

# LOS 10 MANDAMIENTOS DEL PAVIMENTO DE CONCRETO



Autor: Ing. Marcos Dutra de Carvalho



Federación Iberoamericana  
del Hormigón Premezclado







Figura 29 - Carretera de los Inmigrantes - São Paulo

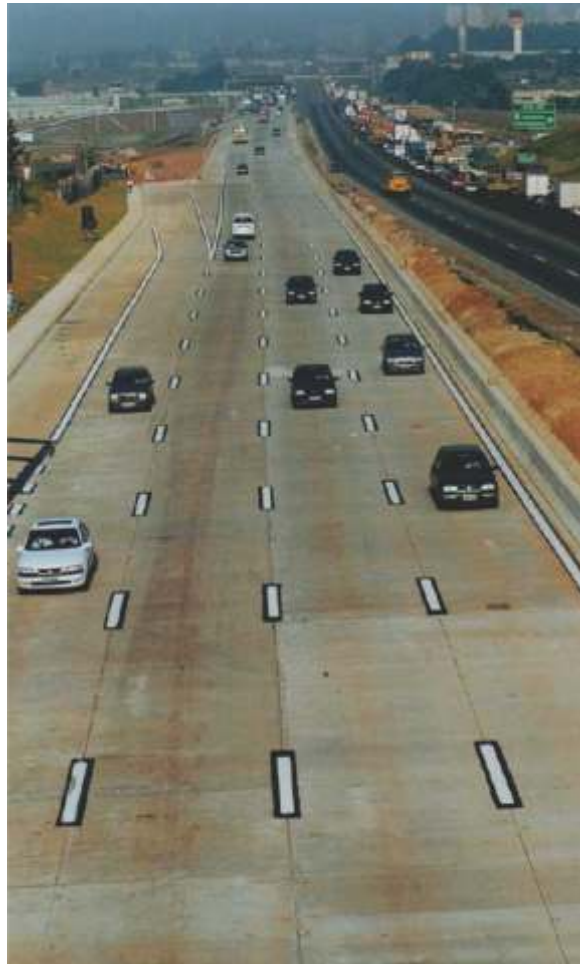


Figura 30 - Variante de la carretera Presidente Dutra Guarulhos/SP



Figura 31 - Carretera SE-432 - Aracaju/SE

## CRÉDITOS

Esta traducción ha sido realizada por la Federación Iberoamericana del Hormigón Premezclado, FIHP, bajo autorización del Ing. Marcos Dutra de Carvalho de la Asociación Brasileira del Cemento Portland, ABCP, autor del documento. La traducción al español fue realizada por el Ingeniero Diego A. Jaramillo Porto, Vicepresidente Técnico de la FIHP.

La FIHP realiza publicaciones con el propósito de difundir conocimientos de tipo general sobre el material o sus operaciones, empleados y medios tecnológicos hacia las personas relacionadas con el hormigón premezclado. Las publicaciones deben ser leídas por personal capacitado con el criterio suficiente para analizar su contenido e interpretar bajo sus propias consideraciones el contenido, que en todo caso, es considerado de tipo académico. Por lo tanto las opiniones o conceptos expresados en las publicaciones no comprometen ni a la FIHP ni a sus autores, ni los hace responsables por el uso indebido que se haga de las mismas. Las publicaciones de la FIHP pueden obedecer a traducciones de publicaciones que originalmente fueron hechas en otros idiomas diferentes al español. Aunque se ha tratado de realizar la traducción de la forma más fiel posible, pueden existir inconsistencias o discrepancias frente a las publicaciones originales. Prohibida su reproducción sin autorización expresa de la FIHP. Todos los derechos reservados.

Nota aclaratoria de responsabilidad: Las observaciones contenidas en este documento son de carácter informativo y deben ser aplicadas y/o evaluadas por el constructor o usuario solamente en caso de considerarlas pertinentes. Por lo tanto, estas observaciones no comprometen a Argos, a sus filiales o a sus subordinados.

## PRESENTACIÓN



## PAVIMENTO DE CONCRETO

A partir de la experiencia nacional e internacional adquirida desde la ejecución del primer pavimento de concreto en Bellefontaine, Ohio (EUA), en 1893, más allá de nuestra visión específica sobre el tema, se presentan los principios que rigen la buena técnica del pavimento de concreto, que se pueden llamar sin pretensiones como "Los 10 mandamientos del pavimento de Concreto".

Se ilustran los pasos necesarios y fundamentales para obtener el éxito deseado en las obras de pavimentación en concreto, lo que se puede traducir como la secuencia o lista de procedimientos y actitudes, sin los cuales no es posible alcanzar el buen resultado deseado.

## ENUNCIADO DE LOS PRINCIPIOS BÁSICOS O MANDAMIENTOS

### 1° Mandamiento

"Elaborar un buen proyecto ejecutivo de pavimentación, a partir de estudios completos y detallados de tráfico y de suelos"

### 2° Mandamiento

"Diseñar adecuadamente el concreto convencional o compactado (si aplica), a partir de un estudio detallado de los materiales que lo componen"

### 3° Mandamiento

"Especificar los materiales que se utilizarán en la obra"

### 4° Mandamiento

"Definir los equipos que se utilizarán en la obra"

### 5° Mandamiento

"Definir la logística de la obra"

### 6° Mandamiento

"Detallar los procedimientos de construcción y control de las bases (subrasante y sub-base)"

### 7° Mandamiento

"Detallar los procedimientos de construcción y control del concreto convencional, enfatizando en la durabilidad (condición estructural) y en el confort de circulación (condición funcional) del pavimento"

### 8° Mandamiento

"Construir la obra con los patrones de calidad exigidos"

### 9° Mandamiento

"Supervisar la obra"

### 10° Mandamiento

"Vigilar que las empresas involucradas en la obra se comprometan con la excelencia en la calidad del producto final".



# DESCRIPCIÓN DE LOS MANDAMIENTOS

## 1° Mandamiento

El proceso de ejecución de un pavimento de concreto debe estar basado en un proyecto ejecutivo de pavimentación. El proyecto debe contemplar las siguientes etapas:

- Estudios geotécnicos.
- Estudios de tráfico.
- Estudios geométricos y trazado de la vía.
- Estudios de drenaje superficial, drenaje sub-superficial y drenaje profundos.
- Memoria de cálculo del pavimento con definición de los tipos, características tecnológicas y espesores de las capas que constituyen la estructura.
- Planos geométricos y de planimetría, con toda la información topográfica necesaria para la adecuada localización de la obra.
- Plano geométrico de distribución de losas y detalles de los tipos de juntas.
- Planta, en escala 1:250 o 1:500, con todos los datos de topografía necesarios para la perfecta localización de las juntas en el sitio de obra.
- Diseños específicos con detalles de los tipos de juntas.
- Secciones transversales típicas del pavimento, con indicaciones de drenajes superficiales, sub-superficiales y profundos.
- Recomendaciones de construcción y de control de obra, con las especificaciones de los materiales que se van a utilizar. Con relación a los concretos normales, los siguientes puntos son fundamentales.
- Espesor de las losas, definido en el diseño.
- Resistencia característica a la flexión del concreto (MR) medida a los 28 días, definida como resistencia de diseño (eventualmente la edad puede ser extendida a 60 o 90 días, dependiendo de la obra).
- Parámetros para la dosificación del concreto, como relación agua/material cementante, asentamiento, contenido de cemento, contenido de aire incorporado, tamaño máximo del agregado y contenido de mortero.
- Programa de control de calidad del concreto en estado fresco y endurecido, resaltando si se va a realizar el control del asentamiento, el control del contenido de aire (estado fresco) y el control de la resistencia mecánica y de espesor de las losas de concreto.
- Registros de servicios y cantidades de pavimentación.

Las figuras 1 y 2 ilustran un plano de distribución de losas, mostrando los tipos de juntas.

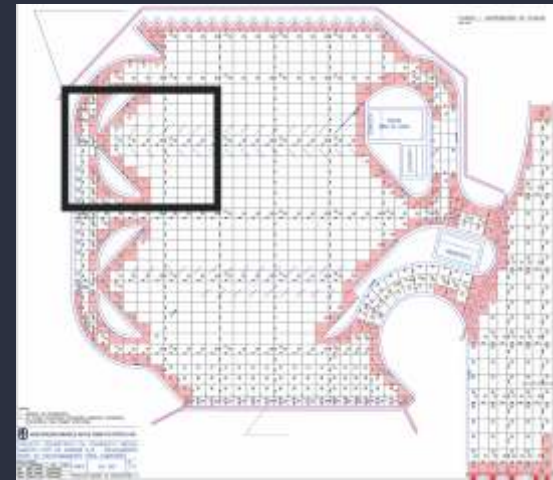


Figura 1 - Plano geométrico de distribución de losas.



Figura 2 - Detalle del plano geométrico, mostrando los distintos tipos de juntas.

## 2° Mandamiento

"Diseñar adecuadamente el concreto convencional o compactado (si aplica), a partir de un estudio detallado de los materiales que lo componen"

Los objetivos principales en esta fase de los estudios son:

- Garantizar la calidad deseada en el concreto.
- Avaluar dentro de las alternativas de materiales los que presentan las mejores condiciones de:
  - Calidad del producto final.
  - Mejores condiciones operacionales.
  - Menor costo por m<sup>3</sup> de concreto.

El diseño de la mezcla debe tener en consideración los siguientes aspectos:

- Especificaciones del concreto
- Resistencia a la flexión
- Resistencia a la compresión
- Relación agua/material cementante (a/mc)
- Asentamiento del concreto

Por lo tanto, se debe vigilar que las empresas involucradas se comprometan con la calidad y más allá de tener voluntad, se deben generar herramientas que establezcan el compromiso entre ellas, que se puede hacer a través de los contratos de prestación de servicios.

Finalmente, cabe resaltar la importancia de las PERSONAS involucradas en el proceso.

Son personas las que diseñan.

Son personas las que construyen.

Son personas las que controlan.

NADA PASA SI LAS PERSONAS NO HACEN QUE LAS COSAS PASEN

LAS PERSONAS SON LA CLAVE PRINCIPAL DE ESTE NEGOCIO.

Las Figuras 23 a la 31 muestran algunas de las principales obras de pavimentación rígida ejecutadas en el Brasil a partir de 1998.



Figura 23 - Anillo Rodoviario Marcio Covas São Paulo/SP



Figura 24 - Carretera BR-232 - Recife Caruaru/PE



Figura 25 - Variante de la carretera Castello Branco São Paulo/SP



Figura 26 - BR-290 Free-way Osorio Porto Alegre/RS



Figura 27 - Avenida III Perimetral - Porto Alegre/RS



Figura 28 - Carretera MT-130 - Primavera del Este/MT







En caso de que sea necesario, tanto en el concreto normal como en el concreto compactado con rodillo (si lo hay), se deben ajustar los diseños de las mezclas, teniendo en cuenta eventuales cambios en el suministro de los materiales.

#### 4° Mandamiento

“Definir los equipos que se utilizarán en la obra”



Los equipos a utilizar en la construcción del pavimento de concreto deben ser capaces de obtener un producto final de alta calidad, con el rendimiento esperado.

En función de su rendimiento, los equipos pueden ser clasificados en equipos de grande, mediano y pequeño porte.

Los equipos de gran porte son las pavimentadoras de formaletas deslizantes, con un rendimiento mayor o igual a 400 m<sup>2</sup>/hora, acompañadas de plantas dosificadoras y mezcladoras de concreto, necesarias para garantizar el suministro del material al frente de la pavimentadora; también es común el empleo de texturizadoras y aplicadoras automáticas de productos de curado.

Las pavimentadoras pueden construir pavimentos con anchos de 2,0 m hasta 16 m, en una única pasada, dependiendo del modelo.

Los equipos de porte mediano operan sobre formaletas fijas y tienen dispositivos de vibración y acabado superficial constituidos por cilindros giratorios; adicionalmente requieren de vibración manual del concreto mediante vibradores de

inmersión al frente del equipo.

Es normal el uso de flotas o llanas metálicas manuales y escobas de cerdas blandas para la texturización. El rendimiento típico varía entre 100 m<sup>2</sup>/hora y 150 m<sup>2</sup>/hora.

Los equipos de porte pequeño son conformados por reglas vibratorias, incluyendo las tipo cercha, que funcionan sobre formaletas fijas, evidenciando la necesidad del uso de vibradores de inmersión para la adecuada vibración del concreto. Asimismo es normal el uso de flotas y llanas metálicas manuales para el acabado superficial y de escobas de cerdas blandas para el texturizado del concreto. El rendimiento típico de este equipo varía entre 40 m<sup>2</sup>/hora y 50 m<sup>2</sup>/hora.

#### 5° Mandamiento

“Definir la logística de la obra”

La definición de la logística es fundamental para el éxito del contrato y comprende desde la instalación en el sitio de obra y de la planta de concreto, hasta el transporte y descarga del concreto al frente del equipo.

La planeación para la instalación en el sitio de obra se debe realizar con base en información específica suministrada por el cliente y por el diseñador. A modo de ejemplo, se citan algunos datos básicos para la implementación en el sitio de una planta dosificadora y mezcladora de concreto, tales como:

- a) Extensión de la vía
- b) Sitios posibles de instalación del equipo:
  - Planos de la vía incluyendo accesos
  - Inspección previa de los sitios
- c) Facilidades posibles de suministro de los siguientes elementos:
  - Energía eléctrica
  - Agua
  - Alojamientos
  - Alimentos
  - Combustible diesel
  - Equipos para la preparación del sitio
  - Materiales de base para instalaciones, tales como: cemento, arena, grava, concreto, etc.
- d) Volumen mínimo a ejecutar diariamente
- e) Fechas límites del cronograma para la instalación e inicio de actividades.

Selección del terreno para el sitio de la planta. La selección del terreno para la instalación del conjunto para la producción y control de calidad del concreto debe seguir las siguientes prioridades:

- a) Flujo de entrada de materiales a utilizar.
- b) Flujo de salida de camiones para el frente de pavimentación.
- c) Planimetría del terreno.



Figura 13 – Transporte y descarga de concreto en camiones basculantes (volquetes)



Figura 14 – Distribución del concreto por el tornillo sin fin de la pavimentadora



Figura 15 – La compactación del concreto se realiza con la ayuda de vibradores de inmersión



Figura 16 – Acabado del concreto



Figura 17 – Texturizado del concreto



Figura 18 – Curado químico mecanizado



Figuras 19 – Corte de las juntas



Figuras 20 – Sellado de las juntas



la pavimentadora, deben estar perfectamente alineados a través de un control topográfico, para evitar deformaciones. La pavimentadora debe estar perfectamente ajustada y calibrada. Los operarios deben tener la instrucción de evitar el desplazamiento de los hilos guías precolocados.

Es importante tener un control estricto de las cotas de diseño (sub-base y losas de concreto del pavimento), para evitar que la capa final del pavimento tenga espesores mayores o menores al del diseño. Si el espesor de concreto colocado es menor que el especificado en el diseño, la estructura queda comprometida, ocasionando elevados costos de reparación de esos tramos. De otro lado, si el espesor de concreto colocado es mayor que el especificado en el diseño, ocurrirán desperdicios de concreto, con la consecuente elevación de los costos de construcción del proyecto.

El concreto debe ser descargado por el camión de manera uniforme, para evitar la formación de pilas de concreto excesivamente altas. En esta fase, se debe evitar que el concreto o el camión desplacen las barras de transferencia precolocadas. Es importante garantizar la constancia en el abastecimiento de concreto al frente de la pavimentadora.

La compactación del concreto se realiza con la batería de vibradores de inmersión, con la ayuda de reglas compactadoras frontales o mediante reglas oscilantes transversales traseras, dependiendo del tipo de equipo, para evitar el exceso o la falta de vibración en ese sitio.

Es necesario que los vibradores de inmersión estén correctamente posicionados y con la vibración adecuada al tipo de concreto utilizado. Se deben tomar cuidados especiales con los vibradores pegados a los moldes laterales, para evitar el exceso o la falta de vibración en ese sitio.

El acabado del concreto se realiza con flotas mecánicas (auto-float) y flotas manuales, en movimientos de vaivén, acompañando el avance de la pavimentadora. Es necesario que las flotas estén bien reguladas con relación a la presión que ella ejerce sobre el concreto fresco y la distancia mínima que se debe mantener del borde del pavimento, para impedir la presencia de depresiones o asentamientos cerca de los bordes. Se pueden utilizar flotas mecánicas menores de mango corto cerca de los bordes o

en sitios que requieran alguna corrección. Para el acabado de los bordes se utiliza un rebordeador de orillas.

Después de la compactación del concreto se debe proceder rápidamente a la texturización y a la aplicación del producto químico de curado, en la tasa especificada en el diseño. Se recomienda la utilización de texturizadoras y aplicadoras de curado químico automáticas, para evitar la aparición de fisuras causadas por el fenómeno de contracción plástica, especialmente en días calurosos. Es importante ejecutar adecuadamente el proceso de texturización y curado.

Una vez terminada la aplicación del producto químico de curado, se debe proteger el pavimento para que la superficie del concreto fresco no sea afectada por la acción de los peatones, vehículos o animales.

El corte de las juntas debe ser ejecutado tan pronto la resistencia del concreto permita el tráfico de los equipos de corte y el aserrado sin desprendimiento de material. Se debe tener un control estricto del tiempo y profundidad del corte con el fin de evitar la aparición de fisuras estructurales. Igualmente es necesario contar con equipos suficientes para ejecutar las operaciones, además de los equipos de reemplazo en caso de averías, así como los insumos necesarios para el proceso de corte de las juntas, como discos diamantados, agua y energía eléctrica. No pueden existir fallas logísticas en este proceso. Las juntas se deben sellar de acuerdo con los factores de forma definidos en el diseño y las recomendaciones del fabricante del material sellante.

**En esta fase es importante resaltar la importancia de un equipo de operarios bien entrenado y comprometido con la excelencia.**



**Figura 12 – Producción de concreto (planta dosificadora y premezcladora)**

Mientras sea posible optar por terrenos planos, preferiblemente con geometría rectangular, de forma que permita como mínimo dos accesos diferentes.

En caso de localizar una zona plana, la mejor opción es una zona constituida hasta por 3 terrazas, para permitir la instalación de conjuntos o bloques operacionales.

**De la figuras 3 a la 10 se muestran equipos típicos para obras de pavimentación en concreto.**



**Figura 3 – Planta móvil de concreto dosificadora**



**Figura 4 – Planta móvil de concreto mezcladora**



**Figura 5 – Planta móvil de concreto dosificadora**



**Figura 6 – Regla vibratoria**



**Figura 7 – BID-WELL - acabadora operando sobre formas fijas**



**Figura 8 – Gomaco 2600 (4 orugas) – Pavimentadora de formaleta deslizante**



**Figura 9 – CMI - 3004 F (4 orugas) – Pavimentadora de formaleta deslizante**





**Figura 10 – Wirtgen SP 500 – Pavimentadora de formaleta deslizante**

### Localización de los equipos en el sitio

Se recomienda considerar la localización de los bloques operacionales en zonas que permitan la libre circulación de vehículos, teniendo en cuenta la necesidad de operación independiente y constante de las líneas de transporte de agregados, cemento, agua, aditivos y concreto, incluyendo el paso del concreto por el laboratorio de control de calidad.

La caseta de comando de la planta debe estar localizada de manera tal que permita:

- Fácil acceso
- Visión amplia de la descarga de concreto
- Visión de los patios de agregados

Finalmente, es importante vigilar la logística de transporte de concreto desde la planta hasta el frente de pavimentación, de tal manera que se minimicen las distancias y los tiempos de viaje, así como el tiempo de maniobra y descarga del concreto al frente de la pavimentadora.

### 6° Mandamiento

**"Detallar los procedimientos de construcción y control de las bases (subrasante y sub-base)"**

Se debe garantizar la adecuada construcción y control de la base del pavimento de acuerdo con las especificaciones de diseño.

En esta fase, se debe garantizar que el sistema de drenaje sub-superficial y profundo (si lo hay) se construya adecuadamente, de acuerdo con el diseño de ingeniería y atendiendo las normas y especificaciones de los organismos oficiales.

Se consideran como operaciones de preparación de la base, las correcciones de la capa superficial

de la sub-rasante y los ajustes de nivel, que resulten de las operaciones de terracería. Estas operaciones consisten en reemplazar los suelos inadecuados y en remover los bloques de piedra o raíces, pedazos de madera o cualquier otro material degradable, así como los cortes y rellenos que tengan como fin ajustar el nivel de acuerdo con el grado y el perfil longitudinal de diseño.

En el caso de que la subbase esté incluida en el diseño, se debe ejecutar de acuerdo con las especificaciones incluidas en este. En cualquier caso, la subbase no debe ser afectada por fenómenos de expansión y bombeo, entendido como la expulsión, bajo la forma de lodo fluido de abajo hacia arriba, de suelos finos plásticos que puedan existir en la base del pavimento de concreto.

Las sub-bases pueden ser granulares o tratadas con ligantes hidráulicos o asfálticos. Las siguientes son las sub-bases más comunes utilizadas en pavimentos rígidos:

- Sub-base de grava gradada simple
- Sub-base de grava gradada tratada con cemento
- Sub-base de suelo cemento
- Sub-base de suelo mejorado con cemento
- Sub-base de concreto compactado con rodillo

De cualquier manera, tanto los procedimientos de conformación y ajuste de la subrasante, como aquellos de construcción y control de la sub-base, deben estar de acuerdo con las normas vigentes, atendiendo siempre las especificaciones del diseño.

### 7° Mandamiento

**"Detallar los procedimientos de construcción y control del concreto convencional, enfatizando en la durabilidad (condición estructural) y en el confort de circulación (Condición funcional) del pavimento"**

Se deben detallar los procedimientos de construcción y control de la obra, de acuerdo con el tipo de equipo a utilizar. En el caso de obras de gran tamaño, como pavimentaciones de carreteras, los equipos recomendados son pavimentadoras de formaletas deslizantes, abastecidas por plantas móviles dosificadoras y premezcladoras de concreto, con capacidades nominales mínimas de producción compatibles con la producción deseada (mínimo 120 m<sup>3</sup> por hora).

El uso de distribuidoras de concreto al frente de la pavimentadora se considera como un recurso para agilizar la construcción, aumentando el rendimiento de todo el conjunto.

El objetivo de detallar minuciosamente los procedimientos de construcción y control de obra, es garantizar una excelente condición estructural y funcional del pavimento.

Con relación a la condición estructural, es decir la capacidad del pavimento de soportar las cargas solicitadas a lo largo del periodo de diseño, es primordial el control de la resistencia a la flexión del concreto en estado endurecido, así como de la manejabilidad y el contenido de aire incorporado del concreto en estado plástico. Asimismo es importante el control del espesor de concreto definido en el diseño, para mantener la condición estructural del pavimento que se desea a lo largo del periodo de diseño. Finalmente, se debe garantizar que el equipo de pavimentación compacte completamente el concreto sin la presencia de vacíos u hormigueros en el pavimento.

Con relación a la condición funcional, que se traduce como el confort de circulación proporcionado por la superficie del pavimento terminado, en caso de construir con pavimentadoras de formaletas deslizantes, esta es afectada directamente en forma negativa por los siguientes factores:

- Detención de la pavimentadora.
- Irregularidades de la sub-base.
- Líneas guía desalineadas o con deformaciones.
- Exceso de concreto al frente de la pavimentadora.
- Grandes variaciones en la consistencia del concreto (asentamiento).
- Variaciones en las características tecnológicas del concreto.
- Falta de uniformidad en los procedimientos de mezclado, transporte y descarga, compactación y acabado del concreto.
- Falta de uniformidad en el avance del equipo.
- Equipo sucio o sin mantenimiento.
- Operarios sin entrenamiento, desmotivados o sin compromiso con la calidad del pavimento acabado.

En resumen, se puede decir que la palabra clave para obtener un pavimento confortable, es la UNIFORMIDAD en todas las etapas de la construcción.



### 8° Mandamiento

**"Construir la obra con los patrones de calidad exigidos"**

Se muestran como ejemplo, los pasos necesarios para la construcción adecuada de un pavimento de concreto con pavimentadoras de formaletas deslizantes.

Para garantizar el rendimiento, es necesario que exista al frente de la construcción, una capa de sub-base terminada, curada (si es cementada) y nivelada con la cota de diseño. No deben existir obstáculos laterales o limitaciones de altura en el camino de la pavimentadora.

El concreto debe ser producido en plantas móviles dosificadoras y premezcladoras de gran capacidad e instaladas estratégicamente en el sitio de obra; las plantas deben disponer de dispositivos electrónicos para controlar la dosificación y el peso de los materiales, incluyendo los aditivos, además deben ser capaces de producir concretos homogéneos y con las características especificadas en el diseño.

Se recomienda que la pavimentadora opere a una velocidad mínima de 1,0 m/min, evitando interrupciones en el proceso, con el fin de no afectar el confort de circulación del pavimento. Se debe disponer de una cantidad suficiente de camiones para alimentar la pavimentadora, sin interrupciones en la construcción. Los dispositivos de transferencia de carga deben ser colocados con agilidad, en los sitios definidos en el diseño.

Para garantizar la calidad de la superficie terminada y del confort de circulación, los hilos guías, responsables por el control del perfil de