



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

Guía de inspección para la construcción de pavimentos de concreto hidráulico



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Elaborado por:

Unidad de Auditoría Técnica - LanammeUCR

Wendy Sequeira Rojas

Coordinadora

José David Rodríguez Morera

Luis Diego Herra Gómez

Mauricio Salas Chaves

Sergio Guerrero Aguilera

Ingenieros Auditores

Bianca Oviedo Lorío

Pablo Abarca Cascante

Asistentes

Unidad de Gestión Municipal del PITRA - LanammeUCR

Alonso Ulate Castillo

Ingeniero

Diseño gráfico y diagramación por:

Centro de Transferencia Tecnológica - LanammeUCR

Licda. Daniela Martínez Ortiz.

Control de calidad por:

Centro de Transferencia Tecnológica - LanammeUCR

Óscar Rodríguez Quintana.

Primera edición - 2021

Universidad de Costa Rica

LanammeUCR



Guía de inspección para la construcción de pavimentos de concreto hidráulico

Palabras clave: Pavimentos de concreto, concreto hidráulico, pavimento de concreto hidráulico articulado, JPCP, construcción, inspección.

Resumen: La presente publicación es el resultado de una revisión de literatura, tanto nacional como internacional, relacionada con la construcción de pavimentos de concreto hidráulico, enfocada específicamente en pavimentos de concreto hidráulico articulado, conocido como JPCP por sus siglas en inglés. Tiene como objetivo proporcionar una herramienta a los inspectores de campo para ejecutar sus labores durante la construcción de pavimentos de concreto hidráulico.

Este documento describe los atributos necesarios en un inspector, conceptos importantes, personal necesario, equipo, maquinaria y materiales requeridos para la actividad. Asimismo, se ilustra y describe el procedimiento detallado para la realización de un trabajo eficiente con un lenguaje sencillo. Se enmarcan recomendaciones especiales para el inspector y se presentan ejemplos de prácticas adecuadas e inadecuadas en la construcción de pavimentos de concreto hidráulico articulado con dovelas.

Esta guía representa un esfuerzo por parte de la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR, que busca eliminar procedimientos inadecuados durante la labor de construcción de pavimentos rígidos de concreto hidráulico, de manera que se garanticen obras de mayor durabilidad y una adecuada inversión de los recursos públicos.



Atributos necesarios en un buen inspector	7
Conceptos	7
Personal	12
Equipo y maquinaria	12
Herramientas del inspector	17
Materiales para construcción	17
Proceso constructivo	18
1. Preparación de la superficie	18
2. Construcción del tramo de prueba	20
3. Colocación de formaleta o encofrado fijo	21
4. Instalación de dovelas	23
5. Producción y transporte del concreto	26
6. Colocación del concreto e instalación de barras de amarre	29
6.1. Proceso constructivo con formaletas fijas	33
6.1.1. Colocación del concreto	33
6.1.2. Compactación o vibrado del concreto	34
6.1.3. Colocación de barras de amarre	34
6.1.4. Acabado	35
6.2. Proceso con equipos de encofrados deslizantes	35
7. Acabado	41
8. Curado del concreto	44
9. Conformación de juntas	47
10. Sellado de juntas	49
11. Protección del pavimento y apertura al tránsito	51
Ensayos de verificación de calidad del trabajo realizado	53
Control de regularidad (Índice de Regularidad Internacional, IRI)	55
Lista de chequeo	56
Ejemplos	57
Prácticas adecuadas	57
Prácticas deficientes	60
Referencias	66

Atributos necesarios en un buen inspector

Los atributos personales necesarios en un inspector comienzan por la honestidad y la objetividad. El inspector debe ser honesto y comportarse de una manera justa y recta.

En momentos de presión debe mantener su compostura y tomar buenas decisiones. Debe tener sentido común para ejecutar decisiones competitivas, justificadas con el conocimiento técnico suficiente, apoyado por el criterio técnico de la ingeniería de proyecto y de las especificaciones vigentes, de acuerdo con cada caso en particular.

Debe ser sincero en sus relaciones con las personas, poseer habilidades diplomáticas, ser cortés y capaz de manejar situaciones difíciles sin generar hostilidad.

Además, debe ser muy observador y ser capaz de llevar registros completos y suficientes que respalden la labor ejecutada. El inspector deberá trabajar en conjunto con el ingeniero para determinar y detallar las intervenciones y prácticas constructivas más apropiadas a aplicar, de acuerdo con la obra a realizar.

Por último, se debe recalcar la importancia de la labor del Inspector de Obra, cuya influencia en el día a día en la obra recopila cada detalle que es vital para intervenciones de alta calidad y durabilidad.

Conceptos

Barras de amarre: consisten en varillas de acero corrugado que se colocan en juntas longitudinales del pavimento, ya sea entre carriles o entre un carril y el espaldón, y cuya función es evitar el desplazamiento de las losas y la apertura de las juntas longitudinales (Figura 1).



Figura 1. Barras de amarre en junta longitudinal
Fuente: LanammeUCR, 2013

Dovelas: Barras de acero lisas colocadas en las juntas transversales, encargadas de transferir las cargas del tránsito de una losa a la siguiente en la dirección longitudinal. Estos elementos poseen un extremo adherido a una de las losas y el otro se encuentra libre de movimiento, permitiendo que las losas se contraigan y expandan sin restricción horizontalmente (Figura 2).



Figura 2. Dovelas en pavimento de concreto hidráulico articulado
Fuente: LanammeUCR, 2013

Índice de Regularidad Internacional (IRI): Involucra la utilización de herramientas matemáticas, estadísticas y computacionales para encontrar la medida de regularidad asociada a la carretera. El IRI puede interpretarse como un indicador de la comodidad que genera una carretera al usuario que la transita, por lo que es uno de los criterios que definen la aceptación de un pavimento recién construido o rehabilitado.

Singularidades en la medición del perfil longitudinal: son todas aquellas alteraciones al perfil longitudinal del carril, que no provengan de fallas constructivas y que incrementan el valor promedio de IRI en el tramo homogéneo que las contiene.

Juntas de contracción: Conformadas para evitar que el concreto se agriete aleatoriamente durante el proceso el proceso de contracción por fraguado, por cambios de temperatura y de humedad (Figura 3). Además, permiten controlar los procesos de contracción-expansión de las losas por los cambios de temperatura durante el día y la noche. El diseño del pavimento debe incluir la modulación de las losas de concreto, esto es la ubicación y especificaciones de las juntas, y dimensiones de las losas.

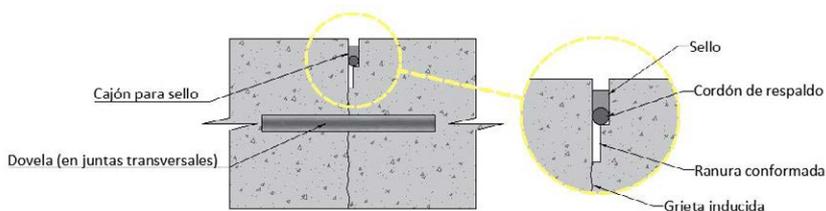


Figura 3. Esquema de junta de contracción

Juntas de expansión: De acuerdo con Federal Highway Administration (2019), la junta de expansión es un tipo especial de junta que se construye en pavimentos de concreto nuevos para controlar posible expansión o movimiento excesivo sin que se presenten altas fuerzas de compresión entre las losas. Se debe evitar el uso frecuente de este tipo de juntas porque puede provocar abertura de las juntas de contracción cercanas. En pavimentos de concreto articulado (JPCP) con elementos de transmisión de carga, a las dovelas se les coloca un dispositivo llamado tubo de expansión en su extremo libre (Figura 4).

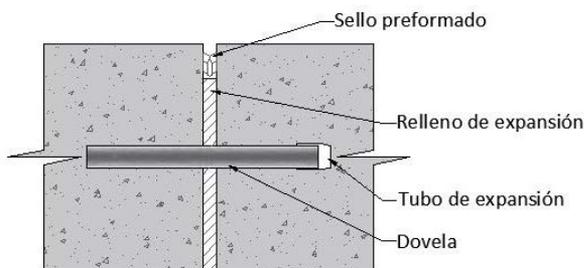


Figura 4. Esquema de junta transversal de expansión

Juntas de aislamiento: se realizan por expansión del concreto endurecido ante cambios de temperatura. Su función es separar el pavimento de otras estructuras como puentes, pozos de inspección, tragantes pluviales, muros o cimentaciones de maquinaria; de esta forma se evitan presiones excesivas entre las estructuras. Consisten en una ranura que se forma en la totalidad del espesor de la losa de concreto, de un sello que impide el ingreso de agua, y de un relleno de expansión conformado desde la base (Figura 5). Este tipo de juntas no posee dovelas ni barras de amarre.

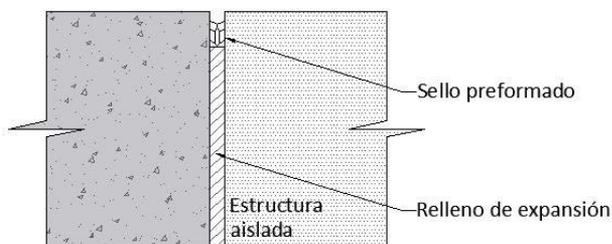


Figura 5. Esquema de junta aislante

Juntas constructivas: se producen cuando suceden interrupciones de más de 30 minutos en la colocación del concreto, formándose una junta fría (Figura 6). Las juntas de construcción deben coincidir con alguna de las juntas de contracción dispuestas en el diseño, por lo tanto, las juntas de construcción transversales no pueden conformarse a menos de tres metros de la junta anterior y deben moldearse por medio de formaletas que permitan la instalación de las dovelas; mientras que las juntas de construcción longitudinales se forman cuando se construyen carriles de forma independiente.

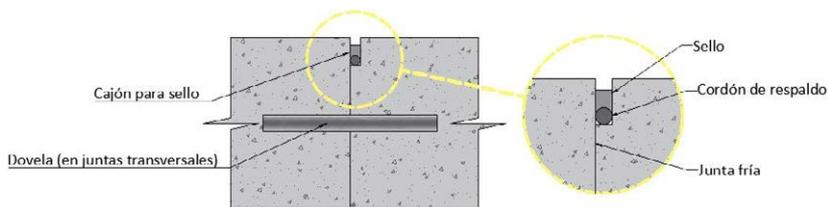


Figura 6. Esquema de junta de construcción

Pavimento de concreto articulado JPCP: Es un pavimento de losas de concreto con longitudes entre 3 y 6,5 m. Las juntas transversales pueden poseer dovelas para transmisión de carga, mientras que las longitudinales pueden contar con barras de amarre entre losas contiguas. Es el tipo de pavimento rígido más frecuentemente implementado en Costa Rica, ya que, al no poseer acero de refuerzo, los costos iniciales para su construcción son más bajos que aquellos con refuerzo.

En la Figura 7 se muestra un esquema de un pavimento articulado (JPCP, por sus siglas en inglés), con dovelas.

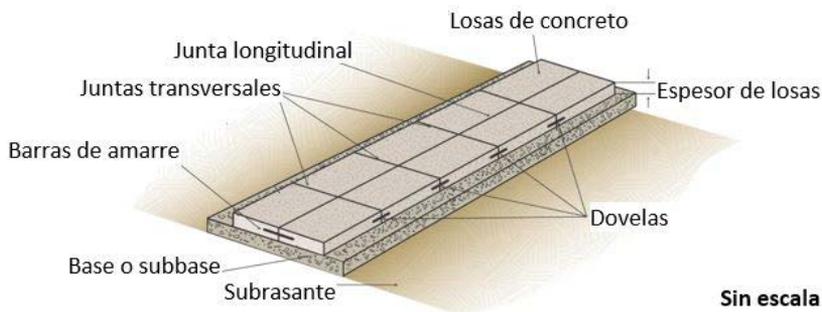


Figura 7. Esquema de pavimento de concreto articulado (JPCP) con dovelas

Fuente: adaptado de Federal Highway Administration, 2006

Transferencia de carga: Se refiere a la capacidad que tiene un sistema de pavimento rígido de transmitir las cargas de tránsito para que éstas sean soportadas entre dos losas adyacentes, cuando el eje del vehículo se acerca al borde de la losa (ver Figura 8).

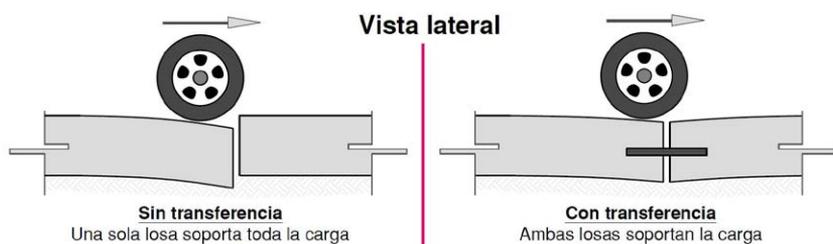


Figura 8. Diferencia entre un pavimento sin transferencia y uno con transferencia de carga

Personal

- Encargado
- Operadores de maquinaria
- Cuadrilla de construcción
- Controladores de tránsito
- Inspector
- Cuadrilla de topografía

Equipo y maquinaria

El proceso de construcción de un pavimento de concreto requiere del equipo apropiado para obtener un trabajo de calidad y duración adecuadas. Se debe tomar en cuenta que existen diferentes métodos para realizar cada etapa del proceso, por lo que el equipo podría variar entre un método y otro. A continuación, se muestra el equipo y maquinaria utilizados para llevar a cabo esta labor.

Camión mezclador de concreto

Sirve para el transporte y mezclado del concreto. Posee una batidora en su parte trasera que mantiene el concreto en constante movimiento, ayudando a retrasar el proceso de fraguado y a mantener una adecuada homogeneidad durante el transporte.



Clinómetro

Instrumento de medición que determina la inclinación de un objeto o estructura, con respecto a una línea de referencia. Es utilizado para corroborar pendientes, bombeos, peraltes, alineaciones de formaletas, entre muchas otras aplicaciones. Existen aplicaciones para teléfonos móviles que pueden calibrarse previamente para cumplir con estas funciones.



Codal o escantillón

Pieza de madera o aluminio perfectamente recta, de al menos 3 m de longitud, que sirve para comprobar la regularidad superficial longitudinal y transversal, tanto de la base como de las losas de concreto hidráulico.



Equipo de topografía

Se requiere para tener un adecuado control del alineamiento vertical y horizontal del pavimento en construcción. Con este equipo se verifican los espesores de las capas del pavimento, así como pendientes transversales y longitudinales.



Flota o flotadora

Elemento que se pasa de forma suave y continua por encima del concreto fresco después de que éste ha sido nivelado, para asegurar regularidad en la superficie antes de las labores de texturizado y curado. Puede utilizarse de forma manual, o bien de forma automatizada cuando el concreto se extiende mediante pavimentadora de encofrados deslizantes.



Higrotermómetro con anemómetro

Equipo de medición de temperatura y humedad relativa del aire. Se puede incorporar un anemómetro para la medición de velocidad del viento.



Llaneta

Herramienta manual utilizada para nivelar aquellas zonas cerca de los bordes del pavimento, en las que la superficie del concreto fresco presente irregularidades. Aun cuando se utilice pavimentadora de encofrados deslizantes, puede ser necesario darles acabado a algunos sectores de la superficie fresca con esta herramienta.



Manta de yute

Lona tejida con fibras de planta de yute, utilizada en la construcción de pavimentos de concreto hidráulico para formar una micro textura que contribuye a generar fricción entre las llantas de los vehículos y la superficie de rueda.



Máquina de corte con discos de diamante

Utilizada para aserrar el concreto durante la conformación de juntas longitudinales y transversales. A la máquina se le acopla el disco con el espesor necesario para realizar el corte en el concreto de acuerdo con los requerimientos de diseño de las juntas.



Maquinaria para curado y textura

Puente móvil con una longitud mayor al ancho de pavimentación. Posee aspersores para la distribución de agua o productos químicos de curado del concreto. Además, puede adaptársele una lona de yute para realizar un micro texturizado longitudinal. El macro texturizado transversal se realiza al hacer pasar el peine metálico o plástico que posee en su parte inferior.



Palas

Se utilizan de forma manual durante la descarga del concreto fresco, para facilitar su distribución en el área de trabajo.



Pavimentadora de encofrados deslizantes

Máquina que distribuye el concreto de forma transversal y longitudinal, a la vez que lo compacta y moldea formando la superficie de las losas y sus caras laterales. Además, puede poseer una flota trasera para mejorar la regularidad de la superficie del concreto fresco.



Sopladora de aire a presión

Herramienta semiautomática que posee una válvula liberadora de aire a presión. Éste es utilizado para limpiar y secar las ranuras de las juntas antes de sellarlas.



Vagoneta

Vehículo para el transporte de concreto, el cual debe poseer fondo metálico, hermético, limpio y liso, pintado con material que evite que el concreto fresco se adhiera al fondo. Provisto de una lona impermeable, para proteger la mezcla ante la intemperie.



Vibrador de superficie para concreto fresco

Su función es sacar el aire atrapado en la mezcla de concreto fresco, evitando desperfectos como hormigueros, o falta de recubrimiento del acero. Se utilizan en losas con espesores menores a 20 cm y sirven además para enrasar el concreto colado manualmente.



Vibrador de inmersión para concreto fresco

Al igual que el vibrador de superficie, libera el aire atrapado en la mezcla de concreto densificándola. Es utilizado en losas de espesores mayores a 20 cm, y en muchas otras aplicaciones, pues tiene un mayor alcance en cuanto a profundidad.



Herramientas del inspector

- Calculadora portátil
- Cámara fotográfica
- Casco y chaleco de seguridad
- Cinta métrica
- Cuerda o codal/escantillón
- Dispositivo de comunicación
- Formularios oficiales de la institución
- Higrotermómetro y anemómetro
- Lápiz o lapicero
- Libreta de campo
- Guía de inspección para la construcción de pavimentos de concreto hidráulico

Materiales para construcción

- Agua
- Cemento hidráulico
- Agregados para concreto hidráulico
- Aditivos para concreto hidráulico
- Barra lisa (dovelas)
- Canastillas para dovelas
- Lubricante para dovelas
- Varilla corrugada (barras de amarre)
- Productos para el curado del concreto
- Sello para juntas (productos fluidos o sellos preformados)
- Cordón de respaldo para sello de juntas

Proceso constructivo

A la hora de ejecutar obras contratadas, es importante realizar los procedimientos correctos de manera que se logre la mayor durabilidad y se asegure la inversión realizada. Se deben aplicar las especificaciones del cartel de licitación y los códigos de construcción del país.

A continuación, se presenta el procedimiento constructivo detallado de un pavimento de concreto articulado (JPCP, por sus siglas en inglés) con dovelas, para la realización de un trabajo de calidad.

Durante la construcción de pavimentos de concreto hidráulico pueden emplearse diferentes métodos de acuerdo con las dimensiones del proyecto, presupuesto, equipo y plazos de ejecución. Existen métodos manuales o con equipos de mediano rendimiento con encofrados fijos, y métodos con equipos de alto rendimiento con encofrados deslizantes. Por lo tanto, en cada etapa del proceso constructivo, se presentarán algunas variaciones que dependerán de cada uno de estos métodos.

1. Preparación de la superficie



Figura 9. Preparación de la base del pavimento

Fuente: LanammeUCR, 2018

La superficie sobre la cual se apoyarán las losas de concreto puede estar constituida por una capa de base granular o una base estabilizada. Ésta debe tener un acabado uniforme y la densidad (o resistencia, en los casos que aplique) especificada en los requerimientos del diseño. De esta forma se garantizan las propiedades necesarias para actuar como plataforma de soporte de las losas de concreto y transmitir adecuadamente las cargas del tránsito durante todo el período de operación de la carretera.

Si se van a utilizar métodos de formaleta deslizante para la posterior colocación del concreto, se recomienda un sobreancho a cada lado del carril en la base para permitir el paso adecuado de la pavimentadora de concreto.

Es muy importante que la base haya sido **compactada de manera uniforme** sobre toda la superficie, de forma que no se presenten asentamientos diferenciales que comprometan la durabilidad de las losas de concreto que se construirán posteriormente.

Esta uniformidad no se limita únicamente a la compactación, sino que contempla la humedad del material, por lo tanto, se debe asegurar que las dosificaciones de agua se realicen de forma precisa, continua y homogénea, a manera de riego, durante la densificación de la base.

Finalmente, se debe cumplir con los niveles, pendientes, peralte y bombeo requeridos por el diseño, esto se verifica mediante el uso de equipo de topografía.

El inspector puede corroborar lo anterior utilizando herramientas manuales como clinómetros y escantillones. Además, puede consultar con el ingeniero del proyecto, si los resultados del proceso de compactación de la base son adecuados para iniciar la construcción de las losas de concreto.

Debido a la importancia que tiene el cumplir con los requerimientos descritos en esta sección, no se recomienda permitir el tránsito de vehículos sobre la superficie de base compactada. Sin embargo, si las

condiciones del tránsito requieren que se permita la circulación de vehículos y esto genera deterioros o deformaciones, se tendrán que corregir antes de la colocación del concreto, cuando la superficie haya sido revisada y aprobada por la Administración.

En el caso de bases estabilizadas, se debe garantizar la obtención de la resistencia requerida antes de permitir el tránsito de vehículos o maquinaria.

2. Construcción del tramo de prueba



Figura 10. Tramo de pavimento en construcción
Fuente: LanammeUCR, 2008

Una vez aprobada la base, se debe realizar un tramo de prueba de al menos 100 m de longitud, y con un ancho igual al del carril a construir. Este tramo debe contemplar todos los detalles constructivos definidos en el diseño del proyecto (como se explica en los siguientes apartados), a fin de verificar que todos los equipos y métodos empleados son los adecuados para cumplir con los requerimientos del diseño.

Si no se obtienen resultados satisfactorios, se deberá continuar construyendo tramos de prueba implementando variaciones en los equipos, procedimientos, o en la dosificación del concreto hasta obtener un pavimento que reúna las condiciones exigidas en las especificaciones. Los tramos no satisfactorios deberán ser removidos (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010).

Finalmente, se realizan los ensayos correspondientes para evaluar el trabajo realizado en este tramo de prueba, según como se explica más adelante en la sección “ensayos de verificación de calidad del trabajo realizado”, e iniciar la construcción de la calzada.

El inspector puede llevar un registro con los resultados obtenidos de los ensayos realizados al tramo de prueba, a fin de contar con una referencia de la calidad del pavimento en construcción.

3. Colocación de formaleta o encofrado fijo



Figura 11. Instalación de formaleta
Fuente: LanammeUCR, 2009

Esta etapa del proceso constructivo debe realizarse cuando no se dispone de equipos de formaleta deslizante. Para esto es necesario contar con elementos que tracen el alineamiento de la carretera, como cuerdas de nivel colocadas sobre estacas, y bajo la verificación del equipo de topografía.

El inspector debe revisar que las cuerdas de nivel no se curven. Si esto sucede, se puede sugerir que las estacas que soportan dichas cuerdas se coloquen más juntas entre sí.

La formaleta debe poseer una altura igual al espesor de diseño de las losas de concreto hidráulico (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010), y se recomienda que posean una longitud mínima de tres metros, para evitar pandeos. Por otra parte, de acuerdo con el CR-2010 (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010), es requerido colocar al menos tres anclajes verticales de acero por cada tres metros de formaleta, para asegurar un adecuado amarre a la base, como se muestra en la Figura 12.

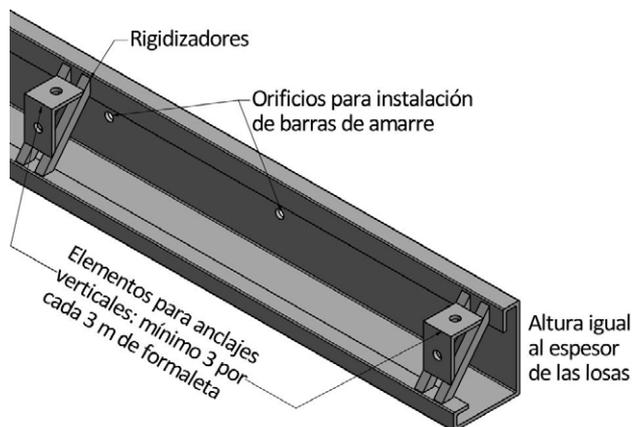


Figura 12. Esquema ejemplo de formaleta para pavimentos de concreto

Las cotas, pendientes y alineaciones de las formaletas deben ser aprobadas por la Administración, que acepta una tolerancia máxima de 5 mm por encima de las cotas dispuestas en planos, pero nunca aceptará cotas menores a los niveles del diseño (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010).

El inspector debe verificar que todos los elementos de formaleta se encuentren completamente apoyados sobre la base compactada y que cumplan con lo indicado anteriormente sobre alineación, dimensiones y anclaje antes de iniciar la colocación del concreto.

Las formaletas deben estar adecuadamente reforzadas con elementos de apoyo para darles rigidez y deben ser capaces de soportar el peso de cualquier equipo que se coloque sobre ellas durante la ejecución de la obra, permaneciendo rectas y libres de pandeos o deformaciones. Si son hechas de acero, su espesor debe ser de al menos 6 mm, de acuerdo con el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras Caminos y Puentes (CR-2010).

Es importante una revisión constante durante todas aquellas etapas del proceso constructivo en las que se ejerza cualquier tipo de fuerza o vibración sobre la formaleta, a fin de detectar deformaciones que provoquen imperfecciones en las losas de concreto, o la falla de la misma formaleta.

4. *Instalación de dovelas*



Figura 13. Instalación de dovelas en pavimento de concreto hidráulico articulado

Fuente: LanammeUCR, 2013

Las dovelas para juntas de contracción o expansión deben estar firmemente fijadas a canastillas o armazones de acero que se anclan a la base, como se muestra en la Figura 14. Los anclajes deben ser capaces de soportar la fuerza de arrastre que produce el concreto cuando se cuele en la superficie, para evitar que el armazón o canastilla se desplace.



Figura 14. Canastilla de dovelas fijada a la base del pavimento
Fuente: LanammeUCR, 2008

El inspector debe revisar que se cumpla con la separación entre dovelas establecida en el diseño del pavimento. Además, que se encuentren paralelas a la superficie y que estén situadas en la mitad del espesor de la losa.

Los armazones deben instalarse de forma perpendicular al eje del carril, y de tal forma que la junta quede exactamente en el centro de las dovelas. El extremo deslizante debe pintarse y tratarse con un inhibidor de corrosión. Una vez que éste ha secado completamente, se debe cubrir el extremo libre con un elemento o sustancia lubricante antes de la colocación del concreto hidráulico.

A la hora de inspeccionar las canastillas o armazones, se debe verificar que el lado que corresponde pintar y engrasar (o cubrir) es el extremo libre de cada una de las dovelas, es decir, el extremo sin soldadura.

En la Figura 15 se observa una canastilla de dovelas con pintura aplicada de manera alternada, debido a que en ese proyecto la soldadura también se realizó de esta forma. La decisión de alternar o no el extremo libre de las dovelas en cada junta, es propia del diseñador, quien debe indicarlo en los planos o especificaciones del proyecto.



Figura 15. Instalación de canastilla de dovelas con soldadura alternada
Fuente: LanammeUCR, 2013

Usualmente, las canastillas poseen elementos rigidizadores que evitan que las mismas sufran deformaciones durante su transporte y almacenamiento. Estos elementos rigidizadores deben cortarse en el momento en que las canastillas se instalan en la base.

Una alternativa a estas canastillas es el uso de formaletas especiales para la instalación de dovelas, las cuales poseen orificios o tubos que permiten la colocación de las barras lisas, sin embargo, su uso no puede interferir con las especificaciones de diseño acerca del tipo y dimensiones de las juntas transversales.

Existen equipos que se adaptan a las máquinas de extensión de concreto con encofrados deslizantes, y que cuentan con un sistema automatizado de colocación de dovelas, el cual se configura con las separaciones y frecuencia de instalación de estos elementos. En la Figura 16 se pueden observar dos sistemas con esta función.

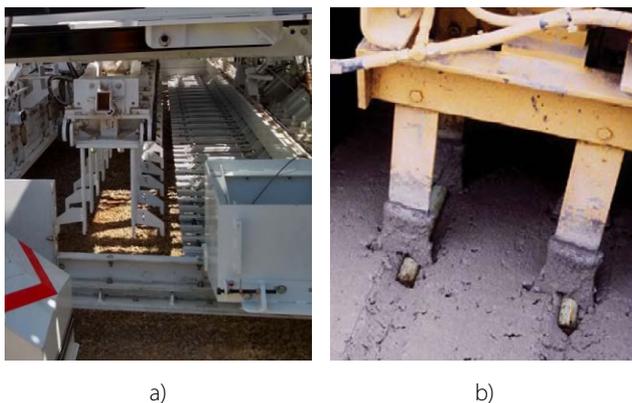


Figura 16. Sistemas de inserción de dovelas con equipo de encofrados deslizantes.
Fuente: a) LanammeUCR, 2020; b) Federal Highway Administration, 2006

Si es el caso en que la colocación de dovelas se realiza de forma automatizada, no es necesario instalar ningún tipo de armazón o canastilla.

Debe recordarse que las barras de transferencia de carga o dovelas consisten en barras lisas, y su longitud debe estar especificada en el diseño del pavimento. Además, usualmente están conformadas por acero grado 60. El inspector debe verificar que se estén colocando las barras adecuadas.

5. Producción y transporte del concreto



Figura 17. Planta de producción de concreto
Fuente: LanammeUCR, 2013

El mezclado de los materiales necesarios para producir el concreto hidráulico, generalmente se realiza en planta, y debe ajustarse a un diseño de mezcla previamente aprobado por la ingeniería de proyecto. Se debe lograr una adecuada coordinación entre la producción, el transporte y la colocación, de forma que se eviten las interrupciones en el sitio del proyecto.

La división 500 del CR-2010 (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010), proporciona los parámetros que debe cumplir el concreto hidráulico para la construcción de pavimentos rígidos (Cuadro 1), sin embargo, los valores exactos deben verificarse mediante el diseño (planos y especificaciones) del proyecto.

Cuadro 1. Requisitos del concreto hidráulico para pavimentos

Relación agua/cemento	Temperatura	Asentamiento AASHTO T-119	Resistencia a la compresión a los 28 días AASHTO T-22	Resistencia a la flexotracción a los 28 días AASHTO T-97
máxima 0,45	13 °C - 35 °C	máximo 100 mm*	mínima 355 kg/cm ² (35 MPa)	mínima 45 kg/cm ² (4,5 MPa)

* En el lugar de la descarga las tolerancias son de +0 mm, -65 mm, según lo establecido por la norma ASTM C94. Cuando se trabaja con concretos con aditivos Tipo I y II según ASTM C1017 o Tipo F y G según ASTM C494, el asentamiento puede aumentar a un valor máximo de 200 mm en el lugar de la descarga aplicando las mismas tolerancias.

Fuente: Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010

El transporte, por su parte, puede realizarse en vagonetas o en camiones mezcladores de concreto. Si se realiza en camión mezclador, la mezcla, descarga, transporte, entrega y colocación del concreto debe ser completada en un tiempo máximo de 90 minutos, contados a partir de que el cemento entra en contacto con el agua, de acuerdo con la división 500 del CR-2010 (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010).

Si el transporte se realiza mediante vagonetas, el concreto debe entregarse en el sitio de trabajo en un tiempo máximo de 20 minutos (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010).

Cuando se utilicen aditivos retardantes, estos tiempos pueden extenderse de acuerdo con las especificaciones del fabricante de aditivo y lo aprobado por la Administración, como lo indica el CR-2010 (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010).

En el sitio del proyecto, antes de la colocación del concreto, se debe verificar que se cumplan los requerimientos de temperatura y asentamiento del material en su estado fresco (Figura 18). Ambos aspectos son muy importantes para garantizar la calidad y la durabilidad del pavimento.



Figura 18. Control de asentamiento (a) y temperatura (b) del concreto en sitio de descarga

Fuente: LanammeUCR, 2013

El inspector debe recibir las boletas de despacho del concreto y verificar que la resistencia y el asentamiento indicados en dichas boletas correspondan con lo especificado en el diseño, así como corroborar si se emplean o no aditivos.

6. Colocación del concreto e instalación de barras de amarre



Figura 19. Colocación del concreto e instalación de barras de amarre
Fuente: LanammeUCR, 2013

Previo a la colocación del concreto en el sitio de trabajo, la capa de apoyo se debe humedecer para evitar que la base extraiga el agua de la mezcla, sin embargo, se debe tener el cuidado de que no se presenten acumulaciones que puedan incrementar el agua del concreto fresco. Además, la superficie debe estar libre de escombros, residuos de cemento o de cualquier materia extraña (Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto, 2014).

El inspector de ninguna manera debe permitir la adición de agua a la mezcla de concreto previo al proceso de colocación.

El concreto debe colocarse con una temperatura interna de 13 °C a 35 °C (Cuadro 1), por lo que es necesario medir su temperatura justo antes de iniciar la colocación. Por otra parte, existen factores climáticos que podrían afectar el buen desempeño del concreto, principalmente la temperatura

del aire y la velocidad del viento, que son fácilmente medibles en campo, y que definen la tasa a la que el agua de la mezcla se evapora. Para conocer esta tasa, se hace uso del ábaco que se presenta en la Figura 20, en el que se muestra un ejemplo trazado con líneas discontinuas que une los valores de temperatura del aire, humedad relativa, temperatura interna del concreto y velocidad del viento, para llegar, finalmente, a obtener la tasa de evaporación esperada.

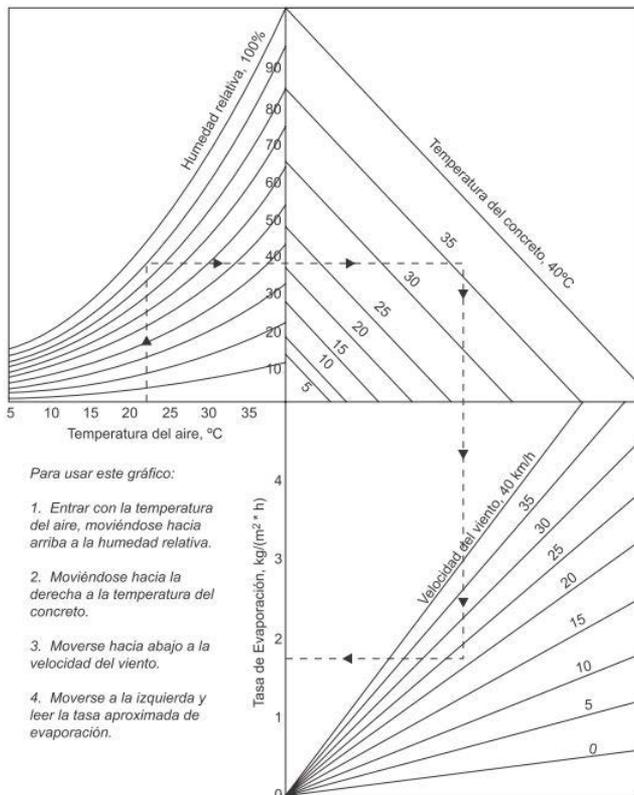


Figura 20. Ábaco para la determinación de la tasa de evaporación del agua en el concreto

Fuente: Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010

El trazado marcado en la figura anterior muestra un ejemplo utilizando los siguientes datos:

- Temperatura del aire: 22,5 °C
- Humedad relativa: 90 %
- Temperatura del concreto: 36 °C
- Velocidad del viento: 22,5 km/h

Resultando en una tasa de evaporación de aproximadamente 1,7 kg/(m²·h)

El Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (CR-2010) no permite la colocación de concreto en pavimentos cuando se presentan tasas de evaporación superiores a 1 kg/(m²·h).

Es por lo anterior que el inspector debe monitorear la temperatura del concreto antes de que se inicie la colocación, y ser capaz de estimar la tasa de evaporación cuando se cuente con información de las condiciones climáticas presentes en el sitio de trabajo, para lo cual puede hacer uso del higrotermómetro con anemómetro.

Por otra parte, se pueden implementar algunas medidas para reducir la tasa de evaporación cuando las condiciones climáticas son desfavorables, siempre y cuando sea aprobado por la Administración, como:

- Construcción de cortavientos o cerramientos para reducir efectivamente la velocidad del viento en toda el área de colocación.
- Instalación de rociadores de agua o presión contra viento para aumentar la humedad relativa en toda el área de colocación.
- Controlar altas temperaturas del acero utilizado antes del colado del concreto, para el caso de pavimentos JPCP, las dovelas y barras de amarre.

- Reducción de la temperatura del concreto mediante alguno de los siguientes métodos **en el sitio de producción** (American Concrete Institute, 2007)
 - Colocar los agregados a la sombra.
 - Enfriar el agregado grueso mediante el rociado con agua.
 - Enfriar el agua de la mezcla por medio de tanques de refrigeración, o utilizando hielo picado como parte del agua de la mezcla. El hielo debe estar completamente derretido al finalizar el mezclado.
 - Enfriar los materiales de la mezcla utilizando nitrógeno líquido.

Por el otro lado, el CR-2010 (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010) indica que en ninguna circunstancia se debe colocar concreto mientras llueva, para evitar que se incremente la cantidad de agua de la mezcla o que se dañe la superficie del concreto, resultando en una superficie no duradera, como la que se muestra en la Figura 21.



Figura 21. Superficie de concreto deteriorada por gotas de lluvia
Fuente: Federal Highway Administration, 2006

Se debe controlar la altura de la descarga, de este modo se evita que se produzca la segregación de los agregados de la mezcla de concreto. Se recomienda una altura de descarga máxima de 1,5 m. Además, la colocación debe realizarse de una manera homogénea.

El inspector debe cerciorarse de que el equipo de acarreo no genere roderas o huellas en la superficie de la base delante de la pavimentadora. Si eso sucede, puede sugerir que las vagonetas o mezcladoras descarguen el concreto desde un lado del carril en construcción.

6.1. Proceso constructivo con formaletas fijas



Figura 22. Colocación de concreto, formaletas fijas
Fuente: CON-TECNICA, s.f.

6.1.1. Colocación del concreto

Cuando se siga el proceso constructivo utilizando formaletas fijas, éstas deben estar engrasadas con algún producto desmoldante antes de colocar el concreto hidráulico, para facilitar su remoción una vez que el este último fragüe.

Al colocar el concreto, debe ser distribuido uniformemente cubriendo toda la superficie hasta alcanzar el espesor de la losa, con ayuda de palas u otras herramientas manuales, y teniendo especial cuidado en las esquinas.

6.1.2. Compactación o vibrado del concreto

Una vez que se ha cubierto toda el área de trabajo de forma homogénea con el concreto, se realiza la compactación utilizando vibradores de inmersión para losas con espesor igual o mayor a 20 cm; o vibradores de superficie si las losas tendrán un espesor menor a 20 cm.

Cuando se utilicen vibradores de inmersión, se debe asegurar que todo el volumen de concreto se compacte, para lo cual debe existir un traslape entre los radios de acción, como se observa en la Figura 23. El ingeniero deberá aprobar los equipos de vibración antes de ser utilizados. Seguidamente, se debe enrasar el concreto colado.

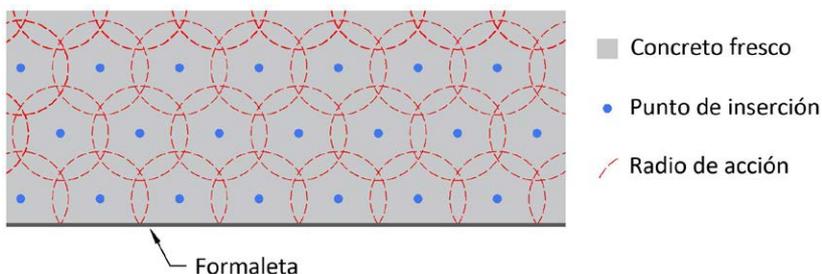


Figura 23. Traslapes en radios de acción de vibradores de inmersión

6.1.3. Colocación de barras de amarre

La colocación de las barras de amarre se realiza mientras el concreto se encuentre fresco, por medio de orificios preformados en las formaletas. Estas barras de amarre consisten en varillas **corrugadas** de diámetro y longitud acordes con el diseño del pavimento, y serán elementos clave en la confección de las juntas longitudinales.

El inspector debe revisar que las barras de amarre correspondan al tipo de varilla corrugada prevista en planos y especificaciones.

6.1.4. Acabado

Finalmente, se realiza el flotado, que consiste en darle el acabado homogéneo a la superficie del concreto. En la Figura 24 se observa el proceso de flotado de un concreto fresco cuyas barras de amarre se encuentran instaladas.



Figura 24. Flotado manual del concreto
Fuente: LanammeUCR, 2013

Es muy importante llevar a cabo esta labor antes de que aparezca una lámina de agua superficial, llamada sangrado, ya que cualquier operación de acabado que se realice mientras exista un exceso de humedad en la superficie del concreto, ocasionará una textura polvosa y/o con desprendimientos.

6.2. Proceso con equipos de encofrados deslizantes



Figura 25. Equipo de encofrados deslizantes para pavimentos de concreto hidráulico
Fuente: LanammeUCR, 2013

El equipo de encofrados deslizantes proporciona muchas ventajas por encima del método con formaletas fijas. La más destacable es la velocidad de avance, que es mucho mayor debido a que la misma máquina se encarga de la distribución, compactación y flotado del concreto, dejando las losas listas para las labores de textura y curado. Algunos equipos de encofrados deslizantes, por ejemplo, pueden alcanzar rendimientos de 250 m³/h. Es por esto que se debe proveer un suministro continuo de concreto delante de la pavimentadora, pues la falta de volumen de mezcla podría generar reducciones en el espesor de las losas.

Además, algunos de estos equipos cuentan con sensores que miden la regularidad de la superficie de las losas a la salida de la máquina, con el concreto en estado fresco. Esto permite realizar ajustes en la cantidad de concreto colocada frente a la pavimentadora, variaciones en la velocidad de avance, entre otros, para lograr una superficie lo más plana posible.

El proceso inicia con la colocación de estacas e hilos guía instalados bajo estricta verificación de equipo de topografía, en ambos laterales del área a pavimentar. Los sensores de la máquina pavimentadora utilizarán estas guías para definir su avance y el área de trabajo (Figura 26).



Figura 26. Guías laterales y sensores de alineamiento de la máquina pavimentadora
Fuente: LanammeUCR, 2020

Las estacas o soportes deben ubicarse cada cinco metros para evitar que el hilo se curve. En la Figura 27 se muestra un esquema de la colocación de guías en la construcción de un pavimento de concreto hidráulico.

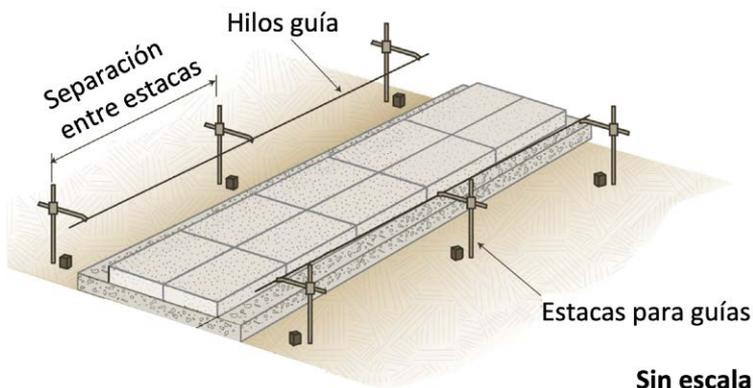


Figura 27. Ubicación de estacas e hilos guía para pavimentadora de encofrados deslizantes

Fuente: adaptado de Federal Highway Administration, 2006

En la Figura 28, se observa un esquema del proceso general del concreto en la pavimentadora de encofrados deslizantes, sin embargo, es importante destacar que algunos equipos poseen sistemas que automatizan otras labores, como la instalación mecanizada de dovelas y de barras de amarre, consiguiendo obras más homogéneas y mejor acabadas.

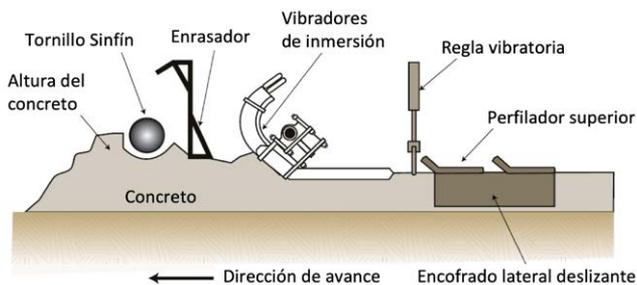


Figura 28. Proceso de conformación del concreto mediante equipo de encofrados deslizantes

Fuente: adaptado de Federal Highway Administration, 2006

El concreto se debe colocar delante del equipo, teniendo cuidado de no realizar una descarga a más de 1,5 m de altura, pues podría ocasionar problemas de segregación de los agregados. Además, el camión repartidor o vagoneta debe proveer un suministro de concreto fresco acorde con el avance de la pavimentadora, de tal forma que siempre haya concreto suficiente, pero no en exceso, para que el equipo lo procese.

Los equipos de encofrados deslizantes cuentan con un sistema de reparto que se encarga de distribuir de forma transversal el concreto que se va colocando delante de él. Este sistema puede consistir en un tornillo sinfín, como se aprecia en la Figura 29, o bien, en una cuchilla distribuidora.



Figura 29. Sistema de reparto del concreto mediante tornillo sinfín
Fuente: LanammeUCR, 2013

Seguidamente, un elemento enrasador ayuda a reducir la altura del concreto, y un arreglo de vibradores internos ubicados a todo lo ancho de la máquina se encarga de realizar la compactación, como puede observarse en la Figura 30.



Figura 30. Sistema de vibradores internos del equipo de pavimentación de encofrados deslizantes
Fuente: adaptado de GOMACO Corporation, s.f.

La regla vibratoria cumple la función de dar al concreto hidráulico el perfil requerido por el diseño, mientras proporciona un alisado longitudinal. A su vez, los encofrados laterales deslizantes definen los bordes de las losas. Una flota ubicada en la parte posterior se encarga de terminar la superficie al realizar un movimiento en zigzag desplazándose transversalmente de un extremo al otro (Figura 31).



Figura 31. Alisadores de equipo de encofrados deslizantes
Fuente: a) LanammeUCR, 2020; b) adaptado de Wirtgen Group Company, 2017

Cuando la pavimentación se realiza a lo ancho de dos carriles simultáneamente, se deben instalar las barras de amarre entre ambas vías mediante canastillas firmemente ancladas a la base, previo a la colocación del concreto (Figura 32).



Figura 32. Instalación de barras de amarre mediante canastillas
en junta longitudinal interna
Fuente: LanammeUCR, 2013

El inspector debe corroborar que la distancia entre las barras de amarre corresponda a lo especificado en el diseño del pavimento, y verificar que las canastillas se encuentren fijas a la base y ubicadas en el centro de la junta longitudinal antes de iniciar la colocación del concreto.

La colocación de las barras de amarre en los laterales puede implementarse ya sea de forma mecánica, acoplando el sistema que realiza esta operación a la máquina pavimentadora, el cual consiste en un brazo hidráulico que inserta las barras a presión en el concreto fresco recién moldeado (Figura 33); o bien, de forma manual, utilizando un elemento guía que asegure la posición adecuada de la barra (Figura 34).



Figura 33. Sistema automatizado de inserción de barras de amarre
Fuente: Wirtgen Group Company, 2017



Figura 34. Colocación manual de barras de amarre
Fuente: LanammeUCR, 2013

Cuando se construyen separadamente vías adyacentes del pavimento, las barras de amarre del carril construido pueden doblarse en ángulo de 90 grados, si interfieren con el equipo de pavimentación. Antes de colocar el concreto en el carril adyacente, se deben desdoblar las barras de amarre a su posición inicial.

El inspector debe revisar que las barras de amarre estén conformadas por varilla corrugada de diámetro, longitud y grado según los planos, que se encuentren libres de pintura, asfalto o cualquier producto engrasante, y que no estén recubiertas por tubos o mangueras de ningún tipo antes de la colocación del concreto.

Por otra parte, se debe verificar que el espesor de las losas corresponda al indicado en los planos y especificaciones del proyecto.

7. Acabado



Figura 35. Acabado en superficie de pavimento de concreto hidráulico
Fuente: LanammeUCR, 2013

Una vez que se ha realizado el flotado del concreto, ya sea de forma manual o mecanizada, según lo definido en el tramo de prueba, se debe proceder con las labores de texturizado.

La textura del concreto será un factor importante en la seguridad de los usuarios de la ruta. Esto porque con ella se logra generar la fricción suficiente, entre las llantas de los vehículos y la superficie de rueda, acorde con el uso y categoría de la vía. Por otra parte, tiene influencia en el drenaje superficial de la calzada y afecta los niveles de ruido generados por el paso de los vehículos.

El inspector no debe permitir que se agregue agua y/o aditivos a la mezcla de concreto durante las operaciones de acabado.

El Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (CR – 2010) indica que el acabado final del pavimento consiste en una micro textura longitudinal y una macro textura transversal, como se explica a continuación:

- **Micro textura:** debe realizarse después de pasar la flota y antes de realizar la macro textura. Se logra al pasar una manta de yute en sentido longitudinal, generando ranuras poco profundas de 0,2 mm a 0,5 mm (Instituto del Cemento Portland Argentino, 2015). Existen equipos diseñados especialmente para llevar a cabo las labores de texturizado y curado (Figura 36).

Para obtener el acabado adecuado mediante esta técnica es importante mantener la tela limpia y húmeda durante toda la jornada de trabajo.

Las ranuras producidas por este método no generan niveles de ruido importantes durante el tránsito de vehículos, aportan al coeficiente de fricción de la superficie y no tiene mayor influencia en el drenaje del agua superficial de la calzada.



Figura 36. Arrastre de lona de yute para formar micro textura en la superficie de pavimento
Fuente: GOMACO Corporation, s.f.

- **Macro textura:** consiste en la formación de ranuras, al pasar de forma transversal una herramienta tipo peine, produciendo surcos de 3 mm a 6 mm de profundidad, y espaciados a no más de 19 mm (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010).

El texturizado transversal se debe realizar en el momento en que el concreto se encuentre aun fresco para permitir el rayado, pero algo seco para evitar que fluya hacia las ranuras formadas.

Cuando la vía entra en operación, el agua de lluvia escurre fácilmente por los surcos hacia los caños o cunetas, reduciendo el potencial de hidroplaneo y salpicaduras. Este método genera alta fricción y niveles de ruido elevados.

En algunos países se utiliza también el texturizado longitudinal, el cual genera niveles de ruido menores, de acuerdo con el Instituto del Cemento Portland Argentino (2015), sin embargo, lo más frecuente es realizarlo en sentido transversal.

En la Figura 37 se muestra la macro textura transversal en un pavimento de concreto hidráulico.

El inspector debe anotar si se están llevando a cabo ambas labores de acabado: micro textura longitudinal y macro textura transversal, así como verificar la distancia entre los surcos transversales.



Figura 37. Formación de macro textura transversal en pavimento de concreto hidráulico

Fuente: LanammeUCR, 2013

8. Curado del concreto



Figura 38. Curado del concreto

Fuente: Federal Highway Administration, 2006

El concreto hidráulico es una mezcla de diferentes materiales que requiere de cierta cantidad de agua para producir las reacciones químicas que harán de sí un material resistente. El curado es un proceso que permite controlar el contenido de humedad necesario, a una temperatura adecuada en el concreto, para asegurar la hidratación del cemento, garantizando que se desarrollen esas reacciones. Éste debe realizarse inmediatamente después de finalizadas las labores de textura y acabado del concreto hidráulico, cuando se pierda su brillo superficial.

Existen diferentes métodos que evitan que el agua del concreto se evapore al exterior, los cuales se explican a continuación:

- **Mantas de curado:** consiste en mojar por completo todas las caras o superficies del pavimento y cubrir con mantas especiales que evitan la evaporación del agua. Éstas deben traslaparse o unirse firmemente, de manera que todo el concreto colocado se encuentre enteramente cubierto (Figura 39).



Figura 39. Curado del concreto con mantas
Fuente: ClarínARQ, 2016

El inspector debe revisar que no existan desgarres o cortes en las mantas, a fin de evitar que el agua del curado se seque.

- **Productos formadores de membrana:** consiste en aplicar el producto en forma de rocío sobre la superficie del concreto y en todas sus caras expuestas (incluyendo los cantos de las losas), formando una membrana impermeable de color claro, homogénea y con un espesor aproximado de 1 mm (Figura 40). El equipo de aspersión debe permitir controlar la cantidad aplicada, así como realizar el rocío de forma continua y uniforme.



Figura 40. Membrana de curado formada con productos químicos
Fuente: Instituto del Cemento Portland Argentino, 2015

- **Curado por aspersión de agua:** se realiza mediante aspersores de piso o mangueras remojadoras durante todo el tiempo de curado, cuidando que la superficie del concreto no se erosione. Se deben evitar períodos de humedecido y secado alternos.
- **Curado por nebulización:** se trata de un equipo que aumenta la humedad del aire entre 95% y 100%, mediante la liberación de pequeñas gotas de agua al ambiente sobre la superficie del pavimento (Figura 41). Se deben evitar períodos de humedecido y secado alternos.



Figura 41. Curado del concreto por nebulización
Fuente: Martínez, 2019

- **Curado con materiales absorbentes:** consiste en colocar, encima del concreto acabado, un material que permita retener la humedad, como telas de yute, sacos de arena, entre otros. Para esto, el concreto debe mantenerse húmedo mediante el rocío de agua hasta haber alcanzado una resistencia suficiente de forma que el acabado no se vea afectado por el peso de los materiales, y éstos deben permanecer saturados en todo momento.

El inspector debe verificar que la aplicación del curado se realice en forma de rocío, y que el método empleado no afecte de alguna manera el acabado superficial del concreto.

Cuando se presenten condiciones climáticas desfavorables, como humedad relativa baja, velocidades de viento altas, o temperaturas muy elevadas; se debe aplicar una primera capa de curado inmediatamente después del flotado del concreto, y una segunda capa cuando finalicen las labores de acabado.

El inspector debe realizar observaciones sobre las condiciones climáticas presentes en el sitio de trabajo, y ser capaz de identificar si es necesario realizar la primera capa de curado después del flotado.

Si no se especifica alguna prueba para ejecutar el período de curado, éste debe llevarse a cabo durante al menos 7 días a una temperatura mínima de 10 °C, como lo indica la división 500 del CR-2010 (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010).

Cuando el período de cura se basa en el desarrollo de la resistencia, se debe curar el concreto hasta que alcance un 70 % de la resistencia a la compresión requerida por los documentos contractuales, verificada mediante la falla de cilindros curados en campo (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010).

9. Conformación de juntas



Figura 42. Conformación de juntas
Fuente: LanammeUCR, 2013

Las juntas del pavimento deben conformarse para evitar la aparición descontrolada de fisuras irregulares (debidas a la contracción del concreto, cargas del tránsito, o cambios de temperatura y de humedad) que comprometan la durabilidad y buen desempeño de éste.

La modulación de las juntas se realiza principalmente de forma longitudinal y transversal, sin embargo, cuando existen estructuras en medio del pavimento, como pozos de inspección de alcantarillado, las juntas rodean dichas estructuras según el diseño del proyecto.

La conformación de la ranura en las juntas se realiza por medio del aserrado, que consiste en realizar un corte sobre la superficie del concreto, mediante un equipo con discos abrasivos de diamante, utilizando guías para lograr el trazado indicado en los planos del proyecto (Figura 43).



Figura 43. Aserrado de juntas en pavimento de concreto hidráulico
Fuente: LanammeUCR, 2013

El aserrado debe realizarse cuando el concreto haya endurecido lo suficiente para evitar el desmoronamiento en la junta, pero antes de que se puedan producir grietas aleatorias por la contracción debida al fraguado. Si aparecen grietas en el sitio de la junta, el aserrado no puede realizarse.

Si se forman grietas delante del disco a la hora de aserrar, puede deberse a que el concreto no ha fraguado lo suficiente, por lo que se debe suspender esta labor y esperar un poco más antes de realizarla.

El inspector debe estar seguro del momento oportuno para realizar el corte, debido a que ésta es una actividad crítica que influye directamente en la durabilidad y desempeño del pavimento.

Existen equipos que permiten realizar el aserrado en verde, conocidos como equipos de *soft cut*. Éstos permiten cortar el concreto más temprano que las sierras convencionales, al contar con dispositivos que ejercen presión en la zona de corte, evitando el despostillamiento de la junta, y reduciendo así el riesgo de que aparezcan las grietas aleatoriamente.

10. Sellado de juntas



Figura 44. Sellado de juntas en un pavimento de concreto hidráulico
Fuente: LanammeUCR, 2009

Una vez conformada la ranura o la junta fría, se sigue el siguiente procedimiento general en juntas de contracción y de construcción con cajón para sello:

- Se realiza el cajón de sellado aserrando la parte superior de la junta, de acuerdo con las dimensiones del diseño.
- Seguidamente, se deben eliminar los desechos en toda la longitud y profundidad de la ranura y la caja, luego barrer con una escobilla de acero y terminar con un soplado a presión (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010), asegurándose de **limpiar y secar completamente** la junta.

El inspector debe medir el cajón realizado en varios puntos, a fin de comprobar que sus dimensiones concuerden con las del diseño, así como verificar que no queden residuos ni aceites dentro.

- Una vez realizado esto, se coloca un cordón de respaldo formado por un material que no se adhiera con el sello por emplear (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010). El material de respaldo debe ser ligeramente más ancho que la caja, y se introduce mediante un dispositivo que posee una rueda, la cual empuja el respaldo hasta la profundidad requerida, como se muestra en la Figura 45 y Figura 46.



Figura 45. Colocación de cordón de respaldo
Fuente: LanammeUCR, 2009



Figura 46. Cordón de respaldo en junta de pavimento
Fuente: LanammeUCR, 2009

El inspector debe revisar que el cordón de respaldo no sea estirado o retorcido durante su colocación en las juntas, que no presente pliegues ni curvas, y corroborar que la profundidad a la que se colocó sea la indicada en planos.

- Finalmente, se debe aplicar el material sellante con un equipo adecuado que permita un vaciado continuo y uniforme, llenando el cajón desde el material de respaldo, hasta cuatro o cinco milímetros (4 mm o 5 mm) por debajo de la superficie del pavimento. Si alguna zona fuera de la junta se mancha con el material de sellado, se debe remover la mancha y limpiar completamente esa zona. La colocación del sello debe hacerse cuando la temperatura ambiente sea la recomendada por el fabricante.

Las juntas también pueden sellarse con un material elastomérico premoldeado. En tal caso no es necesario colocar el cordón de respaldo. Se debe limpiar y secar completamente la ranura y cubrir ambas caras de la junta con un adhesivo lubricante. Luego se inserta el sello en estado comprimido mediante una rueda de inserción, hasta una profundidad tal que la parte superior del elastómero se encuentre aproximadamente seis milímetros (6 mm) por debajo de la superficie del pavimento.

En la Figura 47 se muestra el sello elastomérico premoldeado a la izquierda, y el material sellante con cordón de respaldo a la derecha.



Figura 47. Sellos para juntas en pavimentos de concreto
Fuente: American Concrete Pavement Association, 2018

El inspector debe estar atento a que el sello premoldeado se inserte de forma vertical, en estado comprimido y a la profundidad requerida.

11. Protección del pavimento y apertura al tránsito



Figura 48. Protección del pavimento y control de tránsito
Fuente: LanammeUCR, 2009

Debido a que la resistencia del concreto aumenta con el tiempo y las buenas prácticas de curado, es necesario proteger el pavimento hasta que éste logre una resistencia suficiente para soportar las cargas del tránsito sin sufrir deformaciones permanentes o cualquier otro tipo de deterioro.

Es por esto que se deben colocar elementos de protección para impedir el tránsito de cualquier tipo de vehículo sobre el pavimento recién conformado, tales como señales de advertencia, indicaciones luminosas, barreras temporales, entre otros. Además, se debe disponer de personal que se encargue del mantenimiento de estos elementos, así como de la dirección segura del flujo vehicular.

En cuanto el concreto haya endurecido, el inspector debe revisar la superficie con un escantillón, de modo que pueda señalar si se presentan irregularidades en elevación de acuerdo con la especificación vigente. Según el CR-2010 (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010), si se presentan irregularidades entre 5 mm y 13 mm, deben ser señaladas para corregir. Si se presentan puntos mayores a los 13 mm, el inspector deberá reportarlo para proceder a sustituir las losas defectuosas.

El pavimento no deberá entrar en operación antes de alcanzar al menos el 80% de la resistencia a la compresión o a la flexotracción indicada en los planos o especificaciones del proyecto. Si estos ensayos no son llevados a cabo, la apertura al tránsito no debe realizarse antes de 14 días a partir de la finalización de la extensión del concreto hidráulico (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010).

Finalmente, el proyecto debe encontrarse limpio y libre de escombros o residuos producto del proceso constructivo. Deben haberse terminado las labores de sellado de juntas y la demarcación horizontal antes de permitir el paso de vehículos.



Figura 49. Apertura al tránsito de pavimento de concreto
Fuente: Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2018

Ensayos de verificación de calidad del trabajo realizado



Figura 50. Muestreo de concreto para ensayos en laboratorio
Fuente: LanammeUCR, 2013

Con el fin de verificar la calidad del trabajo realizado, se deben llevar a cabo una serie de ensayos que se efectúan de acuerdo con el avance del proyecto durante su ejecución. Esto permite detectar de forma oportuna aquellas irregularidades que deben corregirse durante el proceso constructivo.

El inspector puede llevar un control de la cantidad y frecuencia de ensayos que se realizan en la obra, de manera que pueda reportar estos parámetros a la ingeniería del proyecto.

A continuación, se resumen las propiedades que deben controlarse de acuerdo con la división 500 del CR-2010 (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010).

Cuadro 2. Ensayos de calidad del pavimento de concreto

Propiedad	Criterio de aceptación	Método	Frecuencia mínima	Punto de muestreo
Asentamiento del concreto	De acuerdo con el diseño	ASTM C143	1 por descarga	En sitio de descarga
Contenido de aire del concreto	De acuerdo con el diseño	ASTM C231 o ASTM C173	1 por día	En sitio de descarga
Temperatura del concreto	De 13 °C a 35 °C	ASTM C1064	1 por descarga	En sitio de descarga
Resistencia a la compresión del concreto a los 28 días	Mayor o igual a 355 kg/cm ² (35 MPa)	ASTM C39		En sitio de descarga
Resistencia a la flexotracción del concreto a los 28 días	Mayor o igual a 45 kg/cm ² (4,5 MPa)	ASTM C78		En sitio de descarga
Espesor del pavimento	De acuerdo con el diseño	ASTM C42	1 núcleo cada 2000 m ²	En sitio después del período de cura
Mediciones de autocontrol de IRI	Medias móviles según el Cuadro 3 y ningún valor individual mayor a 3 m/km	Acreditado ante el ECA*	1 por proyecto**	En sitio después del período de cura

Propiedad	Criterio de aceptación	Método	Frecuencia mínima	Punto de muestreo
-----------	------------------------	--------	-------------------	-------------------

* Ente costarricense de Acreditación, ECA

** Si se encuentran tramos con índice de regularidad no aceptable, se deben corregir los tramos mediante el procedimiento que apruebe la Administración, y luego realizar la medición final de regularidad en la totalidad de la obra

Fuente: adaptado de Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010

Control de regularidad (Índice de Regularidad Internacional, IRI)

La regularidad de la superficie de ruedo es uno de los criterios que se utiliza en la aceptación de pavimentos a nivel nacional e internacional, esto porque refleja la homogeneidad del proceso constructivo y el confort que producirá en los usuarios de la vía.

Después del proceso de curado, cuando el pavimento ha alcanzado la resistencia suficiente (al menos el 80% de la requerida), o bien 14 días después de finalizada la colocación del concreto, se debe realizar la medición del perfil longitudinal para el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI).

La medición del perfil longitudinal se realiza mediante equipos Clase 1, según el criterio del Banco Mundial respecto a la exactitud (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010), por ejemplo, el perfilómetro láser, como el que se muestra en la Figura 51.



Figura 51. Perfilómetro láser
Fuente: PITRA-LanammeUCR, 2014

Ahora bien, el **valor individual** corresponde al cálculo de IRI promedio en cada tramo homogéneo de 100 m. Mientras que la **media móvil** se trata del promedio de diez valores individuales consecutivos.

El CR-2010 (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010) especifica que cada valor individual debe ser menor o igual a 3,0 m/km. Mientras que las medias móviles deben cumplir con los criterios mostrados en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Valores de IRI aceptables
(promedio de valores en 10 tramos consecutivos de 100 m)

Percentil de datos promedio consecutivos de diez valores de MRI*	Autopistas (TPDA > 5000)	Otras vías
100	< 2,8	< 3,0

* MRI es el promedio del IRI calculado para las huellas izquierda y derecha del vehículo

Fuente: adaptado de Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010

El cuadro anterior excluye aquellos tramos homogéneos en los que se presenten singularidades, que consisten en alteraciones al perfil longitudinal que no provienen de fallas constructivas, y que incrementan el valor individual de los tramos que las contienen, tales como puentes, alcantarillas, líneas férreas, cambio de la estructura del pavimento, vados, rampas de intersecciones, entre otros.

El inspector debe ser capaz de identificar aquellos eventos que no son provocados por fallas constructivas, pero que pudieran afectar los valores de IRI. Además, debe documentar todas las observaciones pertinentes relacionadas con estos eventos y llevar su respectivo registro fotográfico. De esta manera, el ingeniero del proyecto puede revisar y tomar decisiones con la información proporcionada por el inspector.

Descargar lista de chequeo



Ejemplos

Prácticas adecuadas

Asegurar las formaletas correctamente a la base

Respetar la separación entre anclajes, así como emplear elementos rigidizadores cuando se fija la formaleta a la base, asegura que ésta no vaya a ser desplazada o pandeada durante la colocación del concreto, respetando así el diseño geométrico del pavimento.



Figura 52. Anclaje de formaletas a la base

Fuente: LanammeUCR, 2009

Corte adecuado de las dovelas

Los extremos de las dovelas deben evitar tener cortes irregulares, debido a que estos elementos deben poder desplazarse de forma horizontal en la junta. Si éstas poseen cortes irregulares, pueden generarse trabas con el concreto, provocando sobreesfuerzos y, posiblemente, el deterioro de la junta.



Figura 53. Corte en extremos de dovelas

Fuente: LanammeUCR, 2013

Instalar la totalidad de canastillas para dovelas

Cuando se cuente con el espacio y equipo necesario para colocar el concreto desde uno de los laterales del carril en construcción, es posible instalar la totalidad de las dovelas en el tramo a pavimentar, permitiendo así una colocación continua del concreto. Esto, además de evitar atrasos, mejora la regularidad superficial del concreto acabado.



Figura 54. Colocación de canastillas de dovelas

Fuente: Hernández, 2019

Humedecer la base previo a la colocación del concreto

El rocío de agua evita que la base extraiga humedad a la mezcla de concreto. De esta forma se conserva el agua necesaria para que se produzca la hidratación de las moléculas del cemento, evitando alterar las propiedades mecánicas del concreto con las cuales fue diseñado. El riego en la base debe ser leve para evitar erosión y aporte de agua adicional al concreto.



Figura 55. Base humedecida previo a la colocación de concreto

Fuente: LanammeUCR, 2009

Ubicar correctamente las estacas y los hilos guía de la pavimentadora

Es muy importante lograr una tensión adecuada en los hilos guía. Colocar las estacas de acuerdo con las separaciones recomendadas evita que se formen curvaturas en los hilos, que se verán reflejadas en la superficie del pavimento. La instalación de los hilos guía debe verificarse mediante equipo de topografía.



Figura 56. Ubicación adecuada de estacas e hilos guía

Fuente: LanammeUCR, 2009

Descargar el concreto a una altura adecuada

Se ha mencionado anteriormente, que la descarga del concreto a una altura menor a 1,5 metros evitará que se produzca segregación de los agregados de la mezcla.



Altura máxima: 1,5 m

Figura 57. Altura de descarga del concreto

Fuente: LanammeUCR, 2009

Realización periódica de ensayos

Con el fin de corroborar la calidad de los trabajos en ejecución, se realizan los ensayos requeridos por el cartel de licitación o bien, por los códigos y manuales vigentes. Esto permite detectar imperfectos que pueden ser corregidos de forma temprana y a menor costo, que si se detectaran en etapas más avanzadas del proyecto.

Además, se mantiene un mayor control sobre los parámetros de producción del concreto.



Figura 58. Muestras de concreto (cilindros y vigas) para la realización de ensayos de laboratorio

Fuente: LanammeUCR, 2013

Utilización de silletas o guías para la instalación de barras de amarre

Cuando se siga el proceso con equipos de formaleta deslizante y no se disponga del sistema de inserción mecanizada de barras de amarre, es importante contar con guías que permitan ubicar estos elementos en la posición requerida por el diseño. La utilización de este tipo de guías es una opción muy económica y adecuada.



Figura 59. Instalación de barras de amarre utilizando guías

Fuente: LanammeUCR, 2013

Utilizar equipo apropiado para las labores de texturizado

Cuando no se disponga de mecanismos automatizados como el mostrado anteriormente en la Figura 37, se puede hacer uso de equipos manuales con guías que permitan realizar un macro texturizado preciso y uniforme sobre la superficie del pavimento.



Figura 60. Equipo mecánico manual para macro texturizado de la superficie

Fuente: LanammeUCR, 2009

Prácticas deficientes

No colocar las dovelas en la mitad del espesor de la losa

Cuando las dovelas no se ubican bajo las condiciones indicadas anteriormente en el apartado "4. Instalación de dovelas", de la sección de "Proceso constructivo", las mismas deben soportar esfuerzos distintos a aquellos para los cuales fueron diseñadas. Esto debido a las deformaciones de las losas y a la manera en que se transfieren las cargas desde el concreto hacia las dovelas durante el tránsito de vehículos. Por lo tanto se pueden generar deterioros acelerados en el pavimento.



Figura 61. Dovelas colocadas por encima de la mitad del espesor de las losas

Fuente: LanammeUCR, 2009

Instalar canastillas de dovelas en mal estado

Cuando las canastillas se encuentran en mal estado las dovelas no se alinean correctamente, lo que puede causar deterioros en las losas de concreto debido a una distribución asimétrica de las cargas (algunas dovelas trabajarán más que otras).



Figura 62. Canastilla de dovelas en mal estado

Fuente: Cervantes, Fonseca, Sequeira, & Loría, 2015

Utilizar agregados contaminados en la mezcla de concreto

El control de la calidad de los materiales en la producción del concreto es esencial para lograr la durabilidad estimada de las obras. En la Figura 64 se observan agujeros con trozos de madera en la superficie del pavimento. Este deterioro puede deberse a contaminación de los agregados utilizados en la mezcla de concreto.



Figura 63. Agujeros con madera en superficie de ruedo

Fuente: PITRA LanammeUCR, 2020

Utilizar los equipos de forma inadecuada

El equipo, en cualquier obra de infraestructura, debe utilizarse de manera apropiada y para las labores correspondientes. La flota debe pasarse sobre el pavimento de forma continua para proporcionar regularidad a la superficie sin aplicar peso extra.



Figura 64. Utilización inadecuada de la flota

Fuente: LanammeUCR, 2013.

Uso inadecuado de vibradores para concreto

El uso correcto del vibrador de inmersión implica introducirlo de forma vertical en la superficie del concreto fresco. De esta manera se asegura una compactación homogénea en todo el espesor bajo el punto donde se introduce.



Figura 65. Método inadecuado de vibración del concreto

Fuente: LanammeUCR, 2008

Mover los hilos guía o permitir pandeos

En un proyecto de pavimentación con concreto hidráulico, en el cual se utilice equipo de encofrados deslizantes, es muy importante que las personas presentes tengan el cuidado de no mover los hilos guía, pues cualquier movimiento de éstos, mientras la pavimentadora se encuentre trabajando, se verá reflejado en la superficie del pavimento.



Figura 66. Irregularidades en la superficie de la losa de concreto

Fuente: LanammeUCR, 2013

Doblar excesivamente las barras de amarre

Las barras de amarre pueden doblarse en ángulo de 90° cuando no se cuenta con un espacio suficiente para el tránsito y trabajo de la maquinaria del proyecto. Si las barras se doblan en exceso, quedarán incrustadas en el concreto como se observa en la Figura 68. Antes de iniciar la colocación del carril adyacente o espaldón, estas barras deben desdoblarse perfectamente.



Figura 67. Barra de amarre doblada en exceso

Fuente: LanammeUCR, 2009

Aserrado de juntas del pavimento de forma irregular o desalineado

Las juntas transversales del pavimento deben ser regulares, siguiendo una línea recta y continua, respetando el diseño del proyecto.

En la Figura 69 se observa una junta transversal irregular cuyo sello ya ha sido colocado. Este tipo de irregularidades suele asociarse a un corte tardío de la junta, lo que provoca la aparición de fisuras en el concreto.



Figura 68. Irregularidad en junta transversal

Fuente: LanammeUCR, 2009

Conformar juntas cerca de grietas en el concreto

Las juntas deben conformarse antes de la aparición de grietas aleatorias por contracción del concreto durante el fraguado. Si estas grietas aparecen y se observan cerca de la ubicación de una junta, no deberá aserrarse la junta (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010).

En su lugar, deberá repararse el pavimento según los criterios de aceptación del cartel de licitación.



Figura 69. Grieta por contracción plástica del concreto

Fuente: LanammeUCR, 2009

Conformación deficiente de la junta

El aserrado de las juntas debe realizarse de forma perpendicular a la superficie del pavimento. El uso de equipo no apropiado, sin elementos de guía, podría provocar deficiencias como la que se observa en la Figura 70, en donde el corte se presenta de forma diagonal.



Figura 70. Corte no perpendicular a la superficie
Fuente: LanammeUCR, 2009

Exceder en el tiempo para iniciar la conformación de las juntas transversales

Un exceso en el tiempo de espera para conformar las juntas transversales, así como condiciones climáticas desfavorables (como se ha comentado en secciones previas), puede producir grietas aleatorias en la superficie de ruedo. La Administración debe valorar la aceptación de losas agrietadas, su reparación o, en su defecto, su sustitución.



Figura 71. Grieta provocada por contracción del concreto
Fuente: LanammeUCR, 2009

Exceder en el tiempo para iniciar el corte de juntas longitudinales

Aunque las contracciones del concreto en el sentido longitudinal (que provocan grietas transversales) son mucho mayores a las contracciones transversales (que provocan grietas longitudinales), se debe contar con una adecuada programación de trabajo que contemple las condiciones climáticas, y prevenga la fisuración tanto transversal como longitudinal.



Figura 72. Fisuras longitudinales

Fuente: LanammeUCR, 2009

Colocar el concreto bajo condición de lluvia

Esta es una práctica que puede llegar a afectar las propiedades mecánicas del concreto, principalmente su resistencia, debido a la alteración de la relación agua/cemento. El agua de lluvia puede afectar una capa superficial de la losa, debilitando esta zona y alterando las condiciones de textura y fricción de la superficie de rueda, además, se pueden generar deterioros tempranos debido a la abrasión por el paso de vehículos. Es por esto que debe existir una adecuada programación entre la producción y la colocación del concreto teniendo la previsión de las posibles condiciones del tiempo.



Figura 73. Colocación de concreto bajo lluvia

Fuente: LanammeUCR, 2017

Referencias

- American Concrete Institute. (2007). *ACI 305R Specification for Hot Weather Concreting*. Farmington Hills, Michigan: American Concrete Institute Committee 305.
- American Concrete Pavement Association. (2018). *Concrete Pavement Joint Sealing/Filling TB010-2018*. Obtenido de [acpa.org](http://www.acpa.org/wp-content/uploads/2019/04/Joining-Sealing-Tech-Bulletin-TB010-2018.pdf): <http://www.acpa.org/wp-content/uploads/2019/04/Joining-Sealing-Tech-Bulletin-TB010-2018.pdf>
- Cervantes, V., Fonseca, F., Sequeira, W., & Loría, L. (2015). *Evaluación de la calidad de los materiales, la capacidad estructural y funcional de la losa de rodamiento y aspectos constructivos. Ampliación y Rehabilitación de la Ruta Nacional No. 1, Carretera Interamericana Norte, sección Cañas-Liberia*. LanammeUCR, Unidad de Auditoría Técnica, PITRA-LanammeUCR.
- ClarínARQ. (22 de Marzo de 2016). *Métodos tradicionales para el curado del hormigón armado*. Recuperado el 11 de Mayo de 2020, de ClarínARQ: https://www.clarin.com/construccion/metodos-curado-hormigon-armado_0_r14-nn_Dmx.html
- CON-TECNICA. (s.f.). *Pavimentos*. Obtenido de [con-tecnica.com](https://www.con-tecnica.com/pavimentos-c1a8a): <https://www.con-tecnica.com/pavimentos-c1a8a>
- Federal Highway Administration. (2006). *Integrated materials and construction practices for concrete pavement*.
- Federal Highway Administration. (Enero de 2019). *Technical Advisory: Concrete Pavement Joints*. Obtenido de Federal Highway Administration: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/ta504030.pdf>
- GOMACO Corporation. (s.f.). *GP4 Slipform Paver*. Obtenido de GOMACO: https://www.gomaco.com/Resources/gp4_paver.html

GOMACO Corporation. (s.f.). *T/C-400 y T/C-600*. Obtenido de https://www.gomaco.com/Resources/international/new_04_07/t_c400_spanish.html

Hernández, V. (4 de Febrero de 2019). *"Canastillas Pasajuntas" un sistema para transferir la carga*. Obtenido de Láminas y Aceros: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/canastillas-pasajuntas-un-sistema-para-transferir-la-carga>

Hooker, K. (5 de Diciembre de 2011). *Choosing the right screed*. Recuperado el 6 de Febrero de 2020, de Concrete construction equipment and tools: https://www.concreteconstruction.net/products/concrete-construction-equipment-tools/choosing-the-right-screed_o

Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto. (2014). *Guía para la construcción de pavimentos y bases de concreto ACI 325-9R-97*. San José.

Instituto del Cemento Portland Argentino. (2015). Capítulo 5. Construcción. En D. Calo, E. Souza, & M. Eduardo, *Manual de Diseño y Construcción de Pavimentos de Hormigón* (págs. 43-47).

LanammeUCR. (2008). Proyectos auditados en 2008. *Archivos fotográficos de Auditoría Técnica*. Unidad de Auditoría Técnica, LanammeUCR, San José.

LanammeUCR. (2009). Proyectos auditados en 2009. *Archivos fotográficos de Auditoría Técnica*. Unidad de Auditoría Técnica, LanammeUCR, San José.

LanammeUCR. (2013). Proyectos auditados en 2013. *Archivos fotográficos de Auditoría Técnica*. Unidad de Auditoría Técnica, LanammeUCR, San José.

LanammeUCR. (2017). Proyectos auditados en 2017. *Archivos fotográficos de Auditoría Técnica*. Unidad de Auditoría Técnica, LanammeUCR, San José.

- LanammeUCR. (2018). Proyecto de conservación vial. **Archivos fotográficos de Auditoría Técnica**. Unidad de Auditoría Técnica, LanammeUCR, San José.
- LanammeUCR. (2020). Proyecto Cañas - Limonal. **Archivos fotográficos de Auditoría Técnica**. Unidad de Auditoría Técnica, LanammeUCR, San José.
- Martínez, G. (1 de Noviembre de 2019). **Curado del concreto. Una actividad que, si la hacemos mal, puede comprometer todo nuestro proyecto**. Recuperado el 11 de Mayo de 2020, de Ingeniería y construcción: <https://www.ingenieriaconstruccioncolombia.com/curado-del-concreto/>
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2010). División 500. Pavimentos de concreto hidráulico. En **Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes. CR-2010**. San José.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2010). Sección 301. Subbases y bases granulares. En **Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes. CR-2010**. San José.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (23 de Julio de 2018). **Ministro Méndez Mata: “No se cobrará peaje en ningún tramo entre Liberia y Barranta”**. Recuperado el 4 de Mayo de 2019, de MOPT: https://www.mopt.go.cr/wps/portal/Home/noticias!/ut/p/z1/rdLbToMwGADgV9GLXZL-tlXBJfNApuiWLVPoDSnQYQ1t2dYYH192MG6JikvsVZv8xy9FDKWlaf4ma26l0bzb3hnz8_E0BveeQhL7s2ulwiTxbidA6Jig510AnJwiRjM8lgDxBCN2fv5xpb78J8QQK7Vt7QvKWvR02vLkQ71astRmANlaWkm--bhjcYAAVFqTAQ3BKv6
- PITRA LanammeUCR. (2020). **Evaluación de la Ruta Nacional 1 Carretera Interamericana Norte, tramo Cañas - Liberia, Guanacaste, Costa Rica**. LanammeUCR, Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional, PITRA – LanammeUCR, San José.

PITRA-LanammeUCR. (2014). *Estudios técnicos realizados para la aplicación del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en Costa Rica. Circular Número LM-PI-C1*. LanammeUCR, Programa de Infraestructura del Transporte, San José.

Wirtgen Group Company. (2017). *Extendedora de encofrado deslizante SP 62/ SP 62i*. Obtenido de Wirtgen: https://media.wirtgen-group.com/media/02_wirtgen/media_1/media_1_product_divisions/media_1_product_divisions_slipform_pavers/W_brochure_SP62-SP62i_World_0717_ES.pdf



LanammeUCR

LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES



(506) 2511-2500



direccion.lanamme@ucr.ac.cr



www.lanamme.ucr.ac.cr

UCR

