

## Boletín técnico T-135S

# ACARREO EN CAMIONES DE ASFALTO DE MEZCLA CALIENTE

Autor: J. Don Brock, PhD., P.E.

ASTEC incita a sus ingenieros y ejecutivos a crear artículos de utilidad para los miembros de la industria de la mezcla de asfalto caliente (HMA). La compañía también patrocina estudios independientes cuando corresponde y ha coordinado autorías conjuntas entre competidores de la industria. La información se divulga a cualquier parte interesada en la forma de boletines técnicos. El propósito de estos boletines técnicos es aportar información a la industria de HMA para contribuir a un proceso de mejoramiento continuo que pueda beneficiar a toda la industria.

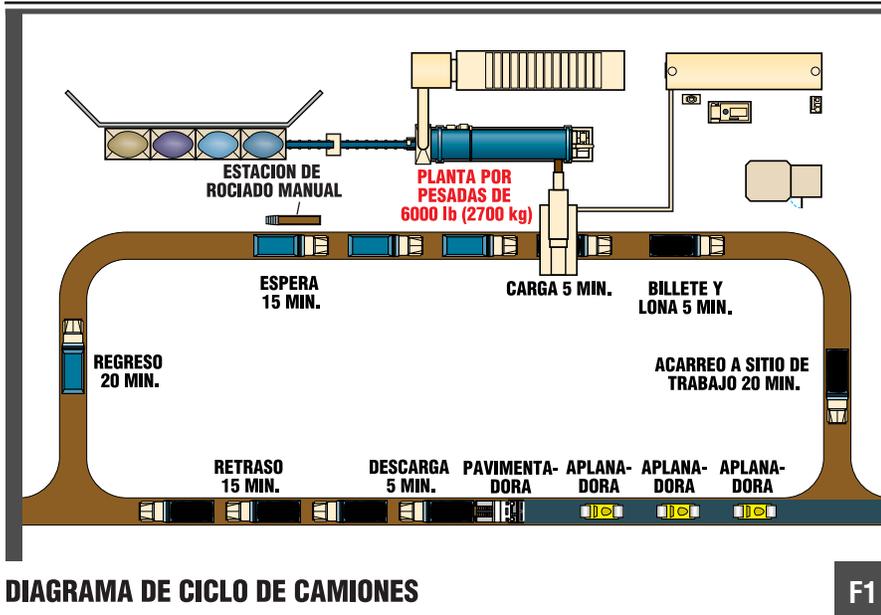




---

## **CONTENIDO**

<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>4</b>
<b>CICLOS DE CAMIONES .....</b>	<b>4</b>
<b>RETRASO EN LA PLANTA .....</b>	<b>6</b>
<b>TIEMPO DE CARGA .....</b>	<b>6</b>
<b>COMPENSACION vs. ALMACENAMIENTO .....</b>	<b>9</b>
<b>BILLETE, LONA IMPERMEABLE Y MUESTRA .....</b>	<b>12</b>
<b>RETRASO EN EL SITIO DE TRABAJO .....</b>	<b>12</b>
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>18</b>



## INTRODUCCION

El productor de asfalto de mezcla caliente se enfrenta con cuatro categorías de costos separadas al mezclar, acarrear y colocar mezcla caliente en la carretera. Estas categorías de costos son las siguientes:

- Costo de materiales
- Costo de procesamiento de la planta
- Costo de acarreo en camiones
- Costo de pavimentación

Hoy en día, el mayor de estos costos es el costo de materiales. El segundo es el costo de acarreo en camiones. En los últimos años se ha puesto una atención considerable al costo operativo de

la planta y a los costos de las cuadrillas de pavimentación. Estos costos se han reducido substancialmente con una mayor capacidad de producción de las instalaciones de producción de mezcla caliente y una producción anual más alta en las instalaciones. Sin embargo, no se ha hecho mucho esfuerzo por reducir los costos del acarreo en camiones, ya que a menudo los camiones son arrendados y su costo parece difícil de controlar. Generalmente, las tarifas de arriendo se cobran por tonelada/milla y los productores erróneamente suponen que el costo está totalmente controlado por el camionero. En muchas compañías, no se pone atención a la reducción de los costos por concepto de acarreo en camiones. En los últimos años, los costos de acarreo en camiones, como muchos otros, han subido por las razones siguientes:

- Aumentos en costos de equipos
- Aumentos substanciales en costos de combustible
- Carencia de conductores
- Tarifas más elevadas de conductores
- Costos de seguro más altos
- Reglamentos adicionales relacionados con las horas de trabajo de los conductores, etc.

Además de estos costos en alza, otra dificultad que ha impactado a los productores de mezcla caliente de los Estados Unidos es la carencia de conductores calificados y de camiones en muchas zonas. Estos factores han guiado a poner un nuevo énfasis en una mejor administración de las flotas de camiones para lograr una mejor utilización de los camiones y una mayor eficiencia.

## CICLOS DE CAMIONES

En la **Figura 1** se muestra un diagrama del funcionamiento típico de una planta de producción por pesadas en la era de los 70/80. Generalmente, había tres camiones esperando en fila en una planta como ésta. Usualmente, en la mañana, solía haber como 20 camiones en fila, esperando ser cargados. En la tarde, cuando bajaba la venta del día, la instalación se paraba y se arrancaba frecuentemente; los arranques normalmente se llevaban a cabo cuando había por lo menos 2-3 camiones en fila. Asimismo, 2-4 camiones llenos esperaban en fila en la pavimentadora, lo cual resultaba en demoras considerables en el acarreo en camiones tanto en la planta como en la pavimentadora.

Tal vez la mejor forma de entender el funcionamiento de los camiones es viajar en el camión o conducirlo durante todo el ciclo y ver todos los lugares donde se requiere que el camión pare. La **Figura 2** lista los componentes de un ciclo de camiones típico. La misión del camión es acarear mezcla del punto A al punto B. Cada vez que el camión no se mueva, hay ineficiencias en el funcionamiento. Obsérvese que seis de los ocho pasos que se muestran en la Figura 2 no están relacionados con el movimiento del camión. Sumar el tiempo requerido para cada uno de los ocho eventos da como resultado el tiempo total requerido para completar un ciclo de acarreo en camión.

Los costos actuales de acarreo en camión fluctúan entre US\$40 y US\$50 por hora. Si se calcula el tiempo del ciclo en minutos y los minutos se multiplican por el costo de acarreo en camión por minuto, se puede determinar el costo del acarreo por ciclo. Dividir este costo por ciclo entre las toneladas de mezcla que el camión acarrea da como resultado el costo de acarreo por tonelada de mezcla. La **Figura 3** muestra un ciclo de camiones para la operación ilustrada en la Figura 1. Como se puede ver en la Figura 3, se requiere un tiempo total de 85 minutos para completar un ciclo de acarreo en camión. A US\$45 por hora (o US\$0,75 por minuto), el costo del acarreo en camión por ciclo es de US\$63,75. Suponiendo que los camiones transportan 20 toneladas de mezcla, un costo de US\$3,19 por tonelada da como resultado (US\$63,75 dividido entre 20).

Si los camiones trabajan 10 horas por día, el número de viajes (ciclos) que puede hacer cada camión se halla dividiendo 85 minutos por ciclo entre los 600 minutos disponibles. Por lo tanto, cada camión puede hacer 7 viajes. Si la planta produce 2400 toneladas de mezcla por día, y cada camión acarrea 20 toneladas, se requieren 120 viajes. Dividir el total de viajes requeridos entre el número de viajes que cada camión puede completar en diez horas demuestra que se requieren 17 camiones.

A una tarifa de US\$45 por hora, cada camión cuesta US\$0,75 por minuto, independientemente de si el camión está en movimiento o no. En el ejemplo de la Figura 3, lleva 40 minutos acarrear hasta el sitio de trabajo y volver a la planta. Si se divide 40 minutos entre el tiempo total del ciclo de 85 minutos, da como resultado una eficiencia del ciclo del camión de sólo 47%. Este ejemplo demuestra que para aumentar la eficiencia del acarreo en camiones y reducir el costo, se debe abordar y eliminar, de ser posible, cada una de las partes del ciclo en las que el camión no está en movimiento. Los siguientes párrafos describen las diversas formas de reducir o eliminar estos retrasos.

<b>COMPONENTES</b>	<b>CALCULOS</b>
• Retraso en la planta	• Costo/ciclos...
• Tiempo de carga	• Costo/tonelada...
• Billete y lona	• N° de ciclos/camión en ____ horas
• Acarreo a sitio de trabajo	• N° de ciclos requeridos
• Retraso en sitio de trabajo	• N° de camiones requeridos
• Intercambio de camiones	
• Descarga	
• Regreso a planta	

**F2**

**COMPONENTES DE CICLO DE CAMIONES Y CALCULOS**

- Producción: 240 toneladas/hora = 2400 toneladas/día
- 20 toneladas por camión
- Costo de camiones: \$45 por hora = \$0,75 por minuto

Retraso en la planta	15 min.	Costo/ciclo	\$63,75
Tiempo de carga	5 min.	Costo/tonelada	\$3,19
Billete, lona y toma de muestra	5 min.		
Acarreo al sitio (10 millas/16 km)	20 min.		
Retraso en sitio de trabajo	15 min.	Ciclos/camión	7
Intercambio de camiones	2 min.	Ciclos requeridos	120
Descarga	3 min.	Camiones requeridos	17
Regreso a planta	20 min.		
Total	85 min.	% de eficiencia	47

LOS COSTOS SE MUESTRAN EN DOLARES EE.UU.

**CICLO DE CAMIONES - CARGA DIRECTA EN PLANTA POR PESADAS**

**F3**



SISTEMA DE APLICACION DE AGENTE DE DESMOLDEO

F4

## RETRASO EN LA PLANTA

Los retrasos en la planta consisten en el tiempo para aceitar o rociar la plataforma del camión con agente de desmoldeo (muchas veces hasta cinco minutos) y el tiempo de espera para cargar. En el pasado, al acarrear mezcla caliente, se usaba aceite combustible como agente de desmoldeo para rociar la plataforma del camión. Hoy en día, hay disponibles forros de plataforma de alto peso molecular, que eliminan el uso de agentes de desmoldeo. Estos forros generalmente cuestan US\$4000-5000 por plataforma de camión, pero pueden ahorrar la enorme cantidad de tiempo requerida anteriormente para rociar el agente de desmoldeo en la plataforma.

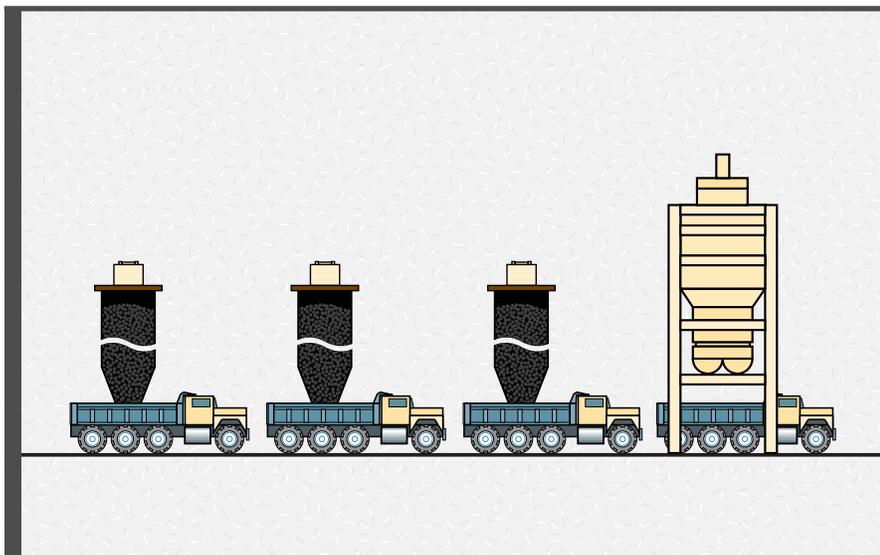
Para aplicar agentes de desmoldeo, se puede utilizar un sistema como el mostrado en la **Figura 4**. Este sistema utiliza un sensor en la plataforma del camión, que automáticamente activa el rocío a medida que el camión pasa por debajo de una serie de boquillas. No sólo se reduce el tiempo de rociado a aproximadamente 15 segundos por plataforma de camión, sino que también el agente de desmoldeo se aplica eficazmente y con menos desperdicio.

Cuando se acarrean mezclas de temperaturas más altas y el uso de agentes de desmoldeo no es recomendable, una arena fina de uno a dos milímetros impide que la mezcla se adhiera a la plataforma del camión. Verter aproximadamente una pinta (473 ml) de este material en la plataforma ha impedido exitosamente que la mezcla se adhiera a la plataforma.

Cuando el productor es dueño de los camiones, es recomendable instalar forros de plataforma para eliminar totalmente el retraso a causa del agente de desmoldeo.

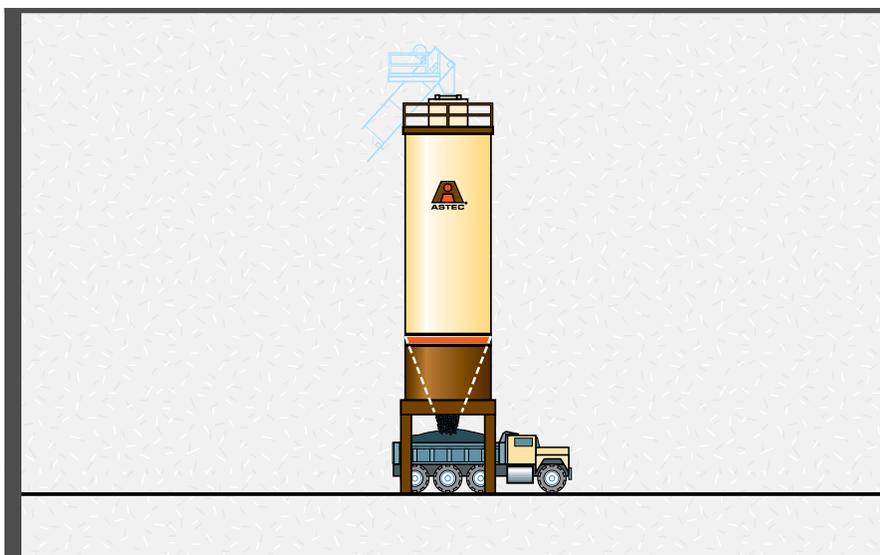
## TIEMPO DE CARGA

En el pasado, se usaban camiones adicionales en la planta como tolvas de compensación para permitir que la planta funcionara continuamente (**Figura 5**). Cuando los camiones no eran tan caros, la mano de obra era baja y el combustible era barato, este tipo de compensación puede haber sido acep-



PLANTA POR PESADAS - USO DE CAMIONES COMO COMPENSACION

F5



CARGA RAPIDA DE TOLVA DE COMPENSACION

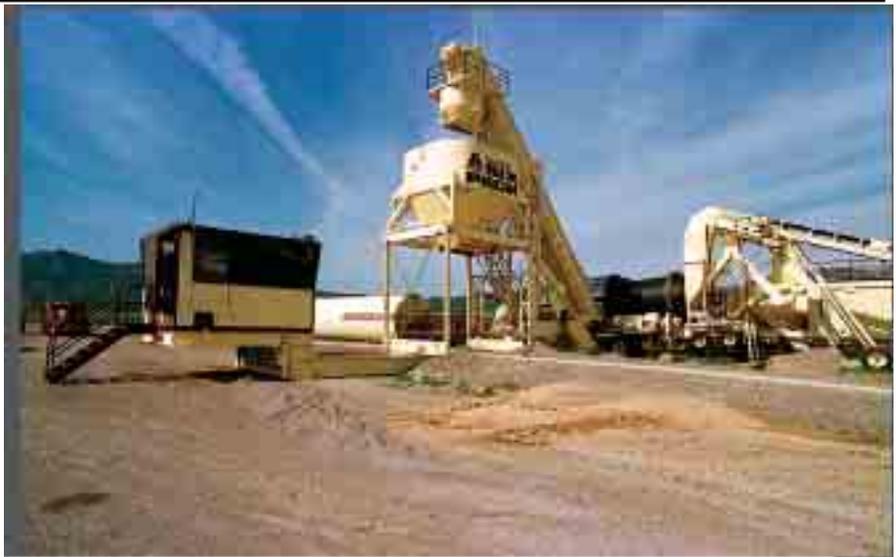
F6

table. Sin embargo, con los costos actuales, una tolva de compensación o algún dispositivo que permita la carga rápida del camión (como se muestra en las Figuras 6 y 7) es mucho más eficaz y económico que pagar por una cantidad de camiones y sus conductores. Las tolvas de compensación ofrecen las siguientes ventajas:

- La capacidad de mantener la instalación continuamente en funcionamiento.
- La capacidad de estabilizar la temperatura de la mezcla mientras se almacena en la tolva de compensación.
- La capacidad de las plantas de producción por pesadas de procesar pesadas completas a una eficiencia máxima todo el tiempo. Sin la capacidad de compensación, a menudo se producen pesadas parciales cuando los camiones se encuentran cargados al límite máximo del peso. Esto resulta en una producción diaria reducida de la planta por pesadas.
- La capacidad de cargar los camiones al peso máximo legal con el uso de una pesa debajo de la tolva de compensación. Los camiones se pueden pesar en cada viaje y cargar hasta su límite legal.
- La capacidad de reducir los costos de mantenimiento eliminando las paradas y arranques.

La Figura 8 muestra un ciclo de camiones similar al mostrado en la Figura 3, pero refleja el uso de una tolva de compensación y camiones con forros en sus plataformas (o un sistema automático de rociado). Esto permite el funcionamiento continuo de la planta y elimina los retrasos de los camiones en la planta. Los camiones se pueden cargar en menos de un minuto. Como se puede ver en la Figura 8, el ciclo de camiones ahora se redujo a 66 minutos de los 85 minutos en el ejemplo de la Figura 3. Usando el mismo costo de camión por hora (US\$45) como en los cálculos de la Figura 3, el costo por ciclo se reduce a US\$49,50 y el costo de acarreo por tonelada se reduce a US\$2,47. Con el tiempo reducido del ciclo de 66 minutos, los camiones pueden hacer 9 viajes por día en vez de 7, y la cantidad de camiones se puede reducir de 17 a 14. Obsérvese que la eficiencia del acarreo se ha aumentado a 61%, ya que los camiones se mueven durante 40 de los 66 minutos del ciclo. La Figura 9 muestra un diagrama del ciclo de camiones y la instalación cuando se eliminan los retrasos en la planta.

Generalmente, una cantidad específica de mezcla, como las 20 toneladas de los ejemplos anteriores, se carga en cada camión. Cuando se instalan pesas debajo de la tolva de compensación o si se conoce el peso de tara exacto del camión cuando se usan dosificadores de pesaje o sistemas de pesaje de la tolva misma antes y después de cargar el camión, el mismo se puede cargar con seguridad hasta su límite legal en cada viaje. El ciclo de camiones en la Figura 10 se ve similar al de la Figura 8,



**TOLVA DE COMPENSACION**

F7

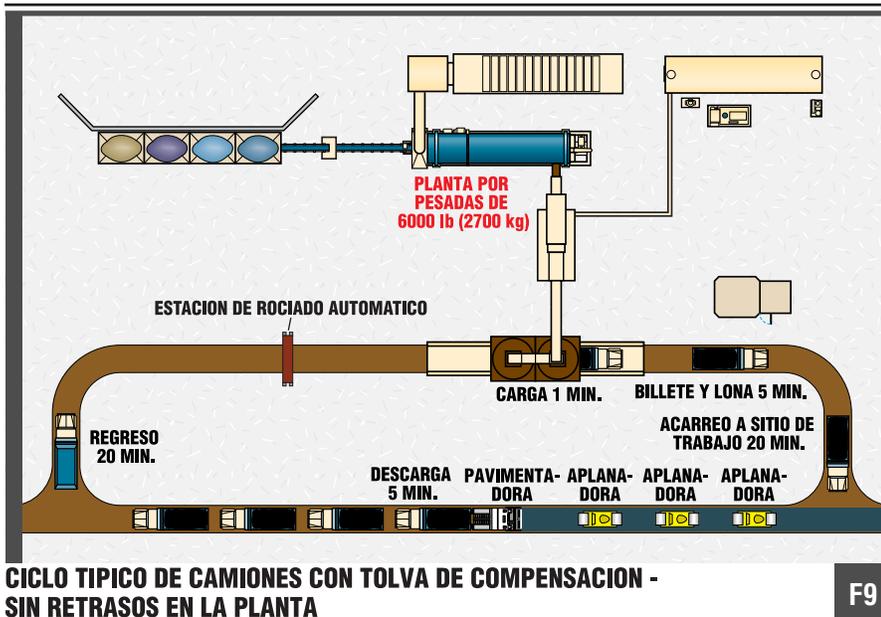
- **Producción: 240 toneladas/hora = 2400 toneladas/día**
- **20 toneladas por camión**
- **Costo de camiones: \$45 por hora = \$0,75 por minuto**

Retraso en la planta	0 min.	Costo/ciclo	\$49,50
Tiempo de carga	1 min.	Costo/tonelada	\$2,47
Billete, lona y toma de muestra	5 min.		
Acarreo al sitio (10 millas/16 km)	20 min.		
Retraso en sitio de trabajo	15 min.	Ciclos/camión	9
Intercambio de camiones	2 min.	Ciclos requeridos	120
Descarga	3 min.	Camiones requeridos	14
Regreso a planta	20 min.		
<b>Total</b>	<b>66 min.</b>	<b>% de eficiencia</b>	<b>61</b>

LOS COSTOS SE MUESTRAN EN DOLARES EE.UU.

**CICLO DE CAMIONES - SIN RETRASOS EN LA PLANTA**

F8



pero ahora los camiones se cargan con 21 toneladas de mezcla en vez de 20. La cantidad de minutos en el ciclo es exactamente la misma y la eficiencia del ciclo es exactamente la misma. Pero, el costo de acarreo en camiones por tonelada se redujo de US\$2,47 a US\$2,35 ya que ahora se acarrean 21 toneladas por el mismo costo de las 20 toneladas. Si la planta continúa produciendo 2400 toneladas/día, se requieren sólo 114 viajes y, por lo tanto, se pueden usar 13 camiones en vez de 14. Un leve aumento en la carga de los camiones puede reducir el número de viajes y rendir ahorros considerables.

Hay una fuerte demanda por camiones, lo que resulta en mermas frecuentes. Esto hace que los productores sean reticentes a deshacerse de los camiones cuando no los necesitan. Por lo tanto, no es inusual ver una tolva de compensación o de almacenamiento instalada en una planta de mezcla caliente sin la reducción correspondiente en la cantidad de camiones en el ciclo de acarreo. Como muestra la Figura 10, añadir una tolva de compensación o de almacenamiento a las operaciones de la planta y cargar los camiones a su límite legal permite una reducción en la cantidad de camiones de 17 a 13. Si se dejan 17 camiones en el acarreo y ahora se ciclan en 66 minutos en vez de 85 minutos, la tolva de compensación/silo quedará vacío y los camiones tendrán que esperar 15 minutos bajo el silo, aun con las 200-400 toneladas de mezcla en almacenamiento al momento del arranque en la mañana.

- **Producción: 240 toneladas/hora = 2400 toneladas/día**
- **21 toneladas por camión**
- **Costo de camiones: \$45 por hora = \$0,75 por minuto**

Retraso en la planta	0 min.	Costo/ciclo	\$49,50
Tiempo de carga	1 min.	Costo/tonelada	\$2,35
Billete, lona y toma de muestra	5 min.		
Acarreo al sitio (10 millas/16 km)	20 min.		
Retraso en sitio de trabajo	15 min.	Ciclos/camión	9
Intercambio de camiones	2 min.	Ciclos requeridos	114
Descarga	3 min.	Camiones requeridos	13
Regreso a planta	20 min.		
<b>Total</b>	<b>66 min.</b>	<b>% de eficiencia</b>	<b>61</b>

LOS COSTOS SE MUESTRAN EN DOLARES EE.UU.

**CICLO DE CAMIONES - SIN RETRASOS EN LA PLANTA** **F10**

- **Producción: 240 toneladas/hora + 400 toneladas de almacenamiento = 2800 toneladas/día**
- **21 toneladas por camión**
- **Costo de camiones: \$45 por hora = \$0,75 por minuto**

Retraso en la planta	0 min.	Costo/ciclo	\$49,50
Tiempo de carga	1 min.	Costo/tonelada	\$2,35
Billete, lona y toma de muestra	5 min.		
Acarreo al sitio (10 millas/16 km)	20 min.		
Retraso en sitio de trabajo	15 min.	Ciclos/camión	9
Intercambio de camiones	2 min.	Ciclos requeridos	133
Descarga	3 min.	Camiones requeridos	15
Regreso a planta	20 min.		
<b>Total</b>	<b>66 min.</b>	<b>% de eficiencia</b>	<b>61</b>

LOS COSTOS SE MUESTRAN EN DOLARES EE.UU.

**CICLO DE CAMIONES - SIN RETRASOS EN LA PLANTA** **F11**

El ciclo de acarreo en camiones para una instalación que ha aumentado su producción de 2400 toneladas a 2800 toneladas empezando con los silos llenos en la mañana se muestra en la Figura 11. El costo de acarreo en camiones por tonelada sigue igual y el tiempo del ciclo permanece igual. El número de viajes requeridos aumenta de 114 a 133 y se necesitarán 15 camiones. Si el operador continúa usando 17 camiones, los silos estarán vacíos en aproximadamente cuatro horas, y los camiones volverán a estar esperando en fila. Para ayudar a equiparar la cantidad requerida de camiones, las tolvas de compensación y los silos se pueden usar como indicadores

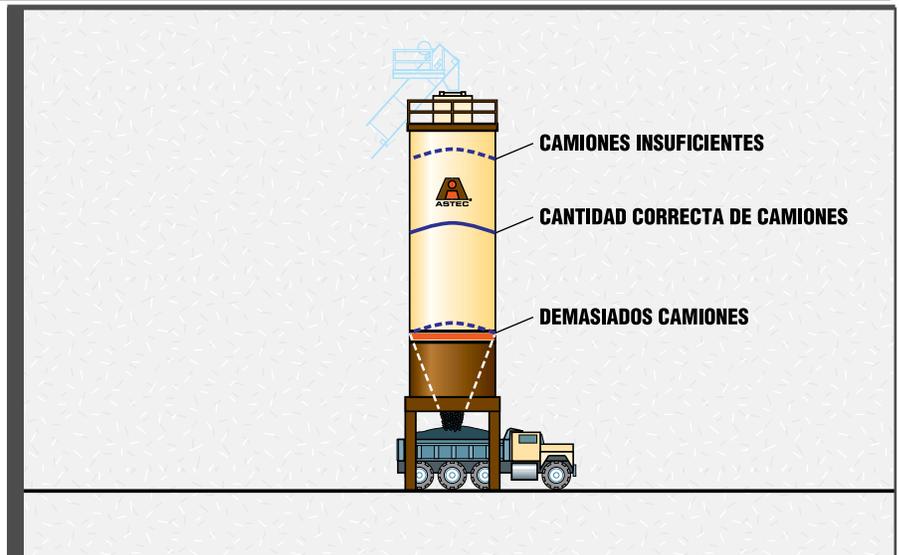
de camiones. La **Figura 12** ilustra este punto. Si se asignan demasiados camiones al acarreo, el silo se vaciará pronto. Si se asignan muy pocos camiones, el silo se llenará. Si se observa el nivel de mezcla en el silo y se aumenta o disminuye la cantidad de camiones según se requiera, se puede determinar la cantidad adecuada de camiones para una utilización más eficiente.

## COMPENSACION vs. ALMACENAMIENTO

Las tolvas (silos) de almacenamiento se ven y se desempeñan de manera muy similar a las tolvas de compensación. En operaciones portátiles, donde el productor de mezcla caliente produce, acarrea y coloca la mezcla, el funcionamiento de la planta se puede controlar y administrar eficientemente con una sola tolva de compensación. Sin embargo, en plantas estacionarias o permanentes donde cada día se requieren varias mezclas y donde varias cuadrillas de pavimentación junto con los clientes FOB se abastecen de la misma instalación, frecuentemente se requieren varios silos (**Figuras 13 y 14**). Esto permite el llenado de los silos con mezclas diferentes, lo que deja a disposición dos a cinco mezclas diferentes en todo momento.

Los ahorros en camiones que se pueden lograr con un silo son exactamente los mismos que aquéllos que se pueden lograr con una tolva de compensación (como se describió anteriormente). Sin embargo, los silos tienen las siguientes ventajas adicionales:

- *Desempeñan el trabajo de una tolva de compensación y además tienen una capacidad de almacenamiento (aseguran una disponibilidad de mezcla).*
- *Permiten el almacenamiento de varias mezclas por períodos prolongados para ser usadas según sea necesario.*
- *Reducen el tiempo de las cuadrillas de la planta.*
- *Aumentan el tiempo de actividad de la planta.*
- *Permiten la venta de más mezcla FOB debido a un mejor servicio y a la disponibilidad de la mezcla.*



**TOLVA USADA COMO INDICADOR DE CAMIONES**

**F12**



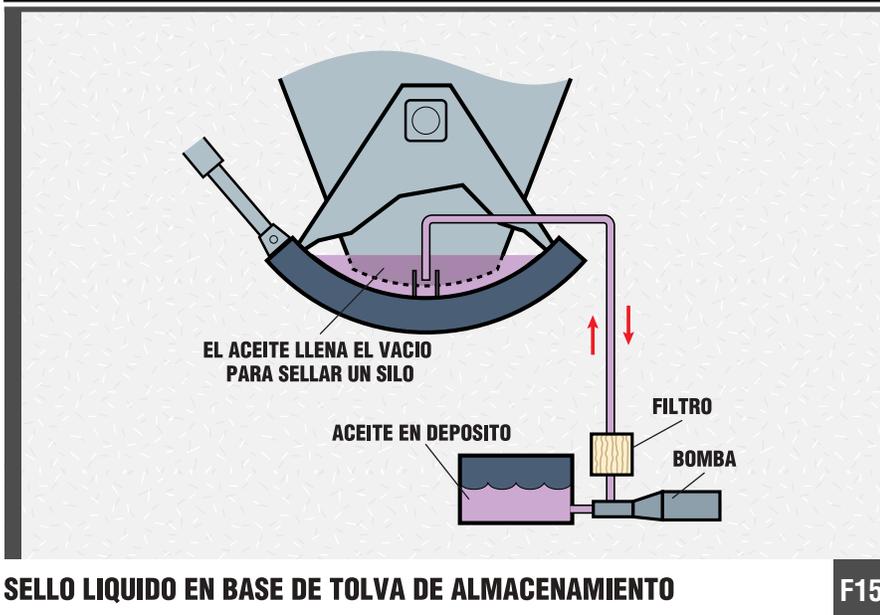
**SISTEMA DE SILOS MULTIPLES**

**F13**

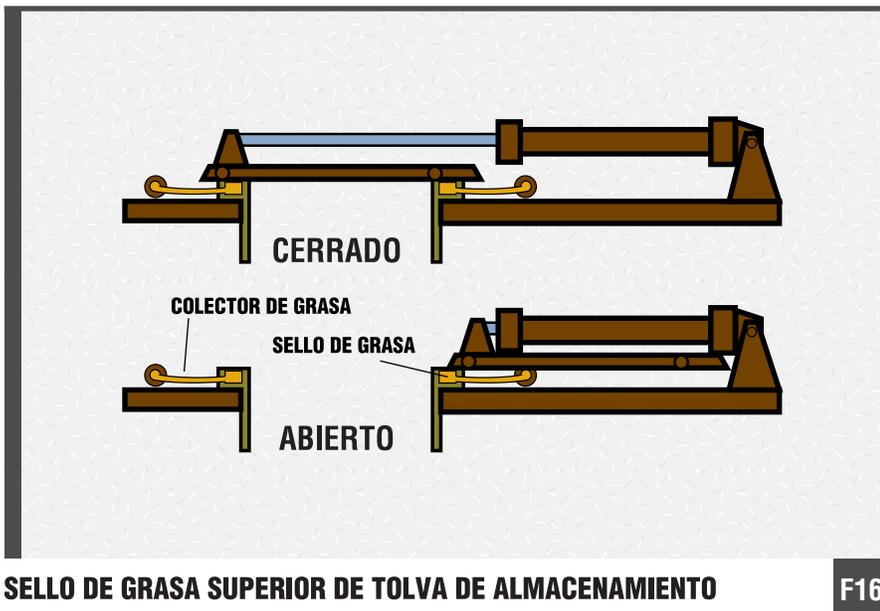


**SISTEMA DE SILOS MULTIPLES**

**F14**



La mayoría de las plantas estacionarias de mezcla caliente están extremadamente ocupadas en la mañana y a menudo no pueden satisfacer las demandas de las cuadrillas de pavimentación del dueño de la planta junto con las de los clientes FOB. Sin embargo, en la tarde, la mayoría de las plantas de asfalto tienen un funcionamiento de parada/arranque, ya que no hay suficiente demanda para hacer funcionar la planta continuamente. Muchas veces la cuadrilla de la planta debe permanecer hasta las 6:00 ó 7:00 de la noche, esperando a que la cuadrilla de pavimentación pida la última carga de mezcla. El uso de tolvas de almacenamiento puede ayudar con estos problemas.



Las tolvas (silos) de almacenamiento se ven como las tolvas de compensación, pero si damos una mirada más detallada son más sofisticadas y considerablemente diferentes. Están diseñadas para almacenar mezcla por un período prolongado. Para almacenar mezcla por un período prolongado, la misma no debe estar expuesta al oxígeno. Mientras más alta la temperatura de la mezcla, más rápido el ritmo de oxidación. Empezando a los 200°F (90°C), por cada subida de 25°F (15°C) en la temperatura, la velocidad de reacción se duplica. La mezcla almacenada a 350°F (175°C) se oxidará cuatro veces más rápido que la mezcla almacenada a 300°F (150°C). La reacción se duplica de 300°F a 325°F (150°C a 163°C) y de nuevo de 325°F a 350°F (163°C a 175°C). Por lo tanto,

los silos se deben sellar herméticamente para evitar que la mezcla se exponga al oxígeno en el aire. Un sello líquido, como el que se muestra en la **Figura 15**, evita que el oxígeno entre a la tolva de almacenamiento alrededor del área de la compuerta. El líquido/aceite se bombea cada noche en el área de la compuerta cuando la tolva está llena de mezcla. A la mañana siguiente la bomba se invierte, aspirando el líquido del área de la compuerta y permitiendo que la compuerta se pueda abrir. Un sello superior de grasa sella la parte superior de la tolva de almacenamiento caliente (**Figura 16**). Con un sello líquido en la parte inferior y un sello de grasa en la parte superior, se han almacenado mezcla en silos exitosamente hasta por una semana sin cambios substanciales en la mezcla. Un sistema de gas inerte, que presuriza el silo y obliga al gas libre de oxígeno a salir del silo e impide que el aire entre, es otro tipo de sello de silo. Los sellos mecánicos generalmente no han sido exitosos, ya que se contaminan con la mezcla caliente, lo que impide el sellado hermético. El método más simple y menos costoso de sellar un silo es cerrarlo como una botella de termo, y los sellos de líquido y de grasa han probado que son los más confiables a largo plazo. Para más información sobre la oxidación de la mezcla, refiérase al Boletín técnico T-103 de Astec sobre oxidación.

Los operadores a menudo se preocupan por la pérdida de calor, pero, con los silos generalmente bien aislados de hoy, sólo es necesario aceite caliente o calentamiento eléctrico alrededor del cono y la compuerta, si se aplica al menos 6 pulg (15 cm) de aislante a la pared lateral y la parte superior de la tolva.

El almacenamiento es básicamente como un seguro. Al saber que la mezcla se puede mantener con seguridad de tres días a una semana, el operador de la planta se siente confiado al llenar las tolvas de almacenamiento cada noche. Usualmente, la mezcla se puede mantener en una tolva de compensación sin pérdida significativa en la calidad de la mezcla, si el tiempo de almacenamiento se limita a 12 horas. Sin embargo, debido a la incertidumbre del clima y a varios otros factores que afectan las tareas de pavimentación, los operadores generalmente son reticentes a almacenar en una tolva de compensación durante la noche. Esto conlleva a un tipo de operación donde la cuadrilla de la planta debe llegar entre las 4:00 y las 5:00 AM (por lo menos dos horas antes de la llegada de los camiones) para llenar los silos y tenerlos llenos para las 6:30 ó 7:00 AM. Para asegurarse que los silos estén vacíos en la tarde, las plantas de producción por pesadas generalmente funcionan sin usar los silos después del almuerzo. Como se hizo notar anteriormente, esta práctica resulta en ineficiencias en la operación de acarreo y conduce a una cantidad substancial de horas extraordinarias para las cuadrillas de la planta. Al terminar el día con los silos llenos y dejar a una sola persona para cargar el último camión, se requiere que la cuadrilla de la planta trabaje menos horas, lo que no sólo reduce el costo de horas extraordinarias sino también la fatiga del personal.

Varios silos (**Figura 17**) permiten el almacenamiento de mezclas diferentes, lo cual hace posible que se procese una alta producción con el uso de un silo, mientras con los otros silos también se puede servir a clientes.

Llenar las tolvas en la noche para dejarlas listas para cargar a la mañana siguiente (**Figura 18**) aumenta substancialmente el tiempo productivo de la planta. Un estudio reciente demostró que el 95% de las averías de una planta ocurren temprano en la mañana. Cuando la planta se para temprano en la mañana, y se deja a 15 camiones esperando por dos horas mientras se repara la planta, se incurre en un gasto de aproximadamente US\$1350 en costo excesivo de camiones. Además de esto, también se genera un costo de US\$600 de cuadrilla de pavimentación durante las dos horas de parada. Si los silos están llenos, el operador de la planta puede empezar las operaciones normales, cargando los camiones de los silos llenos. A la hora que los silos estén vacíos, con optimismo la planta estará reparada y en funcionamiento, y ni los camiones ni la cuadrilla de pavimentación se verán afectados por la avería.



**SISTEMA DE SILOS MÚLTIPLES**

F17



**CARGA TEMPRANO EN LA MAÑANA**

F18



CONTROLES DEL SISTEMA DE CARGA AUTOMATICA

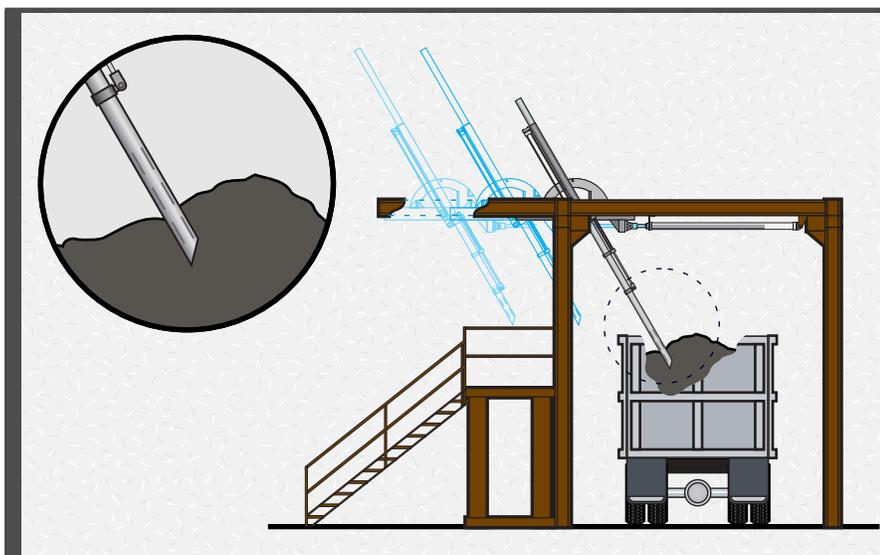
F19

Photo: Truckjackket & Supply, Inc.



CAMION CON LONA AUTOMATICA

F20



SISTEMA DE TOMA DE MUESTRA AUTOMATICA

F21

Tener diferentes clases de mezclas disponibles en varios silos (Figura 17) significa un mejor servicio al cliente y disponibilidad de mezcla, y todo esto puede llevar a un aumento de las ventas FOB. Muchos operadores tienen una relación con sus clientes donde éstos últimos llaman e indican qué cantidad y tipo de mezcla necesitan para el día siguiente. El operador puede llenar los silos durante el tiempo lento en la tarde y tener la mezcla disponible para aquellos clientes específicos. El mayor volumen de venta no sólo aumenta directamente las ganancias, sino que también el tonelaje adicional reduce el costo de la planta.

### BILLETE, LONA IMPERMEABLE Y MUESTRA

El retraso de camiones se puede minimizar con sistemas de carga automática (Figura 19) que pueden cargar un camión (en menos de un minuto) e imprimir un billete. Se deben disponer los silos y casetas de control de manera que el conductor no necesite bajarse del camión para obtener el billete. Hay disponibles lonas impermeables automáticas para camiones (Figura 20) que también sirven para reducir los retrasos en la planta. Los sistemas automáticos de toma de muestra (Figura 21) permiten que se tome una muestra rápida de mezcla caliente del camión, sin retrasar al conductor.

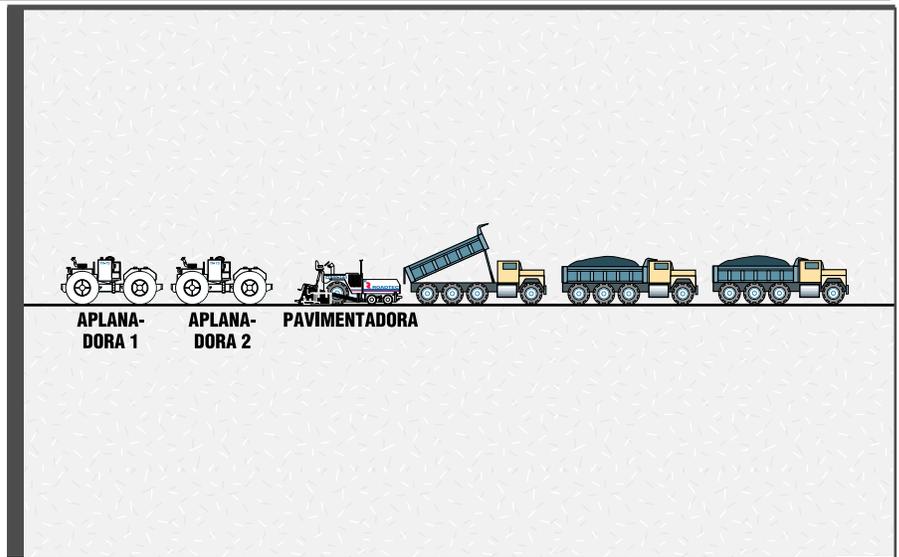
### RETRASO EN EL SITIO DE TRABAJO

La Figura 22 ilustra que generalmente hay tres a cuatro camiones esperando para descargar en el sitio de trabajo. Muchas veces, los camiones se utilizan como tolvas de compensación para permitir el funcionamiento continuo de la pavimentadora. Sin embargo, la mayoría de las pavimentadoras ahora están diseñadas para descargar camiones a una velocidad de 1500 toneladas/hora. El camión se descarga muy rápidamente. Luego la pavimentadora se para mientras un camión sale y el siguiente entra, la compuerta se destraba y la plataforma se eleva. Los estudios de los últimos 30 años demuestran un retraso promedio por camión de 12-15 minutos en la mayoría de los trabajos de pavimentación. Este retraso aumenta

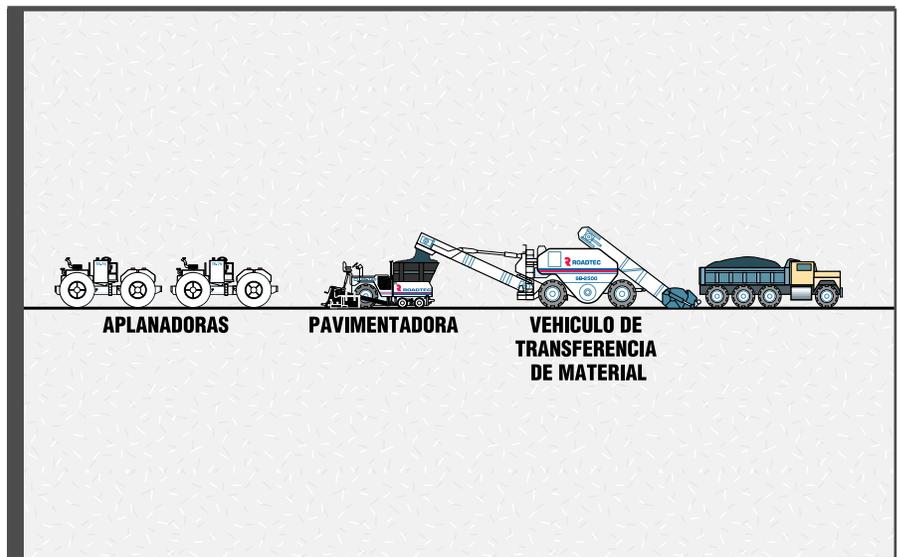
el costo de acarreo y también afecta negativamente la calidad de la mezcla. (Consultar el Boletín técnico T-134 de Roadtec sobre la segregación de la temperatura para más información.) La **Figura 23** muestra un vehículo de transferencia de material con una capacidad de 25-30 toneladas. Esta máquina puede ayudar a disminuir los retrasos en un sitio de trabajo.

El vehículo de transferencia de material alimenta la pavimentadora con un transportador, como se muestra en la Figura 23. A medida que la pavimentadora se acerca al vehículo de transferencia, es rellena antes que el vehículo de transferencia avance para recibir la siguiente descarga de camión. Se puede instalar un inserto en la pavimentadora, lo que permite un almacenamiento de 15-20 toneladas de mezcla en la pavimentadora y proporciona una capacidad combinada de almacenamiento de la pavimentadora y el vehículo de transferencia de material de 45-50 toneladas. Con capacidad de almacenamiento, la pavimentadora puede funcionar continuamente. Cuando se usa un vehículo de transferencia de material, los camiones se pueden parar 100-200 pies (30-60 m) delante de la pavimentadora y descargar con seguridad sin moverse. El camión puede descargar en un lugar donde no haya peligro que la plataforma del camión pueda choque con cables eléctricos, ramas de árboles, etc.

La **Figura 24** muestra el ciclo de camiones que se ilustra en las Figuras 3 y 8, pero considera la eliminación del retraso de los camiones en el sitio de pavimentación. Se debe recordar que el tiempo de ciclo de los camiones se redujo a 66 minutos con el uso de una tolva de compensación en la instalación de mezcla caliente. Al agregar un vehículo de transferencia de material para desempeñarse como una tolva de compensación en la carretera (como se describió anteriormente), el tiempo del ciclo de los camiones se reduce a 48 minutos. El costo del acarreo en camiones baja a US\$36,00 por viaje y a US\$1,80 por tonelada (al acarrear 20 toneladas por camión). Los camiones ahora pueden hacer 12 viajes en vez de los 7 en el ejemplo original. Sólo se requieren 10 camiones (en vez de 17) y la eficiencia de la operación de acarreo en camiones se eleva a 82%.



**PAVIMENTACION USANDO CAMIONES COMO TOLVAS DE COMPENSACION F22**



**PAVIMENTACION USANDO UN VEHICULO DE TRANSFERENCIA COMO TOLVA DE COMPENSACION F23**

- **Producción: 240 toneladas/hora = 2400 toneladas/día**
- **20 toneladas por camión; vehículo de transferencia usado en sitio de pavimentación**
- **Costo de camiones: \$45 por hora = \$0,75 por minuto**

Retraso en la planta	0 min.	Costo/ciclo	\$36,00
Tiempo de carga	1 min.	Costo/tonelada	\$1,80
Billete, lona y toma de muestra	5 min.		
Acarreo al sitio (10 millas/16 km)	20 min.		
Retraso en sitio de trabajo	0 min.	Ciclos/camión	12
Intercambio de camiones	0 min.	Ciclos requeridos	120
Descarga	2 min.	Camiones requeridos	10
Regreso a planta	20 min.		
	Total 48 min.	% de eficiencia	82

LOS COSTOS SE MUESTRAN EN DOLARES EE.UU.

**CICLO DE CAMIONES - SIN RETRASOS EN LA PLANTA F24**

- **Producción: 240 toneladas/hora = 2400 toneladas/día**
- **26 toneladas por camión; vehículo de transferencia usado en sitio de pavimentación**
- **Costo de camiones: \$50 por hora = \$0,83 por minuto**

Retraso en la planta	0 min.	Costo/ciclo	\$40,00
Tiempo de carga	1 min.	Costo/tonelada	\$1,54
Billete, lona y toma de muestra	5 min.		
Acarreo al sitio (10 millas/16 km)	20 min.		
Retraso en sitio de trabajo	0 min.	Ciclos/camión	12
Intercambio de camiones	0 min.	Ciclos requeridos	92
Descarga	2 min.	Camiones requeridos	8
Regreso a planta	20 min.		
	<b>Total 48 min.</b>	% de eficiencia	83

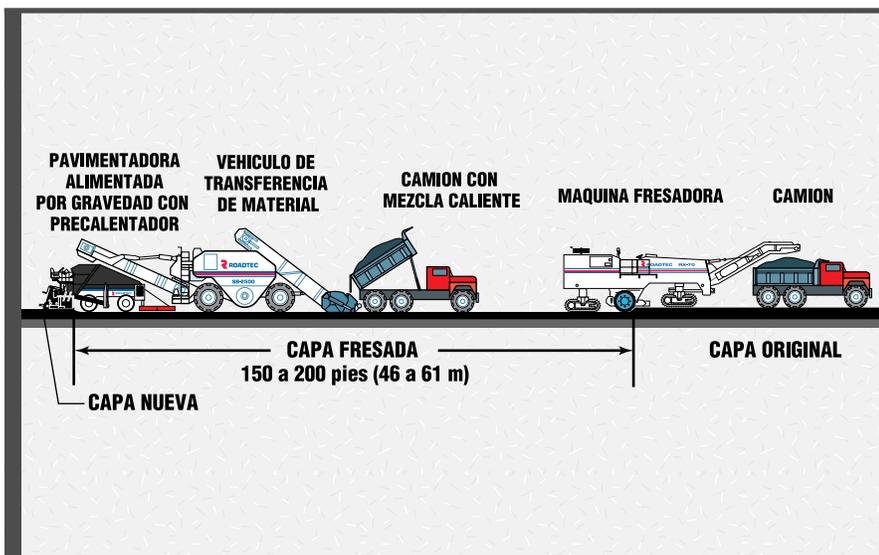
LOS COSTOS SE MUESTRAN EN DOLARES EE.UU.

### CICLO DE CAMIONES - SIN RETRASOS EN LA PLANTA

F25

Con un vehículo de transferencia de material, también se puede acarrear asfalto usando remolques más grandes del tipo usado para acarrear agregado, ya que los camiones se pueden descargar sin moverse. Usar remolques más grandes significa usar menos camiones y da como resultado una reducción adicional en el costo de la operación de acarreo (**Figura 25**). Suponiendo un costo por camión de US\$50 por hora para remolques que pueden acarrear 26 toneladas, el costo del acarreo por tonelada se reduce a US\$1,57. Con una carga aumentada de 26 toneladas, ahora sólo se requieren 92 viajes y la cantidad de camiones se reduce de 10 a 8.

Para satisfacer exigencias públicas, los funcionarios de carreteras están diseñando los trabajos para minimizar los retrasos de los usuarios. En la operación que se muestra en la **Figura 26** una máquina fresadora trabaja aproximadamente 150 pies (46 m) delante de la pavimentadora. A medida que el material viejo se tritura, se barre automáticamente la superficie y se pone mezcla nueva inmediatamente. Si se usan mezclas SMA de alta resistencia, el tránsito puede volver a su carril normal casi inmediatamente detrás de las pavimentadoras. Una operación conjunta de fresado-pavimentación también permite un acarreo doble: acarrear mezcla hasta el sitio y acarrear material triturado de vuelta a la planta. Al hacer acarreo



### OPERACION DE PAVIMENTACION COMBINADA

F26

- **Producción: 240 toneladas/hora = 2400 toneladas/día**
- **20 toneladas por camión; vehículo de transferencia usado en sitio de pavimentación**
- **Costo de camiones: \$45 por hora = \$0,75 por minuto; acarreo de RAP en regreso**

Retraso en la planta	0 min.	Costo/ciclo	\$21,00
Tiempo de carga	1 min.	Costo/tonelada	\$1,05
Billete, lona y toma de muestra	5 min.		
Acarreo al sitio (10 millas/16 km)	20 min.		
Retraso en sitio de trabajo	0 min.	Ciclos/camión	12
Intercambio de camiones	0 min.	Ciclos requeridos	120
Descarga	2 min.	Camiones requeridos	10
Regreso a planta	0 min.		
	<b>Total 28 min.</b>		

LOS COSTOS SE MUESTRAN EN DOLARES EE.UU.

### CICLO DE CAMIONES - SIN RETRASOS EN PLANTA NI EN SITIO DE PAVIMENTACION

F27

doble, el costo de acarreo de la carga de retorno de material triturado generalmente se carga a la operación de fresado, eliminando este costo del costo de acarreo de la operación de pavimentación. Esto lleva a una reducción considerable en el costo de acarreo de la mezcla, como se muestra en la **Figura 27**. Suponiendo un costo de camión de US\$45/hora, el tiempo del ciclo relacionado con el acarreo de mezcla se reduce a 28 minutos y el costo de acarreo en camiones por tonelada se reduce de US\$1,80 a US\$1,05, lo que se muestra en la **Figura 24**. Cada vez que se puedan combinar las operaciones de fresado y pavimentación, se pueden realizar ahorros substanciales en el costo de acarreo en camiones asociado con ambas operaciones.

Al momento de esta publicación, Roadtec ha fabricado más de 300 vehículos de transferencia de material (Shuttle Buggy®, **Figura 28**). Esencialmente, todas estas máquinas se compraron para mejorar la lisura del pavimento o para eliminar la segregación. Desafortunadamente, pocos de los vehículos de transferencia de material Shuttle Buggy se han utilizado de manera que realmente transfieran el material de la manera descrita. Para sorpresa de muchos de los compradores de estas máquinas, los ahorros máximos de costo ocurren en trabajos en intersecciones donde el Shuttle Buggy se usa realmente como un vehículo de transferencia de material (**Figura 29**).



**VEHICULO DE TRANSFERENCIA DE MATERIAL SHUTTLE BUGGY®**

F28



**EL SHUTTLE BUGGY® PERMITE UNA MAYOR MANIOBRABILIDAD DE LA PAVIMENTADORA**

F29

- **Producción: 96 toneladas/hora = 960 toneladas/día**
- **20 toneladas por camión**
- **Costo de camiones: \$45 por hora = \$0,75 por minuto**

Retraso en la planta	0 min.	Costo/ciclo	\$62,25
Tiempo de carga	1 min.	Costo/tonelada	\$3,11
Billete, lona y toma de muestra	5 min.		
Acarreo al sitio (10 millas/16 km)	20 min.		
Retraso en sitio de trabajo	30 min.	Ciclos/camión	7
Intercambio de camiones	2 min.	Ciclos requeridos	48
Descarga	5 min.	Camiones requeridos	7
Regreso a planta	20 min.		
	<b>Total 83 min.</b>	<b>% de eficiencia</b>	<b>48</b>

LOS COSTOS SE MUESTRAN EN DOLARES EE.UU.

**CICLO DE CAMIONES PARA TRABAJO EN INTERSECCION - SIN RETRASOS EN LA PLANTA**

**F30**

- **Producción: 96 toneladas/hora = 960 toneladas/día**
- **20 toneladas por camión; vehículo de transferencia usado en sitio de pavimentación**
- **Costo de camiones: \$45 por hora = \$0,75 por minuto**

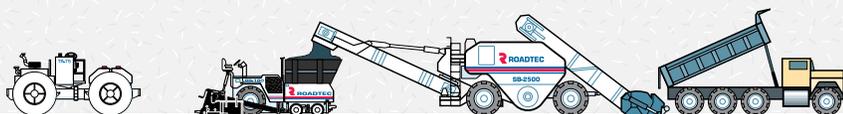
Retraso en la planta	0 min.	Costo/ciclo	\$36,00
Tiempo de carga	1 min.	Costo/tonelada	\$1,80
Billete, lona y toma de muestra	5 min.		
Acarreo al sitio (10 millas/16 km)	20 min.		
Retraso en sitio de trabajo	0 min.	Ciclos/camión	12
Intercambio de camiones	0 min.	Ciclos requeridos	48
Descarga	2 min.	Camiones requeridos	4
Regreso a planta	20 min.		
	<b>Total 48 min.</b>	<b>% de eficiencia</b>	<b>83</b>

LOS COSTOS SE MUESTRAN EN DOLARES EE.UU.

**CICLO DE CAMIONES PARA TRABAJO EN INTERSECCION - SIN RETRASOS EN LA PLANTA**

**F31**

Las Figuras 30 y 31 muestran los ciclos típicos de acarreo en camiones para una operación de pavimentación de una intersección. Cuando no se usa un vehículo de transferencia de material en un trabajo de intersección, el tiempo del ciclo de camiones totaliza 83 minutos y la eficiencia es de sólo un 48 por ciento (Figura 30). Con el uso de un vehículo de transferencia de material, los ciclos de acarreo en camiones para el mismo trabajo de intersección bajan a 48 minutos y la eficiencia sube a 83 por ciento. El uso del vehículo de transferencia de material reduce substancialmente el costo de pavimentación, ya que el camión puede descargar y eliminar los retrasos que ocurren en una operación de pavimentación muy lenta. Un contratista reportó que con el uso del Shuttle Buggy en trabajos de intersecciones, pudo reducir la cantidad de camiones de 7 a 3 y duplicó la cantidad de intersecciones terminadas en un día de trabajo. Los contratistas que hacen trabajos comerciales, como estacionamientos, calles sin salida, etc., reportan ahorros similares con el uso del Shuttle Buggy. Mientras las máquinas han sido compradas para otras aplicaciones, los ahorros máximos que proporcionan se deben al hecho que la pavimentadora se puede separar del camión, lo que permite una maniobrabilidad más alta de la pavimentadora. Se puede eliminar una cantidad substancial del trabajo manual que generalmente se requiere, ya que la pavimentadora móvil puede desempeñar la mayoría de las operaciones de colocación del pavimento mecánicamente.



**APLANADORA**  
Se usa sólo para el sellado final de la mezcla

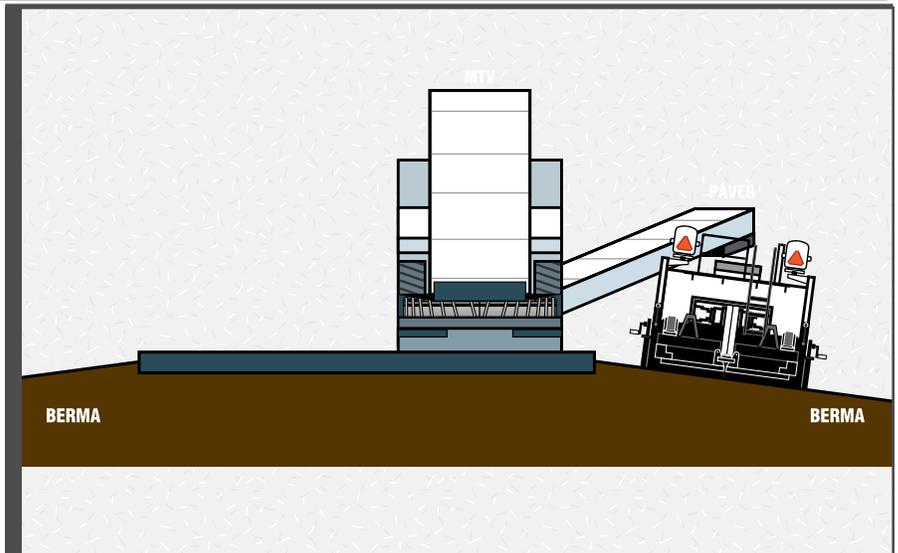
**PAVIMENTADORA CON NIVELADORA DE ALTA DENSIDAD**

**VEHICULO DE TRANSFERENCIA DE MATERIAL**

**LA PAVIMENTACION CONTINUA PRODUCE CARRETERAS MAS LISAS**

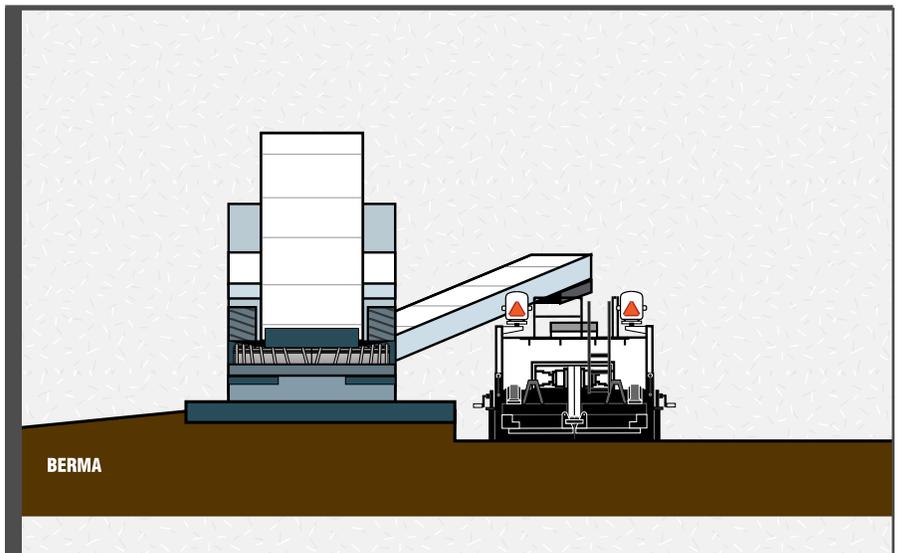
**F32**

Además de reducir el costo de acarreo en camiones, el vehículo de transferencia de material conduce a grandes mejoras en la lisura de la mayoría de los trabajos de pavimentación, reduciendo la indicación de lisura de 30 pulg (76 cm) por milla a menos de 10 pulg (25 cm) por milla al usar un medidor Mays y reducciones similares al usar diferentes tipos de rugosímetros (Figura 32). El vehículo de transferencia de material también permite la pavimentación de extensiones cuando se agregan bermas o carriles adicionales (Figura 33). Esto da como resultado un ahorro significativo en camiones, puesto que no se requiere que los camiones bajen al nuevo carril y después regresen al flujo normal del tránsito (Figura 34). En proyectos de pavimentación que requieren cuerdas guía a ambos lados de la pavimentadora, como en aeropuertos, el uso de un vehículo de transferencia de material también puede generar ahorros considerables. Un contratista reportó que aumentó sus operaciones de pavimentación de 1000 toneladas por día sin un vehículo de transferencia de material a 2000 toneladas con la misma cantidad de camiones y un Shuttle Buggy. Las cuerdas guía no tienen que interrumpirse y los camiones no tienen que pasar por la capa ligante, ya que los camiones pueden descargar en el carril adyacente y el vehículo de transferencia de material tiene la capacidad de transferir el material sobre la cuerda (Figura 35). Al pavimentar pistas de carrera con mucho peralte, el Shuttle Buggy se puede usar como se muestra en la Figura 36, lo que facilita considerablemente la terminación del trabajo.



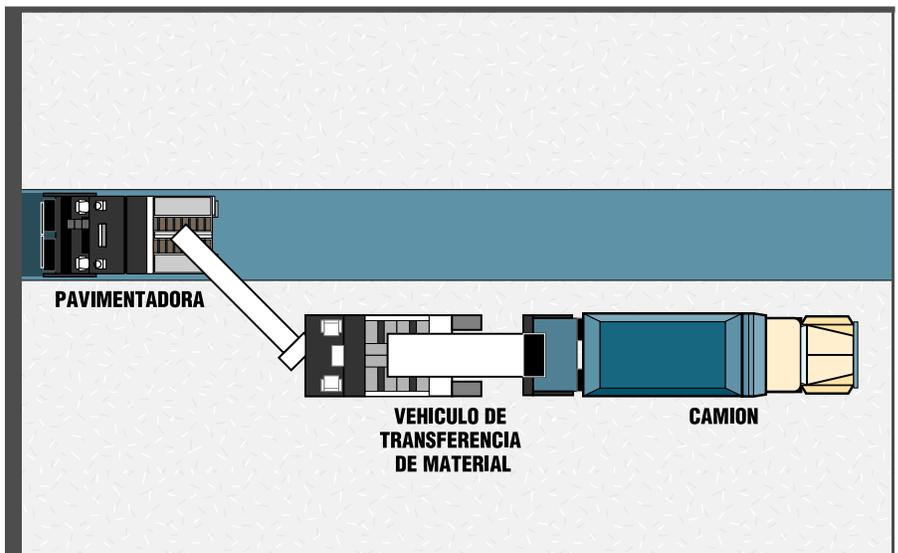
**EL VEHICULO DE TRANSFERENCIA PERMITE EL TRABAJO DE PAVIMENTADORAS EN LA BERMA**

F33



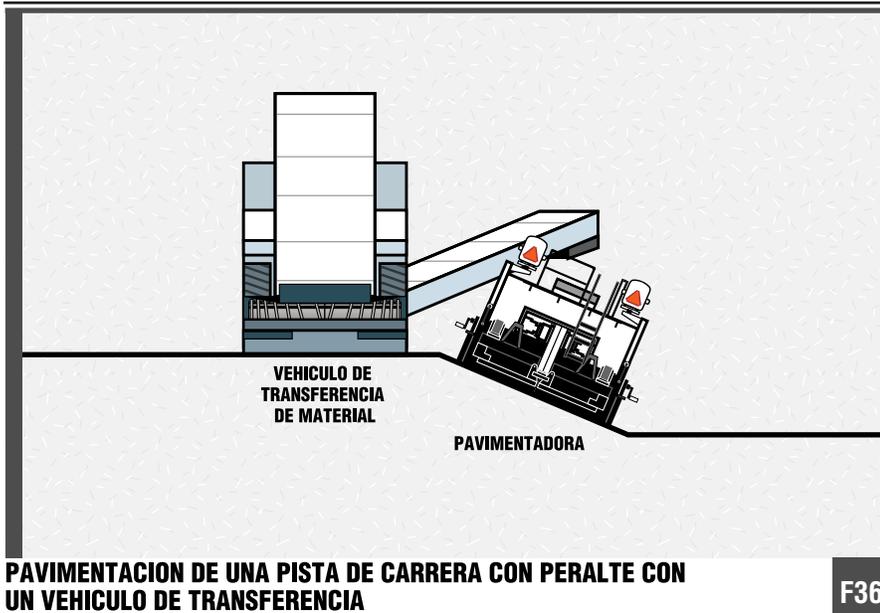
**EL VEHICULO DE TRANSFERENCIA MANTIENE A LOS CAMIONES FUERA DEL CARRIL NUEVO**

F34



**EL VEHICULO DE TRANSFERENCIA ALIMENTA A UNA PAVIMENTADORA SOBRE LAS CUERDAS GUIA**

F35



La **Figura 37** muestra un remolque de descarga por el lado inferior. Con el uso de este tipo de remolque, la mezcla se puede descargar en hileras. La hilera actúa como una gran tolva de compensación en la carretera. A pesar de que pueden ocurrir varios problemas debido al enfriamiento desigual, etc., este método ha sido utilizado exitosamente en la zona oeste de los Estados Unidos. Máquinas recolectoras (**Figura 38**) toman el material de la hilera y lo alimentan en la pavimentadora. Las máquinas de transferencia con cabezas formadoras de hileras, como se muestra en la **Figura 39**, proporcionan más almacenamiento de mezcla, remezclan el material para minimizar la segregación de la temperatura y de las partículas, y hacen que el tamaño de la hilera sea menos crítico.

## CONCLUSION

La administración de los camiones es tal vez la parte más difícil de una operación de pavimentación. Las tolvas de compensación, las tolvas de almacenamiento y los vehículos de transferencia de material permiten la carga y descarga rápida de los camiones y reducen los retrasos en la planta y en la operación de pavimentación, mejorando, como consecuencia, la eficiencia del ciclo de acarreo en camiones. Estos dispositivos, junto con otros mencionados anteriormente, reducen el tiempo del ciclo y permiten a los camiones hacer más viajes en un día. Mientras las tolvas de compensación, las tolvas de almacenamiento y los vehículos de transferencia de material añaden costo de equipo a la operación, los ahorros de camiones pagarán con creces estos dispositivos. Además, se reducirá la demanda por conductores de camiones, que en la actualidad no dan abasto. Se reducirá la cantidad de camiones, al igual que los costos por concepto de seguro, y otros costos operativos relacionados con el acarreo en camiones.

En conclusión, para minimizar el costo de acarreo en camiones y administrar los camiones adecuadamente, se debe hacer lo siguiente:

- Usar el camión de mayor tamaño que se disponga.
- Eliminar todos los retrasos posibles en la planta y el sitio de trabajo.
- Hacer acarreo doble cuando sea posible.
- No utilizar más camiones que los necesarios (a US\$45/h, un camión en exceso cuesta US\$450/día). Se debe calcular el ciclo de camiones y determinar la cantidad correcta de camiones para el acarreo en particular.
- Las distancias de acarreo a menudo varían de un día a otro, a medida que el trabajo avanza. Se debe intentar encontrar un uso alternativo para los camiones que no se necesitan durante los trabajos en los puntos más cercanos del sitio de trabajo.
- Fijar un volumen de producción alcanzable. Determine si las limitaciones se encuentran en la producción en planta, en el sitio de la pavimentación o en la disponibilidad de camiones. Conozca las limitaciones en la producción y determine la cantidad exacta de camiones requeridos para el acarreo; no ponga camiones innecesarios.

La administración de los camiones para maximizar la operación tal como se describe aquí es una de las tareas que presentan más dificultades en la administración de una operación de mezcla caliente. Se espera que las ideas y los puntos de vista anteriores ayuden en el manejo de problemas relacionados con el acarreo en camiones.



**MAQUINA RECOLECTORA DE HILERAS SOBRE PAVIMENTADORA**

**F38**



**SHUTTLE BUGGY PAVER™**

**F39**





**ASTEC**

una subsidiaria de Astec Industries, Inc.



PO BOX 72787 • 4101 JEROME AVE. • CHATTANOOGA, TN 37407 EE.UU. • 423-867-4210 • FAX 423-867-4636 • [www.astecinc.com](http://www.astecinc.com)

©Astec 2.5M WMS 7/02

98-1025

Printed in U.S.A.