</b>	<b>1,17 (29,7)</b>	<b>2,34 (59,4)</b>	<b>3,51 (89,2)</b>	<b>4,68 (118,9)</b>	<b>5,84 (148,3)</b>
	<b>80%</b>	<b>1,20 (30,5)</b>	<b>2,40 (61,0)</b>	<b>3,60 (91,4)</b>	<b>4,80 (121,9)</b>	<b>6,00 (152,4)</b>
	<b>78%</b>	<b>1,23 (31,2)</b>	<b>2,46 (62,5)</b>	<b>3,69 (93,7)</b>	<b>4,92 (125,0)</b>	<b>6,15 (156,2)</b>
	<b>76% INICIAL</b>	<b>1,26 (32,0)</b>	<b>2,53 (64,3)</b>	<b>3,79 (96,3)</b>	<b>5,05 (128,3)</b>	<b>6,31 (160,3)</b>

Densidad en masa – 110 libras/pie cúbico (1.762 Kilogramos/metro cúbico) Compresión de la capa “h” pulgadas (milímetros) Densidad final – 140 libras/pie cúbico (2.243 Kilogramos/metro cúbico) @ Densidad de 100% 146 libras/pie cúbico (2.339 Kilogramos/metro cúbico)

**ESPEJOR DE LA CAPA “h” PULGADAS (Milímetros)**  
**ESPEJOR DE LA CAPA**  
**(A varios grados de compactación.)**

**Figura 9**

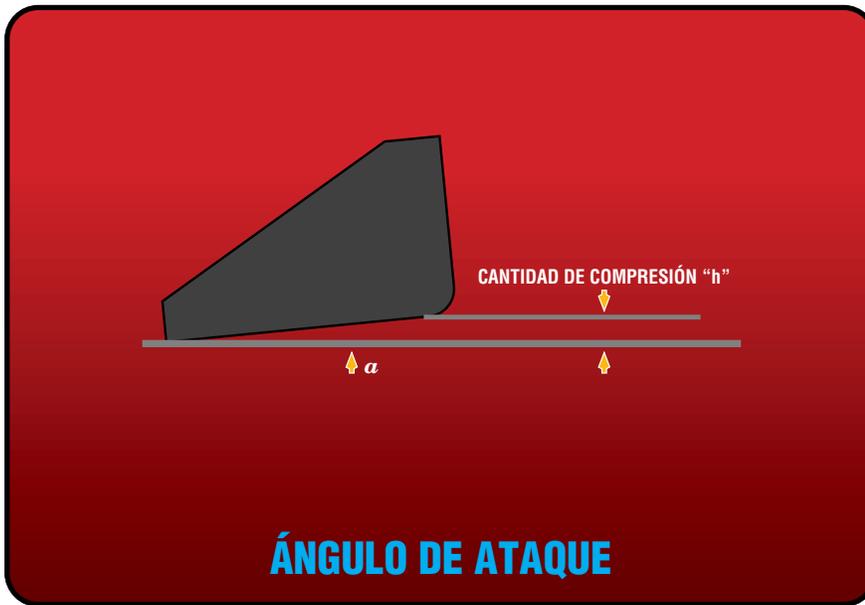


Figura 10

Esto ocurre como resultado de una combinación de extrusión y vibración provenientes de la parte inferior de la emparejadora, como se muestra en la Figura 10. La compactación final se logra entonces gracias a una o más aplanadoras que operan conforme a un patrón determinado generalmente por una franja de prueba al comienzo del trabajo.

Como se muestra en la Figura 11, si se coloca una sola colada de mezcla sobre una superficie irregular, se genera un espesor variable entre la superficie enrasada y la base subyacente. Como se muestra en la Figura 12, la superficie de la primera colada reducirá la irregularidad a aproximadamente 70,7% gracias al enrasamiento con la emparejadora. Se requieren coladas adicionales, generalmente dos, para obtener un alisado razonable. Este principio fundamental de la práctica de la pavimentación no se debe pasar por alto cuando el alisado es un criterio de la calidad, debido a que el diseño del pavimento debe permitir que se logre el alisado.



Figura 11

Los baches son uno de los principales problemas de las carreteras de los Estados Unidos. Como se muestra en la Figura 13, se requiere más mezcla en el área de los baches. La Figura 9 muestra el espesor de la capa a varios niveles de compactación, desde el momento en el que la mezcla se coloca inicialmente en la carretera hasta la compactación final. Esta figura puede ser muy útil para analizar muchos de los problemas relacionados con los baches que han ocurrido durante los últimos años.

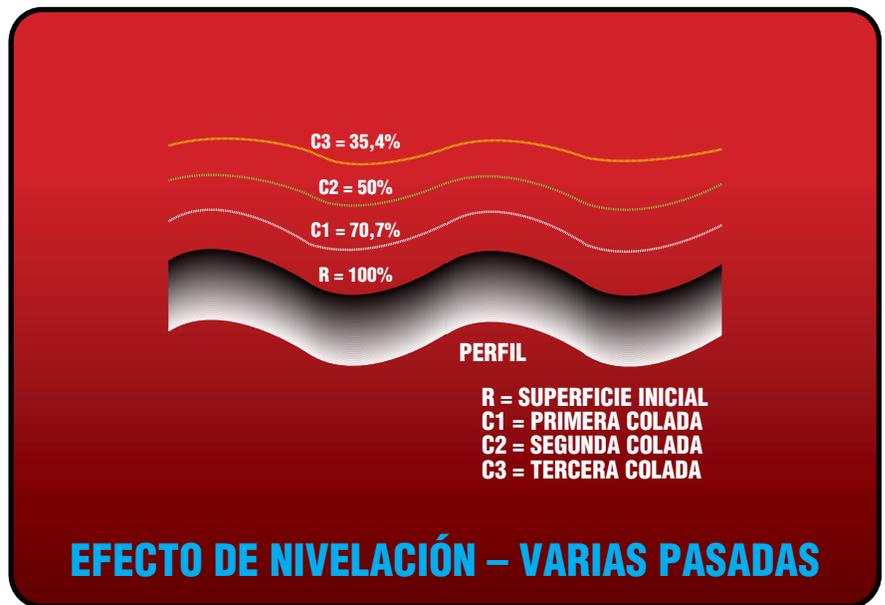


Figura 12

Si una carretera tiene baches con una profundidad de 1 pulgada (25,4 milímetros) y se le coloca una capa superpuesta de 2 pulgadas (50,8 milímetros) con una sola colada, usted observará que colocaríamos 2,53 pulgadas (64,3 milímetros) en el borde anterior de la emparejadora. En el área de los baches colocaríamos 3,53 pulgadas (89,7 milímetros). Como se muestra en la Figura 9, para obtener una capa superpuesta con un espesor de 3 pulgadas (76,2 milímetros) tenemos que colocar inicialmente 3,79 pulgadas (96,3 milímetros) de mezcla en el área de los baches. En realidad sólo colocamos 3,53 pulgadas (89,7 milímetros). En otras palabras, nos faltan 0,26 pulgadas (6,6 milímetros). Si consultamos el gráfico correspondiente a 3 pulgadas y bajamos hasta 3,27 pulgadas (83,1 milímetros), descubriremos que la densidad en el bache sería 88%. Las densidades resultantes a través de la carretera se muestran en la Figura 14.

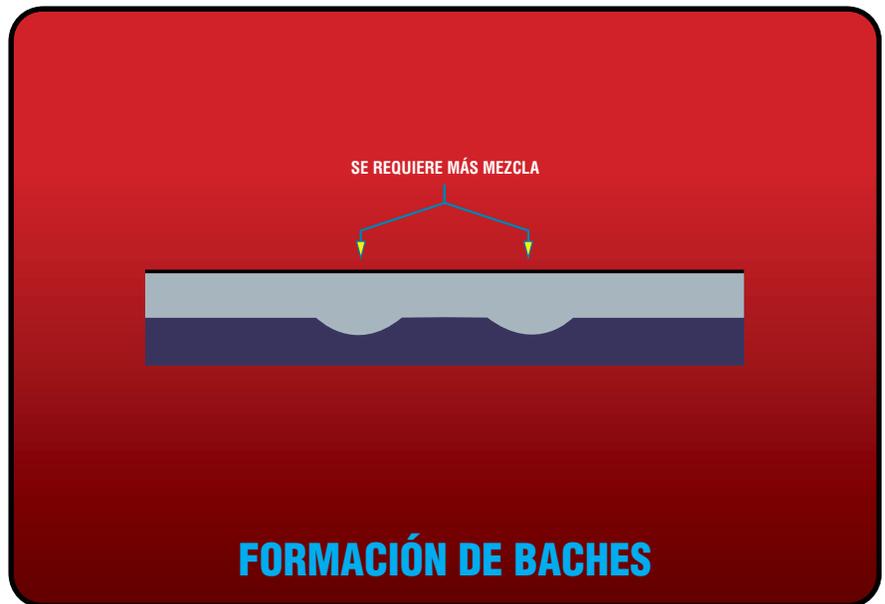


Figura 13



Figura 14

La Figura 15 muestra una curva de densidad correspondiente a un carril de pavimento asfáltico recién colocado sobre una carretera con baches. Observe que la densidad en los baches es muy baja mientras que la densidad en el centro del carril es muy alta donde está contenida la mezcla. Observe también que después de 30 días la densidad es uniforme a través de toda la carretera. El tránsito aumenta la densidad de la mezcla, pero al hacerlo vuelve a crear baches en la carretera. El tránsito aumenta la densidad mientras la mezcla está fría y conducirá probablemente al agrietamiento en los baches. El agrietamiento permite que el agua entre a la mezcla y conduce, por lo tanto, a la pérdida de la capa y a la destrucción del pavimento en las áreas en las que se produce un ciclo congelación-descongelación.

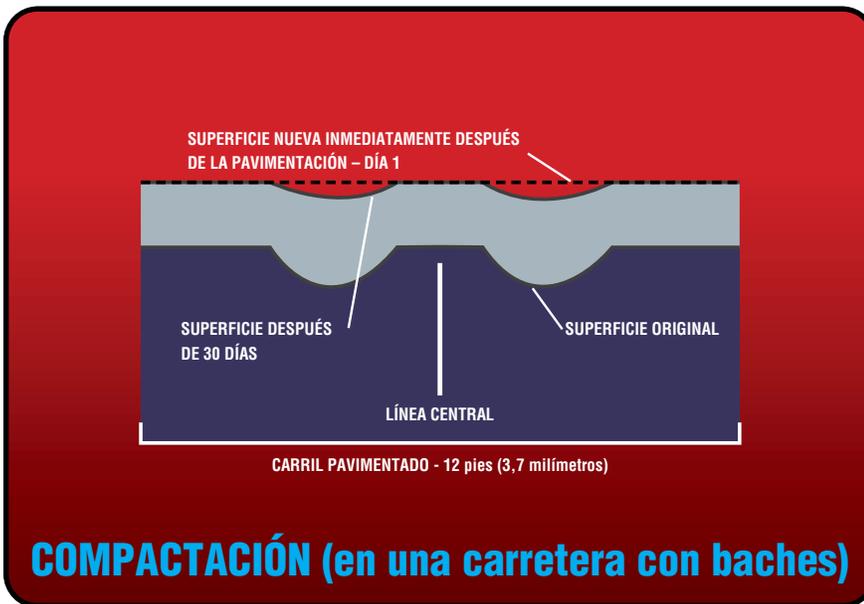


Figura 15

Se han gastado millones y millones de dólares para añadir aditivos tales como cal y compuestos adhesivos a la mezcla, mientras en muchos casos el problema fundamental era la falta de una densidad uniforme en las áreas de los baches. Aunque la colocación de una capa ranurada puede ser útil para llenar las áreas de los baches, es mejor rectificar la superficie hasta aplanarla (Figura 16). La superficie rectificada proporciona un plano sobre el cual colocar la mezcla, lo que resulta en una capa uniforme a través del pavimento. La superficie rectificada proporciona también una textura que crea una adherencia superior entre el asfalto viejo y el nuevo.



**Figura 16**

Cuando se colocan capas superpuestas en carreteras secundarias que son una combinación de una capa de cascajo, capas delgadas de mezcla caliente, una capa final, etc., un método a menudo útil y económico para reperfilado y estabilizar la base es el reciclaje en frío en el lugar (Figura 17). Estas grandes máquinas de reciclaje rectifican hasta 6 pulgadas (152,4 milímetros) de material. Miden, pesan, combinan y mezclan el material con rejuvenecedor. Luego colocan una capa de mezcla con un espesor uniforme sobre la carretera. Luego se puede superponer sobre este material una capa de mezcla superficial con un espesor entre 1-1/2 pulgadas (38,1 milímetros) y 2 pulgadas (50,8 milímetros), lo que resulta en una base muy uniforme y una superficie final uniforme. Como se expuso en los párrafos anteriores, para construir una carretera con una superficie lisa y durable, debemos comenzar primero con una superficie plana y lisa antes de colocar la capa superpuesta.



**Figura 17**

## ESPECIFICACIONES RELACIONADAS CON EL ALISADO

La Figura 18 muestra las nuevas especificaciones de la ASSHTO en las que se listan desincentivos para los pavimentos ásperos. La Figura 19 muestra las nuevas especificaciones de la ASSHTO con los incentivos y desincentivos. Aproximadamente 24 estados tienen actualmente especificaciones relacionadas con el alisado, pero sólo ocho de estos estados tienen especificaciones relacionadas con pavimentos asfálticos mezclados en caliente. Cada año más estados añaden especificaciones relacionadas con el alisado para el asfalto mezclado en caliente. Las

entidades que proporcionan las especificaciones están pagando incentivos para pavimentos más lisos y evaluando las sanciones para los pavimentos que no cumplan con las normas.

El Anexo B muestra las especificaciones propuestas de la NAPA, en las que se adoptan básicamente las especificaciones de la ASSHTO con ciertas adiciones precautorias.

Ajuste del precio unitario del contrato de acuerdo con el Índice del Perfil Pulgadas por milla por sección de 0,1 millas (Milímetros por kilómetro por sección de 0,16 kilómetros)	% del precio unitario de oferta del pavimento
Menos de 10 (157,9)	100
Entre 10 y 11 (157,9 a 173,6)	98
Entre 11 y 12 (173,6 a 189,4)	96
Entre 12 y 13 (189,4 a 205,2)	94
Entre 13 y 14 (205,2 a 221,0)	92
Entre 14 y 15 (221,0 a 236,8)	90
Más de 15 (236,8)	Se requiere trabajo correctivo

**ESPECIFICACIONES DE LA ASSHTO RELACIONADAS CON EL ALISADO**

Figura 18

Índice del Perfil Pulgadas por milla por sección de 0,1 millas (Milímetros por kilómetro por sección de 0,16 kilómetros)	Ajuste del precio unitario del contrato % del precio unitario de oferta del pavimento
3 o menos (47,4 o menos)	105
Entre 3 y 4 (47,4 a 63,1)	104
Entre 4 y 5 (63,1 a 78,9)	103
Entre 5 y 6 (78,9 a 94,7)	102
Entre 6 y 7 (94,7 a 110,5)	101
Entre 7 y 10 (110,5 a 157,9)	100
Entre 10 y 11 (157,9 a 173,6)	98
Entre 11 y 12 (173,6 a 189,4)	96
Entre 12 y 13 (189,4 a 205,2)	94
Entre 13 y 14 (205,2 a 221,0)	92
Entre 14 y 15 (221,0 a 236,8)	90
Más de 15 (236,8)	Se requiere trabajo correctivo

**ESPECIFICACIONES DE LA NAPA RELACIONADAS CON EL ALISADO**

Figura 19

## PRINCIPIOS RELACIONADOS CON EL PAVIMENTO LISO

Los principios relacionados con la colocación de un pavimento liso no han cambiado en los últimos cuarenta años. Las primeras mezcladoras pavimentadoras (Figura 20) tenían que operarse con el mismo cuidado que las máquinas nuevas y más modernas de la actualidad (Figura 21).

Los equipos más nuevos y modernos son más productivos, tienen controles automáticos y transmisiones hidráulicas. El equipo es mucho más fácil de operar que las máquinas del pasado. Sin embargo, los principios básicos todavía son aplicables. Estos principios son los siguientes:

1) Mantenga un flujo constante de mezcla caliente frente a la emparejadora. Para esto se requiere que las barrenas funcionen constantemente. Esto se puede hacer ya sea ajustando las compuertas del túnel de manera que las cadenas de los alimentadores y las barrenas puedan funcionar constantemente o variando la velocidad de los alimentadores y las barrenas. Un aumento del flujo de material delante de la emparejadora hará que la misma suba. Una disminución hará que la emparejadora baje (Figura 22).

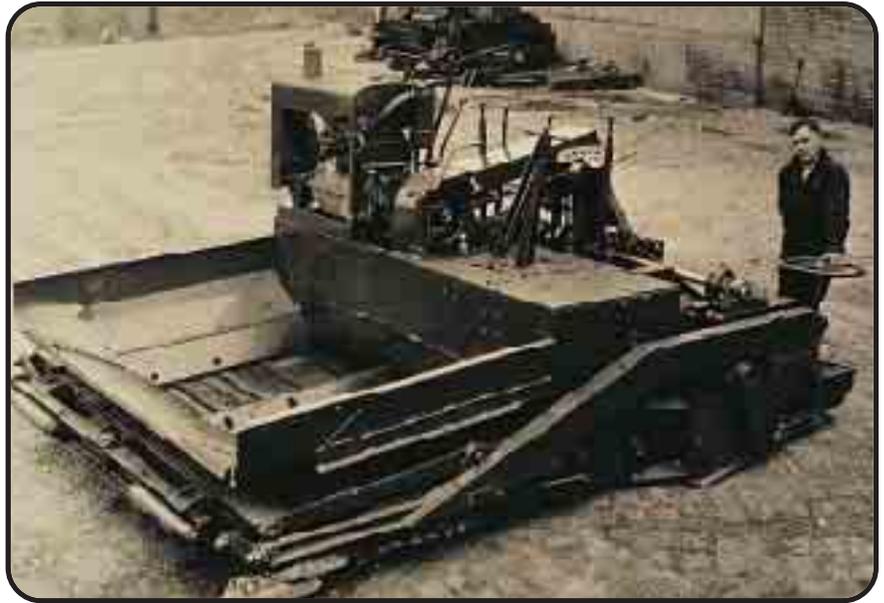


Figura 20



Figura 21



Figura 22

2) No deje que los camiones choquen con la pavimentadora. Haga que los camiones se sigan moviendo mientras descargan. Esto es muy difícil y a veces imposible de lograr cuando se usan camiones grandes y conductores inexpertos. Aunque las emparejadoras flotan y pueden soportar cierto movimiento de la pavimentadora sin dañarse, es mucho más seguro hacer

que la pavimentadora siga funcionando mientras los camiones descargan.

3) ¡No detenga la pavimentadora! Aunque se hayan desarrollado varias razones teóricas para justificar el asentamiento de la emparejadora en la capa cuando la pavimentadora se detiene, la variable más importante es el cambio de la fuerza (Fuerza M, Figura 23) del material sobre la vertedora de la emparejadora.

Desde luego, la única razón lógica para detener la pavimentadora es la falta de material en la cámara del transportador de tornillo sin fin. Debido a que la pavimentadora es entonces recargada mientras está detenida, la fuerza del material aumenta desde su nivel anterior y hace que la emparejadora suba a una nueva elevación hasta que se logra un equilibrio de fuerzas. Para volver a lograr la estabilidad se requerirá gradualmente una longitud equivalente a cuatro veces la longitud de los brazos niveladores, o aproximadamente cuarenta pies, como se muestra en la Figura 24. El resultado será una protuberancia, seguida por una larga pendiente descendente.



Figura 23

transportador de tornillo sin fin. Debido a que la pavimentadora es entonces recargada mientras está detenida, la fuerza del material aumenta desde su nivel anterior y hace que la emparejadora suba a una nueva elevación hasta que se logra un equilibrio de fuerzas. Para volver a lograr la estabilidad se requerirá gradualmente una longitud equivalente a cuatro veces la longitud de los brazos niveladores, o aproximadamente cuarenta pies, como se muestra en la Figura 24.

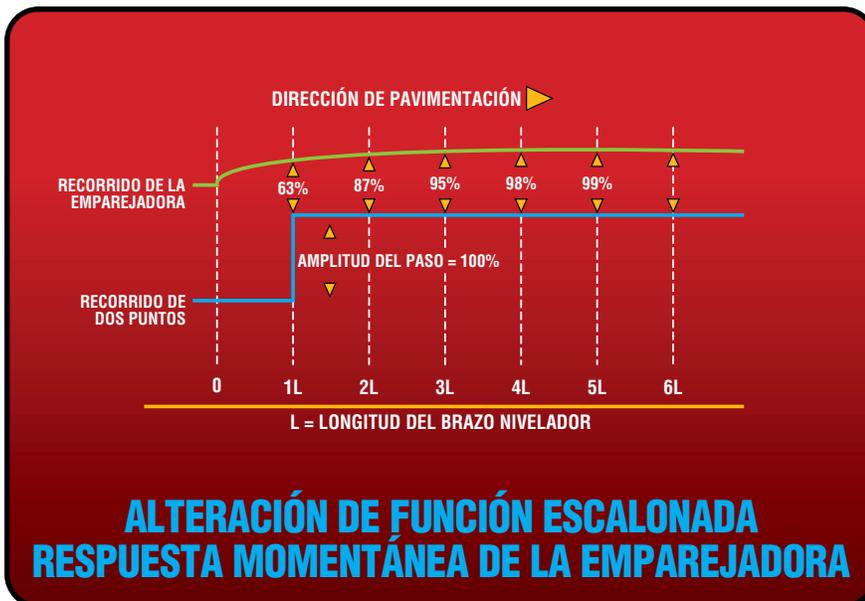


Figura 24

4) Haga las juntas transversales de manera apropiada. Consulte la información de la Figura 9, en la que se muestra una capa de 2 pulgadas (50,8 milímetros) y la parte posterior de una emparejadora que produce una densidad de 82%. La cantidad que falta por compactar es 0,34 pulgadas (8,6 milímetros). Esto indica básicamente que usted necesita planchas de relleno con un espesor de 3/8 pulgadas (9,5 milímetros) bajo la parte posterior de la emparejadora. El ángulo de ataque de la emparejadora se debe levantar entonces hasta que el borde anterior se encuentre a 2,56 pulgadas (65,0 milímetros), como se muestra en la Figura 25. Usando la información de la Figura 9, se puede ajustar la emparejadora apropiadamente para cualquier espesor.

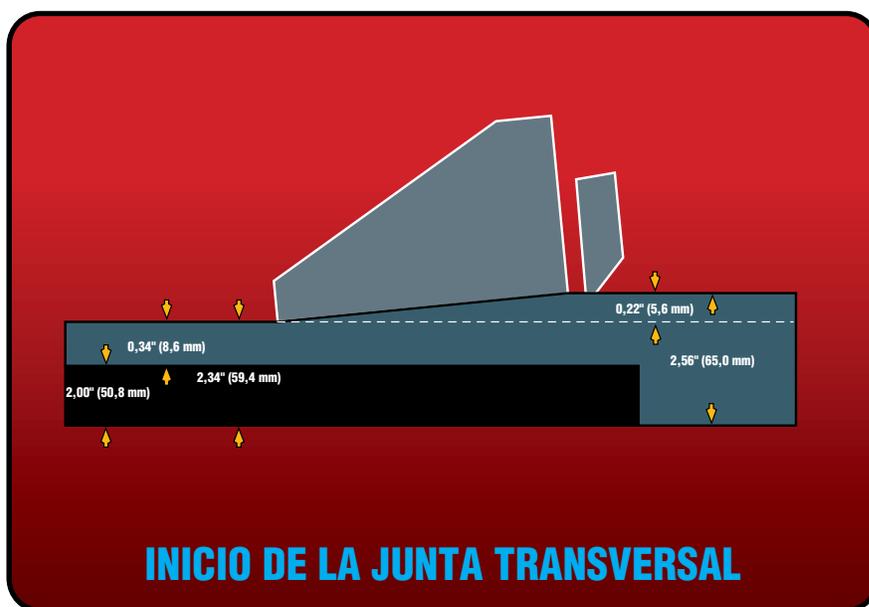


Figura 25

5) Antes que nada, para obtener un pavimento liso se requiere una mezcla uniforme. La mezcla debe ser un compuesto uniforme y no debe estar separada. Se debe tener cuidado durante toda la operación para que no ocurra la separación en ningún momento. La mezcla se debe entregar en la obra a una temperatura constante. Las variaciones en la consistencia, temperatura y separación de la mezcla producirán un pavimento áspero.

Un pavimento liso es un pavimento de calidad. Para obtener un pavimento liso la pavimentadora debe funcionar continuamente. El 90% de todos los problemas se elimina si la pavimentadora funciona a una velocidad constante.

## NUEVA TECNOLOGÍA

Es fácil decir: haga que la pavimentadora siga funcionando, no deje que los camiones choquen con ella, mantenga un flujo constante de material, etc. Sin embargo, en el mundo real los camiones son grandes. Cuando descargan, golpean árboles y pasos superiores. Los conductores de los camiones no son tan hábiles como antes. A las cuadrillas inexpertas les gusta vaciar el camión rápidamente y detener la pavimentadora. Durante los últimos dos años se han desarrollado varios nuevos productos que

tienen a hacer que la operación de pavimentación sea menos delicada. Estos productos se describen en los siguientes párrafos:

1) Máquina de carga de material para camellones:

La Figura 26 muestra un accesorio de carga de material para camellones, un diseño que ha existido por muchos años. Con este accesorio se puede mantener una gran capacidad de compensación delante de la pavimentadora, lo que permite que la misma funcione a una velocidad constante o uniforme. La desventaja de este método es que el material para camellones se debe medir con exactitud a medida que se coloca sobre el suelo. Esto es necesario para impedir las variaciones en el flujo de material que pasa por la pavimentadora y frente a la emparedadora debido a una limitada capacidad de compensación de la pavimentadora.

Al integrar el dispositivo de carga a la pavimentadora se encuentra disponible una mayor capacidad de compensación. Esta mayor capacidad puede compensar las variaciones en la sección transversal de los camellones y permitir que la pavimentadora funcione a una velocidad constante. Las barrenas que se encuentran en la parte exterior del dispositivo de carga permiten la colocación de camellones dobles o una colocación menos exacta de los mismos (Figura 27).



**Figura 26**



**Figura 27**

La Figura 27 muestra un accesorio de carga de material para camellones, un diseño que ha existido por muchos años. Con este accesorio se puede mantener una gran capacidad de compensación delante de la pavimentadora, lo que permite que la misma funcione a una velocidad constante o uniforme. La desventaja de este método es que el material para camellones se debe medir con exactitud a medida que se coloca sobre el suelo. Esto es necesario para impedir las variaciones en el flujo de material que pasa por la pavimentadora y frente a la emparedadora debido a una limitada capacidad de compensación de la pavimentadora.

2) Pavimentadora con vertedero para camiones incorporado (Figura 28): Esta máquina es la misma que la que se mencionó arriba, pero tiene un vertedero para camiones que permite que los mismos vacíen su carga en la máquina a una velocidad muy alta de 1.200 – 1.500 TPH (1.089 – 1.361 toneladas métricas por hora). Con una capacidad de compensación de 25 toneladas (27,7 toneladas métricas), los camiones se pueden descargar rápidamente sin hacer que la pavimentadora funcione a velocidades muy altas. Esto permite el funcionamiento continuo de la pavimentadora y la descarga rápida que antes requería el funcionamiento a altas velocidades y luego la detención de la pavimentadora.

Se puede colocar un vertedero para camiones o un dispositivo de carga de material para camellones en la parte anterior de la pavimentadora con vertedero integrado, según se desee.

3) Vehículo para la transferencia de material (Shuttle Buggy®) (Figura 29):

En los últimos seis años se desarrolló un vehículo separado e independiente. El mismo permite que un camión descargue muy rápidamente. Almacena hasta 25 toneladas (22,7 toneladas métricas) de mezcla, la transporta y la transfiere a la pavimentadora.

Esta máquina permitirá que los camiones descarguen a una velocidad de 1.000 TPH (907 toneladas métricas por hora). La



Figura 28



Figura 29



Figura 30



**Figura 31**

lo tanto, los tornillos que se encuentran en la parte inferior del depósito de compensación actúan como tornillos de remezclado, mezclando el material desde seis puntos y eliminando cualquier separación que pueda haber ocurrido durante la carga o descarga del camión. El transportador posterior puede alimentar entonces la mezcla a la pavimentadora a una velocidad de 600 TPH (544 toneladas métricas por hora).

misma transfiere la mezcla a una tolva de almacenamiento de 25 toneladas (22,7 toneladas métricas). La parte inferior de la tolva de almacenamiento tiene dos barrenas que cambian el paso tres veces. Las barrenas empujan la mezcla caliente hacia un transportador central de descarga que transporta la mezcla por la parte posterior de la máquina a un tercer transportador giratorio (Figura 30). Cuando el paso aumenta en cada una de las barrenas, el mismo actúa como una compuerta, recibiendo una cantidad adicional de mezcla. Por

Se puede instalar una guarnición de 20 toneladas (18,1 toneladas métricas) en la tolva de la pavimentadora. El Shuttle Buggy puede llenar la tolva descargando el material por el transportador posterior. Esto permite que la pavimentadora funcione continuamente sin detenerse o hacer contacto con un camión (Figura 31).

VELOCIDAD DE LA PAVIMENTADORA PIES POR MINUTO (metros por minuto)	ESPESOR DE LA CAPA – PULGADAS (MILÍMETROS)							
	1 (25,4)	2 (50,8)	3 (76,2)	4 (101,6)	5 (127,0)	6 (152,4)	7 (177,8)	8 (203,2)
10 (3,0)	42 (38)	84 (76)	126 (114)	165 (150)	210 (191)	252 (229)	294 (267)	336 (305)
15 (4,6)	63 (57)	126 (114)	189 (171)	252 (229)	315 (286)	378 (343)	441 (400)	504 (457)
20 (6,1)	84 (76)	168 (152)	252 (229)	336 (305)	420 (381)	504 (457)	588 (533)	672 (610)
25 (7,6)	105 (95)	210 (191)	315 (286)	420 (381)	525 (476)	630 (572)	-	-
30 (9,1)	126 (114)	252 (229)	378 (343)	504 (457)	630 (572)	-	-	-
35 (10,7)	147 (133)	294 (267)	441 (400)	588 (533)	-	-	-	-
40 (12,2)	168 (152)	336 (305)	504 (457)	672 (610)	-	-	-	-
45 (13,7)	189 (171)	378 (343)	567 (514)	756 (686)	-	-	-	-
50 (15,2)	210 (191)	420 (381)	630 (572)	-	-	-	-	-
55 (16,8)	231 (210)	462 (419)	693 (629)	-	-	-	-	-
60 (18,3)	252 (229)	504 (457)	756 (686)	-	-	-	-	-
65 (19,8)	273 (248)	546 (495)	819 (743)	-	-	-	-	-
70 (21,3)	294 (267)	588 (533)	-	-	-	-	-	-
75 (22,9)	315 (286)	630 (572)	-	-	-	-	-	-
80 (24,4)	336 (305)	672 (610)	-	-	-	-	-	-

Basado en un carril con una anchura de 12 pies (3,7 metros) – Mezcla compactada a 140 libras/pie cúbico (2.243 Kilogramos/metro cúbico)

**VELOCIDAD DE LA PAVIMENTADORA vs. TONELADAS POR HORA (TONELADAS MÉTRICAS POR HORA) Y ESPESOR DE LA CAPA**

**Figura 32**

capacidad total de compensación de 45 toneladas (40,8 toneladas métricas). La Figura 32 muestra la velocidad constante a la que tendría que funcionar una pavimentadora para varias toneladas por hora.

Como se puede ver, si funciona continuamente con una capacidad de estación de 300 TPH (272 toneladas métricas por hora), la pavimentadora sólo funciona a 35 PPM (10,7 m/min.) cuando está colocando una capa con una anchura de 12 pies (3,7 metros) y con un espesor de 2 pulgadas (50,8

milímetros). El Shuttle Buggy permite que los camiones descarguen sin moverse.

Por lo tanto, el camión puede escoger un punto apropiado para detenerse y descargar.

En las obras urbanas, donde hay muchos cables aéreos, árboles y pasos superiores, el Shuttle Buggy permite usar remolques en áreas donde no se los podía usar anteriormente (Figura 33).

Por lo tanto, la disponibilidad de cargas útiles mayores reduce significativamente el número de camiones requerido para transportar la mezcla a una obra dada.

Con el funcionamiento continuo de una pavimentadora con el Shuttle Buggy, se han obtenido niveles muy altos de alisado. En una obra en particular en Tennessee, en la que se usó un medidor de Mays para determinar el alisado, una cuadrilla que usó el método normal en el que los camiones descargaban directamente en la pavimentadora obtuvo una desviación media de 29 pulgadas por milla (457,8 milímetros de desviación por kilómetro) en dos días de trabajo. Después de añadir el Shuttle Buggy, la misma cuadrilla, bajo las mismas condiciones, obtuvo un promedio para el resto de la obra de 12 pulgadas por milla (189,4 milímetros por kilómetro) de acuerdo con el medidor de Mays.

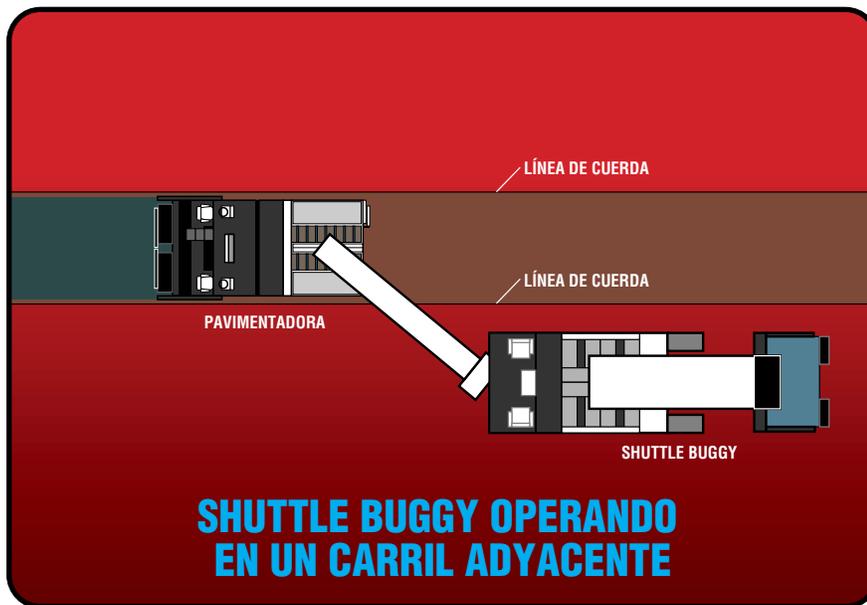
El promedio de todas las obras en el Estado de Georgia en 1988 fue 28 pulgadas por milla (442,0 milímetros por kilómetro). Siete Shuttle Buggies fueron usados en Georgia durante ese año y el promedio de todas las obras que obtuvieron fue 12 pulgadas por milla (189,4 milímetros por kilómetro). En una de las obras relacionadas con una nueva construcción, la desviación final fue de 7 pulgadas por milla (110,5 milímetros por kilómetro).



Figura 33



Figura 34



**Figura 35**

ocurre separación visible alguna cuando se usa el Shuttle Buggy.

La uniformidad que se obtiene, debida a la falta de separación y el alisado

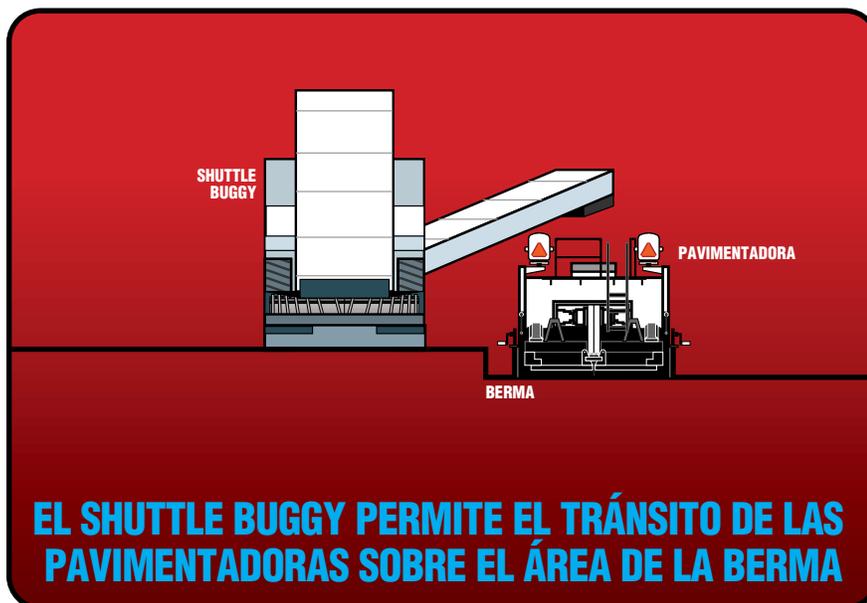
de la carretera, resulta también en una densidad muy uniforme. Cuando se tomaron muestras al azar para determinar las densidades de la mezcla cuando se usó un Shuttle Buggy, se hallaron densidades muy uniformes.

El Shuttle Buggy es muy beneficioso cuando se pavimentan carriles adyacentes, como se muestra en la Figura 34.

La Figura 35 muestra el funcionamiento de la pavimentadora entre dos líneas de cuerda.

No es necesario que los camiones retrocedan entre las líneas de cuerda, ya que pueden descargar en el Shuttle Buggy que se mueve en un carril adyacente. A su vez, el Shuttle Buggy puede transferir la mezcla a través de las líneas de cuerda hasta la pavimentadora.

El Shuttle Buggy es particularmente útil en la construcción de aeropuertos. También permite que los camiones se mantengan fuera de la capa ligante y resulta en una operación mucho más limpia. En muchas obras similares a las que se muestran en las figuras de arriba, la producción aumentó en más del 100%.



**Figura 36**

La máquina es extremadamente versátil cuando se pavimentan bermas (Figura 36) y, como se mencionó arriba, cuando se añaden nuevos carriles.

El uso de un Shuttle Buggy permite prescindir de la construcción de rampas que comuniquen con el carril o la berma y elimina la necesidad de retroceder por estas rampas para salir de estas áreas. También elimina la necesidad de construir un carril temporal para que los camiones se coloquen junto a la pavimentadora.



Figura 37

El Shuttle Buggy ha sido también extremadamente exitoso en la pavimentación de pistas de prueba para automóviles y pistas de carreras (Figura 37). Ambas requieren un alto grado de alisado. La nueva pista de pruebas de Toyota en Georgetown, Kentucky fue pavimentada con un alisado de menos de cuatro décimas de pulgada por milla (6,3 milímetros por kilómetro), según lo indicó el perfilógrafo de 25 pies (7,6 metros). Después de reafirmar la pista de Bristol, Tennessee, las velocidades aumentaron más de 8 millas por hora (5 kilómetros por hora) debido al mayor alisado.

El Shuttle Buggy es verdaderamente un equipo que hace que la pavimentación sea menos delicada. Incluso cuando la pavimentadora y el Shuttle Buggy fueron operados por cuadrillas de pavimentación inexpertas, se lograron muy buenos resultados. En esencia, hace que la operación sea menos delicada.

Se pueden construir carreteras más lisas, como se describe en este ensayo. Cuesta menos mantener los pavimentos más lisos y éstos duran más, conducen a un menor mantenimiento de los automóviles y camiones y son más seguros y silenciosos. El asfalto mezclado en caliente más uniforme, colocado con las maquinarias descritas arriba, puede resultar en un mayor alisado. Y esto beneficiará a los viajeros, así como también a nuestra industria.

## ANEXO A

### Construcción de carreteras más lisas con el económico vehículo de transferencia de material

Los beneficios del alisado y una operación de pavimentación continua se comprenden fácilmente. Pero a menudo se hace la siguiente pregunta: “Si el estado no paga una bonificación por el alisado, ¿cómo puede pagar un contratista un vehículo para la transferencia de material?” Los siguientes ejemplos muestran cómo los ahorros compensan fácilmente su costo.

La Figura A-1 muestra el típico ciclo de camión que resultaría en una operación que produce 3.000 toneladas (2.722 toneladas métricas) de mezcla por día y en la que se pagan US\$35 por hora para el acarreo. Como se muestra en la figura, el tiempo del ciclo de camión es 61 minutos. Por lo tanto, cada camión haría 9,8 viajes en una jornada de 10 horas. Algunos harán 9 viajes, mientras que otros harán 10.

CAMIÓN VOLQUETE CON EJES EN TÁNDEM DE 14 TONELADAS (13 TONELADAS MÉTRICAS) US\$35,00/HORA	
Demora en la planta	—
Tiempo de carga	1,0
Registro y lona	5,0
Transporte a la obra	20,0
Demora en la obra	10,0
Intercambio de camión	2,0
Tiempo de descarga	3,0
Regreso a la planta	20,0
Tiempo de viaje/camión	61,0
Viajes/camión (10 horas)	9,8
Número requerido de viajes	215,0
Número de camiones	22,0
Costo de camión/día	US\$7700,00
	—
<b>COSTO/TONELADA</b>	<b>US\$2,57</b>

**CICLO DE ACARREO (en minutos)**

Figura A-1

Transportar 3.000 toneladas (2.722 toneladas métricas) a la obra requiere 215 viajes. 9,8 viajes por camión requiere 22 camiones. A US\$35 por hora, el costo total de transporte sería US\$7.700 por día, o US\$2,57 por tonelada. Si usamos un Shuttle Buggy para este trabajo en particular (Figura A-2) eliminamos la demora de los camiones y reducimos el tiempo de intercambio en la obra.

	<b>CAMIÓN VOLQUETE CON EJES EN TANDEM DE 14 TONELADAS (13 TONELADAS METRICAS) US\$35,00/HORA</b>	<b>CAMIÓN VOLQUETE CON EJES EN TANDEM con SHUTTLE DE 22 TONELADAS (20 TONELADAS METRICAS) US\$35,00/HORA</b>
Demora en la planta	0,0	0,0
Tiempo de carga	1,0	1,0
Registro y lona	5,0	5,0
Transporte a la obra	20,0	20,0
Demora en la obra	10,0	—
Intercambio de camión	2,0	1,0
Tiempo de descarga	3,0	1,5
Regreso a la planta	20,0	20,0
Tiempo de viaje/camión	61,0	48,5
Viajes/camión (10 horas)	9,8	12,0
Número requerido de viajes	215,0	215,0
Número de camiones	22,0	18,0
Costo de camión/día	US\$7700,00	US\$6300,00
Costo del shuttle/día	—	\$800,00
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>US\$7700,00</b>	<b>US\$7100,00</b>

## **CICLO DE ACARREO (en minutos)**

Esto reduce el ciclo de camión desde más de 60 minutos a aproximadamente 49 minutos, lo que permite que los camiones hagan 12 viajes por día en lugar de 9, como se muestra en la Figura A-1. Debido a la mayor cantidad de ciclos, 18 camiones pueden transportar ahora las mismas 3.000 toneladas (2.722 toneladas métricas) que anteriormente requerían 22 camiones. Si sumamos el costo del Shuttle Buggy, que equivale a US\$800 por día, el costo total sería US\$7.100, en comparación con US\$7.700 cuando no se usa el Shuttle Buggy, o un costo de US\$2,37 por tonelada, en comparación con US\$2,57 por tonelada.

**Figura A-2**

	<b>CAMIÓN VOLQUETE CON EJES EN TANDEM DE 14 TONELADAS (13 TONELADAS METRICAS) US\$35,00/HORA</b>	<b>CAMIÓN VOLQUETE CON EJES EN TANDEM con SHUTTLE DE 14 TONELADAS (13 TONELADAS METRICAS) US\$35,00/HORA</b>	<b>REMOLQUE VOLCADOR DE 22 TONELADAS (20 TONELADAS METRICAS) US\$35,00/HORA</b>
Demora en la planta	0,0	0,0	0,0
Tiempo de carga	1,0	1,0	1,0
Registro y lona	5,0	5,0	5,0
Transporte a la obra	20,0	20,0	20,0
Demora en la obra	10,0	—	10,0
Ubicación del camión	2,0	1,0	2,0
Tiempo de descarga	3,0	1,5	4,4
Regreso a la planta	20,0	20,0	20,0
Tiempo de viaje/camión	61,0	48,5	62,4
Viajes/camión (10 horas)	9,8	12,0	9,6
Número requerido de viajes	215,0	215,0	137,0
Número de camiones	22,0	18,0	15,0
Costo de camión/día	US\$7700,00	US\$6300,00	US\$6000,00
Costo del shuttle/día	—	\$800,00	—
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>US\$7700,00</b>	<b>US\$7100,00</b>	<b>US\$6000,00</b>
<b>COSTO/TONELADA</b>	<b>US\$2,57</b>	<b>US\$2,37</b>	<b>US\$2,00</b>

## CICLO DE ACARREO (en minutos)

**Figura A-3**

Los remolques transportan generalmente 22 toneladas (20,0 toneladas métricas) de mezcla. La Figura A-3 muestra el ciclo de camión usando estas unidades.

**REMOLQUE VOLCADOR  
CON SHUTTLE BUGGY****CAMIÓN VOLQUETE  
CON EJES EN TÁNDEM  
DE 14 TONELADAS  
(13 TONELADAS MÉTRICAS)****CAMIÓN VOLQUETE CON EJES  
EN TÁNDEM con SHUTTLE  
DE 14 TONELADAS  
(20 TONELADAS MÉTRICAS)****REMOLQUE VOLCADOR  
DE 22 TONELADAS  
(20 TONELADAS MÉTRICAS)****REMOLQUE VOLCADOR  
con SHUTTLE  
DE 22 TONELADAS  
(20 TONELADAS MÉTRICAS)**

Demora en la planta	0,0	0,0	0,0	0,0
Tiempo de carga	1,0	1,0	1,0	1,0
Registro y lona	5,0	5,0	5,0	5,0
Transporte a la obra	20,0	20,0	20,0	20,0
Demora en la obra	10,0	—	10,0	—
Ubicación del camión	2,0	1,0	2,0	1,0
Tiempo de descarga	2,8	1,5	4,4	2,0
Regreso a la planta	20,0	20,0	20,0	20,0
Tiempo de viaje/camión	60,8	48,5	62,4	49,0
Viajes/camión (10 horas)	9,8	12,3	9,6	12,2
Número requerido de viajes	215,0	215,0	137,0	137,0
Número de camiones	22,0	18,0	15,0	12,0
Costo de camión/día	US\$7700,00	US\$6300,00	US\$6000,00	US\$4800,00
Costo del shuttle/día	—	US\$800,00	—	US\$800,00
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>US\$7700,00</b>	<b>US\$7100,00</b>	<b>US\$6000,00</b>	<b>US\$5600,00</b>
<b>COSTO/TONELADA</b>	<b>US\$2,57</b>	<b>US\$2,37</b>	<b>US\$2,00</b>	<b>US\$1,87</b>

## CICLO DE ACARREO (en minutos)

Si usamos estos camiones más grandes, el número se puede reducir desde 22 hasta 15. Y el costo se puede reducir desde US\$2,57 hasta US\$2,00 por tonelada. Como se muestra en la Figura A-4, si añadimos un Shuttle Buggy el número de remolques se reduce a 12. El costo, incluyendo el Shuttle Buggy, se reduce desde US\$6.000 por día hasta US\$5.600 por día o desde US\$2,00 por tonelada hasta US\$1,87 por tonelada.

**Figura A-4**

	<b>CAMIÓN VOLQUETE CON EJES EN TÁNDEM DE 14 TONELADAS (13 TONELADAS MÉTRICAS) US\$35,00/HORA</b>	<b>REMOLQUE VOLCADOR DE 22 TONELADAS (20 TONELADAS MÉTRICAS) US\$40,00/HORA</b>	<b>VOLQUETE SIN BASTIDOR con SHUTTLE BUGGY DE 26,8 TONELADAS (24 TONELADAS MÉTRICAS) US\$80,00/HORA (SHUTTLE BUGGY)</b>
Tiempo de viaje/camión	60,8	62,4	53,3
Viajes/camión (10 horas)	9,8	9,6	11,3
Número requerido de viajes	215,0	137	114
Número de camiones	22,0	15,0	10
Costo de camión/día	\$7700,00	\$6000,00	\$4000,00
Costo del shuttle/día	—	—	\$800,00
<b>COSTO/TONELADA</b>	<b>\$2,57</b>	<b>\$2,00</b>	<b>\$1,60</b>

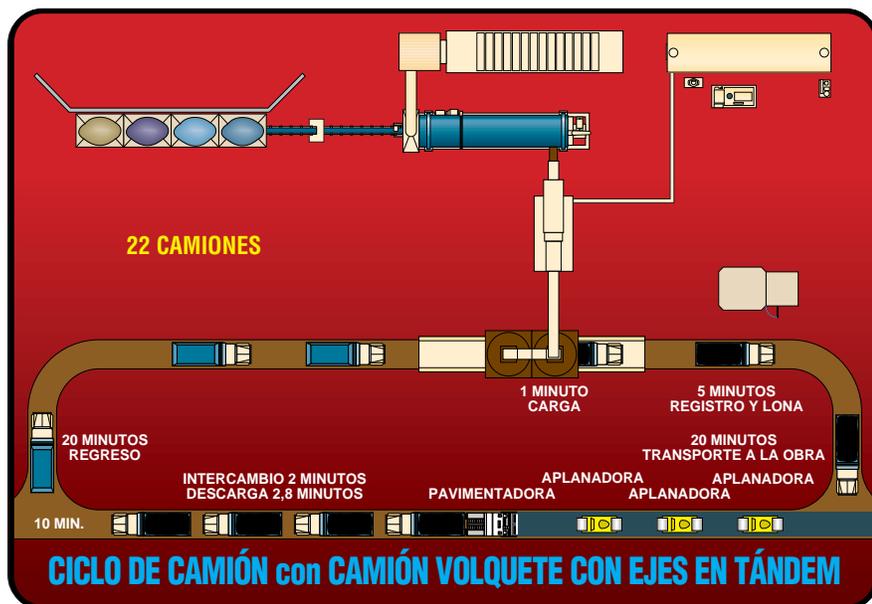
## COSTO DEL ACARREO

### Producción de la planta 3.000/Toneladas por día (2.722/Toneladas métricas por día)

**Figura A-5**

Los remolques volcadores grandes no pueden descargar directamente en la pavimentadora. Por este motivo, no mostramos un ciclo de camión en el que se usen sólo los remolques. Sin embargo, en la Figura A-5 se muestra un ciclo de camión en el que se usan remolques volcadores con el Shuttle Buggy.

Como se muestra, sólo se requieren 10 remolques volcadores cuando se usa el Shuttle Buggy, lo que reduce el costo de acarreo a US\$4.000 por día. Si usamos el Shuttle Buggy, que cuesta US\$800 por día, obtenemos un costo total de US\$4.800 por día o US\$1,60 por tonelada.



**Figura A-6**

El Shuttle Buggy es económico sin considerar el tipo de camión usado. Sin embargo, debido a que permite el uso seguro de remolques volcadores grandes, permite obtener grandes ahorros.

Otro sutil beneficio se hace evidente cuando comparamos la Figura A-6, la Figura A-7 y la Figura A-8. La Figura A-6 muestra 22 camiones manejados en un recorrido. La Figura A-7 muestra 15 remolques. La Figura A-8 muestra sólo 10 remolques y el Shuttle Buggy. Como se ve fácilmente, el trabajo del capataz encargado de los camiones se reduce significativamente debido a que se requieren 12 camiones y choferes menos.

Podemos construir carreteras más lisas con técnicas adecuadas de pavimentación. Pero para lograr este objetivo se requieren una buena coordinación del intercambio con los camiones y una cuadrilla de pavimentación bien dirigida. El uso de un Shuttle Buggy permite obtener carreteras más lisas de manera económica.

- Permite la pavimentación continua
- Permite el uso seguro de remolques grandes
- Permite que cuadrillas de pavimentación inexpertas hagan un buen trabajo
- Elimina la separación
- Permite obtener una compactación más uniforme
- Simplifica el trabajo de la cuadrilla de pavimentación
- Produce más rápidamente pavimentos uniformemente más lisos mientras reduce el número de camiones requerido

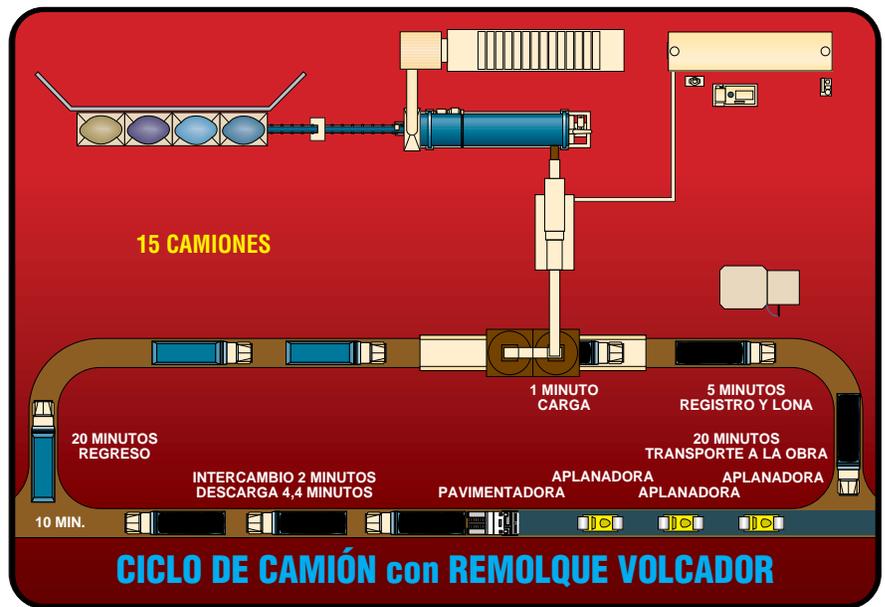


Figura A-7

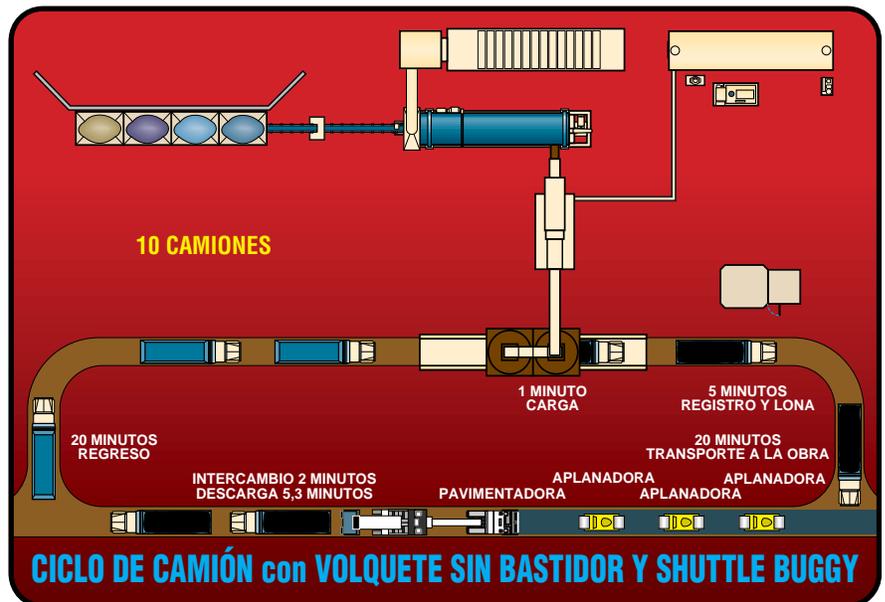


Figura A-8

---

**ANEXO B  
ESPECIFICACIONES PARA LA SUPERFICIE DE  
RODAJE DEL PAVIMENTO  
AASHTO 1988**

Las especificaciones sugeridas se basarán en los siguientes criterios:

1. Estos requisitos son aplicables al pavimento para carreteras principales diseñado para velocidades de 40 millas por hora (64,4 kilómetros por hora) o mayores.
2. El alisado del pavimento se determinará usando un perfilógrafo sobre cada carril designado.
3. El contratista usará equipo de pavimentación y empleará métodos que produzcan una superficie de rodaje con un índice de perfil de 10 pulgadas por milla (157,9 milímetros por kilómetro) o menos.
4. Se aceptarán perfiles iniciales de hasta 15 pulgadas por milla (236,8 milímetros por kilómetro) con los ajustes de precio aplicables.
5. Los perfiles del pavimento se medirán sobre cada carril, a 3 pies (91 centímetros) del borde exterior.
6. Las pruebas perfilográficas iniciales se realizarán inmediatamente después de completar el alisado final.
7. Después de la aceptación de las pruebas iniciales, se medirán perfiles diarios de la pavimentación de cada jornada antes de continuar con las operaciones de pavimentación y permitir la circulación por la carretera.
8. El pavimento constará de secciones de 0,1 millas (0,16 kilómetros). Se corregirán todos los puntos altos que tengan desviaciones que excedan 0,4 pulgadas (10,2 milímetros) por 25 pies (7,6 metros) o menos. Se corregirán los índices de perfil que excedan 15 pulgadas por milla (236,8 milímetros por kilómetro).
9. El contratista podrá optar por aceptar ajustes del precio unitario correspondientes a un índice medio de perfil de 10 a 15 pulgadas por milla (157,9 a 236,8 milímetros por kilómetro).
10. El pago de incentivos será discrecional, dependiendo de la escala de ajuste de precios, método 1 o 2.
11. Las medidas correctivas se tomarán a expensas del contratista. Las correcciones hechas mediante el fresado en frío, la rectificación a diamante o la colocación de una capa superpuesta, o mediante la remoción y el reemplazo serán las que indique el ingeniero.
12. El ajuste del precio unitario de oferta será aplicable al tonelaje teórico total que represente el espesor total del pavimento asfáltico de cada sección con una longitud de 0,1 millas (0,16 kilómetros).

---

## ANEXO C

### Referencia: Especificaciones para la construcción de carreteras AASHTO–1988 Pavimentación con asfalto

**Prueba superficial (Método No. 1)** – La superficie se probará con un escantillón de 10 pies (3,0 metros) en los lugares seleccionados por el ingeniero. La variación de la superficie desde el borde de prueba del escantillón entre cualesquiera dos puntos de contacto, longitudinal o transversalmente a la superficie, no excederá \_\_\_ pulgadas [se sugieren 3/16 a 1/8 (4,8 a 3,2 milímetros)]. Las irregularidades que excedan la tolerancia especificada serán corregidas por y a expensas del contratista, removiendo el material defectuoso y reemplazándolo con nuevo material o una capa superpuesta (no bacheando) o mediante la rectificación/fresado en frío, según lo indique el ingeniero. Después de la corrección se volverá a probar el área para verificar el cumplimiento con las tolerancias especificadas.

**Prueba superficial perfilográfica (Método No. 2)** – El alisado del pavimento se determinará usando un perfilógrafo sobre cada carril designado. El contratista probará y corregirá la superficie del pavimento del tramo recto de la calzada principal, donde la velocidad de referencia será 40 millas por hora (64,4 kilómetros por hora) o mayor hasta obtener un pavimento liso de la siguiente manera.

Si la capa superficial final es una capa de fricción u otra capa de pavimento para fines especiales, esta especificación, incluyendo las medidas correctivas y los ajustes de pago, será aplicable a la capa de pavimento colocada antes de la capa superficial final. El contratista colocará la capa superficial final de manera que el índice de perfil de la misma sea menor o igual que el índice de perfil de la capa anterior de pavimento.

**Equipo** – El índice del perfil se determinará usando un perfilógrafo tipo California proporcionado y operado por el Departamento. Las lecturas perfilográficas se registrarán en una escala vertical de 1 pulgada (25,4 milímetros), o a escala total. El perfilógrafo se moverá manualmente o mediante una unidad propulsora unida a la armadura. El perfilógrafo se moverá longitudinalmente a lo largo del pavimento a una velocidad no mayor de 3 millas por hora (4,8 kilómetros por hora) para reducir al mínimo los rebotes. El resultado de las pruebas perfilográficas se evaluará conforme a lo descrito en la Prueba 526 de California.

**Prueba superficial** – El contratista suministrará los equipos de pavimentación y empleará métodos que produzcan una superficie de rodaje con un índice de perfil de 10 pulgadas por milla (157,9 milímetros por kilómetro) o menos, con la excepción de lo estipulado en los siguientes párrafos. Serán aceptables perfiles iniciales de hasta 15 pulgadas por milla (236,8 milímetros por kilómetro) con los ajustes de precio aplicables. El perfil terminará a 15 pies (4,6 metros) de todo pavimento de acceso a un puente o pavimento existente al que se una el nuevo pavimento.

---

Los perfiles del pavimento se medirán a 3 pies (91 centímetros) de y paralelamente a cada borde de los pavimentos con una anchura de 12 pies (3,7 metros) o menos. Cuando se coloque pavimento con una anchura mayor que 12 pies (3,7 metros), el perfil se medirá a 3 pies (91 centímetros) paralelamente a cada borde y desde la ubicación aproximada de la marca correspondiente a cada carril proyectado. Se podrán medir perfiles adicionales sólo para definir los límites de una variación superficial fuera de la tolerancia.

Durante las operaciones iniciales de pavimentación, ya sea cuando se comience o después de una interrupción prolongada, se probará la superficie del pavimento con el perfilógrafo tan pronto como se haya completado el aplanado final. El contratista y el ingeniero usarán las pruebas iniciales para evaluar los métodos y equipos de pavimentación.

Una vez que el alisado inicial del pavimento y los métodos y equipos de pavimentación sean aceptables para el ingeniero, el contratista podrá proceder con la operación de pavimentación. Después de las pruebas iniciales, se medirán los perfiles del pavimento colocado cada día antes de continuar con las operaciones de pavimentación y antes de permitir la circulación vial.

Se determinará el índice diario medio del perfil correspondiente a cada día de pavimentación. Un día de pavimentación se define como un mínimo de 0,1 millas (0,16 kilómetros) de pavimento de anchura completa colocado en un día. Si se colocan menos de 0,1 millas (0,16 kilómetros), la producción del día se sumará a la del día siguiente. Si el índice medio del perfil excede 15 pulgadas por milla (236,8 milímetros por kilómetro) en una operación diaria de pavimentación, se suspenderá la operación de pavimentación y no se permitirá la reanudación de la misma hasta que el contratista tome medidas correctivas. En el caso de que las operaciones de pavimentación se suspendan como resultado de la obtención de un índice medio del perfil que exceda 15 pulgadas por milla (236,8 milímetros por kilómetro), se probarán las operaciones subsiguientes de pavimentación, siguiendo los procedimientos de las pruebas iniciales del pavimento.

Para determinar las secciones de pavimento donde serán necesarias medidas correctivas o un ajuste del pago, se evaluará el pavimento por secciones de 0,1 millas (0,16 kilómetros) usando el perfilógrafo. Dentro de cada sección de 0,1 millas (0,16 kilómetros), el contratista corregirá todas las áreas representadas por puntos altos que tengan desviaciones que excedan 0,4 pulgadas (10,2 milímetros) en un tramo de 25 pies (7,6 metros) o menos. Después de corregir las desviaciones individuales que excedan 0,4 pulgadas (10,2 milímetros) en un tramo de 25 pies (7,6 metros), se tomarán medidas correctivas para reducir el índice del perfil a 10 pulgadas por milla (157,9 milímetros por kilómetro) o menos. Además, toda sección de 0,1 millas (0,16 kilómetros) que tenga un índice inicial de perfil que exceda 15 pulgadas por milla (236,8 milímetros por kilómetro) se corregirá para reducir el índice del perfil a 10 pulgadas por milla (157,9 milímetros por kilómetro) o menos.

---

En aquellas secciones en las que se hagan correcciones, se probará el pavimento para verificar que las correcciones hayan producido un índice de perfil de 10 pulgadas por milla (157,9 milímetros por kilómetro) o menos.

Las medidas correctivas correrán por cuenta del contratista. Todo el trabajo correctivo se completará antes de determinar el espesor del pavimento. Las correcciones hechas mediante fresado en frío, rectificación a diamante, colocación de capas superpuestas o mediante remoción y reemplazo se harán según lo indique el ingeniero, de acuerdo con lo siguiente:

1) Fresado en Frío/Rectificación. El contratista aplicará el fresado en frío/rectificación hasta lograr las tolerancias superficiales requeridas. Se aplicará el fresado en frío/rectificación de manera que se produzca una sección transversal uniforme. Todas las áreas rectificadas quedarán limpias y tendrán una apariencia superficial uniforme.

2) Colocación de capas superpuestas. Las capas superpuestas asfálticas para pavimentos de concreto deberán satisfacer todos los requisitos especificados en el contrato. La colada de la capa superpuesta se extenderá a todo lo ancho de la superficie subyacente del pavimento y tendrá un espesor terminado compactado suficiente para corregir las asperezas y producir una superficie final que satisfaga las tolerancias superficiales especificadas.

Si la capa superpuesta no satisface los requisitos relacionados con el alisado longitudinal, no se permitirá la colocación de una segunda capa superpuesta. El contratista hará las reparaciones de una capa superpuesta que no satisfaga los requisitos relacionados con el alisado según lo indique el ingeniero.

3) Remoción y reemplazo. Las correcciones hechas mediante remoción se harán usando materiales asfálticos para pavimentos de concreto que satisfagan los requisitos especificados en el contrato.

**Ajustes de precio (Método No. 1)** – Cuando el índice del perfil no exceda 10 pulgadas por milla (157,9 milímetros por kilómetro) por sección de 0,1 millas (0,16 kilómetros), se pagará el precio unitario del contrato correspondiente a la capa superficial completada. Cuando el índice del perfil exceda 10 pulgadas por milla (157,9 milímetros por kilómetro) por sección de 0,1 millas (0,16 kilómetros) pero no exceda 15 pulgadas por milla (236,8 milímetros por kilómetro) por sección de 0,1 millas (0,16 kilómetros), el contratista podrá optar por aceptar un ajuste del precio unitario del contrato en lugar de reducir el índice del perfil. El precio unitario del contrato se ajustará de acuerdo con la siguiente escala.

Este ajuste del precio unitario de oferta será aplicable al tonelaje teórico total que represente el espesor total de la estructura del pavimento asfáltico de la sección con una longitud de 0,1 millas (0,16 kilómetros) y la anchura de carril representada por el perfilógrafo. La escala de ajuste del precio antes mencionada se aplicará a las secciones de pavimento donde se hayan completado trabajos correctivos.

**Ajustes con incentivos (Método No. 2)** – Cuando el índice del perfil sea mayor que 7 pulgadas por milla (110,5 milímetros por kilómetro) pero no exceda 10 pulgadas por milla (157,9 milímetros por kilómetro) por sección de 0,1 millas (0,16 kilómetros), se pagará el precio unitario del contrato correspondiente a la capa superficial completada. Cuando el índice del perfil exceda 10 pulgadas por milla (157,9 milímetros por kilómetro) por sección de 0,1 millas (0,16 kilómetros) pero no exceda 15 pulgadas por milla (236,8 milímetros por kilómetro) por sección de 0,1 millas (0,16 kilómetros), el contratista podrá optar por aceptar un ajuste del precio unitario del contrato en lugar de reducir el índice del perfil. Cuando el índice del perfil sea inferior o equivalente a 7 pulgadas por milla (110,5 milímetros por kilómetro), se le pagará un incentivo al contratista.

El precio unitario del contrato se ajustará de acuerdo con la siguiente escala.

Índice del Perfil Pulgadas por milla por sección de 0,1 millas Milímetros por kilómetro por sección de 0,16 kilómetros - precio unitario	Ajuste del precio unitario del contrato % del precio unitario de oferta del pavimento
3 o menos (47,4 o menos)	105
Entre 3 y 4 (47,4 a 63,1)	104
Entre 4 y 5 (63,1 a 78,9)	103
Entre 5 y 6 (78,9 a 94,7)	102
Entre 6 y 7 (94,7 a 110,5)	101
Entre 7 y 10 (110,5 a 157,9)	100
Entre 10 y 11 (157,9 a 173,6)	98
Entre 11 y 12 (173,6 a 189,4)	96
Entre 12 y 13 (189,4 a 205,2)	94
Entre 13 y 14 (205,2 a 221,0)	92
Entre 14 y 15 (221,0 a 236,8)	90
Más de 15 (236,8)	Se requiere trabajo correctivo

**ESPECIFICACIONES DE LA NAPA  
RELACIONADAS CON EL ALISADO**

Los ajustes de pago correspondientes a los incentivos sólo se basarán en el índice del perfil inicialmente medido, antes de realizar cualquier trabajo correctivo. La escala de ajuste de precios correspondiente al pago del 100% o a las reducciones del pago será aplicable a las secciones de pavimento donde se hayan completado trabajos correctivos.

El ajuste del precio unitario de oferta será aplicable al tonelaje teórico total que represente el espesor total de la estructura del pavimento asfáltico de la sección

**Figura C-1**

con una longitud de 0,1 millas (0,16 kilómetros) y la anchura de carril representada por el perfilógrafo.

**Bacheo de áreas defectuosas.** Se removerá toda mezcla que se contamine con materias extrañas o que se juzgue defectuosa. No se permitirá el bacheo superficial de un área que haya sido aplanada. Se removerá la totalidad de la capa superficial y se abrirán agujeros de manera que los lados sean perpendiculares y paralelos a la dirección del tránsito y los bordes sean verticales. Los bordes se recubrirán con materiales bituminosos. Se colocará una cantidad suficiente de mezcla fresca de pavimentación en los agujeros para que la superficie terminada cumpla con los requisitos relacionados con la pendiente y el alisado. La mezcla de pavimentación se compactará hasta alcanzar la densidad especificada.

---

## ANEXO D

### Referencia: Especificaciones para la construcción de carreteras

### AASHTO-1988

### Pavimentación con concreto de cemento Portland

**Prueba superficial (Método No. 1)** – La superficie se probará con un escantillón de 10 pies (3,0 metros) en los lugares seleccionados por el ingeniero. La variación de la superficie, con relación al borde de prueba del escantillón, entre cualesquiera dos puntos de contacto, longitudinal o transversalmente a la superficie, no excederá 3/16 de pulgada (4,8 milímetros). Las irregularidades que excedan la tolerancia especificada serán corregidas y correrán por cuenta del contratista mediante el uso de un dispositivo aprobado de perfilaje o por otro medio, según lo indique el ingeniero. Después de la corrección se volverá a probar el área para verificar el cumplimiento con las tolerancias especificadas.

**Prueba superficial perfilográfica (Método No. 2)** – El alisado del pavimento se determinará usando un perfilógrafo sobre cada carril designado. Se probará y corregirá el acabado superficial del pavimento del tramo recto de la calzada principal, donde la velocidad de referencia será de 40 millas por hora (64,4 kilómetros por hora) o mayor hasta obtener un pavimento liso, de la siguiente manera:

Equipo – El índice del perfil se determinará usando un perfilógrafo tipo California proporcionado y operado por el Departamento. Las lecturas perfilográficas se registrarán en una escala vertical de 1 pulgada (25,4 milímetros), o a escala total. El perfilógrafo se accionará manualmente o mediante una unidad propulsora conectada al perfilógrafo. El perfilógrafo se moverá longitudinalmente a lo largo del pavimento a una velocidad no mayor de 3 millas por hora (4,8 kilómetros por hora) para reducir al mínimo los rebotes. Los resultados de las pruebas perfilográficas se evaluarán conforme a lo descrito en la Prueba 526 de California.

Prueba superficial – El contratista suministrará los equipos de pavimentación y empleará métodos que produzcan una superficie de rodaje con un índice de perfil de 10 pulgadas por milla (157,9 milímetros por kilómetro) o menos, con la excepción de lo estipulado en los siguientes párrafos. Se podrán aceptar perfiles iniciales de hasta 15 pulgadas por milla (236,8 milímetros por kilómetro) con los ajustes de precio aplicables. El perfil terminará a 15 pies (4,6 metros) de todo pavimento de acceso a un puente o pavimento existente al que se una el nuevo pavimento.

Los perfiles del pavimento se medirán a 3 pies (91 centímetros) de y paralelamente a cada borde de los pavimentos con una anchura de 12 pies (3,7 metros) o menos. Cuando se coloque pavimento con una anchura mayor que 12 pies (3,7 metros), el perfil se medirá a 3 pies y paralelamente a cada borde y desde la ubicación aproximada de cada junta longitudinal proyectada. Se podrán medir perfiles adicionales sólo para definir los límites de una variación superficial fuera de la tolerancia.

---

Durante las operaciones iniciales de pavimentación, ya sea cuando se comience o después de una interrupción prolongada, se probará la superficie del pavimento con el perfilógrafo tan pronto como el concreto se haya curado lo suficiente como para permitir la prueba.

El contratista reparará las áreas curadas con membrana dañadas durante las pruebas, según lo indique el ingeniero. Se usarán las pruebas iniciales para ayudar al contratista e ingeniero a evaluar los métodos y equipos de pavimentación.

Una vez que el alisado inicial del pavimento y los métodos y equipos de pavimentación sean aceptables para el ingeniero, el contratista podrá proceder con la operación de pavimentación. Después de las pruebas iniciales, se medirán los perfiles del pavimento colocado cada día antes de continuar con las operaciones de pavimentación.

Se determinará el índice diario medio del perfil correspondiente a cada día de pavimentación. Un día de pavimentación se define como un mínimo de 0,1 millas (0,16 kilómetros) de pavimento de anchura completa colocado en un día. Si se colocan menos de 0,1 millas (0,16 kilómetros), la producción del día se sumará a la del día siguiente. Si el índice medio del perfil excede 15 pulgadas por milla (236,8 milímetros por kilómetro) en una operación diaria de pavimentación, se suspenderá la operación de pavimentación y no se permitirá la reanudación de la misma hasta que el contratista tome medidas correctivas. En el caso de que las operaciones de pavimentación se suspendan como resultado de la obtención de un índice medio de perfil que exceda 15 pulgadas por milla (236,8 milímetros por kilómetro), se probarán las operaciones subsiguientes de pavimentación, siguiendo los procedimientos de las pruebas iniciales del pavimento.

Para determinar las secciones de pavimento donde serán necesarias medidas correctivas o un ajuste del pago, se evaluará el pavimento por secciones de 0,1 millas (0,16 kilómetros) usando el perfilógrafo. Dentro de cada sección de 0,1 millas (0,16 kilómetros), el contratista corregirá todas las áreas representadas por puntos altos que tengan desviaciones que excedan 0,4 pulgadas (10,2 milímetros) en un tramo de 25 pies (7,6 metros) o menos.

Después de corregir las desviaciones individuales que excedan 0,4 pulgadas (10,2 milímetros) en un tramo de 25 pies (7,6 metros), se tomarán medidas correctivas para reducir el índice medio del perfil a 10 pulgadas por milla (157,9 milímetros por kilómetro) o menos. Además, toda sección de 0,1 millas (0,16 kilómetros) que tenga un índice inicial de perfil que exceda 15 pulgadas por milla (236,8 milímetros por kilómetro) se corregirá para reducir el índice del perfil a 10 pulgadas por milla (157,9 milímetros por kilómetro) o menos.

En aquellas secciones en las que se hagan correcciones, se probará el pavimento para verificar que las correcciones hayan producido un índice de perfil de 10 pulgadas por milla (157,9 milímetros por kilómetro) o menos.

Las medidas correctivas se tomarán mediante un dispositivo de perfilaje aprobado o la remoción y reemplazo del pavimento, según lo indique el ingeniero.

No se permitirán martellinas ni otros dispositivos de impacto. Los trabajos correctivos correrán por cuenta del contratista.

Cuando se hagan correcciones, el contratista restaurará la textura de la superficie a fin de proveer una textura uniforme con la misma aspereza que la del pavimento circundante no corregido.

Los trabajos correctivos se completarán antes de determinar el espesor del pavimento.

**Ajustes de precio (Método No. 1)** – Cuando el índice del perfil no exceda 10 pulgadas por milla (157,9 milímetros por kilómetro) por sección de 0,1 millas (0,16 kilómetros), se pagará el precio unitario del contrato correspondiente al pavimento completado. Cuando el índice del perfil exceda 10 pulgadas por milla (157,9 milímetros por kilómetro) por sección de 0,1 millas (0,16 kilómetros), pero no exceda 15 pulgadas por milla (236,8 milímetros por kilómetro) por sección de 0,1 millas (0,16 kilómetros), el contratista podrá optar por aceptar un ajuste del precio unitario del contrato en lugar de reducir el índice del perfil. El precio unitario del contrato se ajustará de acuerdo con la siguiente escala:

El precio unitario ajustado de oferta se calculará usando el espesor proyectado del pavimento de concreto de cemento Portland. Este precio unitario ajustado de oferta será aplicable al área total de la sección de 0,1 millas (0,16 kilómetros) con la anchura de carril representada por el perfilógrafo.

La escala de ajuste de precio antes mencionada se aplicará a las secciones de pavimento donde se hayan completado trabajos correctivos.

Índice del Perfil Pulgadas por milla por sección de 0,1 millas (Milímetros por kilómetro por sección de 0,16 kilómetros)	Ajuste del precio % del precio unitario de oferta del pavimento
10 o menos (157,9 o menos)	100
Entre 10 y 11 (157,9 a 173,6)	98
Entre 11 y 12 (173,6 a 189,4)	96
Entre 12 y 13 (189,4 a 205,2)	94
Entre 13 y 14 (205,2 a 221,0)	92
Entre 14 y 15 (221,0 a 236,8)	90
Más de 15 (236,8)	Se requiere trabajo correctivo

**ESPECIFICACIONES DE LA NAPA  
RELACIONADAS CON EL ALISADO**

Figura D-1

**Ajustes con incentivos (Método No. 2)** – Cuando el índice del perfil sea mayor que 7 pulgadas por milla (110,5 milímetros por kilómetro) pero no exceda 10 pulgadas por milla (157,9 milímetros por kilómetro) por sección de 0,1 millas (0,16 kilómetros), se pagará el precio unitario del contrato correspondiente al pavimento completado. Cuando el índice del perfil exceda 10 pulgadas por milla (157,9 milímetros por kilómetro) por sección de 0,1 millas (0,16 kilómetros) pero no exceda 15 pulgadas por milla (236,8 milímetros por kilómetro) por sección de 0,1 millas (0,16 kilómetros), el contratista podrá optar por aceptar un ajuste del precio unitario del contrato en lugar de reducir el índice del perfil. Cuando el índice del perfil sea inferior o equivalente a 7 pulgadas por milla (110,5 milímetros por kilómetro), el contratista tendrá derecho al pago de un incentivo. El precio unitario del contrato se ajustará de acuerdo con la siguiente escala, en los casos en los que el contratista tenga derecho al pago de un incentivo u opte por aceptar un ajuste del precio unitario del contrato en lugar de reducir el índice del perfil.

Índice del Perfil Pulgadas por milla por sección de 0,1 millas (Milímetros por kilómetro por sección de 0,16 kilómetros)	Ajuste del precio % del precio unitario de oferta del pavimento
3 o menos (47,4 o menos)	105
Entre 3 y 4 (47,4 a 63,1)	104
Entre 4 y 5 (63,1 a 78,9)	103
Entre 5 y 6 (78,9 a 94,7)	102
Entre 6 y 7 (94,7 a 110,5)	101
Entre 7 y 10 (110,5 a 157,9)	100
Entre 10 y 11 (157,9 a 173,6)	98
Entre 11 y 12 (173,6 a 189,4)	96
Entre 12 y 13 (189,4 a 205,2)	94
Entre 13 y 14 (205,2 a 221,0)	92
Entre 14 y 15 (221,0 a 236,8)	90
Más de 15 (236,8)	Se requiere trabajo correctivo

**ESPECIFICACIONES DE LA NAPA  
RELACIONADAS CON EL ALISADO**

Figura D-2

será aplicable al área total de la sección de 0,1 millas (0,16 kilómetros) con la anchura de carril representada por el perfilógrafo.

Los ajustes de pago correspondientes a los incentivos sólo se basarán en el índice del perfil inicialmente medido, antes de realizar cualquier trabajo correctivo. La escala de ajuste del precio correspondiente al pago del 100% o a las reducciones del pago será aplicable a las secciones de pavimento donde se hayan completado trabajos correctivos.

El precio unitario ajustado de oferta se calculará usando el espesor proyectado del pavimento de concreto de cemento Portland. Este precio unitario ajustado de oferta

## ANEXO E ESPECIFICACIONES RECOMENDADAS PARA SUPERFICIES DE RODAJE (ESTADO DE IOWA)

### INTRODUCCIÓN

Con la llegada de automóviles más pequeños, el público se ha vuelto cada vez más crítico de las superficies viales y está exigiendo carreteras más lisas. Es de reconocimiento general que tanto el público como las autoridades gubernamentales juzgan la calidad de una carretera o autopista sobre la base de la uniformidad de la superficie de rodaje que ofrece. Hace más de dos décadas, la prueba vial de la MSHTO demostró que existe una relación directa entre la calidad percibida de una carretera y el alisado real de la misma.

---

Desgraciadamente, una serie de factores que han aparecido en los últimos años hacen que sea más difícil obtener y mantener una carretera lisa. Como resultado del cambio de las fórmulas para puentes, son necesarios camiones más grandes que transportan cargas pesadas para transportar la mezcla a las pavimentadoras. Esto hace que sea más difícil lograr que las pavimentadoras funcionen a una velocidad constante e impedir que los camiones choquen con ellas. Como resultado del uso de más mezclas recicladas, las mismas se han vuelto más gruesas y más difíciles de compactar. Esto se ha visto agravado por la necesidad de usar mezclas más resistentes para prevenir la formación de baches, etc. A estos problemas se añade el hecho de que se están emprendiendo muy pocas construcciones nuevas y que la mayoría de obras se relacionan con el mantenimiento y la colocación de capas superpuestas. Cuando se coloca una capa superpuesta hoy en día, la mayor parte de ella se coloca sobre superficies irregulares, lo que hace que sea aún más difícil obtener una carretera lisa.

Hoy es mayor el número de entidades encargadas de las carreteras que están promoviendo especificaciones para la superficie de rodaje aplicables tanto a nuevas construcciones como a las capas superpuestas. Muchas de estas especificaciones no toman en cuenta numerosos factores que afectan el alisado, factores que se encuentran fuera del control del proceso de construcción. Además, muchas de estas especificaciones imponen severas sanciones por desviaciones que se encuentren fuera de los límites especificados. El objetivo de estas recomendaciones es hacer que los estados que estén considerando la posibilidad de usar especificaciones para la superficie de rodaje estén conscientes de los numerosos factores que afectan el alisado, de modo que se especifiquen requisitos de alisado apropiados que tomen en cuenta las diversas variables involucradas.

Aunque estas recomendaciones abogan por sanciones en el caso de incumplimiento, también abogan por el pago de incentivos por obras extraordinariamente bien ejecutadas. Se exhorta a también pagar incentivos en todos los casos en que se impongan sanciones.

## **MÉTODO PARA LAS PRUEBAS SUPERFICIALES PERFILOGRÁFICAS**

**OBSERVACIONES GENERALES** – Estas especificaciones establecen una norma para el alisado aceptable del pavimento. Describen métodos para la medición y evaluación. Prescriben procedimientos para la corrección de la superficie. Ofrecen escalas de pago en el caso de un alisado deficiente e incentivos en el caso de un desempeño extraordinario.

El alisado del pavimento se determinará mediante un perfilógrafo sobre cada carril designado. Se probará la superficie del pavimento del tramo recto de la calzada principal, donde la velocidad de referencia sea de 40 millas por hora (64,4 kilómetros por hora) o mayor. Si no se cumple con los requisitos relacionados con el alisado del pavimento, el contratista corregirá el mismo hasta obtener el alisado especificado. El pavimento del tramo recto de la calzada principal incluye todos los carriles de tránsito, las transiciones a carriles paralelos, los carriles de paso de las intersecciones y los carriles de subida.

---

Las áreas excluidas de las pruebas para determinar el alisado incluyen los carriles de aceleración y desaceleración, los carriles de reserva para giros, los cruces, las bermas, las calles laterales o los empalmes con calles laterales que tengan una longitud menor que 500 pies (152,4 metros) y los tramos que tengan una longitud menor que 50 pies (15,2 metros) o que se encuentren a 50 pies (15,2 metros) de estructuras o losas de acceso. Las capas superpuestas de una sola colada con espesores de 1-1/2 pulgadas (38,1 milímetros) o menos también se excluyen, a menos que el perfil de la superficie existente se haya corregido mediante fresado, una capa de nivelación o por otro medio.

Generalmente se evaluará el alisado del pavimento de las carreteras primarias e interestatales. Normalmente no se requerirán estas pruebas cuando se pavimenten o reafirmen carreteras rurales, caminos secundarios o calles municipales, a menos que se especifique lo contrario.

**EQUIPO** – El índice del perfil se determinará usando un perfilógrafo tipo California de 25 pies (7,6 metros) proporcionado y operado por el contratista. El equipo y personal requeridos para estas pruebas se asentarán como partidas incidentales correspondientes a la pavimentación. Las lecturas perfilográficas se registrarán verticalmente en una escala de 1 pulgada (25,4 milímetros) o a plena escala, y horizontalmente a una escala de 1 pulgada (25,4 milímetros) por cada 25 pies (7,6 metros). El perfilógrafo se accionará manualmente o mediante una unidad propulsora conectada al perfilógrafo. El perfilógrafo se moverá longitudinalmente a lo largo del pavimento a una velocidad no mayor de 3 millas por hora (4,8 kilómetros por hora) para reducir al mínimo los rebotes. Los resultados de las pruebas perfilográficas se evaluarán conforme a lo descrito en la Prueba 526 de California.

**PRUEBA SUPERFICIAL** – El contratista suministrará los equipos de pavimentación y empleará métodos que produzcan una superficie de rodaje con un índice de perfil de 10 pulgadas por milla (157,9 milímetros por kilómetro) o menos, con la excepción de lo estipulado en los siguientes párrafos. Se podrán aceptar perfiles iniciales de hasta 15 pulgadas por milla (236,8 milímetros por kilómetro) con los ajustes de precio aplicables. Los perfiles del pavimento se medirán a 3 pies (91 centímetros) de y paralelamente a cada borde del pavimento. Se medirán los perfiles longitudinales en lugares espaciados con regularidad a través del pavimento, a intervalos no mayores que 12 pies (3,7 metros).

Durante las operaciones iniciales de pavimentación, se probará la superficie del pavimento con el perfilógrafo tan pronto como se haya completado el aplanado final. Los resultados de las pruebas iniciales deberán estar disponibles antes de transcurridas 24 horas, contadas a partir del momento en el que se realicen las pruebas. Después de las pruebas iniciales, se medirán los perfiles de la pavimentación de cada día, antes de transcurridos dos días, contados a partir del momento en el que se coloque el pavimento. Los perfiles finales deberán estar disponibles antes de transcurridos cinco días, contados a partir del momento en el que se complete una sección.

**MEDICIÓN** – Se determinará un índice diario del perfil correspondiente a cada día de pavimentación. Un día de pavimentación se define como un mínimo de 0,1 millas

---

(0,16 kilómetros) de pavimento de anchura total colocado en un día. Si se pavimentan menos de 0,1 millas (0,16 kilómetros), la producción del día se sumará a la del día siguiente. Cada segmento de 0,1 millas (0,16 kilómetros) de un carril de tránsito se probará y evaluará separadamente mediante el perfilógrafo.

Dentro de cada segmento de 0,1 millas (0,16 kilómetros), el contratista corregirá todas las áreas representadas por puntos altos que tengan desviaciones que excedan 0,4 pulgadas (10,2 milímetros) en un tramo de 25 pies (7,6 metros) o menos. Después de corregir las desviaciones individuales que excedan 0,4 pulgadas (10,2 milímetros) en un tramo de 25 pies (7,6 metros), se tomarán medidas correctivas para reducir el índice del perfil a 10 pulgadas por milla (157,9 milímetros por kilómetro) o menos. Además, todo segmento de 0,1 millas (0,16 kilómetros) que tenga un índice inicial de perfil que exceda 15 pulgadas por milla (236,8 milímetros por kilómetro) se corregirá para reducir el índice del perfil a 10 pulgadas por milla (157,9 milímetros por kilómetro) o menos.

En aquellas secciones en las que se hagan correcciones, se probará el pavimento para verificar que las correcciones hayan producido un índice de perfil de 10 pulgadas por milla (157,9 milímetros por kilómetro) o menos.

**ALISADO CERTIFICADO** – El contratista proporcionará los resultados de las pruebas perfilográficas al ingeniero para verificar que su trabajo cumple con las especificaciones relacionadas con el alisado. Las pruebas y evaluaciones las realizará una persona capacitada y titulada, lo cual deberá constar en la evaluación.

**MEDIDAS CORRECTIVAS** – Todo el trabajo correctivo correrá por cuenta del contratista y se completará antes de determinar el espesor del pavimento. Las correcciones hechas mediante rectificación a diamante, colocación de capas superpuestas o mediante la remoción y el reemplazo del pavimento se realizarán según lo indique el ingeniero, de acuerdo con lo siguiente:

1) Fresado en frío/rectificación. El contratista aplicará el fresado en frío/rectificación hasta lograr las tolerancias superficiales requeridas. Se aplicará el fresado en frío/rectificación hasta producir una sección transversal uniforme. Todas las áreas rectificadas quedarán limpias y tendrán una apariencia superficial uniforme.

2) Colocación de una capa superpuesta. Las capas superpuestas asfálticas para pavimento de concreto deberán satisfacer todos los requisitos especificados en el contrato. La colada de la capa superpuesta se extenderá a todo lo ancho de la superficie subyacente del pavimento y tendrá un espesor terminado compactado suficiente como para corregir las asperezas y producir una superficie final que satisfaga las tolerancias superficiales especificadas.

Si la capa superpuesta no satisface los requisitos relacionados con el alisado longitudinal, no se permitirá la colocación de una segunda capa superpuesta. El contratista hará las reparaciones de una capa superpuesta que no satisfaga los requisitos relacionados con el alisado según lo indique el ingeniero.

3) Remoción y reemplazo. Las correcciones hechas mediante la remoción y el reemplazo se harán usando materiales asfálticos para pavimento de concreto que satisfagan los requisitos especificados en el contrato.

**AJUSTES, INCLUYENDO DESINCENTIVOS E INCENTIVOS** – Cuando el índice del perfil sea mayor que 7 pulgadas por milla (110,5 milímetros por kilómetro) pero no exceda 10 pulgadas por milla (157,9 milímetros por kilómetro por sección de 0,1 millas (0,16 kilómetros), se pagará el precio unitario del contrato correspondiente a la capa superficial completada. Cuando el índice del perfil exceda 10 pulgadas por milla (157,9 milímetros por kilómetro) por sección de 0,1 millas (0,16 kilómetros) pero no exceda 15 pulgadas por milla (236,8 milímetros por kilómetro) por sección de 0,1 millas (0,16 kilómetros), el contratista podrá optar por aceptar una disminución del precio unitario del contrato en lugar de reducir el índice del perfil. Cuando el índice del perfil sea inferior o equivalente a 7 pulgadas por milla (110,5 milímetros por kilómetro), se le pagará un incentivo al contratista.

El precio unitario del contrato se ajustará de acuerdo con la siguiente escala. Observe la tabla adjunta.

Los ajustes de pago correspondientes a los incentivos sólo se basarán en el índice del perfil inicialmente medido, antes de realizar cualquier trabajo correctivo. La escala de ajustes de precio correspondiente al pago del 100% o a las reducciones del pago será aplicable a las secciones de pavimento donde se hayan completado trabajos correctivos.

Índice del Perfil Pulgadas por milla por sección de 0,1 millas (Milímetros por kilómetro por sección de 0,16 kilómetros)	Ajuste del precio unitario del contrato % del precio unitario de oferta del pavimento
3 o menos (47,4 o menos)	105
Entre 3 y 4 (47,4 a 63,1)	104
Entre 4 y 5 (63,1 a 78,9)	103
Entre 5 y 6 (78,9 a 94,7)	102
Entre 6 y 7 (94,7 a 110,5)	101
Entre 7 y 10 (110,5 a 157,9)	100
Entre 10 y 11 (157,9 a 173,6)	98
Entre 11 y 12 (173,6 a 189,4)	96
Entre 12 y 13 (189,4 a 205,2)	94
Entre 13 y 14 (205,2 a 221,0)	92
Entre 14 y 15 (221,0 a 236,8)	90
Más de 15 (236,8)	Se requiere trabajo correctivo

**ESPECIFICACIONES DE LA NAPA  
RELACIONADAS CON EL ALISADO**

El ajuste del precio unitario de oferta será aplicable al tonelaje teórico total que represente el espesor total de la estructura del pavimento asfáltico de la sección con una longitud de 0,1 millas (0,16 kilómetros) y la anchura de carril representada por el perfilógrafo.

Figura E-1







800 MANUFACTURERS ROAD • CHATTANOOGA, TN 37405-7515 • TELEPHONE 423-265-0600 • FAX 423-267-7104